



T.C.

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**NUMUNE ŞEKLİ VE BOYUTUNUN LİF VE LİF İÇERMİYEN BETON
KARIŞIMLARININ DAYANIMINA ETKİSİ**

Sultan Husein BAYQRA

Dr. Öğretim Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU

(Danışman)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

BURSA – 2018

TEZ ONAYI

Sultan Husein BAYQRA tarafından hazırlanan “NUMUNE ŞEKLİ VE BOYUTUNUN LİF VE LİF İÇERMEYEN BETON KARIŞIMLARININ DAYANIMINA ETKİSİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Malzemesi Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi. Ali MARDANI AGHABAGLOU

Başkan: Dr. Öğretim Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

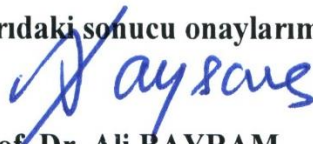
Üye : Prof. Dr. Adem DOĞANGÜN
Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

Üye : Doç. Dr. Arın YILMAZ
Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
İnşaat Mühendisliği, Yapı Anabilim Dalı

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylarım



Prof. Dr. Ali BAYRAM

Enstitü Müdürü

17.1.8/2018

U.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmada;

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
 - görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
 - başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
 - atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
 - kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
 - ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı
- beyan ederim.**

15/08/2018

İmza

Sultan Husein BAYQRA

ÖZET

Yüksek Lisans

NUMUNE ŞEKLİ VE BOYUTUNUN LİF VE LİF İÇERMİYEN BETON KARIŞIMLARININ DAYANIMINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sultan Husein BAYQRA

Uludağ Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU

Bu çalışmada, numune şekli ve boyutunun farklı dayanım sınıfına sahip lifli ve lif içermeyen beton karışımlarının basınç ve yarmada çekme-dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla, su/çimento oranı 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 ve 0,7 olan lif içeren ve içermeyen toplamda 10 farklı beton karışımları hazırlanmıştır. Lif içeren karışımlarda, narinlik oranı (L/D) 64 olan çelik lifler toplam karışım hacminin %1'i kadar kullanılmıştır. Tüm beton karışımlarında bağlayıcı olarak CEM I 42,5 R tipi Portland çimentosu, agrega olarak ise üç farklı boyutta kırma kireç taşı agregası kullanılmıştır. Karışım agrega gradasyonu %40 oranında 0-5 mm, %30 oranında 5-12 mm ve %30 oranında 12-22 mm agregalardan oluşmuştur. Karışımların çökme değeri 17 ± 2 cm olarak sabit tutulmuştur. Hedef çökme değerini sağlamak için karışımlarda farklı oranlarda polikarboksilat esaslı su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Numune şekli ve boyutunun dayanım üzerindeki etkisini incelemek amacı ile her bir karışımdan 10 cm ve 15 cm'lik küp numuneler 10×20 cm ve 15×30 cm'lik silindir numuneler hazırlanmıştır. Numuneler deney gününe kadar standart koşullar altında kürlenmiştir. Numunelerin 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada-çekme dayanımı ölçülmüştür. Deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar, beton dayanımının artışı ile silindir ve küp numuneler arasındaki dayanım oranının arttığını göstermiştir. Lif kullanımı ve numune şeklinden bağımsız olarak numune boyutu küçüldükçe beton karışımların dayanım değerleri artmıştır. Ancak, S/Ç oranı yüksek ve lif içeren karışımlarda söz konusu davranış gözlemlenmemiştir. Lif içeren küp numunelerin basınç dayanımının lifsiz küp numunelere kıyasla numune boyutundan daha az etkilendiği görülmüştür.

Anahtar kelime: Basınç dayanımı, Yarmada-çekme dayanımı, Lifli beton, Boyut etkisi, Şekil etkisi

2018, ix+ 80 sayfa

ABSTRACT

MSc Thesis

EFFECT OF SHAPE AND SIZE OF CONCRETE SPECIMEN ON STRENGTH OF CONCRETE MIXTURE IN THE ABSENCE AND PRESENCE OF FIBER

Sultan Husein BAYQRA

Uludağ University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Dr. Öğr. Üyesi Ali MARDANI AGHABAGLOU

In this study, the effect of shape and size of the concrete specimen on the compressive and splitting tensile strength of the concrete mixtures in the absence and presence of steel fiber was investigated. For this aim, ten different concrete mixtures having w/c ratio of 0.3, 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7 with and without fiber were prepared. In the mixtures containing fiber, steel fibers having aspect ratio (L/D) of 64 were used by 1% of the total mixture volume. In all concrete mixtures, CEM I 42,5R type Portland cement and crushed Limestone aggregates having different aggregate size fractions were used. The combined aggregate were obtained by mixing %40 0-5 mm, %30 5-12 mm and %30 12-22 mm aggregate size fraction. The slump values of concrete mixtures were kept constant as 17 ± 2 cm. To provide the desired slump value a Polycarboxylate ether-based high range water reducing admixture was used. In order to investigate the effect of size and shape of concrete specimen on strength properties 10 cm, 15 cm cubic specimens and 10×20 cm, 15×30 cm cylindrical specimens were prepared for each mixture. The specimens were cured under standard conditions until testing days. The 7- and 28-day compressive and splitting tensile strengths of mixtures were determined. The results obtained from the experimental study showed that the strength ratio between the cylinder and the cube specimens increased with the increase of the strength of the concrete. Regardless of the fiber utilization and specimen shape, strength values of concrete mixtures were increased by decreasing specimen size. However, the mentioned behaviour was not observed for the case that the mixtures having high W/C ratio and containing fiber. The compressive strength of cube specimens containing fiber was less affected from the size of the specimen compared to that of cube specimens containing no fibers.

Key words: Compressive strength, Splitting tensile strength, Fiber reinforced concrete, Size effect, Shape effect

2018, ix+ 80 pages

TESEKKÜR

Tez çalışmalarının gelişmesinde ve hazırlamamda yol gösterici önerileriyle bilgi ve tecrübelerini aktararak her zaman desteğini aldığım tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Ali Mardani Aghabaglou'na, tez aşmasında yardımlarını esirgemeyen Süleyman ÖZEN, Zia Ahmad FAQİRİ, Hassane Amidou OUEDRAOGO'ya teşekkürlerimi ve saygılarımı sunarım.

Deneysel çalışmalarda kullanılan su azaltıcı katkıların temini için Başta Yüksek İnşaat Mühendisi Gökhan Yılmaz, Yüksek Kimyager Tolga Kaptı ve Yüksek Kimyager Uğur Başak Öztürk olmak üzere Polisan Kimya AŞ'ye, çimento ve standart kum temini için Yüksek İnşaat Mühendisi Ahmet Hilmi Aytaç olmak üzere Bursa Beton A.Ş' ye teşekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSALTEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI	3
2.1. Lifli Beton.....	4
2.2. Beton Dayanımı.....	5
2.2.1. Beton basınç dayanımı.....	6
2.2.2. Beton çekme dayanımı.....	7
2.3. Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler.....	12
2.3.1. Çimento.....	12
2.3.2. Agregası.....	15
2.3.3. Su.....	16
2.3.4. Su/çimento oranı.....	16
2.3.5. Jel /boşluk oranı.....	18
2.3.6. Katkılar.....	20
2.3.7. Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması.....	23
2.3.8. Kür koşulları.....	23
2.3.9. Yükleme hızı.....	23
2.3.10. Numune şekli ve boyutu.....	24
2.4. Kaynak Özetleri.....	27
2.5. Amaç, Konu ve Kapsam.....	35
3. MATERYAL ve YÖNTEM.....	36
3.1 Çimento.....	36
3.2. Agregası.....	37
3.3. Su azaltıcı katkı.....	39
3.4. Çelik lif.....	40
3.5. Su.....	41
3.6. Beton Karışımlarının Hazırlanması.....	41
3.7. Çalışmada Uygulanan Deneyler.....	42
3.7.1. Taze hal özellikleri.....	42
3.7.2. Sertleşmiş hal özellikleri.....	43
4. BULGULAR ve TARTIŞMA	46
4.1. Taze Hal Sonuçları.....	46
4.2. Sertleşmiş Hal Sonuçları.....	47
4.2.1. Dayanım-zaman ilişkisi.....	51
4.2.2. Numune boyutu ve şekli -dayanım ilişkisi.....	60
4.2.3. Basınç ve yarmada-çekme dayanımları arasındaki ilişki.....	66
4.2.4. Çelik lif kullanımının beton numunelerin dayanımına etkisi.....	70
4.2.5. Dayanım sınıfının beton numunelerinin kırılma şekline etkisi.....	72
5. SONUÇ.....	76

KAYNAKLAR.....	78
ÖZGEÇMİŞ.....	80



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler	Açıklama
Al_2O_3	Alüminyum Oksit
C_2S	Dikalsiyum Silikat
C_3A	Trikalsiyum Alüminat
C_4AF	Tetrakalsiyum Alumino Ferrit
CaO	Kalsiyum Oksit
Cl^-	Klorür
Fe_2O_3	Demir III Oksit
K_2O	Potasyum Oksit
MgO	Magnezyum Oksit
Na_2O	Sodyum Oksit
SO_3	Kükürt Trioksit
SiO_2	Silisyum Dioksit

Kısaltmalar	Açıklama
ASTM	American Society for Testing Materials (Amerika Test Materyalleri Topluluğu)
MPa	Metrik Sistemin Basınç Birimi
TS EN	Türk Standartları, EN: Avrupa Normu
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
BS	Brithish Standart

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Basınç dayanımını etkileyen lif yönlenmesi.....	5
Şekil 2.2. a) Kırılma çekme düzeneğinin kavradığı kısımda oluşmuştur b) Gerilmelerin yığılmaları nedeni ile iyi sonuçlar alınamamış.....	8
Şekil 2.3. Çelik plaklarla beton örneğinin epoksi ile yapıştırılması.....	8
Şekil 2.4. Şematik silindir yarmada-çekme deneyi.....	9
Şekil 2.5. Silindir yarmada-çekme deneyinde numunenin kırılma biçimi.....	9
Şekil 2.6. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi.....	11
Şekil 2.7. Uzunluğu L kirişin uçlarından 1/3 uzaktaki mesafelerde yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi.....	12
Şekil 2.8. Farklı çimentolar kullanılarak üretilen betonların dayanımları.....	13
Şekil 2.9. Çimento dozajının beton basınç dayanımına etkisi.....	14
Şekil 2.10. Tipik s/ç -basınç dayanımı eğrisi	17
Şekil 2.11. Sıkıştırma yönteminin beton basınç dayanımını- s/ç oranı ilişkisine etkisi..	18
Şekil 2.12. Harç basınç dayanımı ile jel boşluk oranı ilişkisi.....	19
Şekil 2.13. Harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı+hava oranı ilişkisi.....	20
Şekil 2.14. Sürüklenmiş havanın beton dayanımına etkisi	21
Şekil 2.15. Beton numunenin ucuna yakın bölgesindeki gerilme dağılımı a) Sert çelik başlık ile b) Yumuşak çelik başlık ile.....	25
Şekil 2.16. Silindir ve Küp Numunenin Basınç Dayanımı Etki Alanı.....	25
Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi.....	39
Şekil 3.2. Kullanılan çelik lifin şekli.....	40
Şekil 3.3. Lif ve lif içermeyen karışımların çökme deneyi a) Lifli karışım b) Lifsiz karışım.....	43
Şekil 3.4. Silindir numune yüzey aşındırma işlemi.....	44
Şekil 3.5. Numunelerin basınç dayanımı testi yapılışı a) Silindir b) Küp.....	44
Şekil 3.6. Numunelerin yarmada-çekme dayanımı testi yapılışı a) Silindir b) Küp.....	45
Şekil 4.1. Farklı S/Ç oranında lifli ve lif içermeyen karışımların çökme değerleri.....	46
Şekil 4.2. Farklı su/çimento oranında lifli ve lif içermeyen beton karışımların birim hacim ağırlıkları.....	46
Şekil 4.3. Lif içermeyen karışımların basınç dayanımı (MPa).....	49
Şekil 4.4. %1 çelik lif içeren karışımların basınç dayanımı (MPa).....	49
Şekil 4.5. Lif içermeyen karışımların yarmada-çekme dayanımı (MPa).....	50
Şekil 4.6. %1 çelik lif içeren karışımların yarmada-çekme dayanımı (MPa).....	50
Şekil 4.7. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	51
Şekil 4.8. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	51
Şekil 4.9. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	52
Şekil 4.10. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	52
Şekil 4.11. Farklı su / çimento oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi	53
Şekil 4.12. Farklı su / çimento oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi	53

Şekil 4.13. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi	54
Şekil 4.14. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	54
Şekil 4.15. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi.....	55
Şekil 4.16. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi.....	55
Şekil 4.17. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi	56
Şekil 4.18. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi	56
Şekil 4.19. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi.....	57
Şekil 4.20. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi.....	57
Şekil 4.21. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi.....	58
Şekil 4.22. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi.....	58
Şekil 4.23. Lif içermeyen karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl basınç dayanımları (%).....	61
Şekil 4.24. %1 çelik lif içeren karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl basınç dayanımları (%).....	61
Şekil 4.25. Lif içermeyen karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl yarmada-çekme dayanımları (%).....	62
Şekil 4.26. %1 çelik lif içeren karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl yarmada-çekme dayanımları (%).....	62
Şekil 4.27. L07 karışımları ile hazırlanan 10 cm küp ve 10×20 cm silindir numunelerde oluşan çeper etkisi.....	65
Şekil 4.28. Lifsiz karışımların küp ve silindir numunelerin basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	68
Şekil 4.29. Lifli karışımların küp ve silindir numunelerin basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındaki ilişki.....	69
Şekil 4.30. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan %1 lif içeren 15×30 cm'lik silindir beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; a) K03 karışımı b) K04 karışımı c) K05 karışımı d) K06 karışımı e) K07 karışımı.....	72
Şekil 4.31. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan %1 lif içeren 15 cm'lik beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; a) K03 karışımı b) K04 karışımı c) K05 karışımı d) K06 karışımı e) K07 karışımı.....	72
Şekil 4.32. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; a) K03 karışımı b) K04 karışımı c) K05 karışımı d) K06 karışımı e) K07 karışımı.....	73
Şekil 4.33. Farklı su / çimento oranlarında hazırlanan lif içermeyen 15 cm'lik beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri a) K03 karışımı b) K04 karışımı c) K05 karışımı d) K06 karışımı e) K07 karışımı.....	73

- Şekil 4.34. 0,3 S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen beton numunelerinin yarmada-
çekme deneyi sonrası kırılma biçimleri; a) 15 cm'lik küp numune b) 15×30
cm'lik silindir numune74
- Şekil 4.35. 0,3 S/Ç oranında hazırlanan %1 çelik lif içeren beton numunelerinin yarmada-
çekme deneyi sonrası kırılma biçimleri; a) 15 cm'lik küp numune b) 15×30
cm'lik silindir numune74
- Şekil 4.36. 0,5 S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen 15×30 cm silindir ve 15 cm'lik küp
numunelerinin tipik kırılma biçimi.....75



ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 2.1. Farklı dayanım sınıfına sahip 15×30 cm boyutlu standart silindir ve 15 cm boyutlu küp beton numunelerin dayanımı arasındaki ilişki.....	26
Çizelge 2.2. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar için karışım miktarları (kg/m ³).....	31
Çizelge 2.3. Normal ve yüksek dayanımlı küp numunelerin basınç dayanımı.....	31
Çizelge 2.4. Normal ve yüksek dayanımlı silindir numunelerin basınç dayanımı.....	32
Çizelge 2.5. Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg/m ³).....	34
Çizelge 2.6. Küp numunelerin deney sonuçları.....	34
Çizelge 2.7. Silindir numunelerin deney sonuçları.....	34
Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi.....	36
Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri.....	37
Çizelge 3.3. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri	38
Çizelge 3.4. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi.....	38
Çizelge 3.5. Su azaltıcı katkıya ait özellikler.....	40
Çizelge 3.6. Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri.....	40
Çizelge 3.7. 1 m ³ beton için teorik karışım miktarları.....	41
Çizelge 3.8. 1m ³ beton için düzeltilmiş karışım miktarları.....	41
Çizelge 4.1. Lif içermeyen beton karışımlarının basınç dayanımı	47
Çizelge 4.2. Lifsiz beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımı.....	48
Çizelge 4.3. Lifli beton karışımlarının basınç dayanımı.....	48
Çizelge 4.4. Lifli beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımı	48
Çizelge 4.5. Farklı S/Ç oranındaki numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanımına oranı (%).....	59
Çizelge 4.6. Farklı S/Ç oranındaki numunelerin 7 günlük yarmada-çekme dayanımının 28 günlük yarmada-çekme dayanımına oranı (%).....	59
Çizelge 4.7. Farklı küp ve silindir numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı.....	66
Çizelge 4.8. Lifli karışımların lifsiz karışımlara göre basınç dayanımı oranı (%)... ..	70
Çizelge 4.9. Lif içeren karışımların lifsiz karışımlara göre yarmada-çekme dayanımı oranı (%).....	70

1. GİRİŞ

Beton günümüzde kullanımı en yaygın olan taşıyıcı sistem malzemesi olarak bilinmektedir. Çimento, su, agrega ve gerektiğinde mineral ve kimyasal katkıların karışımı ile elde edilen beton heterojen bir yapıya sahiptir. Betonun heterojen bir yapıya sahip olması, hidrasyon ve sertleşme aşaması ile yük tesiri durumunda betonun bünyesinde farklı iç gerilmelerin oluşmasına neden olmaktadır. Dış ve iç etkilerden dolayı özellikle betonun en zayıf bölgesi olarak bilinen agrega-çimento hamuru ara yüzeyinde (geçiş bölgesi) önemli gerilmeler oluşur. Oluşan bu gerilmeler, agrega-çimento hamuru yüzeyinde başlayan çatlaklara neden olmaktadır. Bu çatlaklar dıştan gelen gerilmelerin etkisiyle de gelişerek betonun mekanik özellikleri ve gerilme şekil değiştirme davranışını olumsuz yönde etkiler (Zeynal 2008).

Bilindiği gibi betonun mekanik ve durabilite özelliklerini geliştirmek için kimyasal ve mineral katkılar, sünekliliğini artırmak için ise betonda farklı özelliklere sahip lifler kullanılmaktadır. Betonda kullanılan lifler beton içerisine rastgele dağılarak doluluğu artırmakta, farklı aşamada betonda oluşan çatlakları sınırlayarak onların büyümesini engellemekte ve oluşan iç gerilmeleri dağıtmaktadır. Liflerin bu olumlu etkileri, betonun maksimum yük sonrası kırılma davranışını olumlu yönde etkilemektedir. Betonda kullanılan lifler genellikle çelik, polipropilen, karbon, cam ve plastik gibi farklı malzemelerden farklı çap ve boylarda üretilmektedir. Betonda kullanılan liflerin etkinlikleri; lifin geometrik yapısına, tipine, narinlik oranına, çekme dayanımına ve hacmine bağlı olarak değişmektedir (Zeynal 2008).

Standart silindir ve küp numunelerin (15×30 cm, 15 cm) basınç dayanımı, beton kalite kontrolünde kullanılan en yaygın temel bir özelliktir. Bilindiği gibi betonun basınç dayanımı numunenin şekil ve boyutuna göre değişmektedir. Betonun basınç dayanımını belirlemek için kullanılan test numunelerinin boyutu ve şekli ülkeden ülkeye farklılık göstermektedir; yine de, en yaygın kullanılan örnekler silindir ve küplerdir. Silindir numuneler (15×30 cm), ABD, Güney Kore, Fransa, Kanada ve Avustralya'da kullanılırken küp numuneler (15 cm) ise, İngiltere, Almanya ve diğer birçok Avrupa ülkesinde kullanılan standart numunelerdir. Birçok ülkede (ör. Norveç) hem silindir hem de küp numuneler kullanılmaktadır. Şekil ve boyuttaki farklılıklar nedeniyle, aynı beton mikserinden elde edilen silindir ve küp dayanımları birbirinden farklılık

gösterebilir (Yi ve ark. 2006). Genellikle küp numunelerin silindir numunelere göre daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu bilinmektedir (Aslani 2013).

1900'lü yılların başından beri bu alanda birçok çalışma (Aitcin ve ark. 1994, Carrasquillo ve ark. 1981, Chin ve ark. 1997, Date ve Schnormeier 1981, Day ve Haque 1993, Lessard ve ark. 1993, Malhotra 1976, Moreno 1990, Nasser ve Kenyon 1984, Neville 1995, Sleiman ve ark. 2000, Tokyay ve Özdemir 1997) yapılmıştır. Çoğu araştırmacı standart olmayan örneklerden belirlenen betonun basınç dayanımını standart örneklerle dönüştürmek için öneriler geliştirmeye odaklanmıştır. Yapılan birçok çalışmada, silindir ve küp numunelerin dayanımı arasındaki ilişki araştırılmıştır. Genel olarak silindir numunelerin dayanımı küp numunelerin dayanımına çevirebilmek için 1,2'lik katsayı ile çarpılmaktadır. Ancak, bu katsayı beton dayanımı yükseldikçe azalmaktadır. CEB-FIP kodu 1990 (CEB-FIP, 1993), betonun basınç dayanımı yükseldikçe küp dayanımının silindir dayanımına oranının kademeli olarak 1,25'den 1,12'ye düştüğünü göstermektedir. 1,25 ve 1,12 oranları sırasıyla 40 ve 80 MPa'lık silindir basınç dayanımlarına karşılık gelmektedir (Aslani 2013).

Bu çalışmada, numune boyutu ve şeklinin lifli ve lif içermeyen beton karışımlarının dayanımına etkisi incelenmiştir. Çalışmada, lif ve lif içermeyen beş farklı su/çimento oranında toplamda 10 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. Hazırlanan karışımlardan İki farklı şekil ve boyutta küp ve silindir numuneler 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımı testi için deneye tabi tutulmuştur. Küp numunesi olarak 15 ve 10 cm'lik küp örnekler, silindir numunesi olarak 15×30 cm ve 10×20 cm'lik silindir örnekler hazırlanmıştır. Çalışmada, küp ve silindir numunelerin dayanımı arasındaki ilişki ve oran araştırılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER ve KAYNAK ARAŞTIRMASI

İnsanoğlu binlerce yıl önce yapı malzemesi olarak taşı kullanmaya başladığında, iyi bir bağlayıcı malzemeye sahip olmadığından, uygulamada pek başarılı olamamıştır. Eski Grek, ve Roma tapınaklarında belirli ağıklıkları geçmek için tek parça taşlardan oluşan kirişler kullanılmıştır. Ancak taşın çekme dayanımı çok dūřuk olduğundan, geçilen ağıklıklar sınırlı olup ve büyük kesitler gerektiğinden ağır elemanların taşınması ve yerleştirilmesi büyük sorunlar yaratmıştır. İnsanoğlunun bu sınırlı ağıklıkları geçmek arzusu onu yeni yapı sistemlerini aramaya sevk etmiş ve bu isteğin sonucu olarak kireç ve doğal çimento gibi bağlayıcı elemanların bulunması ile daha dayanıklı yapılar inřa edilmeye başlanmıştır (Ersoy 2000).

Daha öncede vurgulandığı gibi, beton agrega, çimento, su ve gerektiğinde kimyasal veya mineral katkılarıyla birlikte karılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir (Ersoy 2000). Betonun diğer yapı elemanlarına göre tercih edilme sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir (Erdoğan 2010).

- a) Beton taze haldeyken plastik özelliği nedeniyle, istenilen şekil ve boyutlarda eleman üretilebilmektedir.
- b) Beton elemanlar yapıdaki yerinde üretilebildiği gibi fabrikada üretilip yapıya sertleşmiş beton elemanları olarak da kullanılabilir.
- c) Sertleşmiş beton yüksek basınç dayanımına sahiptir.
- d) Sertleşmiş beton, çevrede oluşan zararlı etkenlere karşı çoğu yapı elemanlarına göre dayanıklıdır. Bakım işlemleri ve masrafları gerektirmemektedir.
- e) Beton, çelik donatılarla çok iyi aderans gösterebilecek kapasitede bir özelliğe sahiptir.
- f) Beton, diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomiktir.

Betonun yukarıdaki avantajlarının aksine dezavantajı gevrek ve çekme dayanımı çok dūřuk olan bir yapı malzemesidir. Daha öncede söylenildiği gibi, beton karışımlarının mekanik ve bazı durabilite özelliklerini iyileştirmek amacı ile farklı tip ve boyutta lif kullanılmaktadır (Mardani-Aghabaglou 2016).

2.1. Lifi Beton

Betonun gevrek davranışını iyileştirilerek daha sünek bir hale gelebilmesi için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Betonda, rastgele dağılmış liflerin kullanımı, çekme dayanımını, enerji yutma kapasitesini ve çatlak gelişim karakteristiklerini iyileştirmek için kullanılan en etkin yöntemlerden biridir.

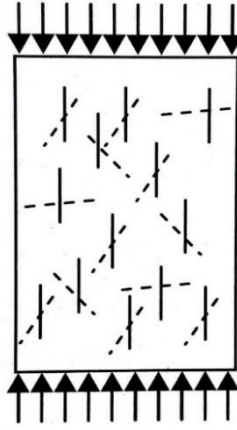
Hidrolik çimento, su, agrega, süreksiz dağılımlı lifler ve gerektiğinde mineral ve kimyasal katkıların kullanımı ile oluşturulan yapı malzemesi “lifli beton” olarak adlandırılır. Belirli özellikleri olan liflerle takviye edilmiş lifli beton ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen, değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir (Baradan 2015).

Bilindiği gibi, çelik lifli beton karışımlarının mekanik özelliklerini etkileyen faktörler;

1. Liflerin: geometrisi, tipi, narinlik oranı, hacmi, dağılımı
2. Matrisin: dayanımı ve maksimum agrega boyutu
3. Numunelerin: şekli, boyut ve hazırlama metodu gibi parametrelerdir.

Beton içinde kullanılan çelik lifler, yüksek çekme dayanımları ve beton matrisi arasındaki aderans nedeni ile yük eksenine dik olan liflerin yanal deformasyonları azaltmaları sonucu betonun basınç yüklemesinde de tokluğunu artırır. Yapılan araştırmalara göre çelik liflerle güçlendirilmiş betonlarda, lifler betonun basınç dayanımını her zaman olumlu yönde etkilememekte, basınç dayanımında %25 seviyelerinde bir artış görülebileceği gibi bazen de bu mertebelerde bir dayanım kaybı ortaya çıkmaktadır (Baradan 2015).

Şekil 2.1’de görüldüğü gibi yükleme düzlemine dik olan lifler betonun basınç dayanımında herhangi bir işlev üstlenmezler. Lifler yükleme düzleminde paralellikleri ölçüsünde basınç dayanımı artmasına duyarlıdır. Nihai yükte belirgin bir artış olmamasına karşın, lifli beton karışımları tek eksenli yükleme altında daha sünek bir davranış gösterebilmektedir. Hatta numune boyunun %10 kadar kısaldığı yüklemde, numune hala yük taşıyabilmekte ve parçalanmamaktadır.



Şekil 2.1. Basınç dayanımını etkileyen lif yönlenmesi

Çelik lifli betonlar genellikle yapısal uygulamada, darbe ya da dinamik yüklemelere karşı direncin artırılmasında, çatlamanın engellenmesinde, malzemenin dağılmasının engellenmesinde kullanılır. En yaygın kullanım alanları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Baradan 2015).

- Endüstriyel yapılar
- Su yapıları ve beton borular
- Püskürtme beton uygulamaları
- Şev stabilitesi ve tünel kaplamaları
- Karayolları ve havaalanı kaplamaları
- İnce kabuk yapılar
- Liman kaplama yapıları
- Depreme dayanıklı yapılar
- Patlamaya karşı dayanıklı yapılar

2.2. Beton Dayanımı

Farklı yapılarda kullanılan beton değişik yönlerden gelen statik ve dinamik yüklemelere maruz kalmaktadır. Beton gelen yükleri karşılamak için direnç göstermektedir. Bu yüklerden dolayı betonda bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Eğer betona gelen yüklerin büyüklüğü, betonun bu yüklerle karşı koyma kapasitesinden daha fazla ise, betonda daha çok şekil değişikliği meydana gelmektedir ve bu şekil değişikliğinden

dolayı beton kırılmaktadır. Betonun üzerine gelen yüklerden dolayı oluşan şekil değişikliği ve kırılmalara karşı göstereceği maksimum dirence beton dayanımı olarak tanımlanmaktadır (Erdoğan 2010).

Genellikle betonun kalitesi onun dayanımı ile ifade edilmektedir. Genel eğilim beton dayanımının artması ile birlikte diğer özelliklerinin de iyi yönde gelişeceği tarafındadır. Fakat bu durum her zaman için geçerli değildir. Örneğin betondaki çimento miktarının artışı beton dayanımını bir dereceye kadar arttırmakla beraber büzülme ve sünmeyi de arttırmaktadır. Bundan dolayı, karışım hesaplarında sadece dayanım parametresini dikkate almak uygun olmayabilir. Sertleşmiş betonun tek önemli özelliği dayanım değildir. Durabilite (dayanıklılık), geçirimsizlik ve hacim sabitliği gibi özellikler de aynı derecede betonda bulunması gereken özelliklerdir (Mindess ve Young 1981).

2.2.1. Beton basınç dayanımı

Eksenel basınç yükü etkisi altındaki betonun, kırılmamak için gösterebileceği en büyük direnme kabiliyetine betonun basınç dayanımı denir. Betonda basınç dayanımının diğer beton dayanımları arasında en önemli ve en çok kullanılan dayanım türü olmasının nedenleri, basınç dayanımının belirlenmesindeki deney yönteminin diğer dayanım türünün belirlenmesindeki deney yöntemine göre basit olması, hemen hemen tüm yapıların tasarımında basınç dayanımı değerlerinin esas alınması, betonun basınç dayanımı ile diğer dayanım türleri arasında yaklaşık da olsa bir korelasyon katsayısının bulunmasıdır. Bu nedenle basınç dayanımı bilindiğinde diğer dayanım türlerinin büyüklüğü hakkında bir fikir elde edilebilmektedir (Erdoğan 2010).

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en büyük olan basınç dayanımıdır. Bu durum dikkate alınarak beton yapılar daha çok basınç gerilmelerine maruz bırakılır. Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok zayıf olmasından dolayı betonarme yapı sistemi ortaya çıkmıştır. Betonarme yapı sisteminde çekme dayanımı donatılar tarafından karşılanmaktadır (Mindess ve Young 1981).

2.2.2. Beton çekme dayanımı

Betonun Çekme dayanımı basınç dayanımından sonraki en önemli özelliktir. Çekme dayanımı beton içinde çekme etkisi oluşturan kuvvetlerin yaratacağı şekil değiştirmelere, kopmaya ve göçmeye karşı betonun göstereceği direnç olarak tanımlanabilir. Genellikle yapıdaki bir beton veya betonarme eleman doğrudan çekme kuvveti etkisi altında bırakılmazlar. Çekme gerilmesi daha çok basınç, kesme ve eğilme gerilmelerin etkisiyle dolaylı yoldan oluşmaktadır. Betonda Çekme gerilmesi dış kuvvetlerin yansira çeşitli nedenlerden dolayı oluşan iç gerilmelerden de oluşabilmektedir (Baradan 2015).

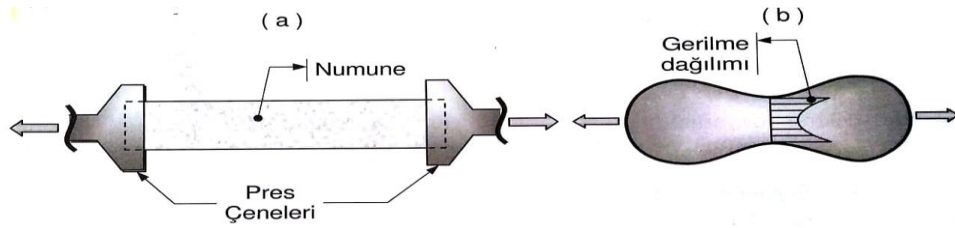
Betonun çekme dayanımının basınç dayanımından daha çok düşük olması, çekme gerilmesi altında çatlakların kolay oluşması ve yayılmasından kaynaklanmaktadır. Yapısal tasarımlarda genellikle betonun çekme dayanımı ihmal edilse de betonun çekme kırılmasına yatkınlığından dolayı aslında oldukça önemli olduğu unutulmamalıdır. Öte yandan, çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasındaki ilişki basit şekilde ele alınamaz. Bu ilişki betonun yaşı, agreganın tipi, sürüklenmiş hava miktarı ve sıkıştırma derecesi gibi parametrelere bağlıdır. Aynı zamanda bu ilişki çekme dayanımının hangi metotla (direkt çekme metodu, yarmada çekme metodu ve eğilmede çekme metodu) tespit olduğuna da bağlıdır (Mindess ve Young 1981).

Bilindiği gibi çekme dayanımı tayininde üç farklı deney yöntemi vardır. Bu yöntemler doğrudan çekme deneyi, eğilme deneyi ve yarmada çekme deneyi olarak bilinmektedir. Söz konusu yöntemler kullanılarak elde edilen çekme dayanımı sonuçları birbirinden farklıdır. Bu nedenle betonun çekme dayanımı verilirken hangi yöntemin kullanıldığı belirtilmelidir.

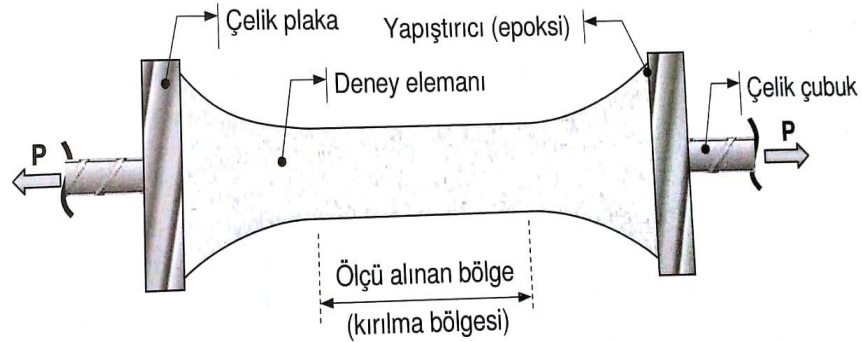
Doğrudan çekme dayanımı

İdeal olarak betonun çekme dayanımı eksenel çekme etkisindeki bir örnekten alınması gerekir. Bu yöntemde, hazırlanan beton örneklerine doğrudan eksenel yük uygulamak suretiyle betonun çekme dayanımı elde edilmektedir. Ancak bu yöntemde saf çekme kuvvetini, kayma ve parazit gerilmeler yaratmadan uygulayabilecek bir deney düzeneği kurmak oldukça zordur. Birçok araştırmacı, beton örneklere doğrudan çekme yüklerini uygulayabilmek için yöntemler bulmaya çalışmışlarsa da yine de standart bir deney yöntemi geliştirememiştir (Baradan 2015).

Doğrudan çekme yüklerinin etkisiyle bulunan çekme dayanımı değerleri, betonun sahip olduğu gerçek çekme dayanımıdır. Ancak, unutmamak gerekir ki, her hangi bir düzlenme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek çok zordur. Bundan dolayı, betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi çok az kullanılmaktadır. Betonun çekme dayanımını elde edebilmek için genellikle, yarmada çekme dayanımı (dolaylı çekme dayanımı) ve eğilme dayanımı (eğilmede çekme dayanımı) yöntemleri kullanılmaktadır (Erdoğan 2010). Şekil 2.2 ve 2.3'te yapılmış bazı çekem düzeneği örnekleri gösterilmektedir.



Şekil 2.2. a) Kırılma çekme düzeneğinin kavradığı kısımda oluşmuştur, **b)** Gerilme yığılmaları nedeni ile iyi sonuçlar alınamamış



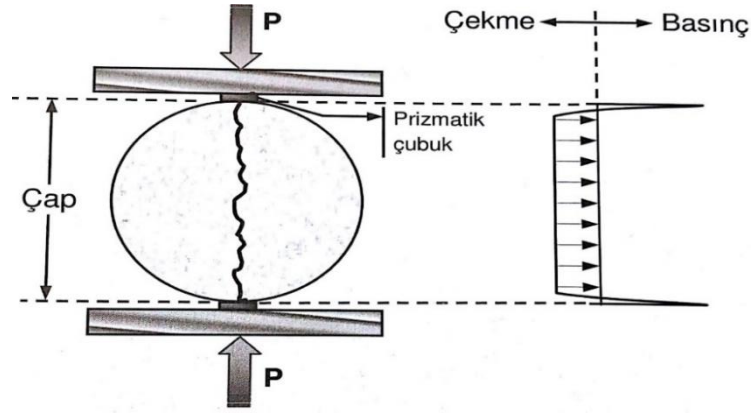
Şekil 2.3. Çelik plaklarla beton örneğinin epoksi ile yapıştırılması

Yarmada çekme dayanımı

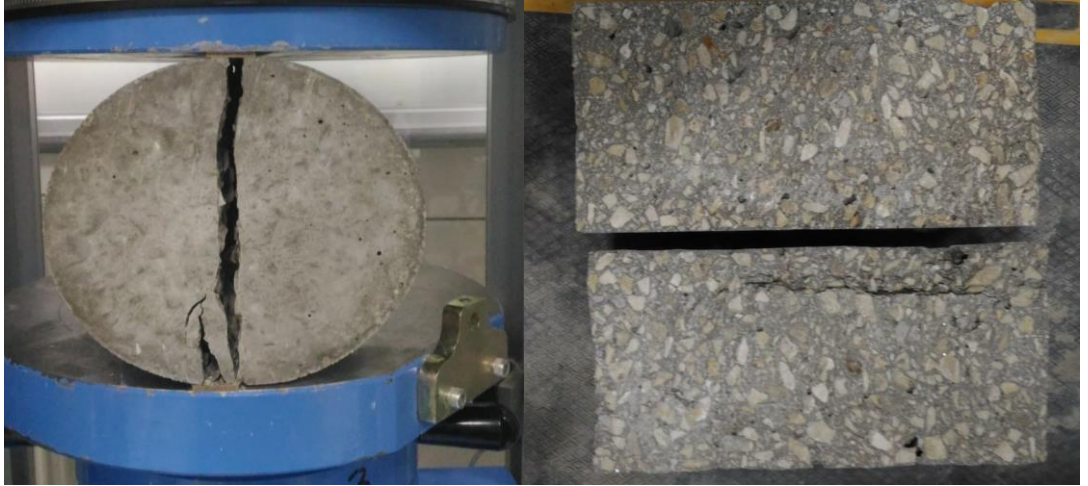
Çekme dayanımının tespiti için çekme yüklerinin dolaylı olarak uygulanması yöntemine “brazilya yarma deneyi” denilmektedir. İlk olarak 1953 yılında, Brezilyalı carnerio ve barcellas tarafından önerilmiştir. Dolaylı çekme dayanımı yönteminin uygulanması

sonucunda beton numune yarılarak iki parçaya ayrıldığı için bu yöntem genellikle yarma deneyi yöntemi adı verilmektedir (Erdoğan 2010).

Bilindiği gibi bu deney, yatay olarak presin tablaları arasında yerleştirilen, silindir beton numunesi altına ve üstüne yerleştirilen plaklara dik yönde basınç yüklemesi uygulanarak gerçekleştirilmektedir. Yükün artırılmasıyla, dolaylı olarak çekme gerilmeleri oluşur ve örnek eksenini boyunca yarılarak kırılır. Şekil 2.4 ve 2.5'te silindir numunenin yarma deneyi ve kırılma biçimi gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Şematik silindir yarmada-çekme deneyi



Şekil 2.5. Silindir yarmada-çekme deneyinde numunenin kırılma biçimi

TS EN 12390-6 “Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 6: deney numunelerinin yarmada-çekme dayanımının tayini” standardında yarma-çekme deneyinde, yoğunluğu 900 kg/m³, genişliği 10 mm, kalınlığı 10 mm ve uzunluğu deney numunesine temas boyundan daha fazla olan sert mukavvadan yapılmış sıkıştırma şeride kullanılması gerektiği açıklanmaktadır. ASTM C 496-04 “Standart test method for splitting tensile strenght of cylindrical concrete specimens” göre kontrplak çıtaların 3,2 mm kalınlığında ve 25 mm eninde olması gerekmektedir (Neville 1997, Baradan 2015).

Yarmada çekme deneyinde silindir numunelerde oluşan çekme gerilmesi Denklem 2.1’den hesaplanmaktadır.

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi \times L \times D} \quad (2.1)$$

Burada; P; silindire uygulanan basınç yükü, L; silindir örneğinin uzunluğu ve D ise silindir örneğinin çapıdır.

Küp ve prizma numunelerde de yarmada çekme deneyi uygulanabilmektedir. Yarmada çekme deneyi İngiliz standardına (BS 1881: Part 117: 1983) “Testing Concrete” küp numuneler kullanılarak da elde edilmektedir. Söz konusu standarda göre, küp numunesinden elde edilen sonuçlar silindir numunelerde yapılan yarma testiyle aynı sonuçlar vermektedir. Küp numunesi kullanılarak beton karışımlarının yarmada çekme dayanımının belirlenmesi Denklem 2.2’ye göre yapılmaktadır (Baradan 2015).

$$\text{Çekme Gerilmesi} = \frac{2P}{\pi a^2} \quad (2.2)$$

Burada; p; uygulanan yük ve a ise küp kenarlarının uzunluğudur.

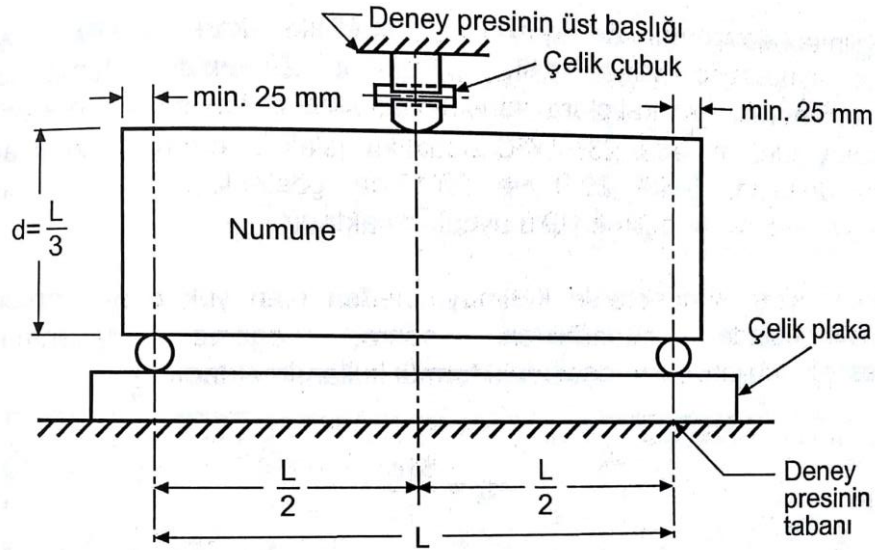
Neville’e (1997) göre, yarmada çekme deneyinden elde edilen sonuçlar, betonun doğrudan çekme yöntemi ile edilen sonuçlara göre %5 ile %12 oranında daha fazla olmaktadır. Mehta’ya (1997) göre, Söz konusu bu oran %10 ile %15 arasındadır. Yarmada çekme ve doğrudan çekme dayanımı arasındaki fark betonun dayanım sınıfı ve en büyük agrega tane boyutuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Buna karşılık

olarak TS500’de silindir yarmada çekme deneyi sonuçların 1,5’e bölünmesinden doğrudan çekme dayanımı elde edilebilmektedir (Baradan 2015).

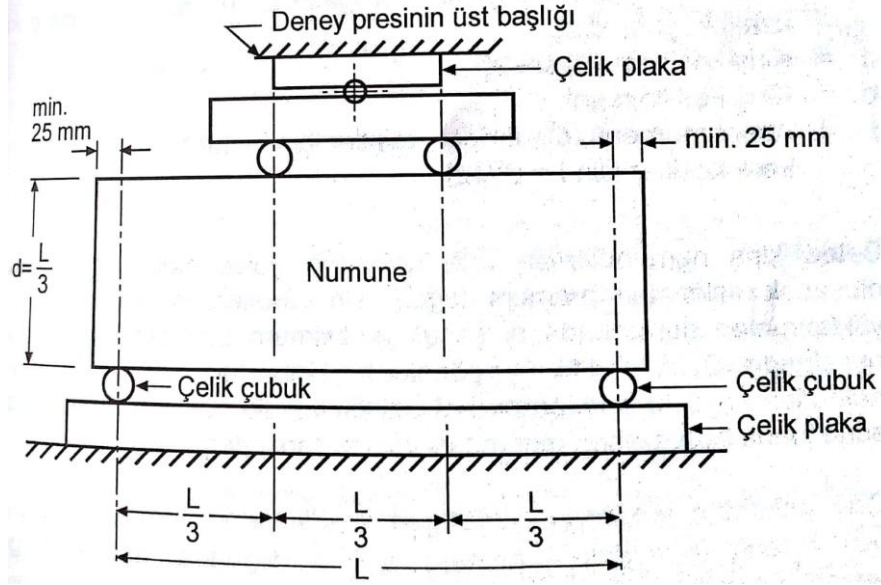
Eğilme (eğilmede çekme) dayanımı

Beton karışımlarının eğilme dayanımını belirlemek için eğilmede çekme dayanımı oldukça yaygın kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemin özünde kirişin kırılma anında alt lifteki çekme gerilmesini ölçmek yatar. Bu deney sabit bir uzama oranında gerçekleştiğinde genellikle yük artış hızı dayanımın yaklaşık %70’ine ulaştığında azalmaya başlar. Bu azalmalar ani ve genellikle görünmez şekilde oluşan mikro çatlaklar nedeniyle oluşur. Bu çatlaklar elemanın göçmesine neden olmaz. Bu nedenle nihai çekme dayanımına eleman kırılmada ulaşılmaktadır. Oysaki basınç deneyinde numunenin kırılmasıyla nihai dayanıma ulaşılması hemen hemen aynı anda oluşur (Çopuroğlu 2001).

Betonun eğilme dayanımının bulunabilmesi için beton kiriş numuneler hazırlanmakta ve Şekil 2.6 ve 2.7’de görülen düzenleme ile eğilme yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır.



Şekil 2.6. Kirişin orta noktasından yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi

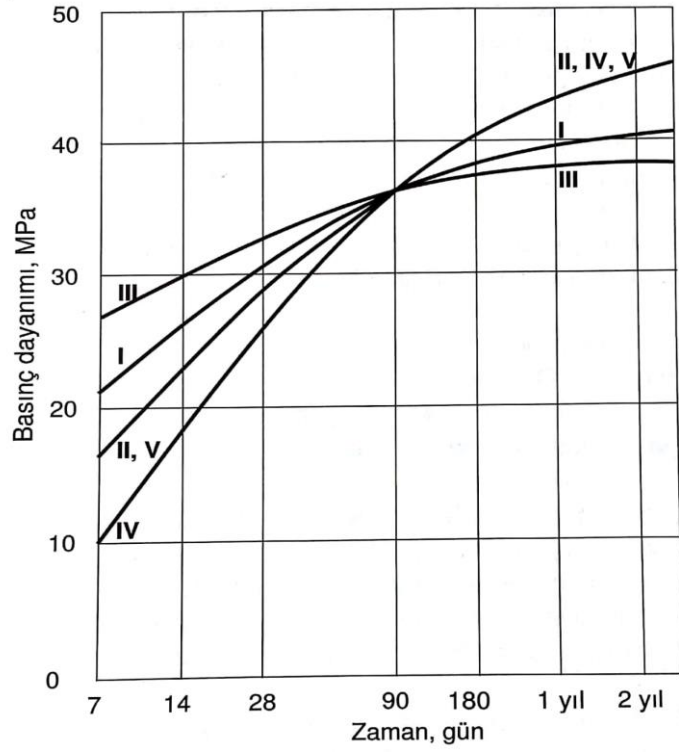


Şekil 2.7. Uzunluğu L kirişin uçlarından $L/3$ uzaktaki mesafelerde yüklenmesi durumunda eğilme deneyi yöntemi

2.3. Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

2.3.1. Çimento

Portland çimentosunun beton dayanımı üzerindeki etkisi çimentonun kimyasal kompozisyonuna ve inceliğine bağlıdır. Bilindiği gibi, çimentolu sistemlerin dayanım gelişimi C_3S ve C_2S tarafından etkilenmektedir. C_3S bileşeni erken yaş dayanımına etkisi C_2S bileşenine kıyasla daha baskın olmaktadır. Yüksek C_3S içeriği ile üretilen betonlar çok daha hızlı dayanım kazanmalarına rağmen, nihai dayanımları kısmen düşük olabilmektedir. Şekil 2.8'de beş tip ASTM portland çimentosu ile elde edilen bağlı dayanımlar gösterilmektedir (Mindess ve Young 1981, Baradan 2015).



Şekil 2.8. Farklı çimentolar kullanılarak üretilen betonların dayanımları

Şekil 2.8'den de anlaşıldığı gibi ilk aya kadar dayanım gelişiminde ciddi farklılıklar olmasına rağmen, geç yaşlarda bu beş çimento tipi arasındaki farklılıklar daha az önem arz etmiştir. Mindess ve Young'a (1981) göre, yavaş hidrate olan çimentolar geç yaşlarda daha yüksek dayanım kazanmaya yatkındır.

Çimento inceliği de beton dayanımını etkileyen en önemli faktörlerden (Mardani-Aghabaglou ve ark. 2017). Bilindiği gibi çimentonun inceliği arttıkça hidratasyon hızı da artmakta ve daha yüksek bir dayanım artış hızı beklenilmektedir. Tipik olarak çimentonun en büyük tane boyu 50 μm civarında olup, %10-15'i 5 μm 'nin altında ve %3'ü 1 μm 'den daha küçüktür. 1 günlük dayanıma en büyük etkiyi 3 μm den küçük çimento taneleri gösterirken, 28 günlük dayanım, 3 ile 30 μm lik taneler tarafından etkilenir. 60 μm den büyük çimento tanelerinin dayanıma olan etkisi çok azdır (Mindess ve Young 1981).

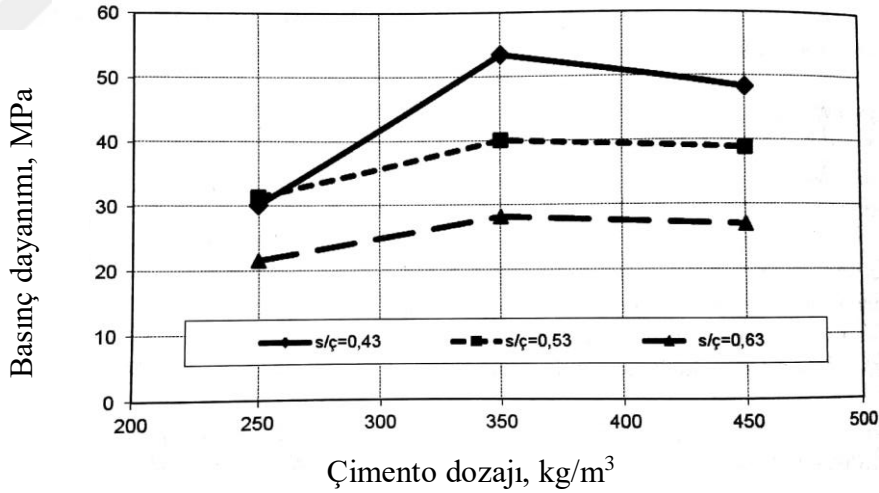
Betonun dayanımına etki eden diğer bir parametre betonda kullanılan çimentonun dozajıdır. Çimento dozajının artmasıyla çimento hamurunun hacmi artar. Böylece beton kesitinde herhangi bir zorlama altında, çimento hamurunda oluşan gerilmeler daha küçük değerlerde kalır. Bu durum betonda daha büyük dayanımlar elde edilmesini sağlar.

Ancak, çimento miktarının fazlaşmasının rötreye neden olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle çimento dozajı belirli bir değeri geçtikten sonra betonda çatlama oluşur ve bu çatlamalardan dolayı betonun dayanımı azalmaktadır. Diğer yandan yüksek çimento dozajlarında iri agrega tanelerinin birbirleri ile olan teması ve yük aktarımı azalacağından beton dayanımı azalabilmektedir. Minimum çimento dozajı, bağlayıcı madde hamurunun agreganın etrafındaki tüm boşlukları doldurmasına yetecek şekilde seçilmelidir. Buna göre agrega en büyük tane boyutu D büyüdükçe, dozajın en az değeri düşmektedir. Minimum çimento dozajı için önerilen değer Denklem 2.3'te gösterilmiştir.

$$C_{min} = \frac{550}{\sqrt[5]{D}} \quad (2.3)$$

Burada; D; agrega en büyük tane çapı (mm) dır.

Yığiter ve arkadaşları (2007), tarafından yapılan bir çalışmanın çimento dozajı ve su/çimento (S/Ç) oranı ile ilgili sonuçları Şekil 2.9'da verilmiştir. Deneysel çalışmada normal portland çimentosu kullanılmıştır.



Şekil 2.9. Çimento dozajının beton basınç dayanımına etkisi

Şekil 2.9 dan da görüldüğü gibi, karışımda kullanılan çimento dozajının belirli bir mertebe kadar artması basınç dayanımlarını artmıştır. Bu artış düşük S/Ç oranına sahip karışımlarda çok daha belirgin olmuştur. Daha sonraki dozaj artışları dayanımları değiştirmemiş veya bir miktar kayıpla sonuçlanmıştır. Diğer yandan, sabit S/Ç oranında çimento dozajının 350 kg/m³'ten 250 kg/m³'e düşmesi basınç dayanımlarını büyük

oranda düşürmektedir. Bu durum; karışımda kullanılan çimentonun agregaların etrafını sarmakta yetersiz kaldığının bir göstergesi olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir (Baradan 2015).

2.3.2. Agregas

Bilindiği gibi su/çimento oranı dayanımı etkileyen en önemli faktör olmasına rağmen, betonda kullanılan agreganın özellikleri de ihmal edilmemesi gereken önemli hususlardan biridir. En önemli agrega parametreleri normal dayanımlı betonlar için agreganın şekli, yüzey yapısı ve en büyük tane çapıdır. Agreganın dayanımı çimento hamurunun çok daha düşük dayanımlı olması nedeniyle beton dayanımı üzerinde etkisi azdır. Ancak hafif agregalar veya yüksek dayanımlı beton durumlarında agreganın dayanımı daha çok önem kazanmaktadır (Baradan 2015).

Doğal olarak oluşmuş çakıl veya yapay olarak kırılmış kayalardan elde edilen agregalar farklı yüzey yapısına sahiptirler. Doğal agrega daha düzgün ve pürüzsüz, kırma taş agregası ise pürüzlü ve köşeli bir yüzeye sahiptir. Yüzey yapısı, hem aderansı hem mikro çatlak oluşumunun başladığı gerilmeyi etkiler. Ancak, betonun basınç dayanımı üzerinde az bir etkisi vardır. Agregas tipi her dayanım sınıfındaki beton için eğilme ve çekme yüklemesinde kırılma davranışında baskın bir etkisi vardır.

Baradan'a (2015) göre, kırma taş agregalar düşük S/Ç oranlarında daha iyi mekanik kenetlenme nedeniyle daha yüksek beton dayanımı sağlar, fakat bu etki S/Ç oranı arttıkça kaybolur.

En büyük agrega çapının (D_{maks}) büyümesi beton dayanımını farklı nedenlerden dolayı etkiler. En büyük agrega çapını arttırmak özgül yüzeyi azaltacağından aderans zayıflar, bu da dayanımın düşmesine neden olur. Basınç yükleri altında daha büyük agrega parçacıkları daha büyük gerilme yığılmalarına yol açar ve basınç dayanımında azalmaya neden olur. Diğer yandan, daha büyük agrega parçaları çimento hamurundaki hacim değişimlerini daha iyi sınırladığından çimento hamurunda betonun dayanımını zayıflatan ek gerilmeler oluşturabilir (Mindess ve Young 1981, Baradan 2015).

İri agrega tipinin betonun basınç dayanımına etkisi karışımın su/çimento oranına bağlıdır. 0.4 su/çimento oranından daha düşük kırma taş agregaları çakıla göre %38 civarında daha yüksek dayanım göstermektedir. Su/çimento oranı arttıkça, hidrate çimento hamurunun dayanımı daha önemli hale geldiğinden agreganın dayanıma etkisi daha az olduğu düşünülmektedir. Kırma taş veya çakıl kullanımı 0.65 su/çimento oranlarında beton karışımının dayanımına fark yaratmamıştır (Baradan 2015).

2.3.3. Su

Beton karışımlarında kullanılan suyun iki önemli görevi bulunmaktadır.

1. Kullanılan su beton karışımlarında hidrasyonunu gerçekleştirmesini sağlar.
2. Su beton karışımlarında çimento ve agrega tanelerinin yüzeyini ıslatarak üretilen taze betonun istenilen işlenebilirliğe sahip olmasını sağlar (Erdoğan 2010).

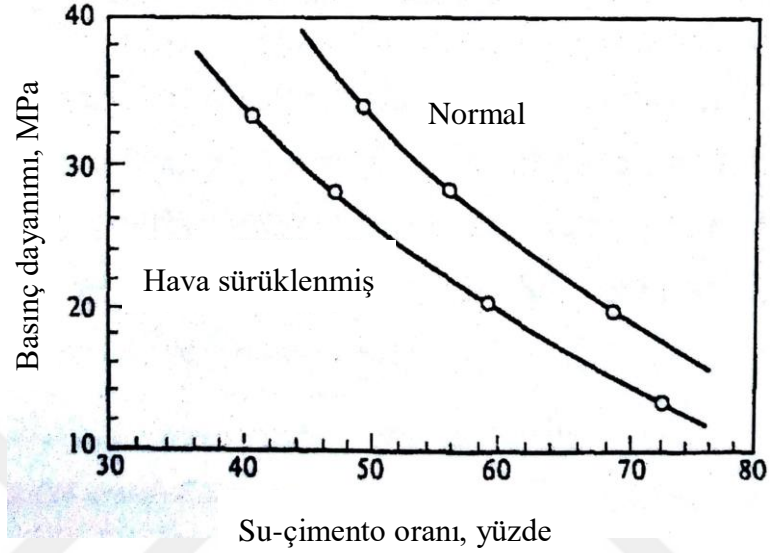
Beton içerisinde kullanılan karışım suyunun kalitesi ve miktarı betonun özelliklerini önemli ölçüde etkilemektedir. Beton karışımında kullanılacak suyun içerisinde bulunabilecek yabancı maddelerin miktarları, betonun priz süresine, dayanımına, dayanıklılığına ve betonarme yapılarıdaki donatının korozyona olumsuz etki yapabilecek kadar fazla olmamalıdır.

Beton karışımlarında hidrasyon olayının gerçekleşmesi için beton içindeki suyun buharlaşmasını engellemek için taze betona ilk bir-iki hafta süreyle çeşitli kür yöntemleri uygulanmaktadır. Bu yöntemler arasında en çok kullanılan yöntem betonun yüzeyini sulamak veya ıslak bezlerle örtmektir. Kür için kullanılan su kalitesinin beton karışımında kullanılan suyun kalitesi kadar önemli olmasa da, betonda zararlı kimyasal olaylara yol açacak yabancı maddeler bulunmamalıdır (Erdoğan 2010).

2.3.4. Su / çimento oranı

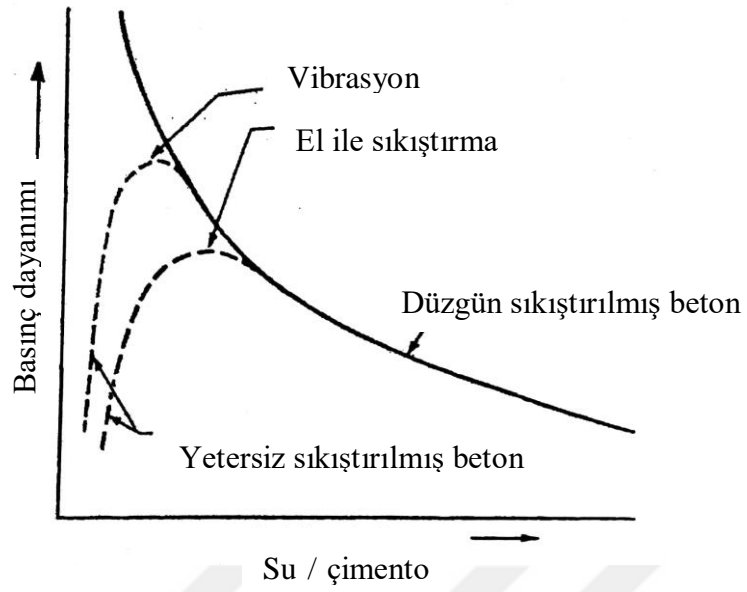
Betonun dayanımı, en çok kapiler porozite ya da jel/boşluk oranına bağlı olsa da, bunları tespit ve tahmin etmek kolay değildir. Bundan dolayı beton karışım dizaynında kullanılmalrı uygun olmaz. Düzgün sıkıştırılmış belirli bir hidrasyon derecesine sahip betonunun kapiler boşluk oranı S/Ç ile belirlenebilir. Bu sebepten dolayı su/çimento oranı ayarlanarak herhangi bir yaşta düzgün sıkıştırılmış betonun dayanımı tahmin edilebilmektedir. Şekil 2.10'da gösterilen beton basınç dayanımı ile S/Ç oranı arasındaki ilişki 1918 yılında Duff Abrams tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonucunda ortaya

konmuştur (Cordon 1979). Abrams'ın önerdiği S/Ç kanunu hidrasyon derecesi, hava miktarı, agreganın etkisi gibi faktörleri dikkate almadığından tam anlamıyla bir kanun sayılmaz. Ancak, normal su/çimento oranlarında pratik açıdan tatmin edici sonuçlar vermektedir (Mindess ve Young 1981).



Şekil 2.10. Tipik s/ç -basınç dayanımı eğrisi (Cordon 1979)

Su/çimento oranı kuralı kısıtlanmasına örnek olarak şekil 2.11 gösterilebilir (Mindess ve Young, 1981). Beton düzgün sıkıştırılmadığında içinde büyük boşluklar kalacak, bu da betonun porozitesinin artmasına neden olacaktır.



Şekil 2.11. Sıkıştırma yönteminin beton basınç dayanımını- s/ç oranı ilişkisine etkisi (Mindess ve Young, 1981).

Görüldüğü gibi düşük su/çimento oranlarında sıkıştırmanın zor olduğu için Abrams kuralından vazgeçmek daha uygun olacaktır. Sıkışmayı etkileyen en önemli konu uygulanan metottur. Bu bağlamda normal çimentolarla gelişmiş sıkıştırma yöntemleri ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak yüksek dayanımlı beton üretimi sağlanabilmektedir. Eğer beton karışımları tam anlamıyla sıkıştırılabilirse Abrams kuralı düşük su/çimento oranları için de geçerli olacaktır (Mindess ve Young 1981).

Su/çimento oranından bağımsız olarak betonun dayanımı, çimentonun hidratasyon derecesine, betondaki hava miktarına, sıcaklığa, ortamdaki neme ve net su/çimento oranındaki değişim ile kanamadan kaynaklanan boşluklara bağlıdır. Karışımın, çimento içeriği ve agrega-çimento hamuru geçiş bölgesi de aynı şekilde dayanım üzerinde etkilidir (Neville 1997).

2.3.5. Jel / boşluk oranı

Daha önce de vurgulandığı gibi, su/çimento oranının dayanıma etkisi tam anlamıyla bir kural sayılmaz. Bundan dolayı beton dayanımını, mevcut hacimde oluşacak hidratasyon ürünleri hacmi yani jel/boşluk oranı ile ilişkilendirmek daha doğru bir yaklaşım olacaktır. Bu oran hidrate olmuş çimento hamuru hacminin, hidrate çimento hamuru ve kapiler boşluğun oluşturduğu hacme olan orandır. 1 ml çimentonun hidratasyonu sonucunda

yaklaşık 2.06 ml hacim kapladığı bilindiğine göre Denklem 2.4 eşitliği yazılabilir. Şekil 2.12’de harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı ilişkisi gösterilmektedir (Neville, 1997).

$$x = \frac{0.68a}{0.32a+(s/\zeta)} \quad (2.4)$$

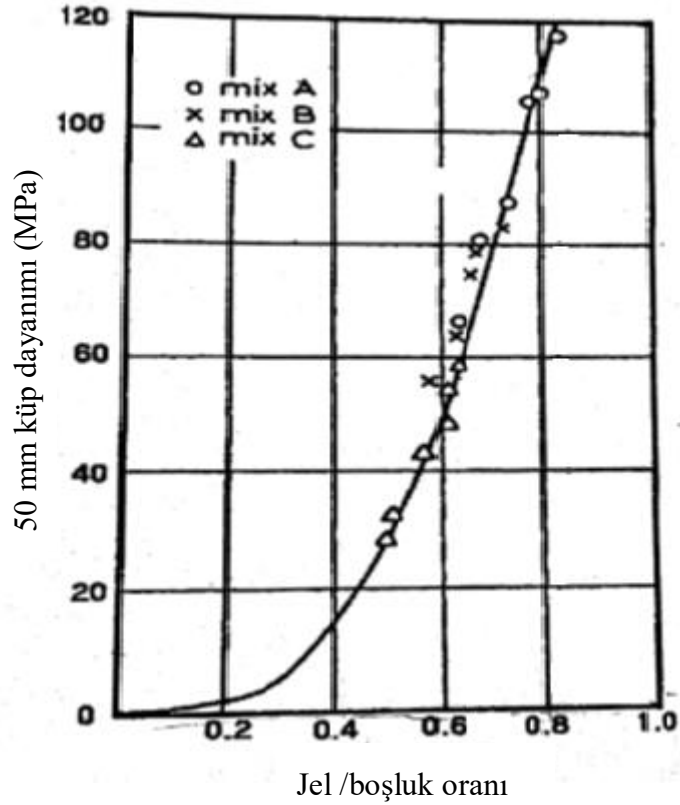
Burada; X; jel/boşluk oranı, a; çimentonun hidrate olan yüzdesi ve S/Ç; su/çimento oranı (Ağırlıkça) dır.

Bu durum hava içeren karışımlarda su/çimento (S/Ç) oranı, (S+A)/Ç olarak değiştirilmelidir. Burda A hava içeriğini göstermektedir. Şekil 2.13’de harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı+hava ilişkisi gösterilmektedir.

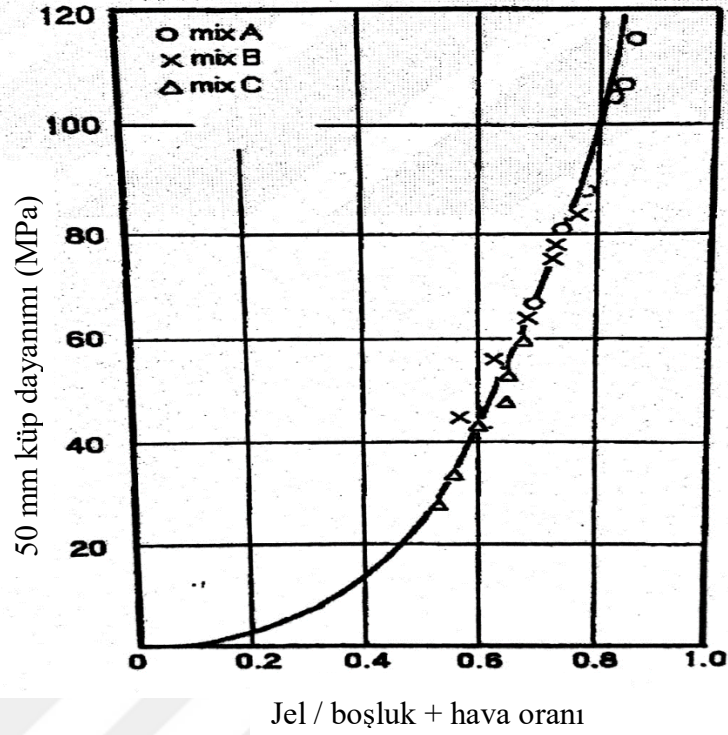
Yapılan araştırmalara göre Neville (1997) betonun basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı ilişkisi Denklem 2.5’te gösterildiği gibi ifade edilebilir.

$$\sigma = AX^2 \quad (2.5)$$

Burada; σ ; Betonun basınç dayanımı, A; Betonun hava içeriği; X; Jel/boşluk oranı dır.



Şekil 2.12. Harç basınç dayanımı ile jel boşluk oranı ilişkisi (Neville 1995)



Şekil 2.13. Harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı+hava oranı ilişkisi

2.3.6. Katkılar

Bilindiği gibi, farklı kimyasal katkıların beton karışımlarının dayanımı üzerindeki etkisi farklıdır. Örneğin hava sürükleyici katkıların dayanımı düşürürken, su azaltıcı katkıların su/çimento oranının düşürülmesiyle dayanımı yükseltmektedir. Priz hızlandırıcı katkıların betonun erken yaş dayanımını artırırken, priz geciktirici katkıların betonun dayanım kazanma başlangıcını erteler (Cordon 1979). Kimyasal katkıların içerisinde su azaltıcı, hava sürükleyici ve priz ayarlayıcı katkıların beton karışımlarının üretiminde en çok kullanılan katkı tipi olduğu bilinmektedir. Burada söz konusu katkıların dayanım üzerindeki etkisi açıklanmıştır.

Su azaltıcı katkılar

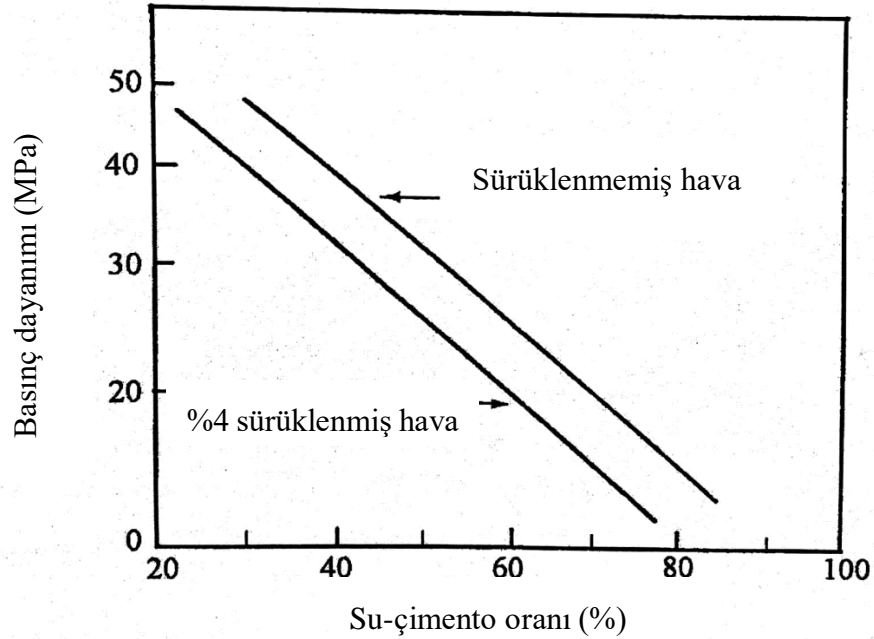
Su azaltıcı katkılar, dayanım ve kaliteden taviz vermeden istenilen işlenebilme ve çökme değerini elde edilmeye yarayan katkılardır. Bir diğer özelliği de beton karışımlarının işlenebilmesini değiştirmeden su/çimento oranını düşürebilmesidir. Bu da yüksek dayanımlı betonların elde edilmesini sağlamaktadır (Erdoğan 2010).

Hava sürükleyici katkılar

Hava sürükleyici kimyasal katkılar beton üretimi esnasında taze betondaki çimento hamurunun içerisinde küçük boyutlu (0,05 – 1,25 mm) ve kalıcı hava kabarcıklarının oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir (Erdoğan 2010).

Çimento hamurundaki boşluklar gerilmelere karşı dayanımı düşürmektedir. Ramachandran'a (1995) göre, dayanım kaybı bir yandan katı kesit alanının azalmasından, diğer yandan hava boşluklarının harç yapısında, gerilme yığılmasına neden olmasından kaynaklanmaktadır (Erdoğan 2010).

Sürüklenmiş havanın beton dayanımı üzerinde etkisi Şekil 2.14'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi su/çimento oranının aynı olduğu karışımlarda sürüklenen her yüzde bir hava, dayanımı %5 oranında düşürmektedir (Cordon 1979).



Şekil 2.14. Sürüklenmiş havanın beton dayanımına etkisi (Cordon 1979)

Priz hızlandırıcı ve priz geciktirici katkıları

Priz hızlandırıcı katkı maddeleri kullandıkları betondaki katılaşmanın, katkısız betondakilere kıyasla, daha hızlı oluşmasını sağlayan katkı maddeleridir. Priz hızlandırıcı katkıların en büyük avantajı hidrasyonu hızlandırması ve soğuk havalarda beton prizini sağlamaktır. Diğer yandan betonu soğuk havaya karşı koruma işlemi süresinde de azaltmaya gitmek önemli ekonomik faydalar sağlar. Bu katkıları öngörülen betonlarda ve donatı paslanmasının kritik olacağı beton elemanlarının üretiminde kullanılmaktadır. Priz geciktirici katkıları beton karışımlarının özellikle sıcak havalarda plastik durumunu korumak ve ardışık katmanları arasında soğuk derzleri önlemek için kullanılmaktadır (Erdoğan 2010).

Mineral katkıları

Bilindiği gibi beton üretiminde mineral katkı maddesi olarak kullanılan birçok malzeme türü mevcuttur. Bu malzemeleri aşağıda verilen üç grupta toplamak mümkündür.

1. Doğal malzemeler
 2. Endüstri yan ürünü olarak elde edilen malzemeler (uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın curufu)
 3. Isıl işleme maruz bırakılmış olan malzemeler (pişirilmiş kil, pişirilmiş şeyl)
- (Erdoğan, 2010)

Mineral katkıları beton karışımındaki kireç ve çözünen alkalilerle birleşerek bağlayıcı bir madde oluşturur. Çimentonun belli bir miktarı yerine uygun bir mineral katkı kullanıldığında, betonun erken yaşlardaki dayanımı azalır, fakat puzolanik reaksiyonların başlamasıyla birlikte geç yaşlardaki dayanımında büyük artışlar oluşabilir (Cordon 1979).

Mineral katkıları çimentonun bir kısmı yerinde kullanıldığında betonun dayanımını artırmaktadır. Yüksek dayanımlı betonların üretiminde mineral katkıların rolü çok daha belirgindir. Mineral katkının özellikle geçiş bölgesinde kalsiyum hidroksit ile birleşerek C-S-H oluşturması (puzolanik reaksiyon), bu bölgenin porozitesini azaltabilmektedir (Mindess ve Young 1981, Neville 1997).

2.3.7. Betonun karılması, taşınması, yerleştirilmesi ve sıkıştırılması

Beton üretiminde uygun malzemelerin uygun oranlarda bir araya getirilerek karılmaları işlemindeki süre gerekenden ne çok kısa nede çok uzun olmalıdır. Karılma süresi çok kısa tutulduğu takdirde, malzemeler üniform bir şekilde dağılmamaktadır. Diğer yandan karılma süresi çok uzun tutulursa, hem beton karışımının sıcaklığı yükselir, hem de iri agregaların kırılma ve ufalanmalarına yol açar.

Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri betonda ayrışmaya neden olmayacak ve betonun üniformitesini bozmayacak şekilde yapılmalıdır. Aksi takdirde, beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler gösterir. Bu durum da beton dayanımını olumsuz yönde etkiler.

Yerleştirilen taze betonun içerisinde çok büyük boşluklar bulunmaktadır. Bu boşlukların ortadan kaldırılması için taze betona uygun şekilde sıkıştırma (vibrasyon gibi) yöntemleri uygulanmaktadır. Betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesinin beton dayanımı üzerinde çok büyük etkisi olmaktadır (Erdoğan 2010).

2.3.8. Kür koşulları

Taze betonun üretildiği ve yerleştirildiği andaki sıcaklık, yerleştirildiği andan itibaren betonun karşılaştığı nem ve sıcaklık ortamı ve betonun uygun nem ve sıcaklık ortamında ne kadar sürede tutulduğu, çimentodaki hidrasyonun ne hızda ve ne ölçüde yer alabilmiş olduğu, dolayısı ile betonun kazanacağı dayanımın hızını ve miktarını etkilemektedir.

2.3.9. Yükleme hızı

Beton zamana bağlı şekil değişimi gösteren bir yapı malzeme olduğundan, yükleme hızının dayanım üzerindeki etkisi önemlidir. Yapılan araştırmalar, yavaş yüklenen örneklerin dayanımları, hızlı yüklenen örneklere kıyasla daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Bundan dolayı yükleme hızında bir standartlaşmaya gidilmesi gerekmektedir. Türk standardında bu hız yaklaşık olarak saniyede 1,5-3,5 kgf/cm² olarak verilmektedir. Yükleme hızının artışı betonun hem çekme hem de basınç dayanımının artmasına neden olmaktadır.

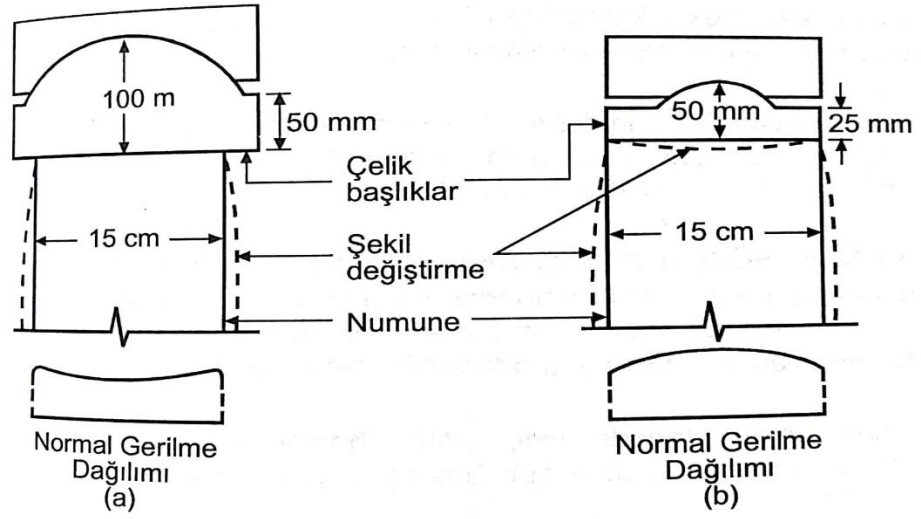
2.3.10. Numune şekli ve boyutu

Bilindiği gibi beton kalite kontrolünde kullanılan en yaygın numuneler 15 cm'lik küp ve 15×30 cm'lik silindir yüksekliğe sahip numuneler kullanılmaktadır. Ancak, bazı durumlarda binalardan alınan karotlar gibi beton numuneleri farklı boyut ve biçime sahip olabilmektedir. Örnek şeklinin ve boyutunun betonun basınç dayanımına önemli etkisi bulunmaktadır.

Numune boyutunun dayanıma etkisi, numunelerin boyutu büyüdükçe örneklerde çatlak ve kusurların daha fazla olma olasılığı şeklinde karşımıza çıkmaktadır. Numune şeklinin beton dayanımına etkisi ise narin örneklerin yanal şekil değiştirmesinin daha kolay olması sonucudur. Basınç deneyinde, beton kuvvet yönünde gelişen düşey çatlakların açılması sonucu kırılmaktadır. Pres tablası ile örnek arasındaki sürtünme yanal genişlemeyi engellemektedir. Basık örneklerde bu engelleme daha çok olduğundan dayanım daha yüksek çıkar (Baradan 2015).

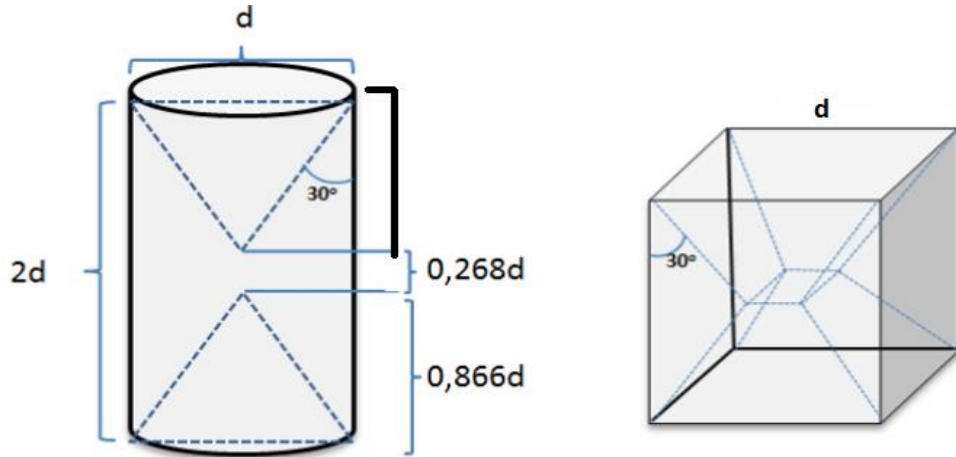
Aynı beton karışımından alınan aynı yaşta denenen yükseklik/çap (h/d) oranı farklı olan numunelerin basınç dayanımları farklı olabilmektedir. Basınç dayanımı, h/d oranı 2 den büyük olan numunelerde h/d oranı 2 olan numunelere göre daha düşük olduğu görülmektedir. Yine h/d oranı 2 den küçük olan numuneler, h/d oranı 2 olana numunelere göre daha büyük basınç dayanımı gösterilmektedir. Bunun nedeni aşağıdaki gibi açıklanabilir (Erdoğan 2010).

Presin plakları arasında yerleştirilen silindir numunelerde, hem boyuna hem de enine deformasyonlar oluşmaktadır. Yükün yüklendiği çelik plaklarda da bir miktar yanal deformasyon oluşmaktadır. Çeliğin elastisite modülü beton göre 10 kat, poisson oranı ise 1,5 kat daha fazladır. Bundan dolayı belirli bir yük altında çelikte plakta oluşan yanal deformasyon betona göre daha az olacaktır. Farklı olan bu yanal deformasyondan dolayı çelik plak ve beton numunesi yüzeyi arasında sürtünme kuvveti oluşacaktır. Bu sürtünme kuvveti beton içerisinde kayma gerilmesi oluşmasına neden olacaktır. Bundan dolayı numunenin uç kısımlarında gerilme dağılımı üniform olmamaktadır. Şekil 2.15'te beton numunesinin deformasyonu ve gerilme dağılımı gösterilmektedir. Bu duruma uç etkisi adı verilmektedir (Erdoğan 2010).



Şekil 2.15. Beton numunenin ucuna yakın bölgesindeki gerilme dağılımı **a)** Sert çelik başlık ile **b)** Yumuşak çelik başlık ile (Erdoğan 2010)

Deney presi tablaların yüzeyi ile beton numunesi yüzeyi arasındaki sürtünme kuvvetinden kaynaklanan kayma gerilmesi etkisi numune yüzeyinden ortalara doğru uzaklaştıkça daha az olmaktadır. Şekil 2.16'da görüldüğü gibi beton numunesinin yanal boyutu d ile gösterilecek olursa numunenin alt ve üst uçlarından $0.86d$ uzaklıktaki numune kesitinde kayma gerilmesi etkisi kalkmakta ve gerilme dağılımı üniform olmaktadır(Erdoğan 2010).



Şekil 2.16. Silindir ve Küp Numunenin Basınç Dayanımı Etki Alanı

Newman (1964) tarafından yapılan çalışmada farklı dayanım sınıflarına sahip betonlarından üretilen 150×30 cm'lik silindir ve 15 cm'lik küp numunelerinin arasındaki ilişki Çizelge 2.1'de gösterilmiştir (Erdoğan 2010).

Çizelge 2.1. Farklı dayanım sınıfına sahip 15x30 cm boyutlu standart silindir ve 15 cm boyutlu küp beton numunelerin dayanımı arasındaki ilişki (Erdoğan 2010)

Silindir dayanımı (MPa)	Küp dayanımı (MPa)	σ_s / σ_k
6,9	9,0	0,77
11,7	15,2	0,77
15,2	20,0	0,76
20,0	24,8	0,81
24,1	27,6	0,87
31,7	35,8	0,89
34,5	36,5	0,94
40,7	44,1	0,92
50,3	52,4	0,96

Çizelge 2.1’de görüldüğü gibi, küp ve silindir numunelerin basınç dayanımı arasındaki fark, betonun dayanımı arttıkça azalmıştır. Küp numunelerin basınç dayanımı silindir numunelerin basınç dayanımına göre yüksek olması aşağıdaki nedenlere bağlıdır.

- a) Narinlik oranı 2 olan silindir numunelerin alt ve üst uçlarına yakın kısımları kayma kuvveti etkisinde bulunurken, numune ortalarına doğru kayma kuvvetinin etkisi ortadan kaybolmaktadır. Küp numunelerde ise h/d oranı 1 dir. Bundan dolayı kayma etkisinden kurtulamamaktadır (Erdoğan 2010).
- b) Basınç deneyi belirlenirken kırılma işlemi silindir numunenin yerleştirildiği eksende yapılmaktadır. Ancak, küp numunelerde betonun yerleştirildiği eksene 90 derece dik bir eksende kırılma işlemi gerçekleştirilmektedir.

2.4. Kaynak Özetleri

Bu bölümde konu ile ilgili daha önce gerçekleştirilen çalışmaların sonuçları özetlenmiştir. Benzer bir çalışmada numune şekli ve boyutunun yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımına etkisi Tokyay ve Özdemir (1997) tarafından incelenmiştir. Araştırmada çapı 15 cm, narinlik oranı 0,67-2 arasında ve çapı 75-200 arasında, narinlik oranı 2 olan iki farklı boyutlarda silindir ve ebatları 75-200 mm arasında olan 4 farklı küp numune kullanılmıştır. Beton karışımlarında ince agrega, iri agrega, yüksek oranda su azaltıcı katkı, %10 volkanik tuf ve silis dumanı kullanılmıştır. Deneyler 40, 60 ve 75 MPa basınç dayanıma sahip beton numunelerde uygulanmıştır. Sonuçta, çeper etkisinden dolayı 75 mm ile 10 cm küp ve 75 mm çapında silindir numunelerde basınç dayanımı büyük numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Ayrıca, silindir numunelerin narinlik oranının basınç dayanımına etkisinin beton dayanım sınıfı arttıkça ihmal edilebilir olduğu yazarlar tarafından bildirilmiştir.

Del Viso ve ark. (2007), yaptıkları bir çalışmada farklı boyutlarda silindir ve küp numunelerin şekil ve boyutunun yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu araştırmada 75×15 cm ve 10×20 cm silindir numuneler ve 4 farklı boyutta küp numuneler (33 mm, 50 mm, 67 mm ve 10 cm) kullanılmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı (0,28) sabit tutularak basınç dayanımı 100 MPa olan betonlar elde edilmiştir. Karışımlarda tane boyutu maksimum 12 mm olan andezit agrega, ASTM Tip I çimentosu, mikro silis ve yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Sonuç olarak küçük olan numunelerin yüksek basınç dayanımına sahip olduğu görülmüştür. Boyut etkisinin silindir numunelerde küp numunelere kıyasla daha az olduğu bildirilmiştir.

Tae Yi ve ark. (2006), tarafından yapılan bir çalışmada beton numunelerinin şekli, boyutu ve döküm yönünün basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışmada 28 günlük basınç dayanımı 20 MPa, 40 MPa, 60 MPa ve 80 MPa olan 4 farklı karışım hazırlanmıştır. Deneyler küp, silindir ve prizma numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bu amaçla 4'ler adet 200×400 mm, 15×30 cm, 10×20 cm, 50×10 cm silindir, 200 mm, 15 cm, 10 cm, 50 mm boyutunda küp ve 200×200×400 mm, 150×15×30 cm, 100×10×20 cm, 50×50×10 cm boyutlarında prizmatik numuneler hazırlanmıştır. Numunelerin kalıba yerleştirilmesi döküm yönüne dik ve paralel olarak iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir.

Hazırlanan karışımlarda ASTM Tip I çimentosu, maksimum tane boyutu 13 mm olan kırma kireçtaşı agregası ve su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Sonuç olarak boyut etkisi küp ve prizma numunelerde silindir numunelere göre daha fazla olduğu görülmüştür. Basınç deneyi döküm yönüne paralel uygulandığında basınç dayanımının daha az olduğu açıklanmıştır. Bu durumun yüksek dayanımlı betonlarda daha belirgin olduğu tespit edilmiştir. Betonun basınç dayanımı arttığında silindir ve küp numuneler arasındaki dayanım farkında azalma olduğu görülmüştür. Normal dayanımlı betonlarda küp numunelerin yerleştirme yönünün basınç dayanımına kayda değer bir etkisi olmadığı bildirilmiştir. Ancak, bu olayın yüksek dayanımlı betonlarda daha etkili olduğu vurgulanmıştır. Normal dayanımlı prizma şeklindeki beton numunelerde yüklemenin döküm yönüne paralel uygulanması yüklemenin döküm yönüne dik uygulamasına göre daha düşük dayanım verdiği tespit edilmiştir. Betonun dayanım sınıfı arttıkça boyut etkisi azalmıştır.

Yazıcı ve İnan Sezer (2006), yaptıkları çalışmada farklı su/çimento oranında numune boyutunun basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada 8 farklı su/çimento oranına (0,77, 0,71, 0,62, 0,55, 0,50, 0,47, 0,42, 0,37) sahip olan beton karışımları üretilmiştir. Çalışmada, CEM1 42.5R tipi çimentosu ve kırma taşı agregası kullanılmıştır. Deneyler 10×20 cm ve 15×30 cm silindir numuneler üzerinde uygulanmıştır. Silindir numunelerde kükürt harcı, alçı hamuru ve çimento hamuru kullanılarak üç farklı başlık yapılmıştır. Çalışmanın sonucunda beton basınç dayanımı arttıkça 15×30 cm ve 10×20 cm numunelerin basınç dayanımları arasındaki farkın azaldığı görülmüştür. En düşük basınç dayanımı kükürtle başlık yapılmış olan numunelerde, en yüksek dayanım ise çimento ile başlık yapılan numunelerde olduğu saptanmıştır.

Sim ve ark. (2013), tarafından yürütülen çalışmada numune boyutu ve şeklinin farklı basınç dayanıma sahip olan hafif betonlarda etkisi incelemiştir. Bu amaçla 0,30, 0,35, 0,40, 0,43, 0,47 ve 0,55 S/Ç oranına sahip altı farklı beton karışımı tasarlanmıştır. Üretilen karışımlardan 15×30 cm, 10×20 cm ve 50×10 cm boyutuna sahip üç farklı silindir numune ve 400 mm, 350 mm, 300 mm, 200 mm, 15 cm, 10 cm ve 50 mm boyutuna sahip yedi farklı küp numuneler hazırlanmıştır. Sonuçlara göre, numune boyutu etkisinin hafif betonlarda normal betonlara göre daha yüksek olduğu anlaşılmıştır. Bu etkinin narinlik oranı 2 olan numunelerde 1 olanlara kıyasla daha belirgin olduğu bildirilmiştir. Normal

betonlarda numune boyutunun büyümesiyle dayanım farkında azalma görüldüğü açıklanmıştır.

Khaloo ve ark. (2009), yaptıkları çalışmada baraj betonlarında numunenin ve agregata tane boyutunun basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada 3 farklı silindirik numune (300×450 mm, 250×500 mm ve 15×30 cm) kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlarda üç farklı maksimum agregata tane boyutu (15 cm, 75 mm ve 37,5 mm) kullanılarak 20 MPa ile 58 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonlar üretilmiştir. Numunelerin 7 ve 90 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Sonuç olarak numune boyutu arttıkça basınç dayanımının azaldığı görülmüştür. Deney sonuçlarının 7 günlük basınç dayanımında farklı numuneler arasında düzensizlik gösterdiği açıklanmıştır. Kütle betonlarında maksimum agregata tane boyutunun basınç dayanımına etkisi ihmal edilebilir seviyede olduğu açıklanmıştır.

Dehestani ve ark. (2014), yaptıkları çalışmada kendiliğinden yerleşen betonlarda (KYB) numune şekli ve boyutunun basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Çalışmada silindirik ve küp numuneler kullanılmıştır. On dört farklı boyutta silindirik numuneler (50×25 mm, 50×50 mm, 50×75 mm, 50×100 mm, 75×37,5 mm, 75×75 mm, 75×112,5 mm, 75×150 mm, 100×50 mm, 100×100 mm, 100×150 mm, 100×200 mm, 125×250 mm ve 150×300 mm) ve 5 farklı boyutta ise küp numuneler (50, 75, 100, 125 ve 150 mm) hazırlanarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmada üç farklı KYB karışımı hazırlanmıştır. Narinlik oranından bağımsız olarak, numune boyutu arttıkça dayanımın azaldığı ve bu azalmanın narinlik oranı düşük olan numunelerde daha belirgin olduğu görülmüştür. Narinlik oranının azalmasıyla silindirik numunelerin dayanım oranında azalmalar gözlemlenmiştir. Bu sonuçlara göre numune boyutunun küçük narinlik oranına sahip numunelerde daha belirgin olduğu görülmüştür. Sabit narinlik oranında dayanım oranındaki azalma en çok karışım oranlarına, özellikle karışımın su/çimento oranına bağlı olduğu belirtilmiştir. Numune boyutunun düşük dayanımlı betonlarda daha da belirgin olduğu açıklanmıştır. Yüksek narinlik (h/d) oranlarında numune boyutunun etkisi su/çimento oranından bağımsız hale geldiği tespit edilmiştir. Narinlik oranı bir olan numunelerde, küp numunelerin silindirik numunelere göre daha yüksek dayanım gösterdiği açıklanmıştır.

Mansur ve ark. (2002), yaptıkları çalışmada standart olmayan numunelerden elde edilen basınç dayanımı sonuçlarını yorumlamıştır. Çalışmada 2 farklı boyutta küp (100 mm ve 150 mm) ve üç farklı boyutta silindir (100×100 mm, 100×200 mm ve 150×300 mm) numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Çalışmada on bir farklı beton karışımlarından 20 MPa ile 100 MPa arasında farklı basınç dayanımına sahip 210 numune deneye tabi tutulmuştur. Sonuçlara göre, betonun dayanım sınıfı arttıkça standart küp numune dayanımının diğer numunelerin dayanımına oranı azalmıştır. Ayrıca, bu oranın, numunelerin boyutu veya narinlik oranının azalmasıyla azaldığı gözlemlenmiştir.

Aitcin ve ark. (1994), yaptıkları çalışmada normal ve yüksek dayanımlı betonlarda kür koşulu ve silindir numune boyutunun basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu amaçla üretilen 35, 90 ve 120 MPa dayanıma sahip betonlardan 10×20 cm, 15×30 cm ve 200×400 mm boyutlarında üç farklı silindir numuneler hazırlanmıştır. Her karışım 3 farklı şekilde (havada, suda, örtülerek) kürlenmiştir. Üretilen numunelerin 1, 7, 28, 91 ve 365 günlük basınç dayanımları belirlenmiştir. Yüksek basınç dayanımına sahip betonlarda silis dumanı kullanılmıştır. Sonuçta, en yüksek basınç dayanımın suda kürlenenden elde edildiği bildirilmiştir. Basınç dayanımı açısından suda kürlenenden numuneleri örtülerek kürlenenden numuneler takip etmiştir. En düşük dayanımı ise havada bekletilen numuneler göstermiştir. Havada bekletilen numuneler, örtülerek kürlenendenlere kıyasla %16, kirece doymuş suda kürlenenden numunelere ise %20 daha düşük dayanım göstermiştir. Yapılan çalışmada büyük numunelerin daha düşük dayanım gösterdiği bildirilmiştir.

Felekoğlu ve Türkel (2005), tarafından gerçekleştirilen bu çalışmada numune şekli ve boyutunun normal ve yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Ayrıca deney sonuçlarına göre boyutlar arasındaki geçiş katsayıları da önerilmiştir. Bu çalışmada, 10×20 cm ve 15×30 cm boyutunda silindir numuneler ve 15 cm ile 20 cm küp numuneler kullanılmıştır. Numunelerin 7 ve 28 günlük dayanımını belirlemek için toplam 144 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Bağlayıcı olarak PÇ 42.5R tipi çimentosu kullanılmıştır. İri agrega olarak 5-15 mm ve 15-25 mm kırma kireçtaşı, ince agrega olarak 0-3 mm doğal kum karışımı ve 0-5 mm kırma kireçtaşı kumu seçilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre numune boyutu büyüdükçe dayanımın arttığı görülmüştür. Literatürdeki boyut etkisi kuralına ters olan bu durum küçük numunelerdeki oluşan çeper etkisine

dayandırılmıştır. Farklı şekil ve boyutlar arasındaki geçiş katsayılarının beton dayanım sınıfına göre değişkenlik gösterdiği açıklanmıştır. Standart silindir ve standart küp numuneleri arasındaki ilişki 0,75 iken yüksek dayanımlı betonlarda ise 0,90 değerini aldığı bildirilmiştir. 10×20 cm çaplı silindirden 15×30 cm silindire geçiş katsayısı normal dayanımlı betonda 1,02 yüksek dayanımlı betonda ise 1,16 olarak açıklanmıştır. 200 cm küpten 15×30 cm silindire geçiş katsayısı normal dayanımlı betonlarda 0,75, yüksek dayanımlı betonlarda ise 0,85 olduğu tespit edilmiştir. Betonların karışım oranları Çizelge 2.2’de, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 2.3 ve 2.4’te verilmiştir.

Çizelge 2.2. Normal ve yüksek dayanımlı betonlar için karışım miktarları (kg/m³)

Bileşen (kg/m ³)	Normal dayanım sınıfı (ND)	Yüksek dayanım sınıfı (YD)
Çimento	350	450
Su	193	135
Kum	794	824
İnce agrega	1017	1056
Süper akışkanlaştırıcı katkı	-	3,6

Çizelge 2.3. Normal ve yüksek dayanımlı küp numunelerin basınç dayanımı

Dayanımı sınıfı	ND sınıfı		YD sınıfı		ND sınıfı		YD sınıfı	
Numune boyutu	15 cm küp		15 cm küp		20 cm küp		20 cm küp	
Kür süresi	7	28	7	28	7	28	7	28
Ortalama dayanım (MPa)	23	37,8	49,7	55,6	26,0	35,5	52,7	58,9
Standart sapma (MPa)	0,9	1,1	1,8	2,2	1,2	1,2	1,3	3,5
Değişkenlik katsayısı	3,9	3,0	3,6	3,9	4,7	3,4	2,4	5,9

Çizelge 2.4. Normal ve yüksek dayanımlı silindir numunelerin basınç dayanımı

Dayanımı sınıfı	ND sınıfı		YD sınıfı		ND sınıfı		YD sınıfı	
Numune boyutu	10×20 cm		10×20 cm		15×30 cm		15×30 cm	
Kür süresi	7	28	7	28	7	28	7	28
Ortalama dayanım (MPa)	17,2	27,8	38,0	43,6	16,7	28,8	41,7	53,1
Standart sapma (MPa)	2,0	1,2	4,5	3,5	1,7	1,4	3,2	2,3
Değişkenlik katsayısı	11,5	4,5	11,7	8,1	10,1	4,8	7,6	4,2

Konu ile ilgili 2015 yılında Ege üniversitesi İnşaat mühendisliği Yapı malzemesi anabilim dalında bir yüksek lisans tezi Ashkari (2015) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada numune şekli ve boyutunun farklı dayanımlara sahip beton karışımlarının basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 0,23 ile 0,89 su /çimento oranlarında on bir farklı dayanıma sahip karışımlar hazırlanmıştır. Çalışmada kullanılan malzemeler 0-4 mm, 4-16mm ve 16-22 mm boyutunda agrega, CEM II/B-M(L-W) 42,5 R çimento, glinyum sky 608 süper akışkanlaştırıcı ve yüksek dayanımlı betonlarda uçucu kül ve silis dumanı kullanılmıştır. 15×30 cm, 10×20 cm silindir ve 15 cm küp olmak üzere üç farklı beton numuneleri hazırlanmıştır. Standart kür uygulanan betonlara 2, 7 ve 28 günlük iki farklı yönde döküm yönüne dik ve paralel olacak şekilde basınç deneyine tabi tutulmuştur. Sonuç olarak, erken yaşta 15×30 cm boyutundaki silindir numunelerin 100×200mm boyutundaki silindir numunelere göre daha düşük dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak, ileri yaşlarda orta ve yüksek dayanımlı betonlarda 15×30 cm boyutundaki silindir ile 10×20 cm boyutundaki numunelerin basınç dayanımı arasındaki farkın \pm %5 seviyelerinde olduğu görülmüştür. 15 cm küp numuneler, döküm yönüne paralel ve döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin basınç dayanım farkı erken yaşlarda yüksek, ileri yaşlarda ise bu farkın azalmakta olduğunu tespit edilmiştir. Özellikle erken yaşlarda, döküm yönüne dik ve paralel yüklenen küp numunelerin dayanım oranları beton dayanım seviyesi yükseldikçe azalma göstermiştir. Beton yaşından bağımsız olarak, düşük dayanımlı betonlarda 15×30 cm silindir ve 15 cm küp numunelerin dayanım farkları %10 ile %15 arasında değişmekte olduğu tespit edilmiştir.

Konu ile ilgili 2001 yılında Ege üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümü yapı malzemesi anabilim dalında Çopuroğlu (2001) tarafından bir yüksek lisans tezi gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada beton dayanım seviyesi ve numunenin şekil ve boyut değişiminin basınç ve

yarmada çekme dayanımına etkisini incelenmiştir. Bu amaçla 3 farklı su/çimento oranına sahip (0,35, 0,50, 0,65) karışımlar hazırlanmıştır. Karışımda PKÇ/A 32,5 çimento, ince kırma kum, iri kırma kaba agrega ve sika firmasından temin edilen NP200 süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Bu karışımlarla hazırlanan 10 cm, 15 cm ve 20 cm küp numuneler ile 75×15 cm, 10×20 cm ve 15×30 cm silindir numunelerin, tahribatsız ve tahribatlı yöntemlerle 7 ve 28 günlük basınç ve yarmada çekme dayanımları tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 15 cm küp numuneler ile 15×30 cm silindir numunelerin basınç dayanımları arasında 0,74 ile 0,94 arasında değişen bir oran bulunmaktadır. Genel eğilim dayanım seviyesi arttıkça küp ve silindir arasındaki dayanım farkının azaldığı yönünde olmuştur. Dayanım seviyesinin artmasıyla yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranı azalmıştır. Bu oran ortalama olarak küp numunelerde %82 silindir numunelerde ise %11,9 seviyelerinde olduğu bildirilmiştir. Küp numunelerde numune boyutu büyüdükçe elde edilen dayanımlarda azalma görülmüştür. Ancak, silindir numunelerde tam ters bir duruma rastlanmıştır. Bunun nedeni küçük numunelerde çeper etkisinden olduğu öne sürülmüştür.

Tuğal ve arıcı (2011), yapılan çalışmada betonun yarmada-çekme dayanımının beton numunelerinin şekil ve boyut değişimlerinden nasıl etkilendiği araştırılmıştır. Yarmada-çekme dayanımına ilaveten, numunelerin basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı ve statik elastisite modülünün belirlenmesi içinde numuneler hazırlanmıştır. S/Ç oranı 0,53 olan beton karışımlarında, iki farklı geometrik şekilde ve üç farklı boyutta küp ve silindir numunelerin 28 günlük yarmada-çekme dayanımları belirlenmiş ve boyutlar arasındaki ilişki tespit edilmiştir. Karışım miktarları Çizelge 2.5'te küp ve silindir numunelerin deney sonuçları sırasıyla Çizelge 2.6 ve 2.7'de verilmiştir. Sonuçlara göre, betonun yarmada-çekme dayanımının belirlenmesinde en uygun sonucu silindir yarma deneyinden elde edileceği saptanmıştır. Numune boyutu küçüldükçe yarıma yükünde azalma gözlemlenmiştir. Fakat buna karşın yarıma gerilmesi artmıştır.

Çizelge 2.5. Beton karışımında kullanılan malzeme miktarları (kg/m³)

Bileşen	Ağırlık (kg)
Su	214
Çimento	403
İnce agrega (0-4 mm) (%62)	1028
İri agrega (4-8 mm) (%38)	630
Hava	0
Toplam	2275

Çizelge 2.6. Küp numunelerin deney sonuçları

Numune boyutu (d×d×d) (cm)	Kırılma yükü (kN)	Yarmada-çekme dayanımı (MPa)
5×5×5	20,13	5,13
10×10×10	49,47	3,15
20×20×20	145,07	2,31

Çizelge 2.7. Silindir numunelerin deney sonuçları

Numune boyutu (R×h) (cm)	Kırılma yükü (kN)	Yarmada-çekme dayanımı (MPa)
5×5	21,23	5,41
10×10	50,63	3,22
20×20	154,40	2,46

2.5. Amaç, Konu ve Kapsam

Bu çalışmada numune şekli ve boyutunun farklı dayanım sınıfına sahip lifli ve lif içermeye beton karışımlarının basınç ve yarmada çekme dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla 0,3, 0,4, 0,5, 0,6 ve 0,7 olmak üzere beş farklı S/Ç oranına sahip lifli ve lif içermeyen beton karışımları üretilmiştir. Lif içeren karışımlarda toplam hacmin %1'i kadar 64 narinlik oranın çelik lif kullanılmıştır.

Numune şekli ve boyutunun dayanım üzerindeki etkisini incelemek amacı ile 10 cm ve 15 cm'lik küp numuneler 10×20 cm ve 15×30 cm'lik silindir numuneler hazırlanmıştır. Böylece toplamda 480 adet küp ve silindir örnekler üretilerek farklı dayanım sınıfına sahip lifli ve lifsiz betonlarda dayanım-zaman ve dayanım-numune boyutu ve şekli ilişkileri kıyaslanmıştır.

3. MATERYAL ve YÖNTEM

Bu bölümde deneysel çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve kimyasal bileşimi ile 1m³ beton üretimi için kullanılan malzeme miktarları verilmiştir. Ortam şartlarının deney üzerindeki etkisini en aza indirmek amacı ile tüm malzemeler 48 saat deneyden önce 20±2 °C sıcaklığa sahip odada bekletilmiştir.

3.1.Çimento

Deneysel çalışmada TS EN 197-1 “Çimento- Bölüm 1: Genel Çimentolar- Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri” standardına uygun özgül yüzeyi ve özgül ağırlığı sırası ile 3530 cm³/g ve 3.15 olan Bursa çimento fabrikası tarafından üretilen CEM I 42.5R tipi çimentosu kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üretici firma tarafından temin edilen kimyasal özellikleri Çizelge 3.1’de mekanik ve fiziksel özellikleri ise Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çimentonun kimyasal bileşimi

Oksit (%)	Çimento
SiO ₂	18.81
Al ₂ O ₃	5.71
Fe ₂ O ₃	3.09
CaO	62.70
MgO	1.16
SO ₃ *	2.39
Na ₂ O+0.658 K ₂ O	0.92
Cl ⁻ *	0.01
Çözünmeyen kalıntı	0.32
Kızdırma kaybı	3.20
Serbest CaO	1.26

*TS EN 197-1’e göre, SO₃ ≤ % 3.5 ve Cl⁻ ≤ 0.01 olmalıdır.

Çizelge 3.2. Çimentonun fiziksel ve mekanik özellikleri

Fiziksel özellikler		CEM I 42.5R
Özgül ağırlık		3.15
Mekanik özellikleri		
Basınç dayanımı (MPa)	1-günlük	14.7
	2-günlük*	26.80
	7-günlük	49.80
	28-günlük*	58.5
İncelik		
Özgül yüzey (Blain, cm ² /g)		3530
0.045 mm elekte kalıntı (%)		7.60

*TS EN 197-1'e göre, CEM I 42.5R tipi çimentonun 2 günlük basınç dayanımı ≥ 20 MPa ve 28 günlük basınç dayanımı ≥ 42.5 MPa olmalıdır.

3.2. Agregas

Beton karışımlarında 22 mm en büyük tane çapına sahip kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır. Agregaların TS EN 1097-6 “Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri için Deneyler Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini” standardına göre elde edilen özgül ağırlığı ve su emme kapasitesi Çizelge 3.3'te verilmiştir. Ayrıca Çizelge 3.4'te gösterilen agregaların elek analizi TS EN 206 standardına göre gerçekleştirilmiştir. Beton karışımlarda, toplam agregas hacminin %40'ı kadar 0-5 mm, %30'u kadar 5-12 mm ve %30'u kadar 12-22 mm boyutunda kırma kireçtaşı agregası kullanılmıştır.

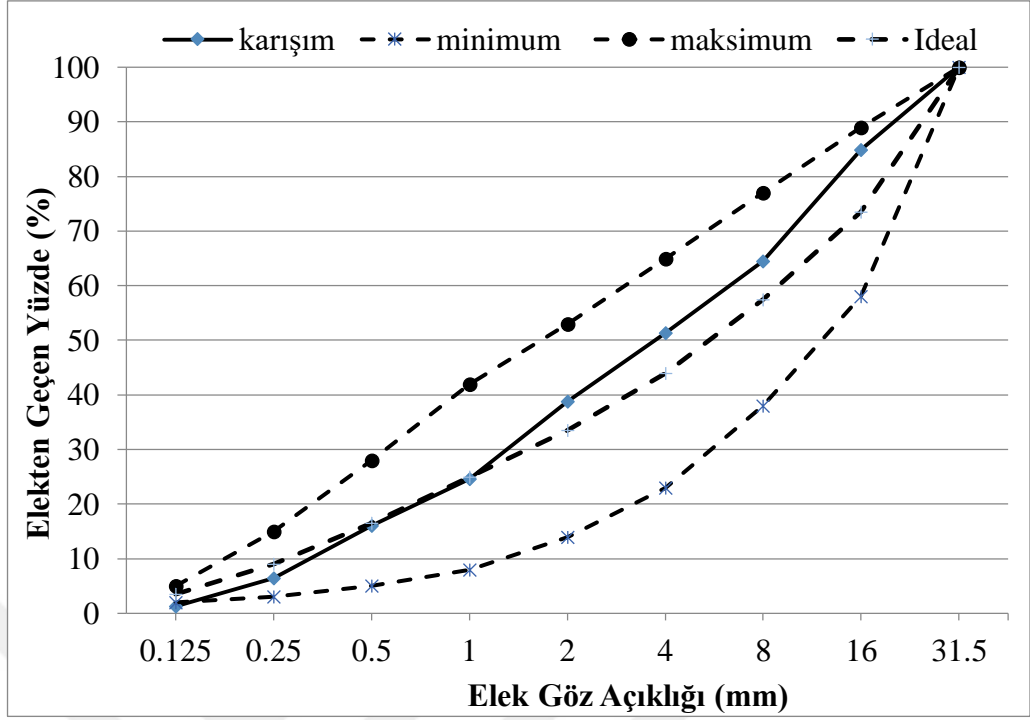
Çizelge 3.3. Beton karışımlarında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agrega		Özgül Ağırlık	Gevşek Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Su Emme Kapasitesi (%)
Tip	Boyut (mm)			
Kırma Kireç Taşı	0-5	2,72	1655	0,80
	5-12	2,68	1441	0,44
	12-22	2,71	1405	0,24

Çizelge 3.4. Karışımlarda kullanılan agregaların elek analizi

Elek göz açıklığı (mm)	0-5 mm	5-12 mm	12-22 mm
31,5	100	100	100
16	100	100	49,7
8	100	72,2	0,1
4	100	7	0
2	77,5	0	0
1	49,3	0	0
0,5	32	0	0
0,25	12,9	0	0
0,125	2,5	0	0

Beton karışımında kullanılan karma agregaların gradasyon eğrisi TS EN 206 standart sınırları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Şekil 3.1’den de anlaşıldığı gibi, agregalar karışımlarının gradasyon eğrisi ilgili standart limitleri arasında ve ideal eğriye yakın olmuştur.



Şekil 3.1. Deneylerde kullanılan agregaların gradasyon eğrisi

3.3. Su Azaltıcı Katkı

Beton karışımlarında istenilen çökme değerlerini sağlamak için polisan firmasından temin edilen değişik oranlarda tek tip polikarboksilat-eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan su azaltıcı katkının üretici firma tarafından verilen bazı özellikleri Çizelge 3.5'te gösterilmiştir.

Çizelge 3.5. Su azaltıcı katkıya ait özellikler

Tip	Yoğunluk (g/cm³)	Katkı Madde Miktarı (%)	pH Değeri	Klorür İçeriği (%)	Alkali İçeriği Na₂O (%)
Polikarboksilat Eter Esaslı	1,097	36,35	3,82	<0,1	<10

3.4. Çelik Lif

Lif içeren karışımlarda 64 narinlik oranına sahip iki ucu kancalı tek tip çelik lif kullanılmıştır. Kullanılan lifin tipi Şekil 3.2’de verilmiştir. Lif içeren tüm karışımlarda, lif kullanım oranı toplam karışım hacminin %1’i olarak sabit tutulmuştur. Kullanılan çelik liflerin üretici firma tarafından verilen mekanik ve fiziksel özellikleri Çizelge 3.6’da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Çelik liflerin mekanik ve fiziksel özellikleri

Uzunluk (mm)	35
Çap (mm)	0,55
Yoğunluk (g/cm³)	7,8
Narinlik oranı	64
Çekme dayanımı (N/mm²)	1500



Şekil 3.2. Kullanılan çelik lifin şekli

3.5. Su

Beton karışımlarının üretiminde ve bakımında içme şebeke suyu kullanılmıştır.

3.6. Beton Karışımlarının Hazırlanması

Daha öncede vurgulandığı gibi tez kapsamında lifli ve lifsiz olarak 10 seri karışım üretilmiştir. Tüm karışımlarda çökme değeri 17 ± 2 cm olarak sabit tutulmuştur. İstenilen çökme değerini sağlamak için değişik oranlarda tek tip polikarboksilat eter esaslı yüksek oranda su azaltıcı katkı kullanılmıştır. 1 m^3 beton üretimi için teorik ve düzeltilmiş malzeme miktarları sırası ile Çizelge 3.7 ve 3.8’de verilmiştir. Sonuçlardan da anlaşıldığı gibi lif kullanımı ile istenilen çökme değerini sağlamak için (17 ± 2 cm) katkı gereksinimi artmıştır. Bu durum düşük S/Ç oranlarına sahip betonlarda daha belirgin olmuştur. Beklenildiği gibi beton karışımların taze hal birim hacim ağırlığı lif kullanımı ile bir miktar artış göstermiştir. Mikserde hazırlanan beton karışımları standarda uygun olarak kalıplara sıkıştırılarak yerleştirilmiştir. Üretilen numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak 22 ± 2 °C sabit sıcaklıktaki suda bekletilmiştir.

Çizelge 3.7. 1 m^3 beton için teorik karışım miktarları

Karışım kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)			Lif (kg)	Kimyasal katkı (kg)	Çökme (cm)	Teorik BHA (kg/m^3)	Ölçülen BHA (kg/m^3)
			0-5 (mm)	5-12 (mm)	12-22 (mm)					
K03	650	195	629	465	477	0	3,75	17	2420	2442
K04	488	195	686	564	513	0	2,25	18	2448	2459
K05	390	195	721	533	539	0	1,34	16	2379	2397
K06	325	195	744	550	556	0	0,74	15	2371	2366
K07	278,6	195	761	562	568	0	0,5	17	2365	2358
L03	650	195	618	457	462	78	4,5	16	2461	2472
L04	488	195	676	499	505	78	2,75	17	2440	2464
L05	390	195	710,5	525	531	78	1,75	15	2428	2439
L06	325	195	733,3	542	548	78	1	16	2419	2404
L07	278,6	195	761	562	568	78	0,52	15	2440	2454

Çizelge 3.8. 1m³ beton için düzeltilmiş karışım miktarları

Karışım kodu	Çimento (kg)	Su (kg)	Agrega (kg)			Lif (kg)	Kimyasal katkı (kg)
			0-5 (mm)	5-12 (mm)	12-22 (mm)		
K03	656	197	635	469	481	0	3,78
K04	490	196	689	566	515	0	2,26
K05	393	196	726	537	543	0	1,35
K06	324	195	743	549	555	0	0,74
K07	278	194	759	560	566	0	0,50
L03	653	196	621	459	464	78,3	4,52
L04	493	197	682	504	510	78,8	2,78
L05	392	196	714	527	533	78,4	1,76
L06	323	194	729	539	545	77,5	0,99
L07	280	196	765	565	571	78,4	0,52

3.7. Çalışmada Uygulanan Deneyler

3.7.1. Taze hal özellikleri

Bu çalışma kapsamında taze hal özelliği olarak beton karışımlarının çökme ve birim hacim ağırlığı ölçülmüştür.

Çökme deneyi

Hazırlanan beton karışımlarının çökme deneyi TS EN 12350-2 “Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi” standardına uygun yapılmıştır. Burada, lif; ve lif içermeyen karışıma ait çökme deneyi Şekil 3.2’de gösterilmiştir. Karışımların işlenebilirliğini ölçmek için uygulanan çökme deneyinin lif içeren beton karışımlarında uygun bir yöntem olmadığı Şekil 3.3’ten de anlaşılmaktadır. Bu tip betonların işlenebilirliğini Ve-Be deneyi gerçekleştirilerek ölçülebilir (Baradan 2015).



Şekil 3.3. Lif ve lif içermeyen karışımların çökme deneyi **a)** Lifli karışım **b)** Lifsiz karışım

Birim hacim ağırlık deneyi

Karışımların taze haldeki birim hacim ağırlıkları TS EN 12350-6 “Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk” standardına uygun ölçülmüştür.

3.7.2. Sertleşmiş hal özellikleri

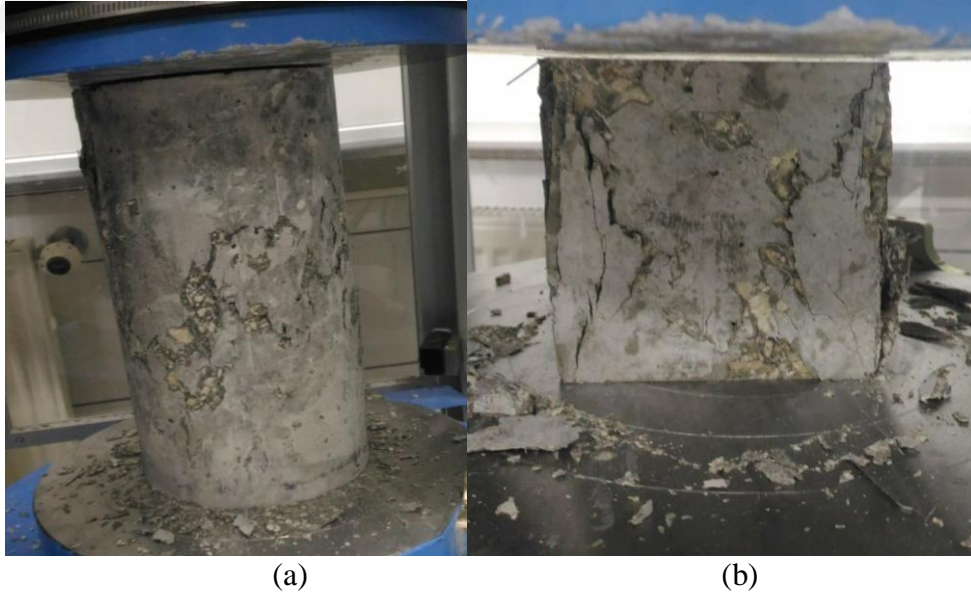
Sertleşmiş hal özelliği olarak beton karışımlarının basınç ve yarmada çekme dayanımı ölçülmüştür. Bu amaçla, her bir seri beton karışımlarından 48 adet numune üretilerek toplamda 480 adet beton numunesi deneye tabi tutulmuştur.

Basınç deneyi

Beton karışımlarının 7 ve 28 günlük basınç dayanımları TS EN 12390-3 “Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini ” standardına uygun olacak şekilde 10 cm, 15 cm küp ve 10×20 cm, 15×30 cm’lik silindir numuneler üzerinde belirlenmiştir. Silindir numunelerin basınç dayanımını belirlemek için Şekil 3.4’te gösterilen aparat kullanılarak numune yüzeyleri aşındırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Beton basınç dayanımı testi yapılışı Şekil 3.5’te gösterilmiştir.



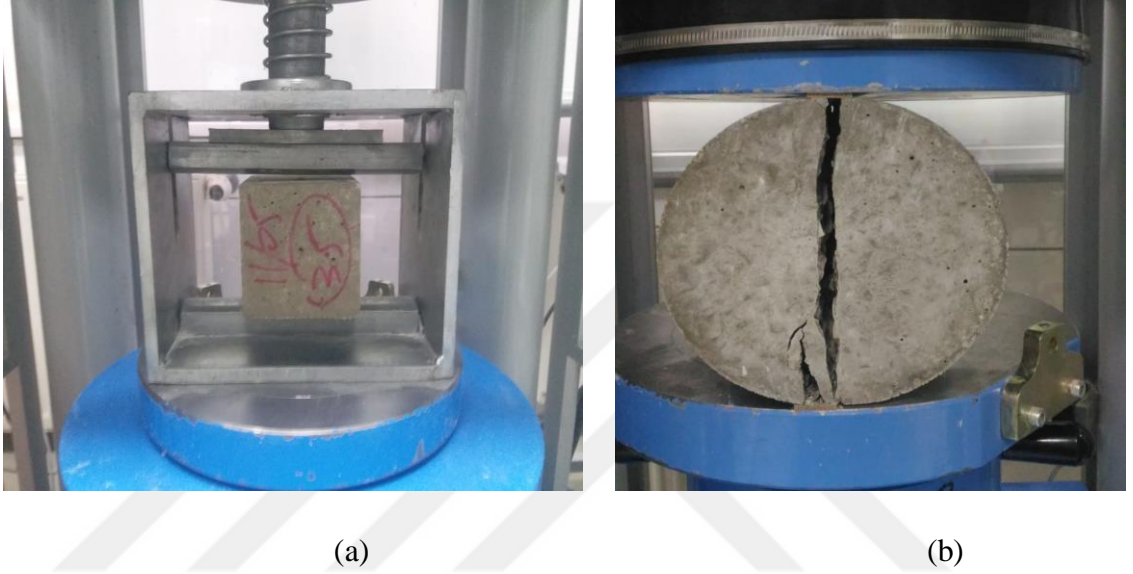
Şekil 3.4. Silindir numune yüzey aşındırma işlemi



Şekil 3.5. Numunelerin basınç dayanımı testi yapılışı a) Silindir b) Küp

Yarmada-çekme deneyi

Yarmada-çekme deneyi TS EN 12390-6 “Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini” standardına uygun 10 cm, 200 mm küp ve 10×20 cm, 15×30 cm’lik silindir numuneler üzerinde yapılmıştır. Şekil 3.6’da silindir ve küp numunelerin yarmada çekme deneyi yapılışı gösterilmiştir.

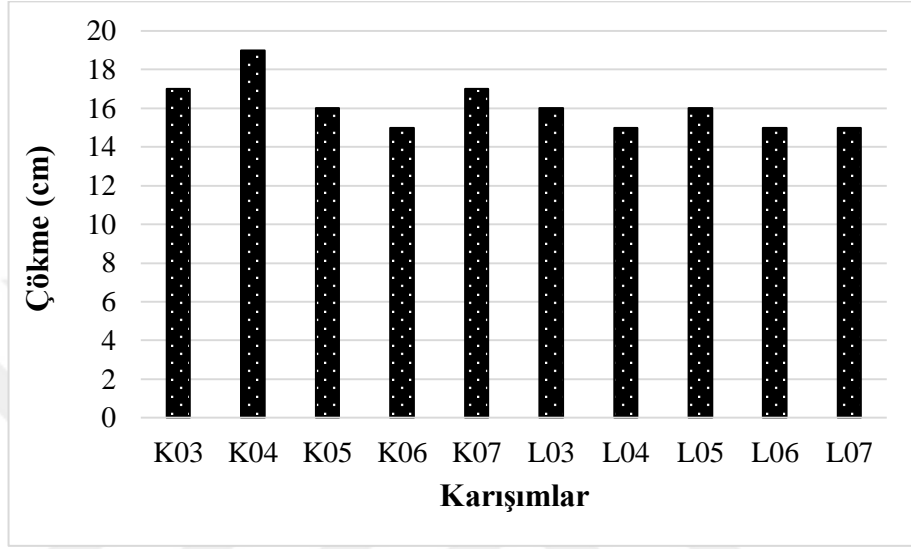


Şekil 3.6. Numunelerin yarmada-çekme dayanımı testi yapılışı **a)** Silindir, **b)** Küp

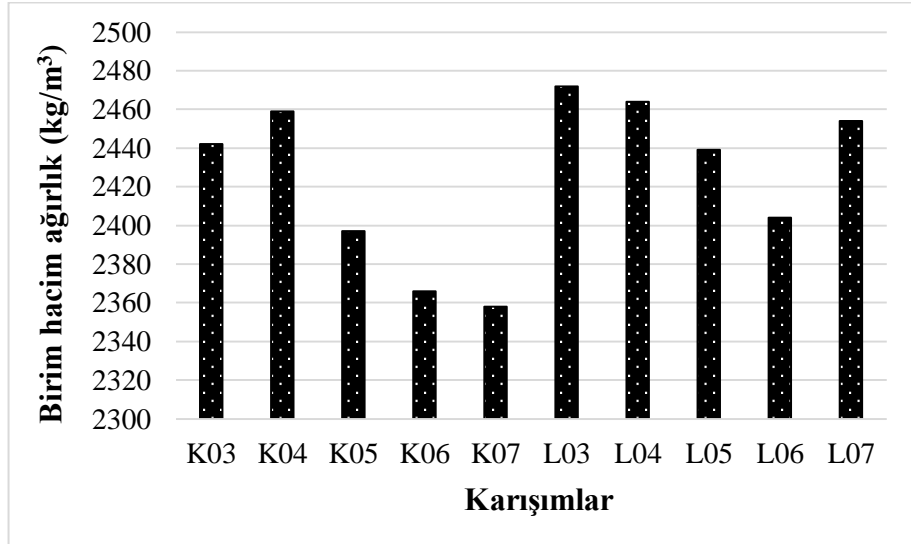
4. BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Taze Hal Sonuçları

Bu çalışmada taze hal özelliği olarak karışımların çökme değerleri ve taze hal birim hacim ağırlıkları ölçülmüştür. Sonuçlar Şekil 4.1 ve 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.1. Farklı S/Ç oranında lifli ve lif içermeyen karışımların çökme değerleri



Şekil 4.2. Farklı S/Ç oranında lifli ve lif içermeyen karışımların birim hacim ağırlıkları

Beklenildiği gibi, karışımların S/Ç oranının artışıyla istenilen çökme değerini sağlamak için katkı gereksinimi artmıştır. Örneğin 17±2 cm sağlamak için K07 karışımında 0,5 kg su azaltıcı katkı kullanırken K03 karışımında söz konusu bu değeri sağlamak için %750 mertebesinde daha fazla artışla 3,75 kg su azaltıcı katkı kullanılmıştır. Lif kullanımı ile karışımlarda söz konusu hedef çökme değerini sağlamak için katkı gereksinimi artmıştır. Karışımların birim hacim ağırlıkları değerleri S/Ç oranının azalması ve çelik lif kullanılması ile artmıştır. Bu olay lif içeren karışımlarda, çelik lifin karışım içerisinde homojen bir şekilde dağılımının bir göstergesidir.

4.2. Sertleşmiş Hal Sonuçları

Karışımların basınç ve yarmada-çekme deney sonuçları lifsiz ve çelik lif içeren durumlar için Çizelge 4.1-4.4'te gösterilmiştir. Ancak S/Ç oranı 0,7 olan %1 oranında çelik lif içeren 10 cm küp ve 10×20 cm'lik silindir numunelerde oluşan çeper etkisinden dolayı dayanım değerleri ölçülememiştir.

Çizelge 4.1. Lif içermeyen beton karışımlarının basınç dayanımı

Numuneler (cm)	K03		K04		K05		K06		K07	
	7	28	7	28	7	28	7	28	7	28
	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)	günlük (MPa)
10×10×10	73,32	82,9	59,67	67,34	45,3	51,79	37,58	44,47	28,1	34,36
15×15×15	64,94	75,96	56,85	60,12	41,69	46,22	35,27	41,29	26,39	33,29
10×20	71,63	77,4	49,19	56,45	40,5	44,73	32,79	36,67	22,81	28,06
15×30	61,25	71,87	48,2	53,6	33,1	39,37	30,74	34,57	21,69	28,31

Çizelge 4.2. Lifsiz beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımı

Numuneler (cm)	K03		K04		K05		K06		K07	
	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
10×10×10	4,43	4,84	3,28	3,94	3,15	3,33	2,86	2,94	2,39	2,61
15×15×15	3,95	4,6	3,46	4,28	2,95	3,14	2,7	2,87	2,26	2,41
10×20	5,14	5,79	4,22	4,53	3,67	4,34	3,66	4,23	2,96	3,46
15×30	5,05	5,62	4,09	4,26	3,2	3,85	3,15	3,24	2,95	3,23

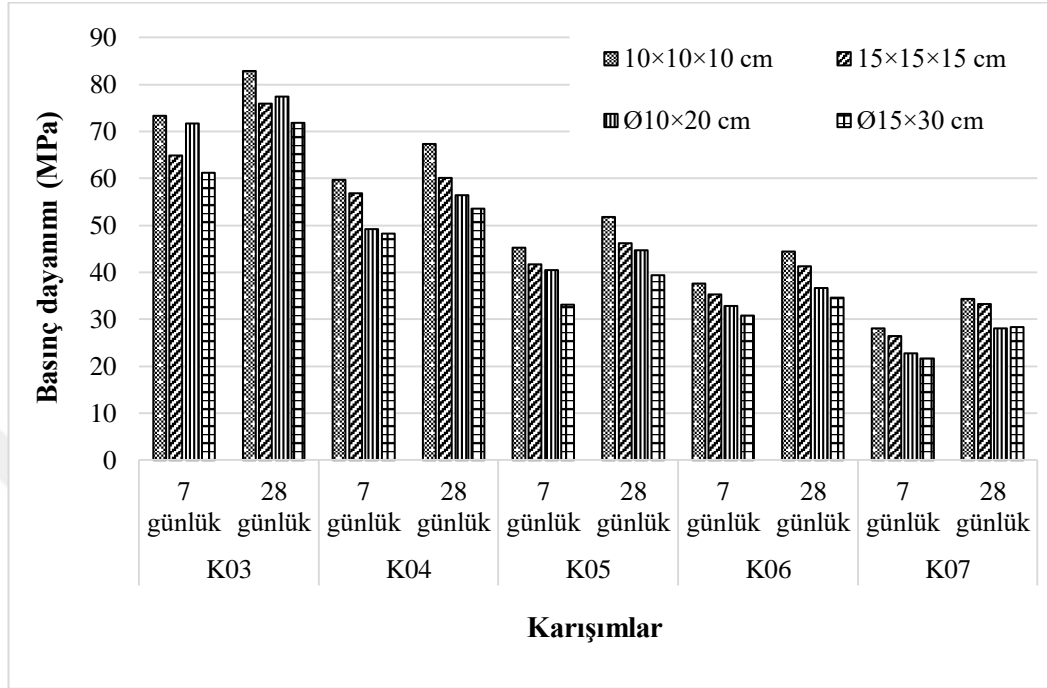
Çizelge 4.3. Lifli beton karışımlarının basınç dayanımı

Numuneler (cm)	L03		L04		L05		L06		L07	
	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
10×10×10	81,25	89,33	67,77	74,75	46,2	52,21	37	44	-	-
15×15×15	75,1	84	64,98	68,52	44,8	47,84	36,87	42,3	29,47	34
10×20	72,88	84,2	57,7	66,3	39	45,35	28,82	32	-	-
15×30	67,51	78,78	56,76	61,14	37,75	40,93	31,87	38	23,41	29,89

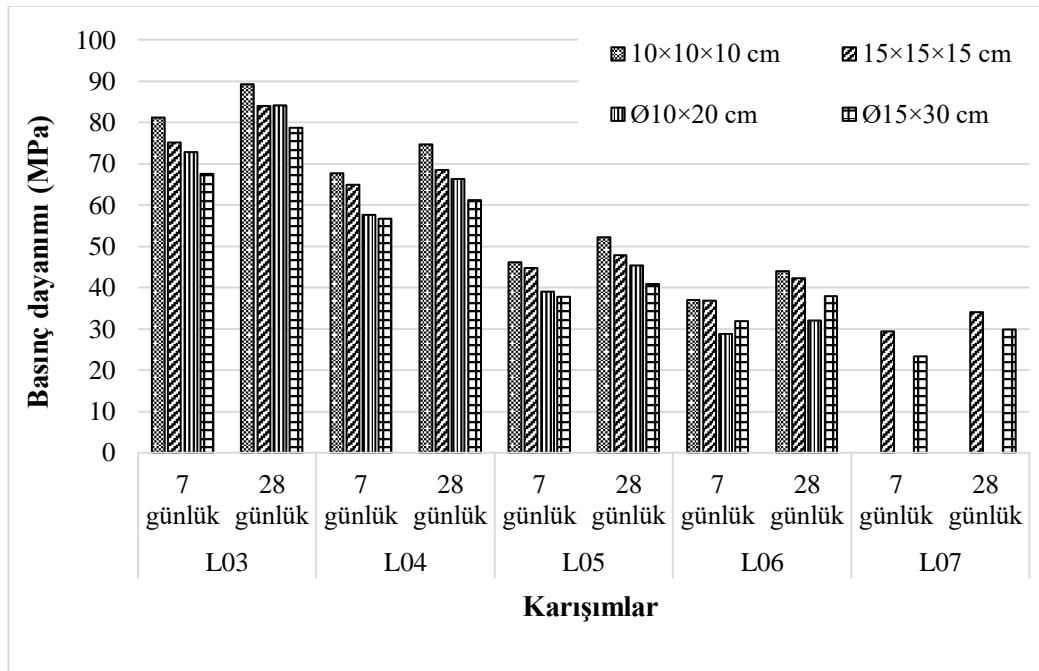
Çizelge 4.4. Lifli beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımı

Numuneler (cm)	L03		L04		L05		L06		L07	
	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)	7 günlük (MPa)	28 günlük (MPa)
10×10×10	6,65	6,91	6,05	6,55	4,58	4,79	3,82	4,2	-	-
15×15×15	5,95	6,59	5,17	5,69	4,18	4,57	3,76	4,5	3,07	3,62
10×20	8,72	10,58	7,67	8,46	5,5	6	4,53	4,8	-	-
15×30	7,59	7,83	6	6,63	4,1	5,14	4,14	4,48	3,3	3,77

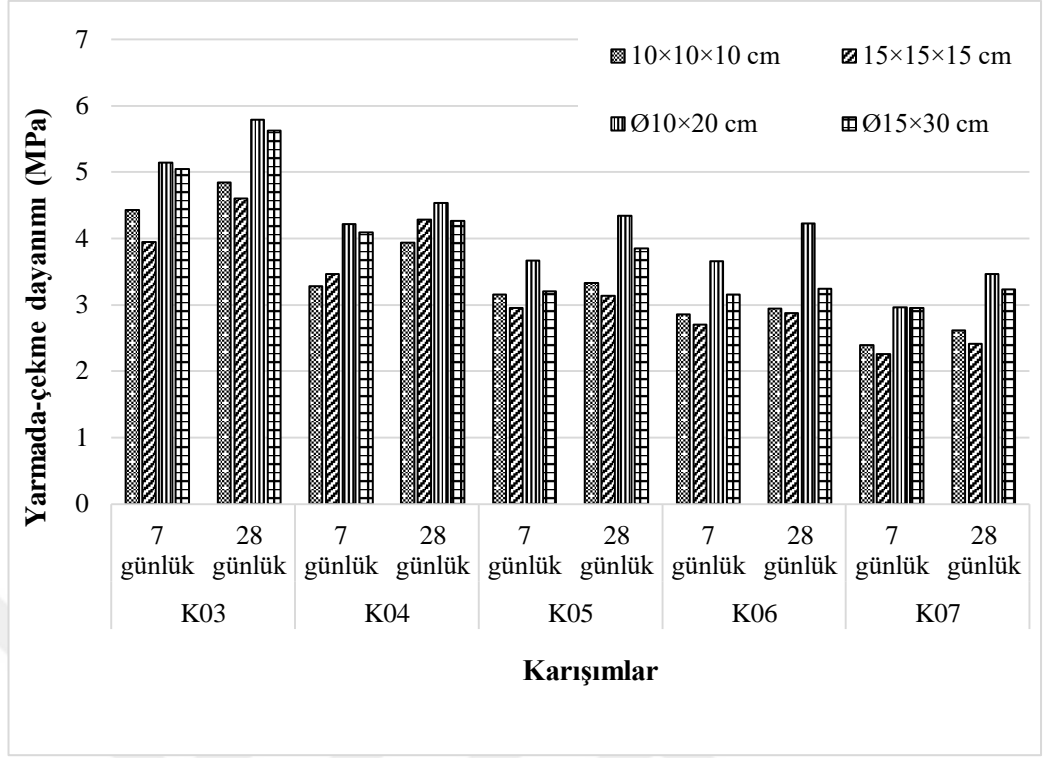
Farklı numune boyutu ve şekline sahip beton karışımların basınç ve yarmada-çekme deney sonuçları lif ve lif içermeyen durumlar için Şekil 4.3-4.6'da gösterilmiştir.



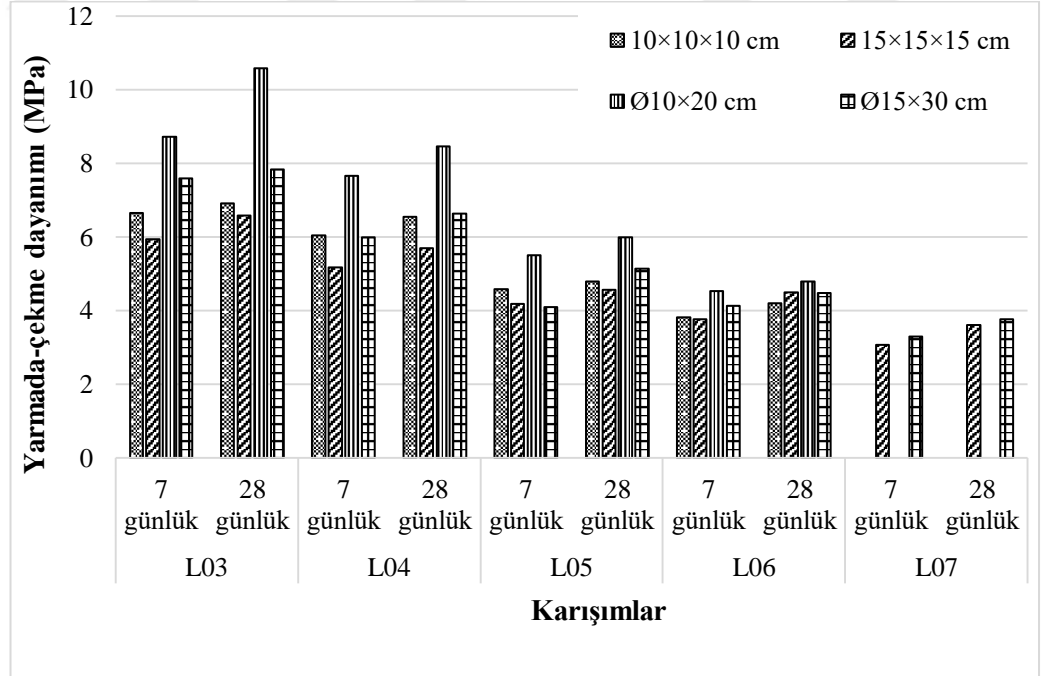
Şekil 4.3. Lif içermeyen karışımların basınç dayanımı (MPa)



Şekil 4.4. %1 çelik lif içeren karışımların basınç dayanımı (MPa)



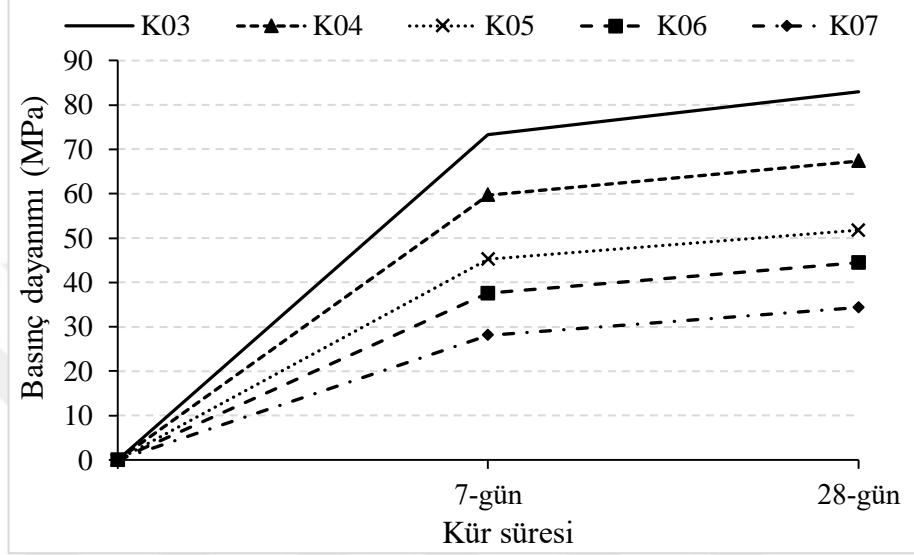
Şekil 4.5. Lif içermeyen karışımların yarmada-çekme dayanımı (MPa)



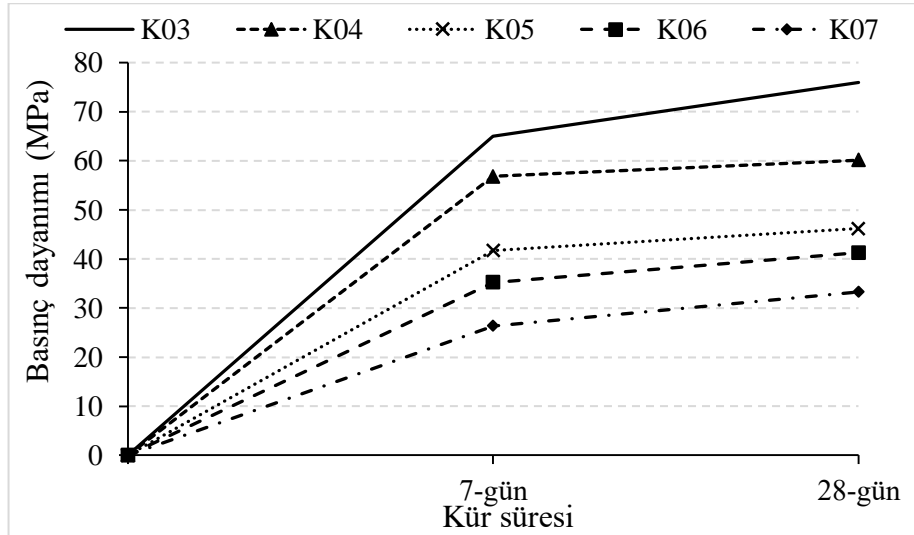
Şekil 4.6. %1 çelik lif içeren karışımların yarmada-çekme dayanımı (MPa)

4.2.1. Dayanım-zaman ilişkisi

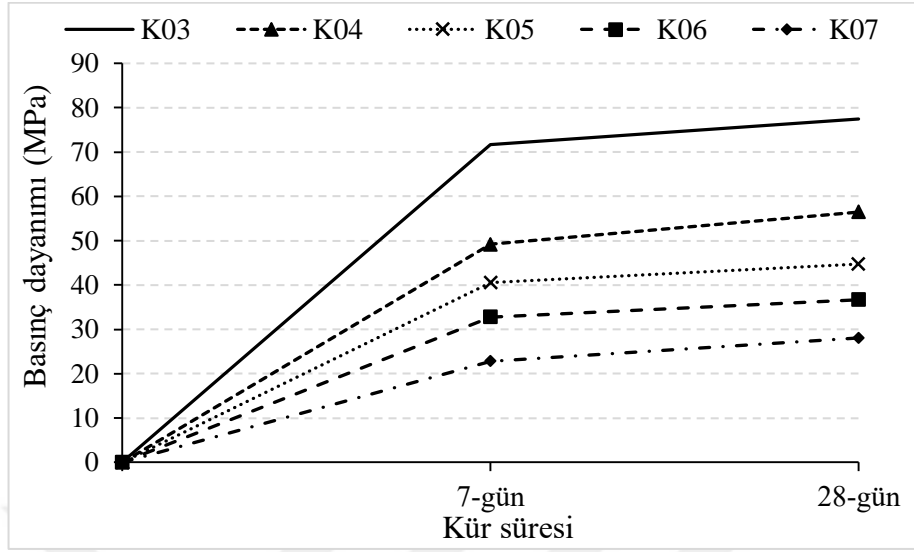
Dayanım zaman ilişkisini incelemek amacıyla karışımların 7 ve 28 günlük basınç dayanımları her bir numune boyutu ve şekli için ayrı ayrı verilmiştir. Lif içermeyen karışımların 7 ve 28 günlük basınç dayanımı sonuçları Şekil 4.7-4.10'da gösterilmiştir.



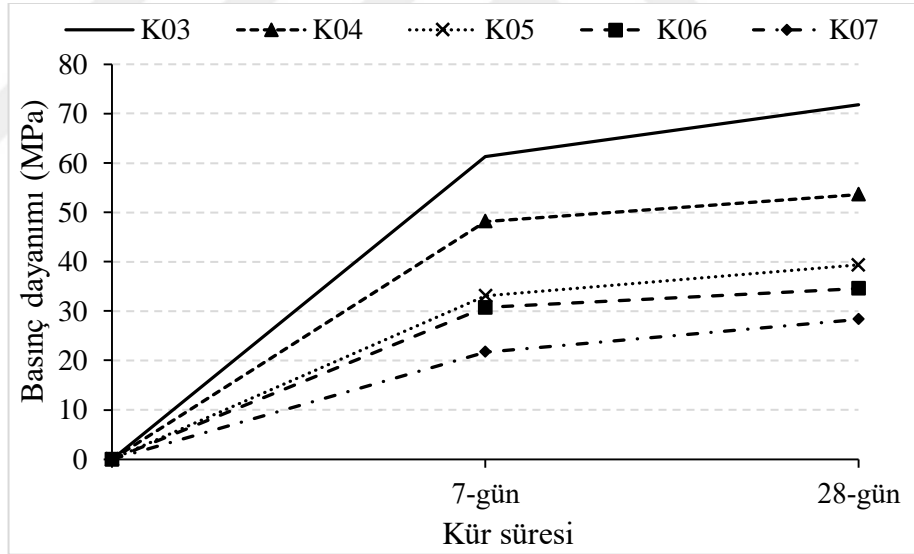
Şekil 4.7. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi



Şekil 4.8. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

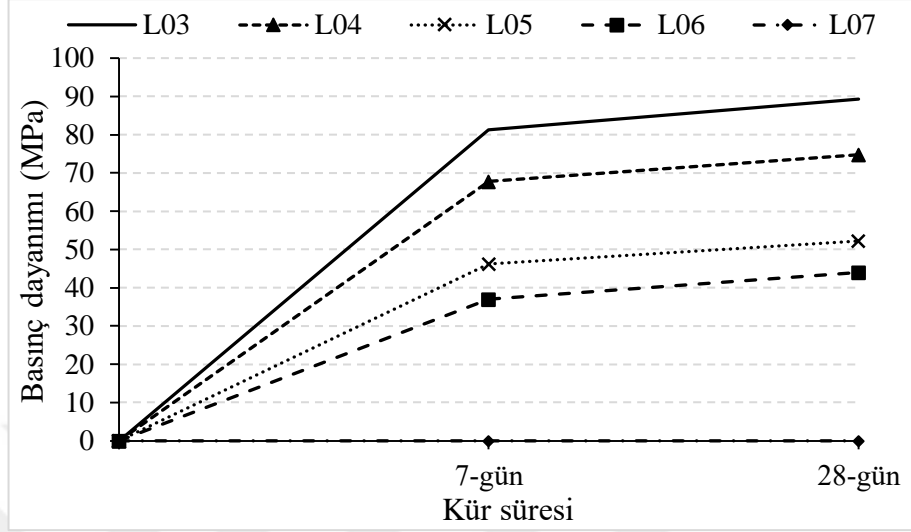


Şekil 4.9. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

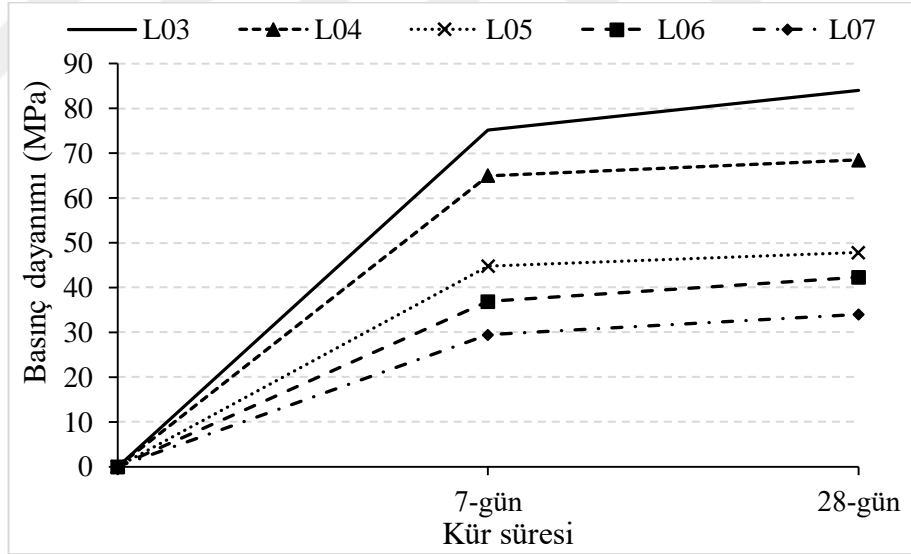


Şekil 4.10. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

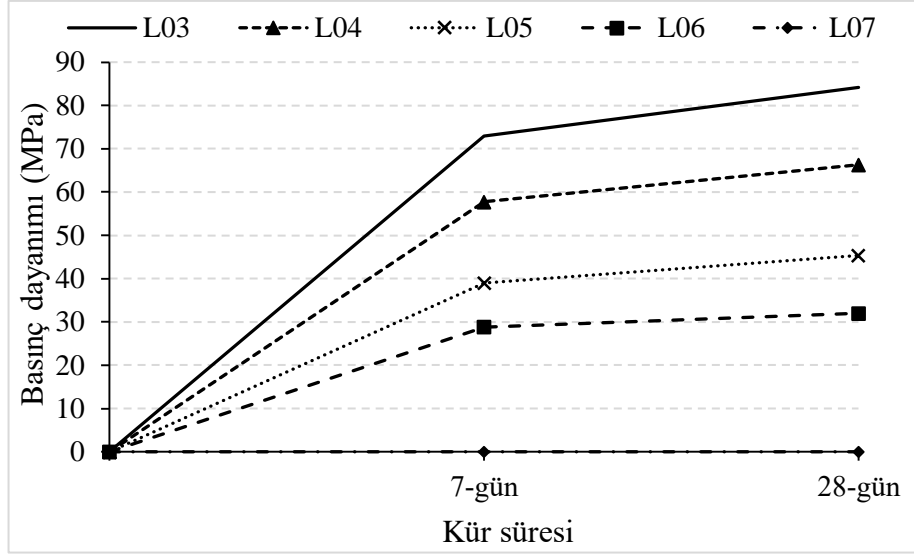
%1 çelik lif içeren beton numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı Şekil 4.11-4.14'te gösterilmiştir.



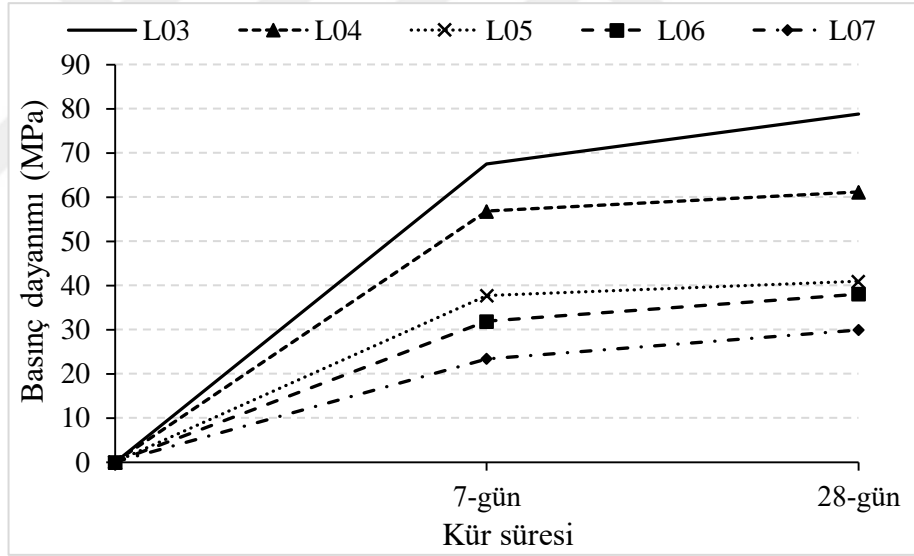
Şekil 4.11. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi



Şekil 4.12. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15 cm'lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

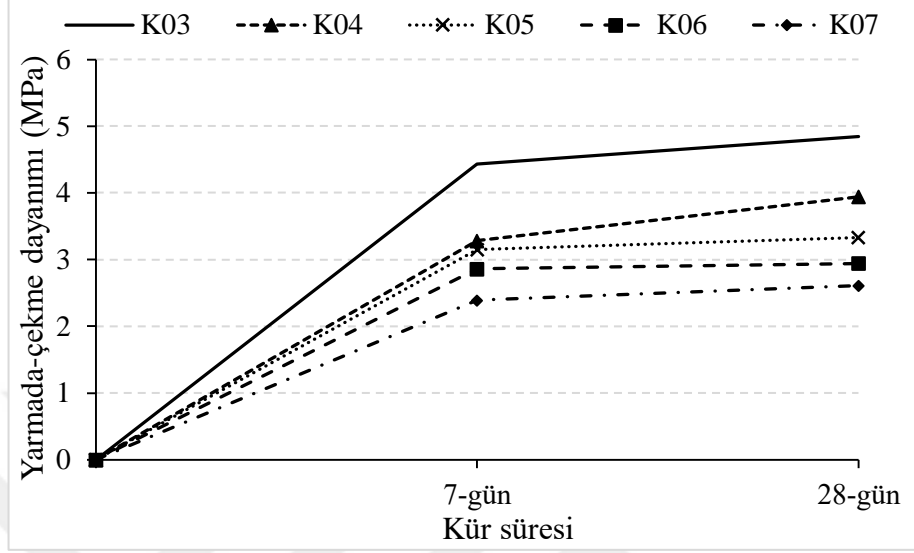


Şekil 4.13. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

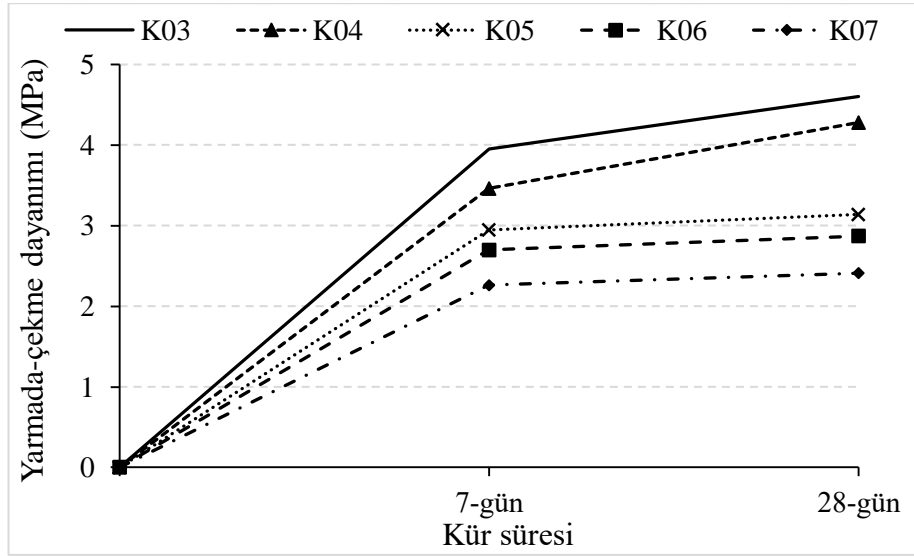


Şekil 4.14. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımı gelişimi

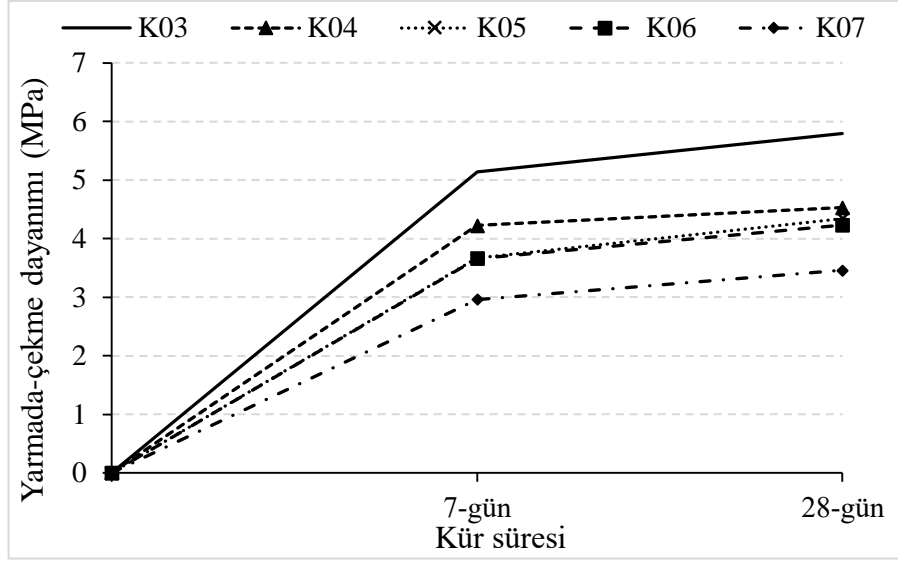
Lif içermeyen karışımların yarmada-çekme deney sonuçları her numune boyutu ve şekli için Şekil 4.15-4.18’de gösterilmiştir.



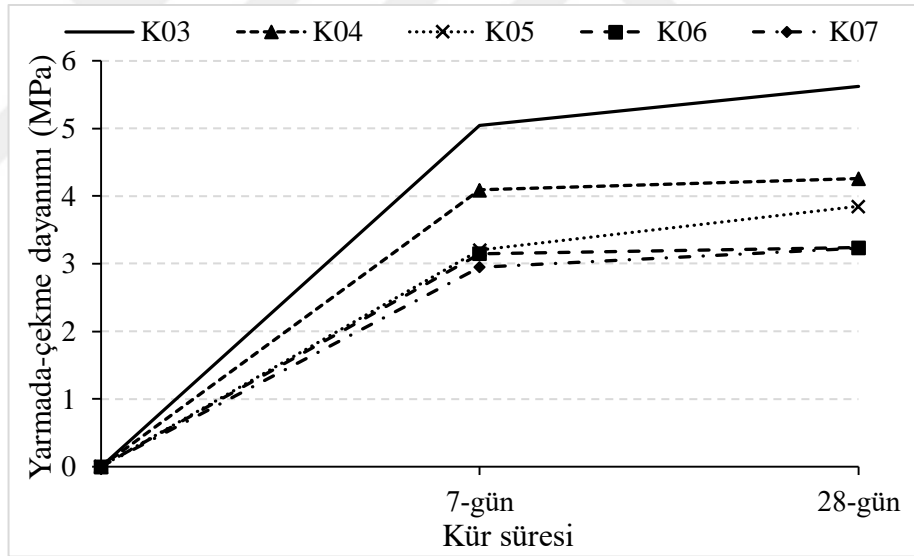
Şekil 4.15. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10 cm’lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi



Şekil 4.16. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15 cm’lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi

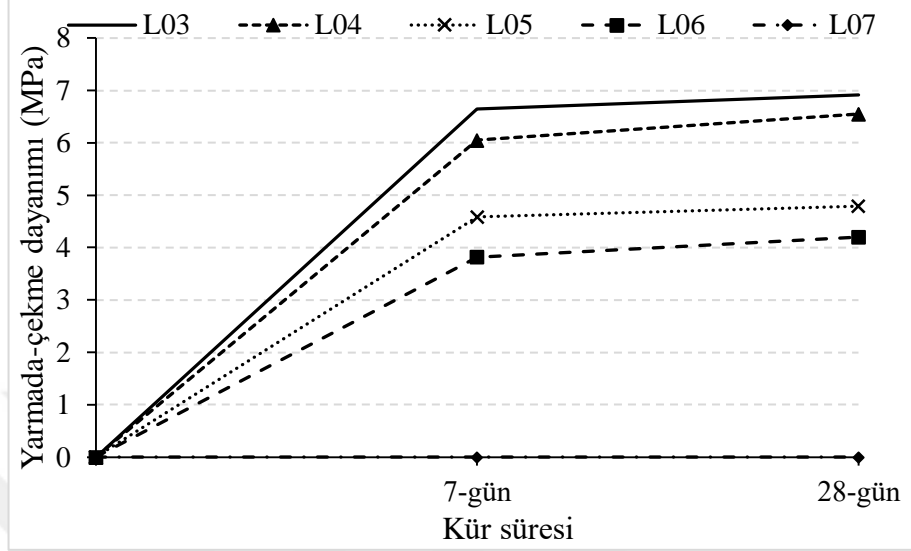


Şekil 4.17. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi

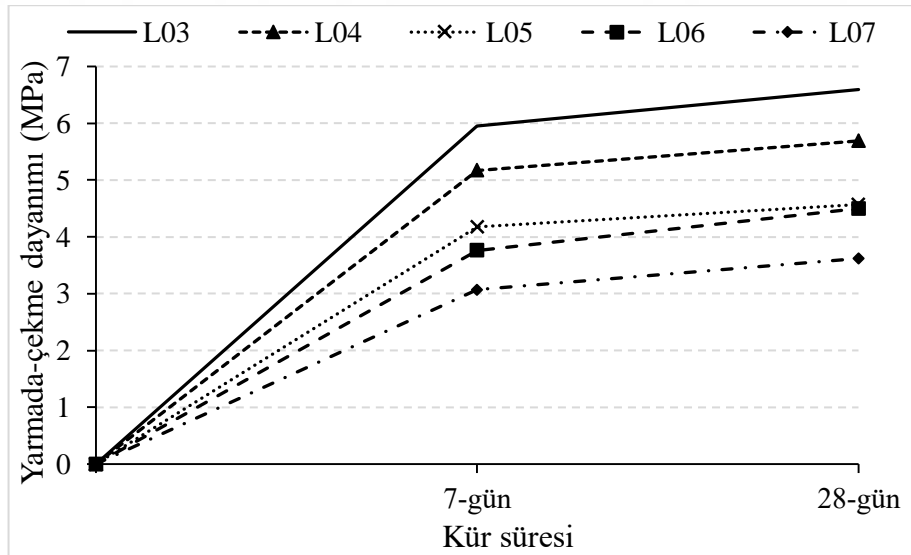


Şekil 4.18. Farklı S/Ç oranına sahip lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi

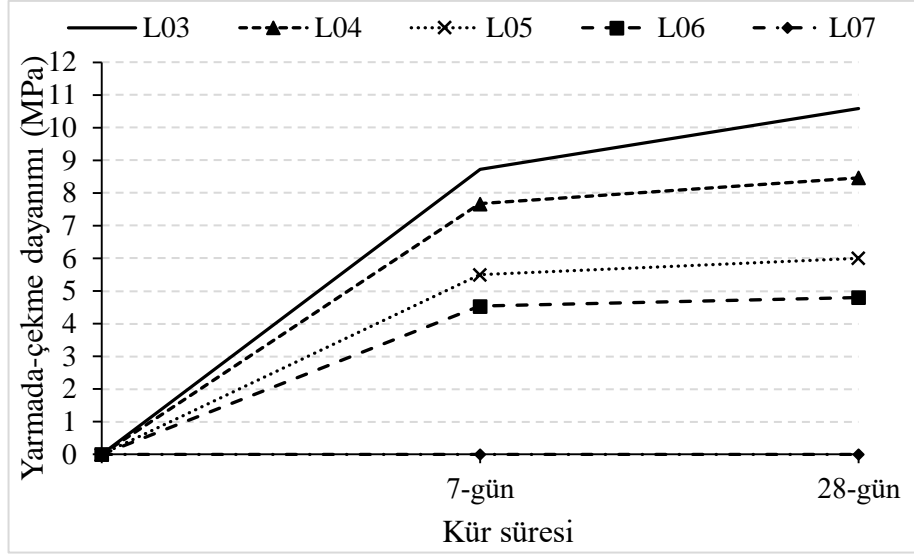
Lif içermeyen karışımların yarmada-çekme deney sonuçları her numune boyutu ve şekli için Şekil 4.19-4.12’de gösterilmiştir.



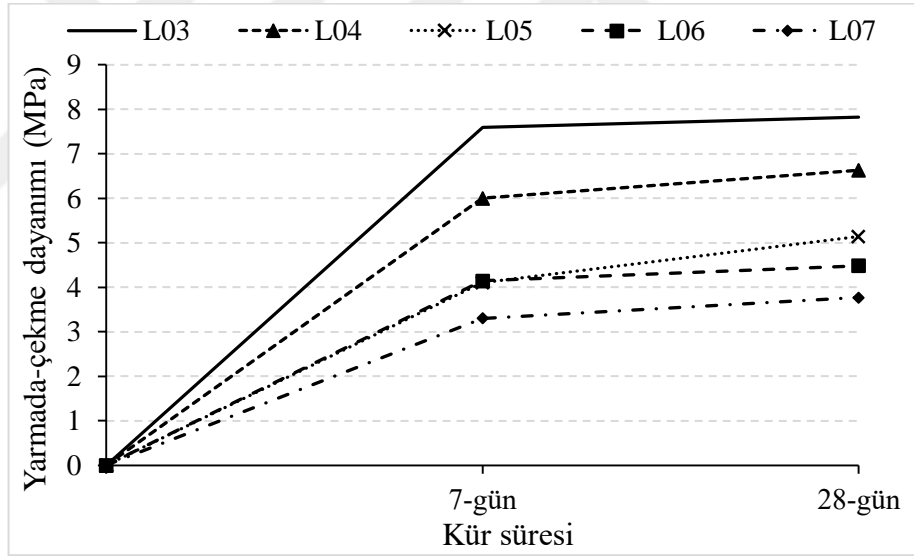
Şekil 4.19. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10 cm’lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi



Şekil 4.20. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15 cm’lik küp numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi



Şekil 4.21. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 10×20 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi



Şekil 4.22. Farklı S/Ç oranına sahip %1 oranda çelik lif içeren 15×30 cm'lik silindir numunelerinin 7 ve 28 günlük yarmada-çekme dayanımı gelişimi

Ayrıca zaman faktörünün farklı boyut ve şekillerdeki numunelerin dayanım gelişimine etkisini daha net bir şekilde incelemek için, her bir karışımın 7 günlük bağıl dayanımının 28 günlük dayanımına oranı Çizelge 4.5 ve 4.6’da gösterilmiştir. Numune şekli ve boyutundan bağımsız olarak farklı S/Ç oranları için 7 günlük bağıl dayanımı sonuçları ortalama olarak da Çizelge 4.5 ve 4.6’da verilmiştir.

Çizelge 4.5. Farklı S/Ç oranındaki numunelerin 7 günlük basınç dayanımının 28 günlük basınç dayanımına oranı (%)

Karışım kodu	10×10×10 cm	15×15×15 cm	10×20 cm	15×30 cm	Ortalama (%)
K03	88	85	93	85	88
K04	89	95	87	90	90
K05	87	90	91	84	88
K06	85	85	89	89	87
K07	82	79	81	77	80
L03	91	89	87	86	88
L04	91	95	87	93	91
L05	88	94	86	92	90
L06	84	87	90	84	86
L07	0	87	0	78	83

Çizelge 4.6. Farklı S/Ç oranındaki numunelerin 7 günlük yarmada-çekme dayanımının 28 günlük yarmada-çekme dayanımına oranı (%)

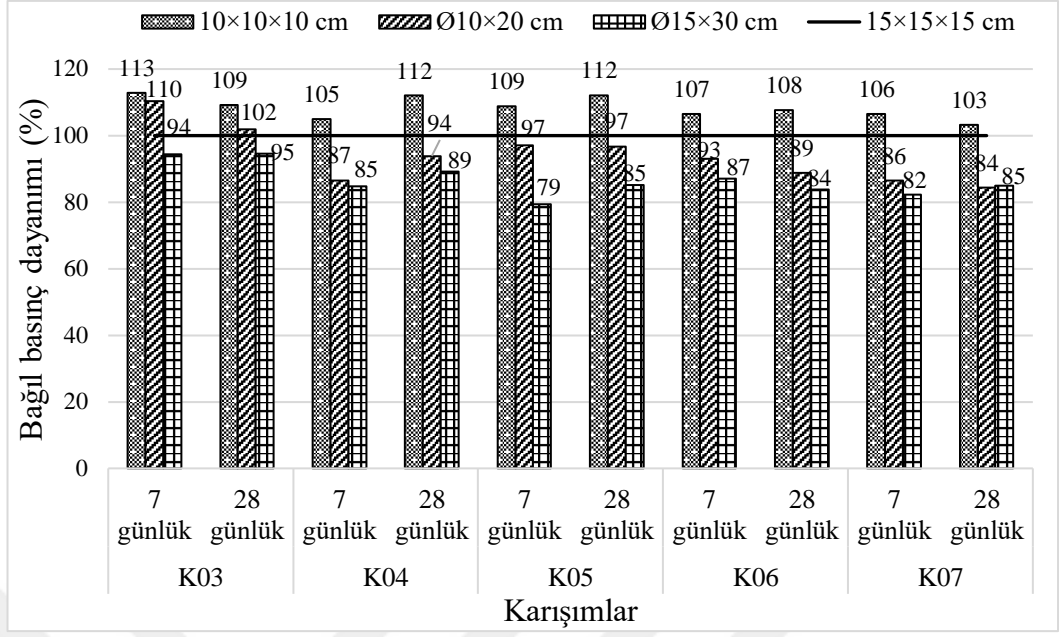
Karışım kodu	10×10×10 cm	15×15×15 cm	10×20 cm	15×30 cm	Ortalama (%)
K03	92	86	89	90	89
K04	83	81	93	96	88
K05	95	94	85	83	89
K06	97	94	87	97	94
K07	92	94	86	91	91
L03	96	90	82	97	91
L04	92	91	91	90	91
L05	96	91	92	80	90
L06	91	84	94	92	90
L07	0	85	0	88	87

Bilindiği gibi, beton hidratasyon olayı gereği zamanla dayanım kazanan bir yapı malzemesidir. Elde edilen sonuçlara göre, beton karışımlarının dayanımları numune şeklinden, boyutundan ve lif kullanımından bağımsız olarak zamanla artış göstermiştir. Beklenildiği gibi, dayanım artışıdaki hız hidratasyonun ilk günlerinde yüksek daha sonra yavaş olmaktadır (Ashkari 2015). Beton karışımların 28 günlük basınç dayanımının ortalama %80 ile %90'nının ilk 7 gün 'de sağlandığı Çizelge 4.5'ten anlaşılmaktadır. S/Ç oranı düşük ve dayanımı daha yüksek olan betonlarda ilk 7 günlük dayanım gelişimi yüksek S/Ç oranlarına sahip karışımlara kıyasla daha hızlı olmuştur. Örneğin, S/Ç oranı 0,3 olan ve çelik lif içermeyen K03 karışımının 7 günlük basınç dayanımı 28 günlük basınç dayanımının %88'i kadar olmuştur. Ancak, bu oranının 0,7 S/Ç oranında hazırlanan ve çelik lif içermeyen K07 karışımında %80 olduğu Çizelge 4.5'ten anlaşılmaktadır. Bu durum K03 karışımlarındaki çimento içeriğinin fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çimentonun belli bir miktarda artışı hidratasyon hızının artışına neden olduğundan dolayı betonun dayanım kazanma hızını da arttırmaktadır. Beton karışımları 28 günlük yarmada-çekme dayanımının yaklaşık %90'ını ilk 7 günde kazanmıştır (Çizelge 4.6). Farklı S/Ç oranına sahip beton karışımlarının yarmada-çekme dayanım kazanma hızı birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10'dan de anlaşıldığı gibi benzer sonuçlar 15 cm küp, 10×20 cm ve 15×30 cm'lik silindir numunelerde de görülmüştür. Benzer davranışlar lif içeren karışımlarda da gözlemlenmiştir.

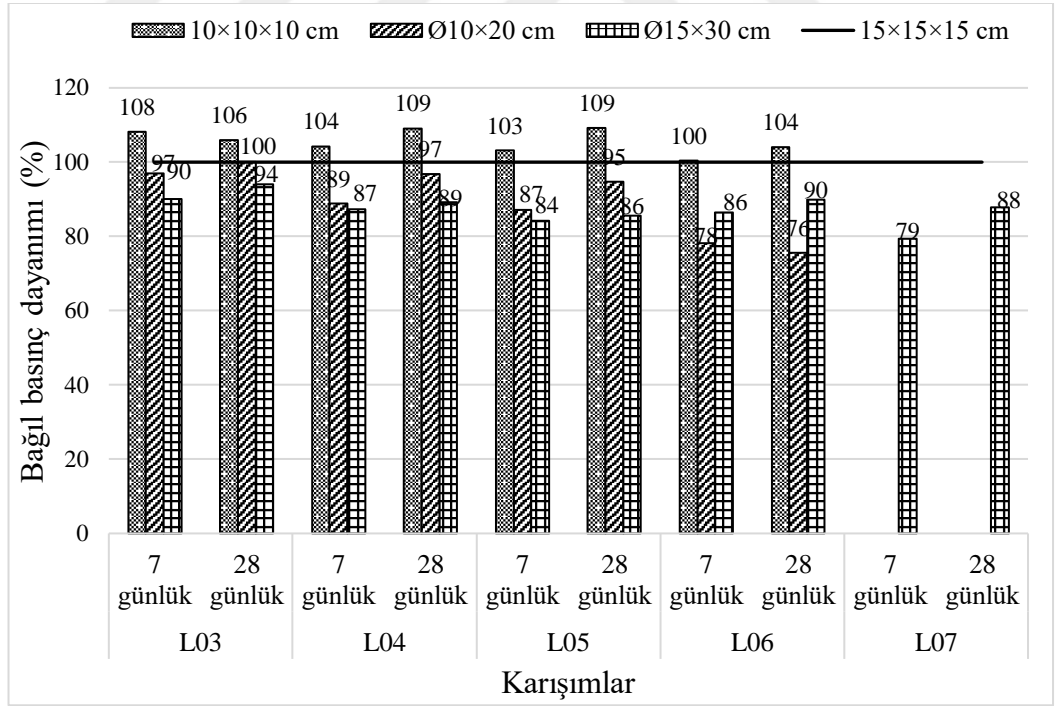
Sonuç olarak, beton karışımlarının S/Ç oranının azalmasıyla dayanım kazanma hızında artış görülmektedir. Bu durum düşük S/Ç oranına sahip (Çimento içeriği yüksek olan karışımlar) betonlarda hidratasyon hızının artışından kaynaklanmaktadır.

4.2.2. Numune boyutu ve şekli -dayanım ilişkisi

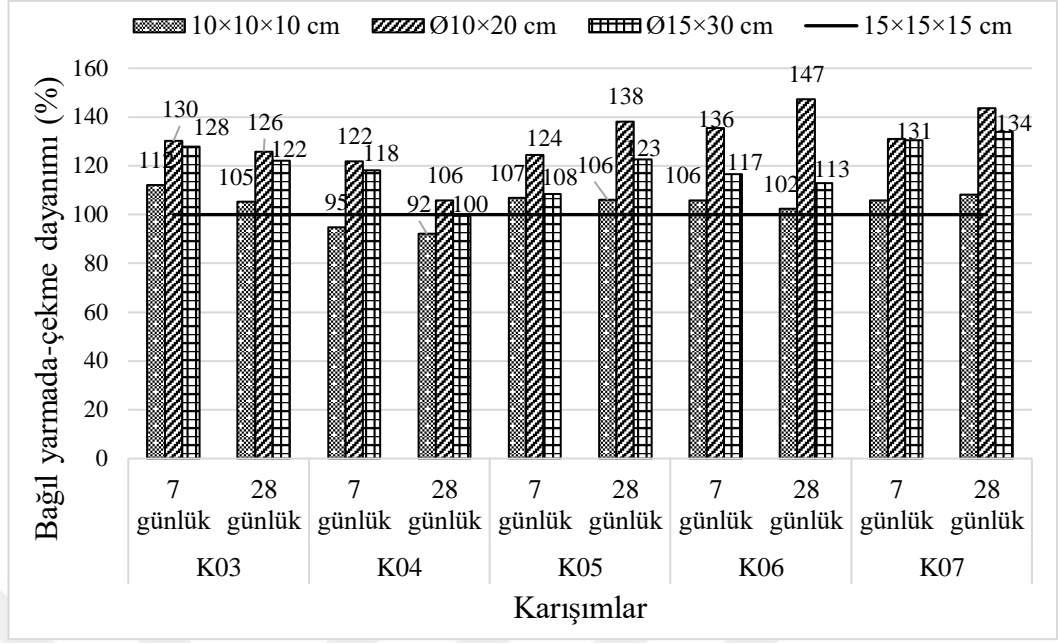
Numune boyutu ve şeklinin basınç dayanımı üzerinde etkisini daha net bir şekilde incelemek amacı ile lifli ve lifsiz karışımlarda her S/Ç oranı için 15 cm'lik küp numunelerin dayanımı esas alınarak, diğer numunelerin bağıl dayanımları hesaplanmıştır. Söz konusu bu işlem hem 7 günlük hem de 28 günlük numuneler için uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 4.23-4.26'da verilmiştir.



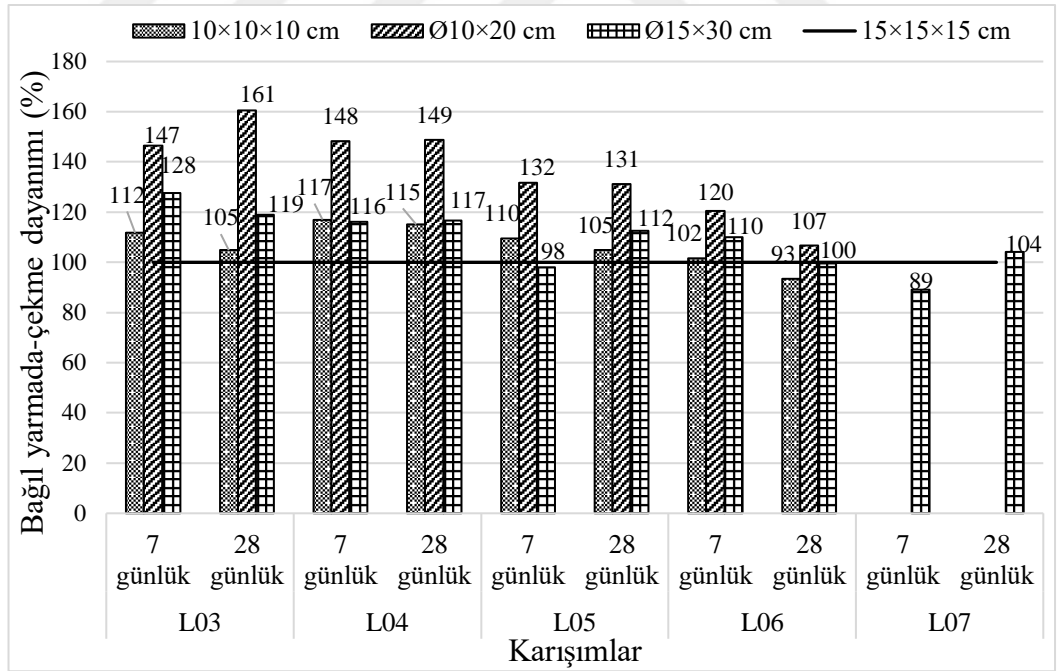
Şekil 4.23. Lif içermeyen karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl basınç dayanımları (%)



Şekil 4.24. %1 çelik lif içeren karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl basınç dayanımları (%)



Şekil 4.25. Lif içermeyen karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl yarmada-çekme dayanımları (%)



Şekil 4.26. %1 çelik lif içeren karışımların 15 cm'lik küp numunesine göre bağıl yarmada-çekme dayanımları (%)

Bilindiği gibi, TS EN 206-1 "Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk" standardında düşük, normal ve yüksek dayanımlı betonlar için 15×30 cm silindir numunenin 15 cm'lik küp numunenin dayanımına oranı %20 ile %25 arasında olduğu ifade edilmiştir. Ancak, bu çalışmada gerçekleştirilen deney sonuçlarına göre, numune yaşı ve boyutundan bağımsız olarak, silindir numunenin küp numunenin basınç dayanımına oranı %5 ile %20 arasında değişmiştir. Bu sebeple, TS EN 206-1 standardında belirtilenin aksine beton dayanımı arttıkça silindir ve küp numuneler arasındaki dayanım oranı da artmaktadır. Bu durum literatürdeki çalışmaları (Tokyay ve Özdemir 1997, Felekoğlu ve Türkel 2005) destekler nitelikte olduğunu göstermiştir.

Sonuçlardan görüldüğü gibi lif içermeyen karışımlarda, numune şeklinden bağımsız olarak numune boyutu küçüldükçe dayanım değerlerinde artış tespit edilmiştir. Bu durum boyut etkisi kuralını destekler nitelikte olduğunu göstermiştir. Benzer sonuç Del Viso ve arkadaşları (2007) ve Aslani (2011), tarafından da bildirilmiştir. Lif içeren karışımlarda ise düşük S/Ç oranında küçük ebatlı numunelerin (10 cm küp ve 10×20 cm silindir) basınç dayanımı standart numunelere (15 cm küp ve 15×30 cm silindir) göre daha büyük çıkmıştır. Ancak yüksek S/Ç oranlarında söz konusu durumun tersi olduğu gözlemlenmiştir (Şekil 4.4). Tüm serilerde en yüksek yarmada-çekme dayanımı 10×20 cm'lik silindir numunelerde en düşük yarmada-çekme dayanımını ise 15 cm küp numunelerde görülmüştür (Şekil 4.5 ve Şekil 4.6).

Şekil 4.23'te görüldüğü gibi lifsiz karışımlarda, 10 cm küp numunelerin 7 günlük basınç dayanımı 15 cm küp numunelere göre %106 ile %113, 28 günlük basınç dayanımı ise %103 ile %109 oranında daha fazla olduğu görülmüştür. Daha düşük S/Ç oranlarında bu durum daha da belirgin hale gelmiştir. 10×20 cm'lik silindir numunelerin 15 cm'lik küp numunelere oranı K03 karışımında 7 ve 28 günlük numuneler için sırasıyla, %110 ve %102 olduğu görülmüştür. Diğer lif içermeyen karışımlarda bu oranın %85 ile %97 arasında değiştiği gözlemlenmiştir. Beton dayanımının artışıyla, 10×20 cm'lik silindir beton numunelerin basınç dayanımı 15 cm'lik küp numunelere göre az da olsa bir miktar artış göstermiştir. Ancak, normal ve düşük dayanımlı betonlarda 10×20 cm'lik silindir örneklerin basınç dayanımı 15 cm'lik küp numunelere göre daha düşük olmuştur. 15×30 cm boyutunda olan standart silindir numunelerinin basınç dayanımının 15 cm'lik standart küp numunelerin dayanımına oranı %82 ile %95 arasında olduğu görülmektedir. Söz

konusu bu oranlar beton dayanımının artmasıyla artış göstermiştir. Benzer sonuçlar diğer araştırmacılar tarafından da elde edilmiştir (Çopuroğlu 2001, Ashkari 2015).

Şekil 4.24'te görüldüğü gibi lifli karışımlarda 10 cm küp numunelerin 15 cm küp numunelere göre basınç dayanımı oranı 7 günlük numuneler için %100 ile %108 arasında iken 28 günlük numuneler için ise %104 ile %109 arasında olduğu görülmüştür. Sonuç olarak, lif içeren küp numunelerin basınç dayanımının lifsiz küp numunelere kıyasla numune boyutundan daha az etkilenmiştir. Daha öncede vurgulandığı gibi S/Ç oranı 0,7 olan ve %1 oranında lif içeren L07 karışımında 10 cm küp ve 10×20 cm'lik silindir örneklerde aşırı çeper etkisi gözlemlenmiştir. Söz konusu bu durum Şekil 4.25'ten de net bir şekilde anlaşılmaktadır. Bu sebepten söz konusu bu örneklerin dayanım değerleri ölçülememiştir. Bu durumun L07 karışımında yeteri kadar bağlayıcı ve ince malzemenin olmamasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Söz konusu bu karışımlarda toplam agreganın %60'ı oranında en büyük tane çapı 22 mm olan iri agrega ve toplam hacminin %1'i kadar çelik lif kullanılmıştır. Bu sebepten özellikle numune boyutu küçük olan durumlarda, karışımın uygun bir şekilde sıkıştırılması ve lif tanelerinin üniform bir biçimde dağılması imkansız hale gelmiştir. Böyle bir durumda agrega taneleri ile kalıbın iç yüzeyi arasında bağlayıcı malzemenin yetersiz olduğundan dolayı iri agreganın etrafı matris tarafından kapatılamamıştır. Dolayısıyla Şekil 4.27'de gösterilen çeper etkisi oluşmuştur.

Nitekim, 19 mm en büyük tane çaplı agregadan yapılan, 10 cm küp beton numunenin daha büyük numunelere göre, kalıba tam sıkıştırarak yerleştirilmesi için ince agrega içeriğinin %10 mertebesinde artırılması gerektiği daha önceki araştırmalarda saptanmıştır (Neville 1997). Lifli betonlarda küçük ebatlı numune kullanımının uygun olmadığı sonuçlardan da anlaşılmaktadır.

Lifli karışımlarda 10×20 cm'lik silindir numunelerin basınç dayanımı 15 cm'lik küp numunelere oranı 7 ve 28 günlük numuneler için sırasıyla %78-%97 ve %76-%100 arasında olduğu saptanmıştır. Beton dayanım sınıfının artışıyla 10×20 cm'lik silindir numunelerin basınç dayanımı 15 cm'lik küp numunelere oranı da artmıştır.

Lifli karışımlarda 15×30 cm standart silindir numunelerinin basınç dayanımı 15 cm'lik

standart küp numunelerin basınç dayanımına oranı %80 ile %94 arasında olduğu görülmektedir. Söz konusu oranlar beton dayanımını artmasıyla artış göstermiştir. Basınç dayanımı artışındaki bu oranların lifli ve lifsiz karışımlarda birbirine çok yakın olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.27. L07 karışımları ile hazırlanan 10 cm küp ve 10×20 cm silindir numunelerde oluşan çeper etkisi

Şekil 4.25'te görüldüğü gibi lifsiz karışımlarda 10 cm küp numunelerin yarmada-çekme dayanımı 15 cm küp numunelere oranı K04 karışımı hariç %102 ile %112 arasında olduğu görülmektedir. Tuğal ve Arıcı (2011), tarafından yapılan çalışmada da numune boyutunun küçülmesi ile yarmada-çekme dayanımının artması tespit edilmiştir.

10×20 cm'lik beton numunelerinin yarmada-çekme dayanımı 15 cm'lik beton numunelerine oranı %106 ile %147 arasında olduğu tespit edilmiştir. Bu oranın düşük dayanımlı betonlarda daha yüksek olduğu saptanmıştır. 15×30 cm'lik silindir numunelerin yarmada-çekme dayanımının 15 cm'lik küp numunelere oranı %100 ile %134 arasında olduğu gözlemlenmiştir.

Şekil 4.26'dann görüldüğü gibi lifli karışımlarda 10 cm küp numunelerin yarmada-çekme dayanımı 15 cm küp numunelerin dayanımının %93 ile %115'i arasında olduğu görülmüştür. 10 cm'lik küp numunelerde yarmada-çekme dayanımı düşük S/Ç oranlarında 15 cm'lik küp numuneye göre daha yüksek çıkmıştır. Ancak, bu durum yüksek S/Ç oranında ve bağlayıcı malzemenin az olması ile düşüş göstermiştir.

Bu durumun çeper etkisinden dolayı olduğu düşünülmektedir (Çopur oğlu 2001). 10×20 cm'lik silindir numunelerin yarmada-çekme dayanımı 15 cm'lik numunelere göre %107 ile %161 arasında olduğu tespit edilmiştir. 15×30 cm'lik silindir numunelerin yarmada-çekme dayanımı 15 cm'lik numunelere göre %89 ile %128 arasında olduğu görülmüştür.

4.2.3. Basınç ve yarmada-çekme dayanımları arasındaki ilişki

Numunelerin basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı tüm S/Ç oranları için lifli ve lifsiz karışımları olarak Çizelge 4.7'de özetlenmiştir. Ayrıca söz konusu oranın karışımın S/Ç oranından bağımsız olarak ortalaması Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. Farklı küp ve silindir numunelerin 7 ve 28 günlük basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı

Karışım kodu	$\sigma_{b15} / \sigma_{t15}$		$\sigma_{b15 \times 30} / \sigma_{t15 \times 30}$		$\sigma_{b10} / \sigma_{t10}$		$\sigma_{b10 \times 20} / \sigma_{t10 \times 20}$	
	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 Günlük	7 Günlük	28 günlük	7 Günlük	28 Günlük
K03	16,44	16,51	12,13	12,79	16,55	18,71	13,94	13,37
K04	16,43	14,05	11,78	12,58	18,19	20,53	11,66	12,46
K05	14,13	14,72	10,34	10,23	14,38	16,44	11,04	10,31
K06	13,06	14,39	9,76	10,67	13,14	15,55	8,96	8,67
K07	11,68	13,81	7,35	8,76	11,76	14,38	7,71	8,11
Ortalama	14,35	14,70	10,27	11,01	14,80	17,12	10,66	10,58
L03	12,62	12,75	8,89	10,06	12,22	12,93	8,36	7,96
L04	12,57	12,04	9,49	8,08	11,2	11,41	7,52	6,67
L05	10,72	10,47	9,21	7,96	10,09	10,9	7,09	7,56
L06	9,81	9,4	7,7	8,48	9,69	10,48	6,36	6,67
L07	9,6	9,39	7,09	7,93	-	-	-	-
Ortalama	11,06	10,81	8,48	8,50	10,8	11,43	7,33	7,22

* σ_b ; Basınç dayanımı * σ_t ; Yarmada-çekme dayanımı

Çizelge 4.7'deki sonuçlara göre lif kullanımından ve numune şeklinden bağımsız olarak beton karışımının basınç dayanımı artışıyla basınç/yarmada- çekme dayanımı oranı da

artmıştır. Çopuroğlu (2001), tarafından yapılan çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiştir.

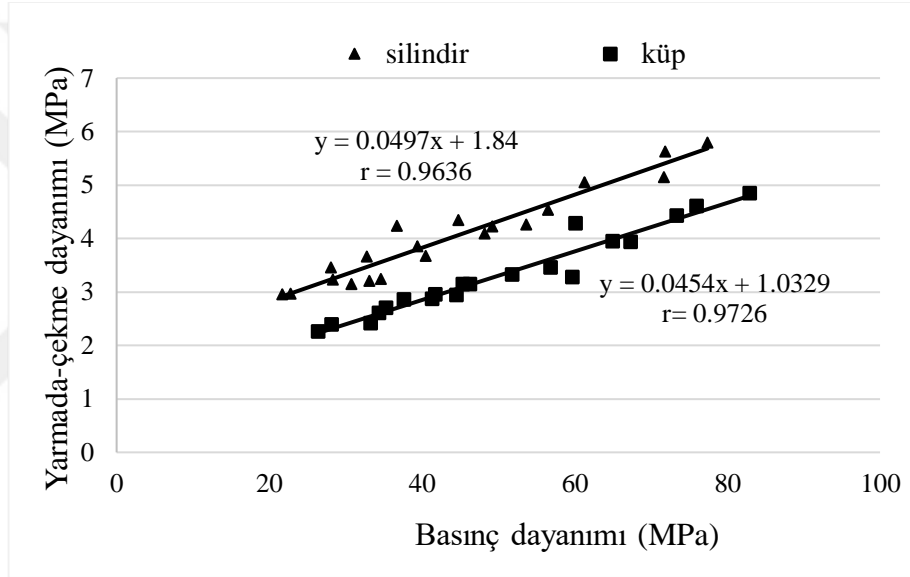
Basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı lifsiz karışımlarda 15 cm küp numuneler için ortalama 14,5 iken 15×30 cm silindir numunelerde ise 10,6 olduğu saptanmıştır. Söz konusu oranının 10 cm küp ve 10×20 cm'lik silindirlerde sırasıyla, 15,96 ve 10,62 olduğu görülmektedir. Sonuç olarak, lif kullanımından bağımsız olarak kp numunelerde basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı silindir numunelere göre daha yüksek olmuştur. Ayrıca, beton dayanım sınıfından bağımsız olarak lif içermeyen karışımlarda, basınç dayanımı/yarmada-çekme dayanımı oranının lifli karışımlara göre daha yüksek olduğu izelge 4.7'den de anlaşılmaktadır.

Lifli karışımlarında basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı 15 cm kp numunelerde 10,94 iken 15×30 cm silindir numunelerde ise 8,49 olduğu grlmştir. Aynı şekilde 10 cm küp ve 10×20 cm silindir numuneler için bu oran sırasıyla, 11,12 ve 7,27 olduğu tespit edilmiştir. Genel olarak, elde edilen sonuçlara göre basınç ve yarmada-çekme-dayanımı ilişkisi ile ilgili aşağıda sıralanan bulgular sıralanabilir;

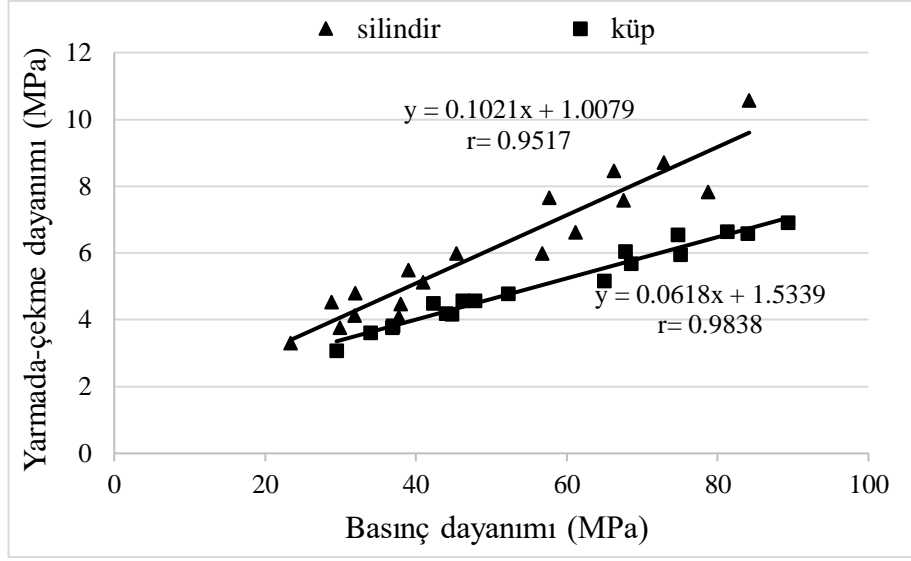
- a) elik lif kullanımı ve numune şeklinden bağımsız olarak, basınç dayanımı/yarmada-çekme dayanımı oranı beton dayanım sınıfı artışıyla artmıştır.
- b) Lif içermeyen karışımlarda, 15 cm'lik küp numunelerin basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı 15×30 cm'lik silindir numunelere göre %35 daha fazla olmuştur. Basınç dayanımı/yarmada-çekme dayanımı oranının 10 cm'lik kp numunelerde 10×20 cm silindir numunelere göre yaklaşık %50 daha fazla olduğu tespit edilmiştir.
- c) Lif içeren karışımlarda 15 cm'lik kp numunelerde basınç dayanımının/yarmada-çekme dayanımına oranı 15×30 cm'lik silindir numunelere göre %29 daha fazla olduğu grlmştir. Bu oranın 10 cm'lik kp numunelerde 10×20 cm'lik silindir numunelere göre %53 daha fazla olduğu saptanmıştır.

d) 15 cm'lik küp numunelerde basınç dayanımı/yarmada-çekme dayanımı oranının lif içermeyen karışımlarda lifli karışımlara göre %32 daha fazla olduğu deney sonuçlarından anlaşılmıştır. Söz konusu bu oran 10 cm'lik küp, 15×30 cm'lik silindir ve 10×20 cm'lik silindir numuneler için sırasıyla %43, %26 ve %46 olarak tespit edilmiştir.

Numune boyutundan bağımsız olarak silindir ve küp numunelerinin yarmada- çekme - basınç dayanımı ilişkisi lifsiz ve lifli durumlar için sırasıyla, Şekil 4.28 ve 4.29'da gösterilmiştir.



Şekil 4.28. Lifsiz karışımların küp ve silindir numunelerin basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.29. Lifli karışımların küp ve silindir numunelerin basınç ve yarmada-çekme dayanımı arasındaki ilişki

Lif kullanımı ve numune şeklinden bağımsız olarak basınç ve yarmada-çekme dayanımları arasında doğrusal güçlü bir ilişkinin mevcut olduğu Şekil 4.28 ve 4.29'dan da anlaşılmıştır. Küp numunelerinde söz konusu bu davranış silindir numunelerine göre daha belirgin olmuştur.

4.2.4. Çelik lif kullanımının beton numunelerin dayanımına etkisi

%1 çelik lif içeren beton karışımlarının aynı S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen karışımların dayanımına oranı sırasıyla Çizelge 4.8 ve 4.9’da verilmiştir.

Çizelge 4.8. Lifli karışımların lifsiz karışımlara göre basınç dayanımı oranı (%)

Numuneler (cm)	Kür süresi (Günlük)	L03/K03	L04/K04	L05/K05	L06/K06	L07/K07
10×10×10	7	111	114	102	98	0
	28	108	111	101	99	0
15×15×15	7	116	114	107	105	112
	28	111	114	104	102	102
10×20	7	102	117	96	88	0
	28	109	117	100	87	0
15×30	7	110	118	114	104	108
	28	110	114	104	110	106

Çizelge 4.9. Lifli karışımların lifsiz karışımlara göre yarmada-çekme dayanımı oranı (%)

Numuneler (cm)	Kür süresi (Günlük)	L03/K03	L04/K04	L05/K05	L06/K06	L07/K07
10×10×10	7	150	184	145	134	0
	28	143	166	144	143	0
15×15×15	7	151	149	142	139	136
	28	143	133	146	157	150
10×20	7	170	182	150	124	0
	28	183	187	138	113	0
15×30	7	150	147	128	131	112
	28	139	156	134	138	117

Çizelge 4.8 ve 4.9’da görüldüğü gibi 15 cm küp numunelerde, lifli karışımların basınç dayanımı lifsiz karışımlara göre %102 ile %117 ve yarmada-çekme dayanımı ise %133 ile %157 arasında bir artış göstermiştir. Benzer şekilde, 10 cm küp numunelerde lif içermeyen karışımlara kıyasla basınç dayanımında % 99 ile %114 ve yarmada-çekme dayanımında ise %143 ile %166’lık bir artış gözlemlenmiştir.

15×30 cm’lik silindir numunelerde lif içermeyen karışımlara kıyasla lifli karışımların basınç dayanımı değerlerinde %104 ile %114 arasında bir artış gözlemlenirken yarmada-çekme dayanımı için %134-%156 arasında bir artış kaydedilmiştir. Bu artışın 10×20 cm’lik silindir numunelerde basınç dayanımı için % 87 ile %109 arasında, yarmada-çekme dayanımı için ise %113 ile %187 arasında olduğu Çizelge 4.8 ve 4.9’dan anlaşılmıştır.

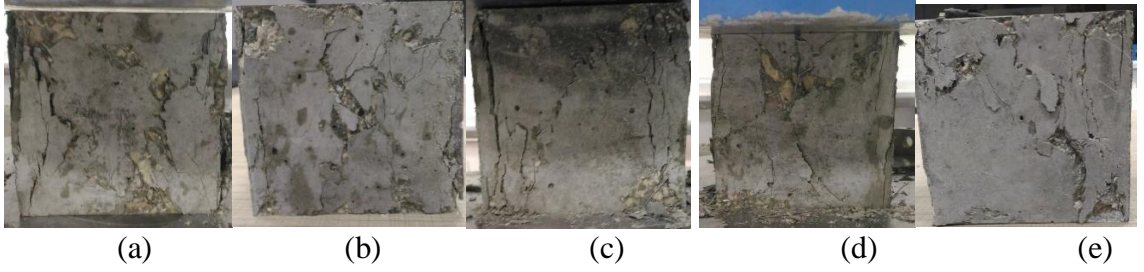
Sonuçlara göre çelik lif kullanımının düşük ve normal dayanım sınıfına sahip betonların basınç dayanımına ciddi mertebede etkisi gözlemlenmemiştir. Numune boyutu küçük (10 cm’lik küp, 10×20 cm’lik silindir) ve S/Ç oranı yüksek olan örneklerde lif kullanımı ile beton karışımlarının basınç dayanımında azalmalar kaydedilmiştir. S/Ç oranı 0,7 olan durum için numunelerde aşırı çeper etkisi olduğundan karışımın basınç dayanımı ölçülememiştir. Bu durum bağlayıcı malzemenin ve ince agreganın az olmasına ve liflerin homojen bir şekilde karışımda dağılmamasından ve böylece topaklaşma oluşumuna sebebiyet verdiğinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bundan dolayı düşük dayanımlı lifli betonlarda küçük ebatlı numunelerin kullanımı uygun bulunmamıştır. Benzer davranışlar beton karışımların yarmada-çekme dayanımı içinde gözlemlenmiştir. Lif kullanımı ile beton karışımlarının yarmada-çekme dayanımında 1,12 ile 1,87 mertebesinde artış sağlanmıştır. Ancak, beton karışımlarının basınç dayanımının ölçümünde de gözlemlendiği gibi 0,7 S/Ç oranında hazırlanan küçük ebatlı numunelerin çeper etkisi oluşumundan kaynaklı yarmada-çekme dayanımı ölçülememiştir. Ancak, yüksek dayanımlı betonlarda lif kullanımı ile beton karışımlarının basınç dayanımında %10’luk bir artış tespit edilmiştir.

4.2.5. Dayanım sınıfının beton numunelerinin kırılma şekline etkisi

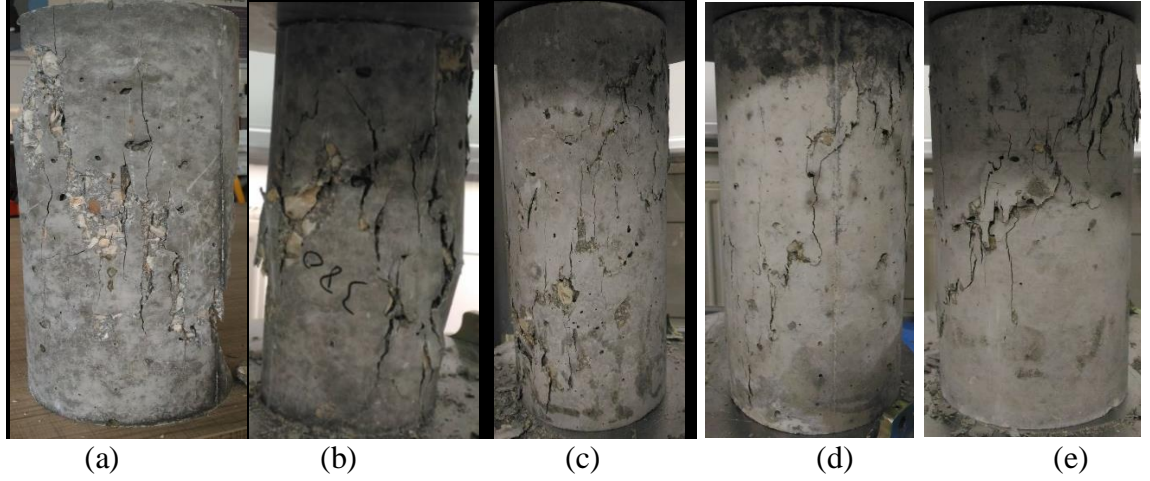
Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan 15×30 cm'lik silindir ve 15 cm'lik küp numunelerin lifli ve lifsiz durumlar için basınç deneyine tabi tutulduktan sonraki görüntüleri Şekil 4.30-4.33'te gösterilmiştir.



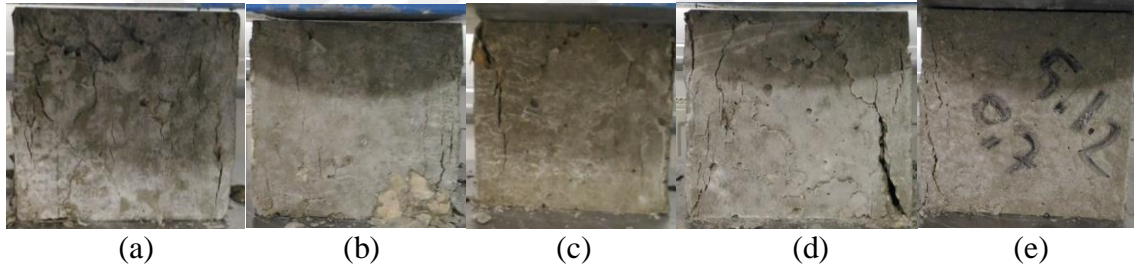
Şekil 4.30. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan %1 lif içeren 15×30 cm'lik silindir beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; **a)** K03 karışımı **b)** K04 karışımı **c)** K05 karışımı **d)** K06 karışımı **e)** K07 karışımı



Şekil 4.31. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan %1 lif içeren 15 cm'lik beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; **a)** K03 karışımı **b)** K04 karışımı **c)** K05 karışımı **d)** K06 karışımı **e)** K07 karışımı



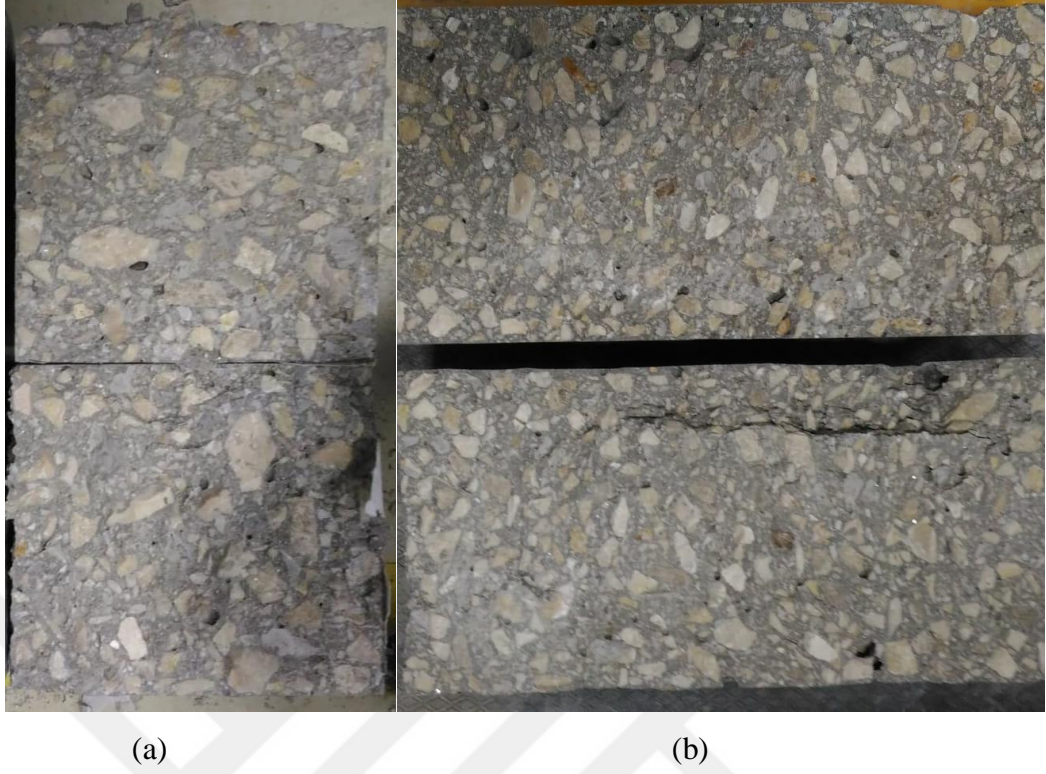
Şekil 4.32. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan lif içermeyen 15×30 cm'lik silindir beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; **a)** K03 karışımı **b)** K04 karışımı **c)** K05 karışımı **d)** K06 karışımı **e)** K07 karışımı



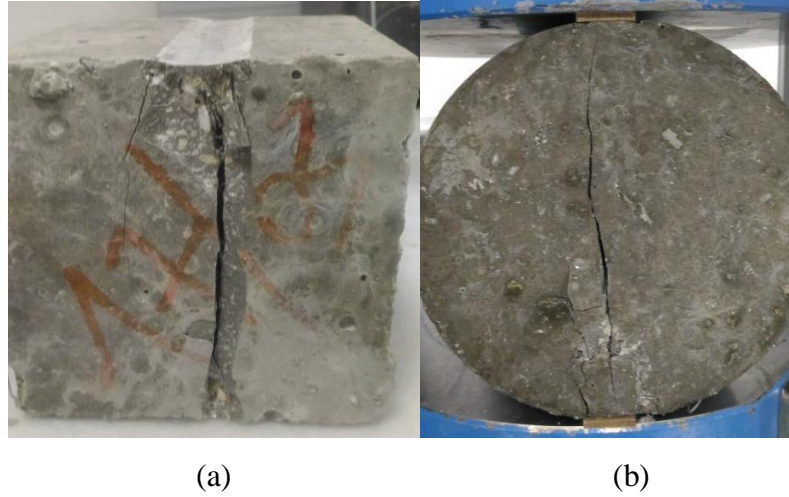
Şekil 4.33. Farklı S/Ç oranlarında hazırlanan lif içermeyen 15 cm'lik beton numunelerinin basınç deneyi sonrası kırılma biçimleri; **a)** K03 karışımı **b)** K04 karışımı **c)** K05 karışımı **d)** K06 karışımı **e)** K07 karışımı

Beklenildiği gibi lif kullanımından bağımsız olarak beton dayanım sınıfı arttıkça 45° olan kırılma açısı azalarak 0,3 S/Ç oranına sahip betonlarda numuneler nerdeyse paralel kırıldığı şekillerden anlaşılmaktadır. Bu etki silindir örneklerde daha bariz bir şekilde ortaya çıkmıştır. Lif kullanımı ile numunelerin yük altında kırılmasından kaynaklı parça kopması azalmıştır.

Yarmada-çekme deneyinde S/Ç oranının değişimi ile numunelerin kırılma şekli ciddi mertebede etkilenmemiştir. Bu sebepten, burada örnek olarak 0,3 S/Ç oranında hazırlanan küp ve silindir numunelerin lifsiz ve lifli durumlar için yarmada-çekme deneyi sonrası görüntüleri sırasıyla Şekil 4.34 ve 4.35'te verilmiştir.



Şekil 4.34. 0,3 S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen beton numunelerinin yarmada-çekme deneyi sonrası kırılma biçimleri **a)** 15 cm'lik küp numune **b)** 15×30 cm'lik silindir numune



Şekil 4.35. 0,3 S/Ç oranında hazırlanan %1 çelik lif içeren beton numunelerinin yarmada-çekme deneyi sonrası kırılma biçimleri **a)** 15 cm'lik küp numune **b)** 15×30 cm'lik silindir numune

Lif içermeyen karışımlarda numune şeklinden bağımsız olarak yarmada-çekme deneyine tabi tutulan numunelerde gevrek tarzı bir kırılma gözlemlenmiştir. Ancak, lif kullanımıyla yarmada-çekme deneyi etkisinde numuneler tam olarak iki ayrı parçaya ayrılmamıştır. Bu etki silindir numunelerde daha bariz bir şekilde kendini göstermiştir. 0,5 S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen 15×30 cm silindir ve 15 cm'lik küp numunelerinin aksel yük altında tipik kırılma biçimi Şekil 4.36'da gösterilmiştir.



Şekil 4.36. 0,5 S/Ç oranında hazırlanan lif içermeyen 15×30 cm silindir ve 15 cm'lik küp numunelerinin tipik kırılma biçimi

5. SONUÇ

Kullanılan malzemeler ve uygulanan yöntemler doğrultusunda aşağıda özetlenen sonuçlar elde edilmiştir.

- Beklenildiği gibi, beton karışımlarının dayanımı numune şekli, boyutu ve lif kullanımından bağımsız olarak zamanla artış göstermiştir.
- S/Ç oranı düşük olan betonlarda ilk 7 günlük dayanım gelişimi yüksek S/Ç oranlarına sahip karışımlara kıyasla daha hızlı olmuştur.
- 28 günlük basınç dayanımının %85'i ilk 7 gün 'de kazanılmıştır.
- Beklenildiği gibi, beton karışımlarının dayanımı lif kullanımından, numune boyutu ve şeklinden bağımsız olarak S/Ç oranının azalmasıyla artış göstermiştir.
- Beton dayanım sınıfının artışı ile silindir ve küp numuneler arasındaki dayanım oranının arttığı gözlemlenmiştir.
- Lif içermeyen karışımlarda, numune şeklinden bağımsız olarak numune boyutu küçüldükçe dayanım değerlerinde artış tespit edilmiştir.
- Lif içeren karışımlarda düşük S/Ç oranında küçük ebatlı numuneler (10 cm küp ve 10×20 cm silindir) standart numunelere (15 cm küp ve 15×30 cm silindir) göre daha yüksek basınç dayanımı göstermiştir. Ancak, yüksek S/Ç oranlarında küçük ebatlı numunelerde çeper etkisi olduğundan standart numunelere göre basınç dayanımında azalma saptanmıştır. Bu bağlamda, S/Ç oranı 0,7 olan küçük ebatlı lifli numunelerin dayanım değerleri numunede aşırı derecede çeper etkisi olduğundan ölçülememiştir. Bundan dolayı S/Ç oranı yüksek ve lif içeren karışımlarda küçük ebatlı numunelerin kullanılması uygun bulunmamıştır.
- Lif içeren küp numunelerin basınç dayanımının liffsiz küp numunelere kıyasla numune boyutundan daha az etkilendiği görülmüştür.

- Lif kullanımından ve numune şeklinden bağımsız olarak beton karışımının basınç dayanımının artışıyla basınç/yarmada- çekme dayanımı oranında artış gözlemlenmiştir.
- Lif kullanımından bağımsız olarak küp numunelerde basınç dayanımının yarmada-çekme dayanımına oranı silindir numunelere göre daha yüksek olmuştur. Ayrıca, beton dayanım sınıfından bağımsız olarak lif içermeyen karışımlarda, basınç dayanımı/yarmada-çekme dayanımı oranının lifli karışımlara göre daha yüksek olduğu deney sonuçlarından anlaşılmıştır.
- Lif kullanımı ve numune şeklinden bağımsız olarak basınç ve yarmada-çekme dayanımları arasında doğrusal güçlü bir ilişkinin mevcut olduğu saptanmıştır. Küp numunelerinde söz konusu bu davranış silindir numunelerine göre daha belirgin olmuştur.
- Çelik lif kullanımının düşük ve normal dayanım sınıfına sahip betonların basınç dayanımına ciddi mertebede etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, yüksek dayanımlı betonlarda lif kullanımı ile beton karışımlarının basınç dayanımında %10'luk bir artış tespit edilmiştir.

Bu tez çalışması sonucunda elde edilen tecrübeler ışığında, aşağıda belirtilen öneriler yapılmıştır.

- Agrega gradasyonu ve maksimum tane boyu değiştirilerek benzer bir çalışma yapılabilir.
- Farklı narinlik oranlarına sahip silindir numuneler üzerinde benzer bir çalışma yapılabilir.
- Lif kullanım oranı, narinlik oranı ve tipi değiştirilerek benzer çalışma tekrarlanabilir.
- 100 MPa üzerinde dayanıma sahip beton karışımlarında numune şekli ve boyutu ile lif kullanımı etkisi incelenebilir.
- Benzer etkenlerin beton karışımlarının eğilme dayanımına etkisi araştırılabilir.
- Kendiliğinden yerleşen beton karışımlar gibi yüksek viskoziteye sahip betonlarda aynı faktörlerin etkisi kıyaslanabilir.

KAYNAKLAR

- Aitcin, P.C., Miao, B., Cook, W and Mitchell, D. 1994.** Effects of Size and Curing on Cylinder Compressive Strength of Normal and High-Strength Concretes. *ACI Materials Journal*, 91(4): 349–354.
- Ashkari, H. 2015.** Beton numunesi geometrisinin basınç dayanımına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Aslani, F. 2013.** Effects of specimen size and shape on compressive and tensile strengths of self compacting concrete with or without fibres. *Magazine of Concrete Research*, 65(15): 914–929.
- ASTM C496., 2002.** Standart test method for splitting tensile strength of cylindrical concrete specimens. Annual Book of ASTM Standards.
- Baradan, B., Yazıcı, H., Aydın, S., Türkel, S., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K. 2015.** Beton, Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayınları, İzmir, 423-697.
- BS 1881 Part 108, 1983.** Testing Concrete. British Standards.
- Cordon, W. 1979.** Properties, evaluation, and control of engineering materials. McGRAW-HILL Inc., 368 sayfa.
- Çopuroğlu, O. 2001.** Beton numunesi şekli ve boyutunun basınç ve çekme dayanımına etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.
- Dehestani, M., Nikbin, I.M and Asadollahi, S., 2014.** Effects of Specimen Shape and Size on the Compressive Strength of Self-Consolidating Concrete (SCC). *Construction and Building Materials*, 66: 685–691.
- Del Viso, J.R., Carmona, J.R and Ruiz, G. 2007.** Shape and Size Effects on the Compressive Strength of High-Strength Concrete. *Cement and Concrete Research*, 38: 386–395.
- Erdoğan, T.Y. 2010.** Beton, ODTÜ Geliştirme vakfı yayıncılık ve iletişim A.Ş. Yayın, 3. Baskı, Ankara.
- Ersoy, U. 2000.** Betonarme, ODTÜ, Evrim Yayınları, Ankara, 18-24.
- Felekoğlu, B and Türker, S. 2005,** Effects of Specimen Type and Dimensions on Compressive Strength of Concrete. *Journal of Science*, 18(4): 639-645.
- Khaloo, A., Mohamadi Shooreh, M and Askari, S. 2009.** Specimen and Aggregate Size Effect on Concrete Compressive Strength., *Journal of Materials in Civil Engineering*, 21 (8):349–355.
- Mansur, M. A., Asce, M. and Islam, M. M. 2002.** Interpretation of Concrete Strength for Nonstandard Specimens. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 14 (2): 151–155.
- Mardani-Aghabaglou, A., Son, A. E., Felekoglu, B., & Ramyar, K. 2017.** Effect of Cement Fineness on Properties of Cementitious Materials Containing High Range Water Reducing Admixture. *Journal of Green Building*, 12(1): 142–167.
- Mardani-Aghabaglou, A., Yüksel, C., Hosseinneshad, H., & Ramyar, K. 2016.** Performance of steel micro fiber reinforced mortar mixtures containing plain, binary and ternary cementitious systems. *Journal of Green Building*, 11(4), 109-130.
- Mehta P.K., Monteiro P.J.M. 1997.** Concrete: Microstructure, Properties and Materials. *Indian Concrete Institute*, İndia.

- Mindess, S., Young, J.F and Darwin, D. 1981.** Concrete, Prentice-hill, Englewood Cliffs.
- Neville, A.M. 1997.** Properties of Concrete. Longman Press, London, 268-358.
- Ramachandran, V.S. 1995.** Concrete admixtures handbook. Second edition, Noyes Publication, NJ, U.S.A.
- Sim, J., Yang, k., Kim, H and Choi, B. 2013.** Size and Shape Effects On Compressive Strength of Lightweight Concrete. *Construction and Building Materials*, 38: 854–864.
- Tae Yi, S., Yang, E and Cheol Choi, J. 2006.** Effect of Specimen Sizes, Specimen Shapes, and Placement Directions on Compressive Strength of Concrete. *Nuclear Engineering and Design*, 236: 115–127.
- Tokuyay, M and Özdemir, M. 1997.** Specimen Shape and Size Effect on the Compressive Strength of Higher Strength Concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(8):1281-1289.
- TS EN 1097-6. 2013.** Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler-Bölüm 6: Tane Yoğunluğunun Ve Su Emme Oranının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-2. 2010.** Beton- Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, TSE, Ankara.
- TS EN 12350-6. 2010.** Beton- Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-3. 2010.** Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, TSE, Ankara.
- TS EN 12390-6 (2002).** Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 6: deney numunelerinin yarmada-çekme dayanımının tayini. TSE, Ankara.
- TS EN 197-1. 2012.** Genel Çimentolar - Bölüm 1:Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler Ve Uygunluk Kriterleri, TSE, Ankara.
- TS EN 206-1. 2013.** Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk, TSE, Ankara.
- Tuğal, m. Arıcı, E. 2010.** Betonun yarma dayanımında geometrik şeklin etkisinin incelenmesi. *E-Journal Of New World Science Academy*, 6(4): 1087-1092.
- Yazıcı, Ş and İnan Sezer, G., 2007,** The Effect of Cylindrical Specimen Size on the Compressive Strength of Concrete. *Building and Environment*, 42: 2417–2420.
- Yi ST, Yang EI and Choi JC (2006),** Effect of specimen sizes, specimen shapes, and placement directions on compressive strength of concrete. *Nuclear Engineering and Design*, 236(2): 115–127.
- Zeynal, E. 2008.** Çelik lif ve s/ç oranlarının çelik lifli betonların darbe mukavemetine ve mekanik özelliklerine etkisi. *Yüksek Lisans Tezi*, EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat mühendisliği Anabilim Dalı, İzmir.

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Sultan Husein BAYQRA
Doğum Yeri ve Tarihi : AFGANİSTAN-20.12.1992
Yabancı Dili : İngilizce, Farsça, Türkçe

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

lise : Mazare Sharif Afgan Turk High School
Lisans : Gaziosmanpaşa Üniversitesi Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü
Yüksek Lisans : Uludağ Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Bölümü

İletişim (e-posta) : sultanhuseinbayqra1050@gmail.com

Yayımlar :

Mardani-Aghabaglou, A., Özen, S., Bayqra, S.H., Ouedraogo, H.A. 2018. Farklı puzolanların tekli, ikili ve üçlü çimentolu sistemleri içeren harç karışımlarının dayanımı ve geçirgenlik performansı açısından kıyaslanması. *BAUN Fen Bil. Enst. Dergisi*, 20(1): 612-625

Mardani-Aghabaglou, A., Bayqra, S.H., Ouedraogo, H.A., Özen, S., Yılmaz, G. 2018. Assesment of effect of specimen size on compressive and splitting tensile strength of concrete mixture. European Conference On Science, Art And Culture, 19-20 April, Antalya, Turkey.