

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

(YÜKSEK LİSANS TEZİ)

**BETON NUMUNESİ GEOMETRİSİNİN BASINÇ
DAYANIMINA ETKİSİ**

Hadi ASHKARİ

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Sunuş Tarihi: 05.11.2015

Bornova-İZMİR

2015

Hadi ASHKARİ tarafından yüksek lisans tezi olarak sunulan "**Beton Numunesi Geometrisinin Basınç Dayanımına Etkisi**"başlıklı bu çalışma EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği ile EÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Eğitim ve Öğretim Yönergesi'nin ilgili hükümleri uyarınca tarafımızdan değerlendirilerek savunmaya değer bulunmuş ve 05.11.2015 tarihinde yapılan tez savunma sınavında aday oybirliği/oyçokluğu ile başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri:

İmza

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

Raportör Üye : Doç. Dr. Şemsi YAZICI

Üye : Doç.Dr. A. Uğur ÖZTÜRK

EGE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ETİK KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

EÜ Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin ilgili hükümleri uyarınca Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum "**Beton Numunesi Geometrisinin Basınç Dayanımına Etkisi**" başlıklı bu tezin kendi çalışmam olduğunu, sunduğum tüm sonuç, doküman, bilgi ve belgeleri bizzat ve bu tez çalışması kapsamında elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara atıf yaptığımı ve bunları kaynaklar listesinde usulüne uygun olarak verdiğimi, tez çalışması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışın olmadığını, bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya diğer bir üniversitede başka bir tez çalışması içinde sunmadığımı, bu tezin planlamasından yazımına kadar bütün safhalarda bilimsel etik kurallarına uygun olarak davrandığımı ve aksinin ortaya çıkması durumunda her türlü yasal sonucu kabul edeceğimi beyan ederim.

05/11/2015

Hadi ASHKARİ

ÖZET**BETON NUMUNESİ GEOMETRİSİNİN
BASINÇ DAYANIMINA ETKİSİ**

ASHKARİ, Hadi

Yüksek Lisans Tezi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

Kasım, 2015, 91 sayfa

Bu çalışmada farklı dayanım seviyelerinde olan betonlarda numunenin şekli ve büyüklüğünün betonun basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir tip çimento ve bir tip agrega (ince ve iri boy sınıflarında) ve bir su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Ayrıca, yüksek dayanımlı karışımlarda uçucu kül veya silis dumanı mineral katkı olarak ilave edilmiştir. S/B oranı 0.23 ile 0.89 arasında değişen 11 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. karışımlardan 150mm ayrıtlı küp, 100x200mm ve 150x300mm silindir numuneler üretilmiştir. Betonların 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları farklı şekil ve büyüklükte olan numuneler üzerinde belirlenmiştir. Küp numuneler, döküm yönüne dik ve paralel olmak üzere iki farklı doğrultuda deneye tabi tutulmuştur.

Sonuçta, erken yaşta 100x200mm büyüklüğündeki silindir numunelerin 150x300mm büyüklüğündeki silindir numunelere kıyasla daha yüksek dayanıma sahip olduğu tespit edilmiştir. Ancak, numune yaşı ilerledikçe orta ve yüksek dayanımlı betonlarda 100x200mm büyüklüğündeki silindir ile 150x300mm büyüklüğündeki numunelerin basınç dayanımı arasındaki farkın $\pm$ %5 mertebesinde olduğu görülmüştür. Beton yaşından bağımsız olarak, düşük dayanımlı betonlarda 150mm küp ve 150X300mm silindir numunelerin dayanım farkları %10 ile %15 arasında değişmekte olduğu saptanmıştır. 150mm ayrıtlı, döküm yönüne dik ve döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin basınç dayanım farkı erken yaşlarda yüksek olduğu, numunenin yaşı ilerledikçe bu farkın azalmakta olduğunun kanısına varılmıştır. Özellikle erken yaşlarda, döküm yönüne paralel ve dik yüklenen küp numunelerin dayanım oranları beton dayanım seviyesi yükseldikçe azalma göstermiştir.

Anahtar sözcükler: Beton basınç dayanımı, beton numunesinin şekli, beton numunesinin boyutu.

ABSTRACT**EFFECT OF GEOMETRY OF CONCRETE SPECIMEN ON
COMPRESSIVE STRENGTH****ASHKARI, Hadi**

MSc in Civil Engineering Department

Supervisor: Prof. Dr. Kambiz RAMYAR

November, 2015, 91 pages

In this thesis the effect of shape and size of concrete specimen with different strength levels on compressive strength of concrete were investigated. For this purpose one type of cement, one type aggregate (fine and coarse) and one type water reducing chemical admixture were used. Besides, a fly ash and a silica fume were added to the high strength concrete mixtures. 11 different concrete mixtures having water / binder (W/B) ratios ranging between 0.23 to 0.89 were prepared. 150 mm cube, 100 * 200 mm as well as 150 * 300 mm cylinder specimens were cast. 2, 7 and 28-day compressive strength of the concrete specimens were determined. The cube specimens were loaded in two different directions i.e., parallel and perpendicular to the casting direction.

It was concluded that at 2-day age, 100 * 200 mm cylinder specimens showed a higher strength than 150 * 300 mm specimens. However, by elapsing time, in medium- and high- strength concrete mixtures, the difference between 100mm and 150 mm diameter cylinder specimens was about $\pm 5\%$. Irrespective of the concrete age, the differences between compressive strength values of 150 mm cube and 150 * 300 mm cylinder specimens varied in the range of 10% to 15% in low strength concretes. The difference between compressive strength of 150 mm cube specimens loaded parallel and perpendicular to the direction of casting was high at early ages, however, at later ages this difference decreased. Specially, with an increase in the level of compressive strength of concrete, the ratio between the strength of cube specimens loaded parallel and perpendicular to the direction of casting decreased at early ages.

Keywords: Compressive strength of concrete, shape of concrete specimen, size of concrete specimen.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada her aşamada değerli görüş ve bilgileriyle yön veren ve çalışma sürecice yönlendirici desteğini esirgemeyen danışman hocam, sayın Prof. Dr. Kambiz RAMYAR’a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışma süresinde laboratuvarından faydalanma imkanı veren ve malzeme temini konusunda yardımcı olan Batı Beton Firmasına ve Batı Beton laboratuvarı çalışanlarına teşekkür ederim.

Her zaman benden maddi ve manevi desteğini esirgemeyen annem ve babama teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET	vii
ABSTRACT	ix
TEŞEKKÜR	xi
ŞEKİLLER DİZİNİ	xviii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Amaç ve Kapsamı	2
2. BETON DAYANIMI	3
2.1 Beton Dayanımını Oluşturan Faktörler	3
2.2 Beton Basınç Dayanımı	4
2.3 Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler	5
2.3.1 Su/çimento (S/Ç) oranı	5
2.3.2 Jel / boşluk oranı	6
2.3.3 Çimento	9
2.3.4 Agrega	10
2.3.5 Betonun karılma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırılması	12
2.3.6 Kür koşulları	13
2.3.7 Betonun olgunluğu	13

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
2.3.8 Katkılar.....	14
2.3.9 Karışım suyu	16
2.3.10 Basınç yönünün etkisi	16
2.4 Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları.....	17
3. BETON DAYANIM DENEYLERİ.....	19
3.1 Tahribatlı Deneyler	19
3.1.1 Tek eksenli basınç dayanımı	19
3.1.2 Çekme dayanım deneyi	21
3.1.3 Eğilmede çekme dayanımı	22
3.2 Tahribatsız Deneyler	23
3.2.1 Beton test çekici	23
3.2.2 Ultrases yöntemi	25
4. LİTERATÜR TARAMASI.....	29
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	49
5.1 Kullanılan Malzeme	49
5.1.1 Çimento	49
5.1.2 Agregası	51
5.1.3 Mineral katkı	52

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.1.4 Kimyasal katkı	53
5.2 Beton Karışım Oranları.....	54
6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA	59
6.1 Dayanım-Zaman İlişkisi	59
6.2 Numune Şeklinin Basınç Dayanımına Etkisi	70
6.3 Numune Büyüklüğünün Basınç Dayanımına Etkisi	77
6.4 Yükleme Yönünün Basınç Dayanımına Etkisi	78
6.5 Su/Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi.....	80
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	82
KAYNAKLAR DİZİNİ.....	87
ÖZGEÇMİŞ.....	91

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Sıkıştırma mertebesinin beton basınç dayanımı-su/çimento oranı ilişkisine etkisi.....	6
2.2. Harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı ilişkisi.....	8
2.3. Harç Hapsolmuş hava boşlukları göz önüne alındığında harç basınç dayanımı-jel/boşluk oranı ilişkisi.....	8
2.4. Yaş ve sıcaklığa bağlı olarak basınç dayanımı değişimi.	14
2.5. Yerleştirme yönüne dik ve paralel yüklenen betonların gerilme-birim deformasyon eğrisi.....	17
3.1. Betonda uygulanan ultrases ölçme teknikleri.	26
4.1. Döküm yönünde ve standard yöntemle deneye tabi tutulan küp numunelerin basınç dayanımı ilişkisi.....	30
4.2. a) Küp ve b) Silindir numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrisi.	31
4.3. Yük uygulanan alan ve etkin alan.....	34
4.4. 150 mm küp ve 150x300 mm silindir numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	40
4.5. 150 mm küp ve 100x200 mm silindir numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	41
4.6. 150 mm küp ve 100x100 mm karot numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	41

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
4.7. 150 mm küp ve 100 mm küp numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.....	42
4.8. Şekil, büyüklük ve basınç uygulama yönünün maksimum gerilmedeki birim deformasyona etkisi.	44
4.9. Silindir ve yatay üretilen 100x100x200 mm prizma numunelerde maksimum gerilmeye karşı olan birim defomasyon-basınç dayanımı ilişkisi.....	44
4.10. (a) ve (b) Farklı büyüklükte olan prizma numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri.	45
5.1. Aşındırma cihazı.....	55
6.1. Döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) zamanla dayanımının gelişmesi.....	61
6.2. Döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) zamanla dayanımının gelişmesi.....	63
6.3. 150 mm çapında silindir numunelerin (S15) dayanımının gelişmesi.....	65
6.4. 100 mm çapındaki silindir numunelerin (S10) zamanla dayanımının gelişmesi.....	67
6.5. Döküm yönüne dik, (KD) yüklenen numunelerin 28 günlük dayanımına göre bağıl dayanımları.....	69
6.6. 2 günlük numunelerin basınç dayanımı.	71
6.7. 7 günlük numunelerin basınç dayanımı.	72

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Şekil</u>	<u>Sayfa</u>
6.8. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı.	73
6.9. S 15/KD dayanım oranları.	75
6.10. TS 206’da verilen 28 günlük S15 ve KD dayanımları arasındaki ilişki.	76
6.11. TS 206’da verilen 28 günlük S 15/KD dayanım oranları.	76
6.12. S 15 / S 10 dayanım oranları.	77
6.13. KP / KD dayanım oranları.	79
6.14. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin basıç dayanımı.....	80
6.15. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) basıç dayanımı.....	81
6.16. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 150 mm çapında silindir numunelerin (S15) basıç dayanımı.....	82
6.17. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 100 mm çapında silindir numunelerin (S10) basıç dayanımı.....	83

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
2.1. Beton üretiminde kullanılacak sular için çeşitli araştırmacı ve standartlarca önerilen tuz konsantrasyonları sınır değerleri.....	16
2.2 Normal ve ağır betonlar için dayanım sınıfları ve karışım oranlarında esas alınacak basınç dayanımları.....	18
4.1. Beton karışım oranları.	32
4.2. Deney sonuçları.	34
4.3. Numunelerin karışım oranları.	36
4.4. Beton karışım oranları.	37
4.5. Küp numunelerin deney sonuçları.	38
4.6. Silindir numunelerin deney sonuçları.	39
4.7. Beton numunelerin karışım oranları.	43
4.8. Normal ve yüksek dayanımlı betonların karışım oranı.....	48
4.9. Küp numunelerin basınç dayanımı.	48
4.10. Silindir numunelerin basınç dayanımı.	48
5.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri	50
5.2. Agreganın elek analizi.	51
5.3. Agreganın fiziksel özellikleri.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
5.4. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.	52
5.5. Silis dumanı kimyasal analizi.	53
5.6. Süper akışkanlaştırıcı katkının bazı özellikleri.	54
5.7. Beton karışım oranları (kg/m^3).	56
5.8. Beton karışımlarının bazı özellikleri.	57
6.1. Döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) dayanımın gelişmesi. .	60
6.2. Döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) dayanımın gelişmesi.....	62
6.3. 150 mm çapında silindir numunelerin (S15) dayanımın gelişmesi.....	64
6.4. 100 mm çapındaki silindir numunelerin (S10) dayanımın gelişmesi.	66
6.5. Döküm yönüne dik, (KD) yüklenen numunelerin 28 günlük dayanımına göre bağlı dayanımları.....	69
6.6. 2 günlük numunelerin basınç dayanımı.	70
6.7. 7 günlük numunelerin basınç dayanımı.	71
6.8. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı.	72
6.9. S 15/ KD dayanım oranları.	75

ÇİZELGELER DİZİNİ (devam)

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
6.10. S 15 / S 10 dayanım oranları	77
6.11. KP / KD dayanım oranları.	78
6.12. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) basıç dayanımı.....	80
6.13. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) basıç dayanımı.....	81
6.14. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 150 mm çapında silindir numunelerin (S15) basıç dayanımı (Mpa).....	82
6.15. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 100 mm çapında silindir numunelerin (S1) basıç dayanımı.....	83

1.GİRİŞ

İnsanoğlu uzun zaman içinde plastik durumdayken şekillendirilebilen, sertleştikten sonra ise yeterli dayanım ve kalıcılık gösteren malzemeleri keşfetmiştir. Çok uzun süreler, mühendisler seramikleri, alçı sıvaları, kireç harçları ve puzolanik betonları kullanarak çeşitli amaçlara yönelik ekonomik ve estetik yapılar inşa etmiştir. Daha da geniş teknik beklentilere cevap veren modern betonlar aslında bu geleneksel malzemenin devamıdır.

İnşaat mühendisliği bakımından betondan beklenen özellikler arasında basınç dayanımı ve kalıcılık öne çıkmaktadır. Betonun, basınç, çekme, eğilme, kayma ve burulma gibi çeşitli yüklere karşı gösterdiği dayanımlar arasında en yüksek olanı basınç dayanımıdır. Betonun basınç dayanımı; malzemeye gelen basınç yüklerinin oluşturduğu şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanmaktadır.

Betonarme yapılar, betonun bu özeliği kullanılarak inşa edilmektedir. Betonarme elemanlar, kesitlerindeki basınç gerilmeleri beton, çekme gerilmeleri ise çelik donatı tarafından karşılanacak biçimde tasarlanmaktadır. Buna ilaveten, basınç dayanımı betonun çok sayıda özeliği ile paralellik göstermektedir. Örneğin, basınç dayanımı yüksek olan betonun genelde çekme dayanımı ve elastik modülü yüksektir, geçirimsizliği düşüktür, kalıcılığı ve aşınmaya karşı direnci yüksektir. Ayrıca betonun basınç dayanımı deneyi nispeten basit olduğundan, tespit edilmesi kolay bir özelliktir. Bu nedenlerden dolayı basınç dayanımı beton kalite kontrolünde ağırlıklı olarak kullanılmaktadır.

Agrega ve bağlayıcı hamurdan oluşan beton, üç fazlı (agrega, bağlayıcı hidrate hamur ve geçiş bölgesi) kompozit bir malzeme olarak tanımlanmaktadır. Betonun dayanımı ise bu üç faz tarafından belirlenmektedir. Geleneksel olarak kullanılan agregaların dayanımı, betonun beklenen dayanımının çok üzerinde olduğundan sıkıntı kaynağı değildir. Dolayısıyla, beton dayanımı hamur ve geçiş bölgesi dayanımı tarafından kontrol edilmektedir. Hidrate hamur dayanımı su/bağlayıcı malzeme (S/B) oranı ve hidrasyon derecesine bağlıdır. Geçiş bölgesi dayanımı ise S/B oranı, mineral katkı kullanımı, hidrasyon derecesi, kür

koşulları, agreganın en büyük tane boyu ve yüzey dokusu, karışımın sıkıştırma derecesi ve kanaması gibi çok sayıda faktörden etkilenmektedir. Dolayısı ile bunların bileşeni olan betonun dayanımında çok sayıda faktöre bağlıdır. Bu faktörlerin arasında numune geometrisi ve büyüklüğü de bulunmaktadır. Beton karışımlarının tasarımı ve kalite kontrolü genelde basınç dayanım deneyleriyle yapılmaktadır. Bu deneyde farklı boyutta küp veya silindir numune kullanılmaktadır. Betonda kullanılan malzeme (çimento tipi, mineral ve kimyasal katkı, agrega gradasyonu, en büyük tane boyu gibi agrega özellikleri) ve karışım oranları, küp ve silindir numunelerde elde edilen dayanım değerlerini etkilemektedir. TS EN 206 standardında farklı dayanım seviyesindeki betonlar için 150mm küp ve 150x300mm silindir karakteristik dayanımları verilmektedir. Literatürde betonun dayanım seviyesi arttıkça küp ve silindir dayanımları arasındaki farkın azaldığı bildirilmektedir (Neille, 1995). Ancak standartta verilen değerler bu ifadeyle çelişmektedir. Şöyle ki betonun dayanım seviyesi arttıkça küp ve silindir numuneler arasındaki dayanım farkı da artmaktadır.

1.1 Amaç ve Kapsamı

Tez kapsamında farklı dayanım seviyelerinde olan betonlarda numunenin şekli ve büyüklüğünün betonun basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Bu amaçla bir tip çimento ve bir tip agrega (ince ve iri boy sınıflarında) ve bir su azaltıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Ayrıca, yüksek dayanımlı karışımlarda uçucu kül veya silis dumanı mineral katkı olarak ilave edilmiştir. S/B oranı 0.23 ile 0.89 arasında değişen 11 farklı beton karışımı hazırlanmıştır. TS 802 “Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, 2009” standardına göre tasarlanmış olan karışımlardan 150 mm ayrıtlı küp, 100x200 mm ve 150x300 mmsilindir numuneler üretilmiştir. Betonların 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları farklı şekil ve büyüklükte olan numuneler üzerinde belirlenmiştir. Küp numuneler, döküm yönüne dik ve paralel olmak üzere iki farklı doğrultuda deneye tabi tutulmuştur. Karışımların taze halde iken; çökmesi, hava içeriği ve birim hacim ağırlığı gibi özellikleri, sertleşmiş haldeyken de; basınç dayanımı tespit edilmiştir. Deneysel çalışma kapsamında toplamda 396 beton numunesi basınç deneyine tabi tutulmuştur.

2. BETON DAYANIMI

Betonarme yapılar servis ömürleri boyunca değişik yönlerde etki yapan statik ve/veya dinamik yüklere maruz kalmaktadır. Doğal olarak, üzerine gelen yükün etkisi ile betonda bir miktar şekil değişikliği meydana gelmektedir. Üzerine gelen yüklerin büyüklüğüne bağlı olarak betondaki şekil değişikliklerinin miktarı ve bu yükleri taşıyabilmek için gereken direnç değişmektedir. Betonun üzerine gelen yüklerin büyüklüğü, betonun bu yüklere karşı koyma kapasitesinden daha büyük olursa, çok büyük şekil değişiklikleri oluşabilir ve beton kırılabilir. Bilindiği gibi, malzemenin bir birim alanının üzerinde etki yapan yük; "gerilme" olarak adlandırmakta ve kgf/cm^2 veya MPa gibi birimlerle ifade edilmektedir (Erdoğan 2003).

Genel olarak, betonun kalitesi basınç dayanımı ile ifade edilmektedir. Genel kabul, betonun dayanımının artması ile diğer özelliklerinin de gelişeceği yönündedir. Öte yandan bu durum her zaman için geçerli değildir. Örneğin, çimento miktarındaki artış dayanımı bir dereceye kadar arttırmakla birlikte büzülme ve sünmeyi de arttırabilmektedir. Bundan dolayı, bazı uygulamalar için karışım oranı hesaplarında yalnızca dayanım parametresini gözönüne almak uygun olmayabilir (Mindess ve Yong, 1981).

Dayanım, sertleşmiş betonun tek önemli özeliği değildir. Dayanıklılık, hacim sabitliği ve geçirimsizlik de sertleşmiş betonda bulunması gereken önemli özelliklerdir (Mindess ve Yong, 1981).

2.1 Beton Dayanımını Oluşturan Faktörler

Bilindiği gibi beton çimento hamuru, geçiş bölgesi (ITZ) ve agrega olarak üç fazdan oluşan kompozit bir malzemedir. Bu fazlardan bağlayıcı özeliğe sahip çimento hamuru, agrega tanelerinin yüzeyini kaplamakta, taneler arasındaki boşlukları doldurmakta ve agrega taneleri ile aderans kurarak betonun tek bir malzeme durumunu alabilmesini sağlamaktadır. Sertleşmiş çimento hamurunun dayanımı yüksek olmadığı taktirde, betona uygulanan yükler karşısında, çatlamaların ve kırılmaların oluşması bu fazdan başlamaktadır. Yeterli ölçüde

sıkıştırılmış çimento hamurunun dayanımı, çimentonun ne ölçüde hidratasyon yapmış olduğuna ve kullanılan su/çimento oranına bağlıdır (Erdoğan 2003).

Agrega genellikle beton hacminin yüzde 70 ile 80'ini oluşturduğundan betonun tüm özelliklerine etkisi olduğu beklenilmektedir. Agregası, betonun ekonomik yönünü etkilemenin yanı sıra hacim sabitliği ve aşınma direncini belirlemede büyük rol oynamaktadır (Mindess ve Yong, 1981).

Sertleşmiş betondaki kırılmanın başladığı en zayıf bölgeler, iri agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki yüzeylerdir. Çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağ, kısmen Van der Waals kuvvetleri tarafından kısmen de iri agrega tanelerinin yüzeyleri ile çimento hamuru arasındaki aderans tarafından oluşmaktadır. Yüzey dokusu pütürlü agregalarla yapılan betonların eğilme ve çekme dayanımları, düzgün yüzeyli agregalarla yapılan betonlarınkinden daha fazla olabilmektedir (Erdoğan, 2003).

2.2 Beton Basınç Dayanımı

Beton basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altındaki betonun kırılmamak için gösterebileceği direnme kabiliyetidir. Betonda araştırılan değişik dayanım türleri arasında mühendislik uygulamalarında en çok kullanılanı ve en popüler olanı basınç dayanımıdır. Bunun nedenleri, basınç dayanımının bulunabilmesi için uygulanan deney yöntemleri diğer dayanım türlerinin bulunabilmesi için uygulanan yöntemlerden daha basittir. Ayrıca, hemen hemen tüm yapıların tasarımında, betonun basınç dayanımı değeri esas alınmaktadır. Birçok yapıda betonun önemli miktarda çekme, eğilme ve yorulma gibi değişik yüklere maruz kalmayacağı varsayılmakta ve betonun üzerine gelen en önemli yüklerin basınç yükleri olduğu kabul edilerek hesap yapılmaktadır. Betonun basınç dayanımı ile çekme ve eğilme dayanımları arasında, yaklaşık da olsa, bir korelasyon bulunmaktadır. Bu nedenle, basınç dayanımı bilindiği takdirde, diğer türdeki dayanımların büyüklükleri hakkında bir fikir edinilebilmektedir (Erdoğan, 2003).

Betonun mekanik dayanımları arasında değeri en büyük olan basınç mukavemetidir. Bu durum gözönünde tutularak beton yapılar daha çok basınç

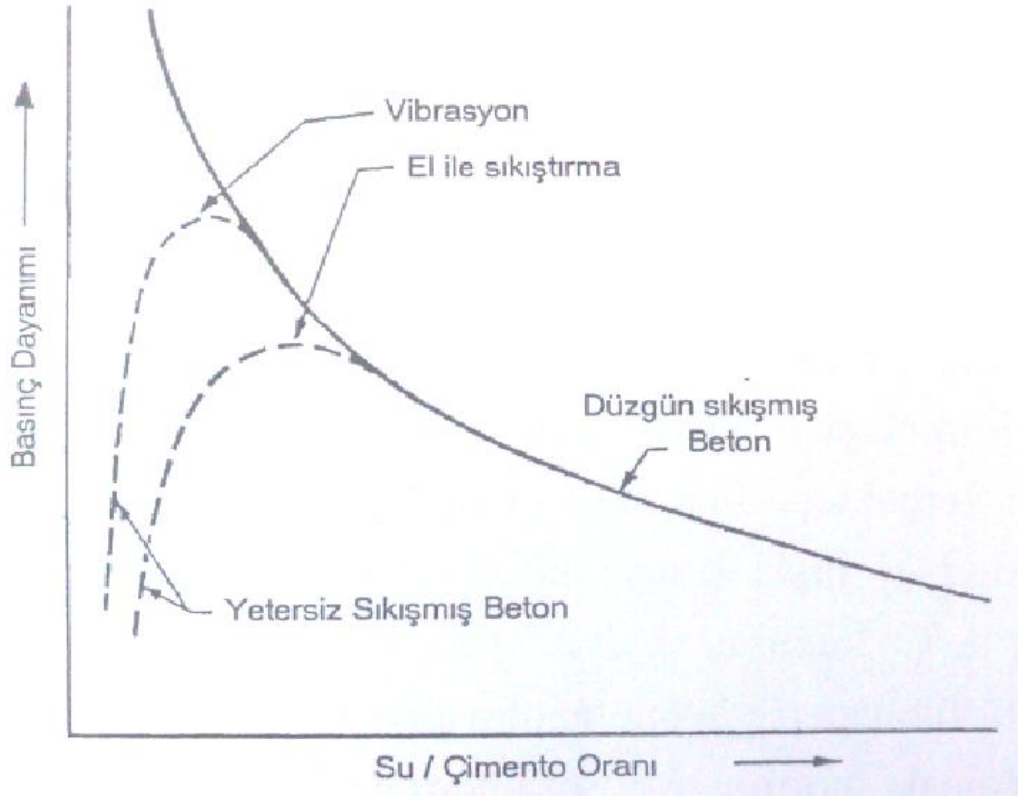
gerilmelerine maruz bırakılır. Nitekim betonun çekmeye karşı dayanımının zayıf olmasından dolayı betonarme yapı sistemi ortaya çıkmıştır. Bu yapı sisteminde meydana gelen çekme gerilmeleri çelik donatılar tarafından karşılanmaktadır (Mindess ve Yong, 1981).

2.3 Beton Dayanımını Etkileyen Faktörler

Betonun dayanımı çok sayıda faktörlerden etkilenmektedir. Bunlar ayrıntılı olarak aşağıda açıklanmıştır.

2.3.1 Su/çimento (S/Ç) oranı

Beton dayanımı, önemli ölçüde kapiler boşluk yada jel/bosluk oranına bağlı olsa da, bunları ölçmek veya tahmin etmek kolay değildir. Bu nedenle karışım tasarımında söz konusu faktörlerin kullanılması pratik değildir. Belirli bir hidratasyon derecesine sahip düzgün sıkıştırılmış betonun kapiler boşluk oranı S/Ç oranı ile tespit edilebilir. Bundan dolayı S/Ç oranı ayarlanarak herhangi bir yaşta düzgün sıkıştırılmış beton dayanımı da tahmin edilebilmektedir. 1918 yılında Lewis Enstitüsü'nde Duff Abrams tarafından gerçekleştirilen çalışmalar sonunda basınç dayanımı ile S/Ç oranı arasındaki ilişki ortaya konmuştur (Cordon,1979). Abrams'ın S/Ç oranı kanunu, hidratasyon derecesi, hava içeriği ve agreganın etkisi gibi faktörleri gözönüne almadığından tam anlamıyla bir kanun sayılmaz (Mindess ve Young, 1981). Buna bir örnek olarak, sıkıştırma mertebesinin beton basınç dayanımı-S/Ç oranı ilişkisine etkisi Şekil 2.1'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. Sıkıştırma mertebesinin beton basınç dayanımı-su/çimento oranı ilişkisine etkisi (Mindess ve Young, 1981).

Herhangi bir S/Ç oranına sahip betonun dayanımı; çimentonun hidratasyon derecesine, sıcaklığa, ortamdaki neme, betondaki hava miktarına ve net S/Ç oranındaki değişim ile kanamadan kaynaklanan boşluklara bağlıdır. Karışımın, çimento içeriği ve agrega-çimento hamuru geçiş bölgesi de aynı şekilde dayanım üzerinde etkilidir (Neville,1995).

2.3.2 Jel / boşluk oranı

Daha önce belirtilen nedenlerden dolayı S/Ç oranının dayanım üzerindeki etkisi tam anlamıyla bir kanun sayılmaz. Buna göre, beton dayanımını, mevcut hacimde oluşacak hidratasyon ürünleri hacmi (jel/başluk oranı) ile ilişkilendirmek daha doğru bir yaklaşımdır. Bu oran hidrate olmuş çimento hamuru hacminin, hidrate çimento hamuru ve kapiler boşluğun oluşturduğu hacme olan orandır. 1ml çimentonun hidratasyonu sonucunda yaklaşık 2.06 ml hacim kapladığı bilindiğine göre aşağıdaki eşitlik türetilebilir (Neville, 1995):

$$X=0.68\alpha/0.32\alpha+(S/\text{Ç})$$

Burada:

X: jel/boşluk oranı

α : çimentonun hidrate olmuş yüzdesi

S/Ç: su/çimento oranı (ağırlıkça)

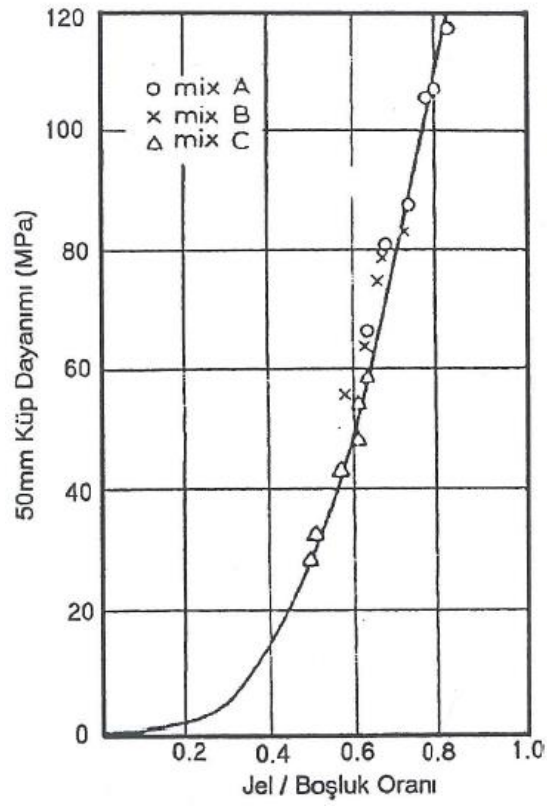
Öte yandan hava içeren karışımlarda S/Ç oranı, (S+a)/Ç olarak değiştirilmelidir. Burada a hava içeriğini ifade eder. Araştırmalar harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı arasındaki ilişkinin aşağıdaki gibi olduğunu göstermiştir:

$$\sigma_c = AX^n$$

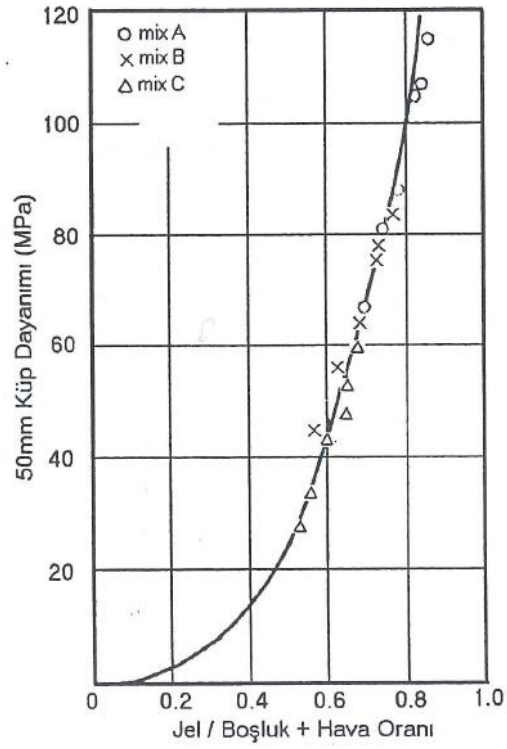
Burada A, gel/boşluk oranı 1 olduğu durumdaki dayanımı göstermekte, n ise, 2.6 ile 3 arasında değişen, çimentonun karakteristiğine bağlı olan bir sabittir. Yukarıdaki ilişki şu şekildedeki ifade edilebilir:

$$\sigma_c = 232X^3 \text{ (kg/cm}^2\text{)}.$$

Bu eşitlik karışım dizaynından yada yaştan bağımsızdır. Bu değerler 50 mm küp harçlar üzerinde yapılan çalışmalar sonucu elde edilmiştir (Şekil 2.2 ve Şekil 2.3). Ancak jel/boşluk oranının çimento kompozisyonundan tamamen bağımsız olmadığı bilinmektedir. Araştırmalar, belli bir jel/boşluk oranında, yüksek C₃A içerikli çimentonun (> %7), daha düşük dayanıma sahip olduğunu göstermiştir (Neville, 1995).



Şekil 2.2. Harç basınç dayanımı ile jel/boşluk oranı ilişkisi (Neville, 1995).



Şekil 2.3. Harç Hapsolmuş hava boşlukları göz önüne alındığında harç basınç dayanımı-jel/boşluk oranı ilişkisi (Neville, 1995).

2.3.3 Çimento

Çimento tipini belirleyen özellikler, çimentonun kimyasal kompozisyonu ve çimento inceliğidir. Bu özellikler, çimentonun hidrasyon hızını etkilemektedir. Dolayısıyla, bu özellikler, çimento hamurunun dayanım kazanma hızını ve kazanılan dayanım değerini etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

Portland çimentosunun kimyasal kompozisyon da beton dayanımını etkilemektedir. Bilindiği gibi çimentonun dayanımı öncelikle C_3S (erken dayanım) ve C_2S 'bileşenlerine (geç dayanım) bağlıdır. C_3S içeriği yüksek çimentolar ile üretilen betonlar çok daha hızlı dayanım kazanmalarına rağmen, nihai dayanımları kısmen düşük olmaktadır. Betonun dayanım gelişiminde ilk bir aya kadar çimento tipinin ciddi etkisi olmasına rağmen, geç yaşlarda beş ASTM C150 çimento tipi arasındaki farklılıklar azalmaktadır. Bu durum daha yavaş hidrate olan çimentonun geç yaşlarda daha yüksek dayanıma erişmesinden kaynaklanmaktadır (Mindess ve Yong, 1981).

Çimento inceliğinde beton dayanımını etkileyen önemli özelliklerden biridir. Hidrasyon hızı çimentonun inceliği arttıkça artar ve daha yüksek bir dayanım artış hızına neden olur. Tipik olarak çimentonun en büyük tane boyu $50\mu m$ 'dir. %10-15 arası $5\mu m$ 'den, muhtemelen %3 kadarı $1\mu m$ 'den küçüktür. $3\mu m$ 'den küçük çimento taneleri 1 günlük dayanıma en büyük etkiyi gösterirken, 28 günlük dayanım, 3 ile $30\mu m$ 'lik taneler tarafından etkilenir. $60\mu m$ 'den büyük çimento tanelerin dayanıma olan etkisi çok azdır (Mindess ve Yong, 1981).

Çimento çok mükemmel koşullarda ve nem almayacak şekilde saklandığı takdirde özelliklerinden hiç bir şey kaybetmez. Ancak, normal depolama koşullarında bile, çimento, çevreden bir miktar nem alarak önhidrasyon yapabilir veya havadan karbondioksit alarak bir miktar karbonatlaşabilir. Böyle durumlarda çimentonun bağlayıcılık özeliği azalabilir (Erdoğan, 2003).

2.3.4 Agrega

Beton dayanımını etkileyen agrega özelliklerinin başında, agreganın gradasyonu, en büyük tane boyu, tane şekli, tanelerin yüzey dokusu, dayanımı ve agregada bulunabilecek zararlı maddelerin miktarı gelmektedir. Agrega özelliklerinden bazıları, taze betonda işlenebilirlik için gereken su miktarını (dolayısı ile S/Ç oranını), bazıları, çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki aderansı, bazıları ise hem S/Ç oranını hemde çimento hamuru-agrega arasındaki bağı etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

Beton karışımındaki agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak ve aralarındaki boşlukları doldurmak çimento hamurunun işlevlerindedir. İyi bir gradasyona sahip ve yoğunluğu yüksek olan agregalarla yapılan beton, daha yüksek dayanıma sahip ve daha ekonomik bir beton olmaktadır. Agrega taneleri, büyüklüklerine göre uygun bir dağılım göstermesi gerekmektedir. Ancak, ince agregadaki tane dağılımı oranının taze betonun işlenebilme özeliğine etkisi, iri agreganın tane dağılımı oranına kıyasla daha fazladır. Aşırı ince malzeme, taze betonun işlenebilmesini artırmakla birlikte su ihtiyacını da artırır. Artan bu su ihtiyacı dayanımı azaltır (Erdoğan, 2003).

Uzun süreden beri varılan ortak kanı, kaliteli ve ucuz beton üretmek için mümkün olduğunca büyük agrega kullanılmasıdır. Ne kadar büyük agrega kullanılırsa hamurun doldurması gereken boşluk ve kaplaması gereken agrega yüzeyi o denli azalacaktır. Bu, özellikle barajlar gibi kütle betonlarda önem arz etmektedir (Cordon,1979).

Ancak yalnızca büyük boy agrega kullanmak dayanım açısından yeterli değildir, çünkü, en büyük agrega boyu arttıkça, agrega hamur geçiş bölgesinin dayanımı düşer ve elde edilen beton istenilen dayanımı sağlayamayabilir. Öte yandan, en büyük agrega boyunu fazla küçük seçmek geçiş bölgesinin dayanımını arttırabilir, ancak, agrega dayanımının betonun dayanımı üzerindeki olumlu katkısını azaltır (Neville,1995). İri agrega en büyük tane boyunun seçimi, betonarme elemanı türüne, donatılar arası mesafeye ve betonun karışım oranlarına özellikle çimento içeriğine bağlıdır.

Belirli bir çimento içeriğinde beton dayanımının agrega şeklinden bağımsız olarak yaklaşık aynı değerleri aldığı bilinmektedir. Yuvarlak agrega kullanıldığında, belirli işlenebilme için, daha düşük S/Ç oranları elde edilebilmektedir. Kırılmış agrega kullanıldığında ise yüksek bağ dayanımları sayesinde yüksek beton dayanımı elde edilebilmektedir. Sonuç olarak, düşük ve normal dayanımlı betonlarda agreganın köşeli veya yuvarlak olması, beton dayanımı üzerinde kritik bir etkisi bulunmadığı söylenebilir (Cordon, 1979).

Agrega tanelerinin şekli, taze betonun işlenebilme özeliğini ve buna bağlı olarak betonun su ihtiyacını etkilemektedir. Çakıl gibi yuvarlak agregalarla yapılan betonların işlenebilmeye katkısı daha çok olmaktadır. Kırma taş gibi köşeli agregalar, sürtünme etkisi ile taze betonun akıcılığını azaltmaktadır. Bu nedenle, yuvarlak agregayla yapılan ve belirli bir kıvama sahip olan betonların su ihtiyacı, aynı kıvama sahip fakat kırma taş agregayla yapılmış olan betonların su ihtiyacından daha az olmaktadır. İşlenebilmeyi artırmak üzere, köşeli agregalarla yapılan betonlarda daha çok ince agrega kullanılması gerekmektedir. Taze betonun su ihtiyacının artması, nispeten daha düşük dayanıma yol açmaktadır. Öte yandan, köşeli agregalarla yapılan betonlarda, agrega taneleri ile çimento hamuru arasındaki aderans daha iyi olmaktadır. Bunun muhtemel nedeni, köşeli agrega tanesinin yüzey alanının aynı hacimdeki yuvarlak agrega tanesinin yüzey alanından daha büyük olmasıdır. Bu nedenle, köşeli agregalarla yapılan betonların dayanımı, yuvarlak agregayla yapılan betonların dayanımından daha yüksek olabilmektedir (Erdoğan, 2003). Ayrıca, kusurlu olarak adlandırılan yassı ve uzun taneler betonun işlenebilmesini azaltır. Bu tip tanelerin kolay kırılmasında beton dayanımını olumsuz etkiler.

Belirli bir S/Ç oranında köşeli ve pürüzlü agregalar ile üretilen betonların dayanımı daha yüksektir. Ancak, belirli işlenebilme için bu betonların hamur gereksinimide fazladır. Hidrate portland çimentosunun jel yapısı agrega tanesinin pürüzlü ve boşluklu yapısına nüfuz etmeye yatkındır. Bu sayede hamur, agrega ile iyi bir bağ oluşturabilir. Köşeli agregaların kullanıldığı durumlarda bu bağ daha kuvvetli olur ve oluşan kesme gerilmeleri agrega tarafından karşılanır (Cordon, 1979).

Agregaların basınç dayanımı, agrega tanelerinin kaynağını oluşturan kayanın basınç dayanımına bağlıdır. Betonda kullanılan normal ağırlıklı agreganın ortalama basınç dayanımının 150 ile 200 MPa arasında değişmektedir (Erdoğan, 2003). Ancak, 80 MPa gibi düşük dayanım değerlerine rastladığı gibi 500 MPa'ın üzerinde dayanıma sahip olan agregalarda bulunabilmektedir.

Agrega tanelerinin yüzeyinde veya aralarında bazen organik maddeler, ince maddeler, kil toprakları ve hafif maddeler yer alabilmektedir. Bu maddelerin miktarı yüksek olduğu takdirde taze ve sertleşmiş beton özelliklerinin olumsuz etkilendiği bilinmektedir (Erdoğan, 2003). Bu olumsuz etkiler, organik maddelerin bulunması durumunda çimento hamurunun priz ve sertleşmesinde gecikme; ince taneler bulunması durumunda ise su ihtiyacının artması ile meydana gelmektedir (Neville, 1995).

2.3.5 Betonun karılma, taşınma, yerleştirme ve sıkıştırılması

Betonda kullanılan malzemelerin karılmaları işlemindeki süre gerekenden çok kısa veya çok uzun olmamalıdır. Ancak, üretilen taze betonda ayrışma yer almamalı ve üniform bir beton elde edilmelidir. Karılma süresi çok kısa tutulduğu takdirde, malzemelerin üniform dağılımı sağlanamamaktadır. Karılma süresi çok uzun tutulduğunda hem beton karışımının sıcaklığı yükselmekte, hem de iri agregalarda kırılmalar ve ufalanmalar meydana gelebilmektedir. Agregalardaki ufalanmalardan dolayı, istenilen kıvamı elde edebilmek için daha fazla suya gereksinim duyulmaktadır. Su miktarının arttırılması ise, S/Ç oranının yükselmesine ve beton dayanımının düşmesine yol açmaktadır. Taze betonun taşınması ve yerleştirilmesi işlemleri ayrışmaya neden olmayacak ve betonun üniformluğunu bozmayacak şekilde yapılmalıdır. Aksi halde beton kesitindeki farklı bölgeler farklı özellikler göstermekte ve beton dayanımı olumsuz etkilenmektedir. Yerine yerleştirilen taze betonda büyük miktarda boşluklar bulunması kaçınılmazdır. Bu durumdaki beton sertleştikten sonra kayda değer dayanım gösteremez. Buna göre, yerine yerleştirilen taze beton uygun yöntemle sıkıştırılmalıdır. Betonun mümkün olabildiği kadar az boşluklu olarak yerleştirilmesi beton dayanımını büyük ölçüde etkilemektedir (Erdoğan, 2003).

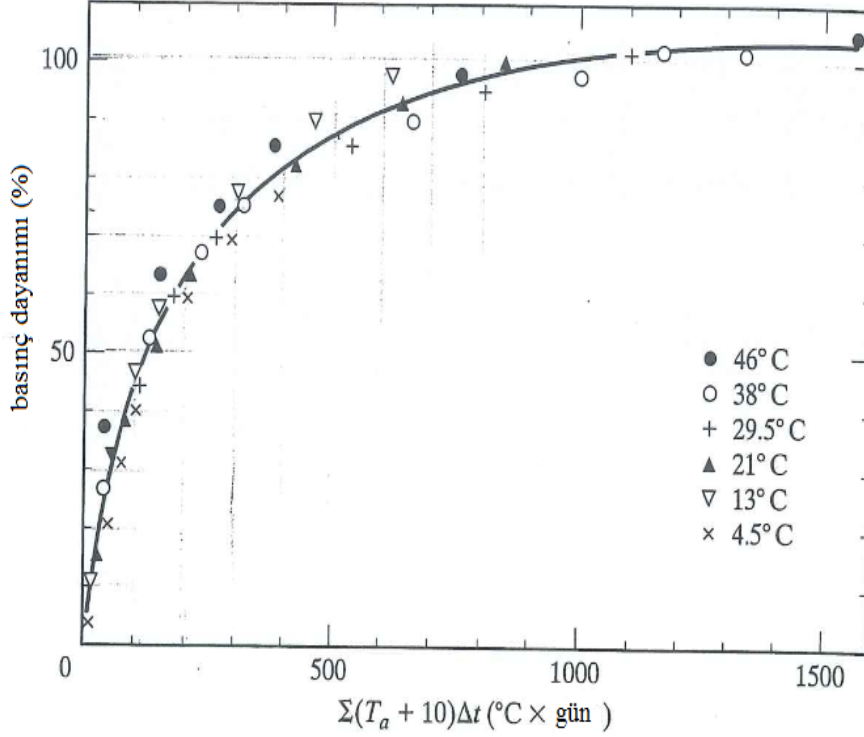
2.3.6 Kür koşulları

Çimento hidratasyonun oluşabilmesi ve normal hızda devam edebilmesi için betondaki çimento hamurunda yer alan kapiler boşluklarda yeterli miktarda suyun bulunması ve beton sıcaklığının çok düşük olmaması gerekmektedir. Bu nedenle, betonun yerleştirme, sıkıştırma ve perdahlama işlemi, çimentonun hidratasyonunu engelleyebilecek veya yavaşlatacak koşullara karşı önlem olarak yapılmalıdır. Bu amaçla taze betonun sıcaklığı çok düşük olmamalıdır. Buna ilaveten, hidratasyon için yeterli miktarda su bulunması için beton yüzeyi ıslak tutulmalı veya buharlaşmanın azaltılmasına çalışılmalıdır (Erdoğan, 2003).

2.3.7 Betonun olgunluğu

Betonun sıcaklığı hidratasyonun hızını etkilemektedir. Ayrıca, hidratasyonun ilerlemesi betonun yaşına bağlıdır. Buna göre, betonun sıcaklığı ve yaşı, hidratasyonun ne ölçüde yer almış olduğunu, dolayısıyla betonun dayanımını etkileyen en önemli etkenlerdir. Bilindiği gibi, beton sıcaklığı azaldıkça, hidratasyon yavaşlamaktadır. Betonun sıcaklığı belirli bir sıcaklığa (-10°C) düştüğü takdirde ise hidratasyon durmaktadır (Erdoğan, 2003).

Araştırmacılar sıcaklık x zaman toplamı ile elde edilen ve beton olgunluğu olarak adlandırılan büyüklük ile beton dayanımı arasında yakın bir ilişki olduğunu göstermiştir (Neville, 1995). Bu ilişki Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Yaş ve sıcaklığa bağlı olarak basınç dayanımı değişimi (100% = 28 gün ve 23°C'da).

2.3.8 Katkılar

Katkılar beton dayanımını farklı şekillerde etkileyebilmektedir. Hava sürükleyiciler dayanımı düşürürken su azaltıcı katkıları S/Ç oranının düşürülmesini sağlayarak dayanımını yükseltebilmektedir. Hızlandırıcı katkıları erken dayanımı artırırken, geciktirici katkıları dayanım kazanma başlangıcını ertelemektedir (Cordon, 1979).

Hava sürükleyici katkının sürüklediği hava betonun işlenebilirliğini artırır. Böylece sabit bir kıvam için betonun su ve ince agrega içeriği azaltılabilir. Su içeriğindeki azalma, çimento içeriği az olan karışımlarda dahada çarpıcı olur. Sonuçta, sürüklenmiş havanın etkisi ile dayanımdaki azalma, S/Ç oranının düşmesi ile bir ölçüde telafi edilebilir. Hatta belli bir çimento içeriğine kadar dayanımı arttırabilir. Başka bir değişle, çok düşük çimento içerikli karışıma sürüklenen hava dayanımı arttırabilir. Ancak, yüksek dayanımlı betonlarda sürüklenen hava ciddi dayanım kayıplarına yol açar (Cordon, 1979; Neville, 1995).

Genelde su azaltıcı katkılar, dayanım ve kaliteden ödün vermeden yüksek işlenebilme ve çökme elde etmeye yarayan katkılardır. Bu katkılar ayrıca işlenebilmeyi değiştirmeden betonun su ihtiyacını ve S/Ç oranını düşürmek için de kullanılmaktadır. Su içeriğindeki azalma, akışkanlaştırıcı katkıların kullanımı ile %5-11 oranında iken, süper akışkanlaştırıcı katkıların etkisi ile %20-30'lara varabilmektedir. Buda betonda yüksek dayanımlar elde edebilmeye imkan sağlamaktadır (Erdoğan, 2003).

Mineral katkıları (puzolanlar), beton karışımında kireç ve çözünen alkalilerle birleşerek bağlayıcı madde oluşturur. Çimentonun belli bir miktarı yerine uygun bir puzolan kullanıldığında, betonun erken yaşlardaki dayanımı azalır, ancak puzolanik aktivitenin başlamasıyla birlikte geç yaşlardaki dayanımda çok büyük artışlar oluşabilir (Cordon, 1979). Mineral katkının özellikle geçiş bölgesinde kalsiyum hidroksit ile birleşerek C-S-H oluşturması, bu bölgenin porozitesini azaltabilmektedir (Neville, 1995; Mindess ve Young, 1981).

Betonda mineral katkı olarak kullanılan malzemelerin mutlaka ince taneli olmaları gerekmektedir. Uçucu kül ve silis dumanı gibi malzemeler, yan ürün olarak elde edildikleri halleriyle ince taneli malzemelerdir. Öte yandan volkanik tüf, granöle yüksek fırın cürufu ve pişirilmiş kil gibi bazı malzemelerin beton katkı maddesi olarak kullanılabilmesi için öğütülmeli ve tanelerinin inceliğinin en az portland çimentosu tanelerinin inceliğine getirilmeleri gerekmektedir. Mineral katkıları beton üretiminde kullanılan temel malzemelerin (çimentonun, agreganın ve suyun) yanı sıra beton karışımına eklenebilmektedir. Bunların kullanıldıkları oran, genellikle, betonun çimento içeriğinin %10 - %50'si mertebesinde dir. Çoğu zaman, beton karışımında kullanılacak çimento miktarı azaltılmakta ve azaltılan miktar kadar mineral katkı kullanılmaktadır. Gerek görüldüğünde, mineral katkıların yanı sıra kimyasal katkı maddeleride betona eklenmektedir. Bazı mineral katkıları, sabit bir çökme değeri için betonun su ihtiyacını bir miktar arttırmaktadır (Erdoğan, 2003).

2.3.9 Karışım suyu

Beton üretiminde kullanılan sudaki yabancı maddelerin miktarları, betonun priz süresine, dayanımına, dayanıklılığına ve betonarme yapılardaki donatıların korozyonuna olumsuz etki yapabilecek kadar fazla olmamalıdır (Erdoğan, 2003). Bu maddelerin türü ve karışım suyunda buluna bilecek miktarları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

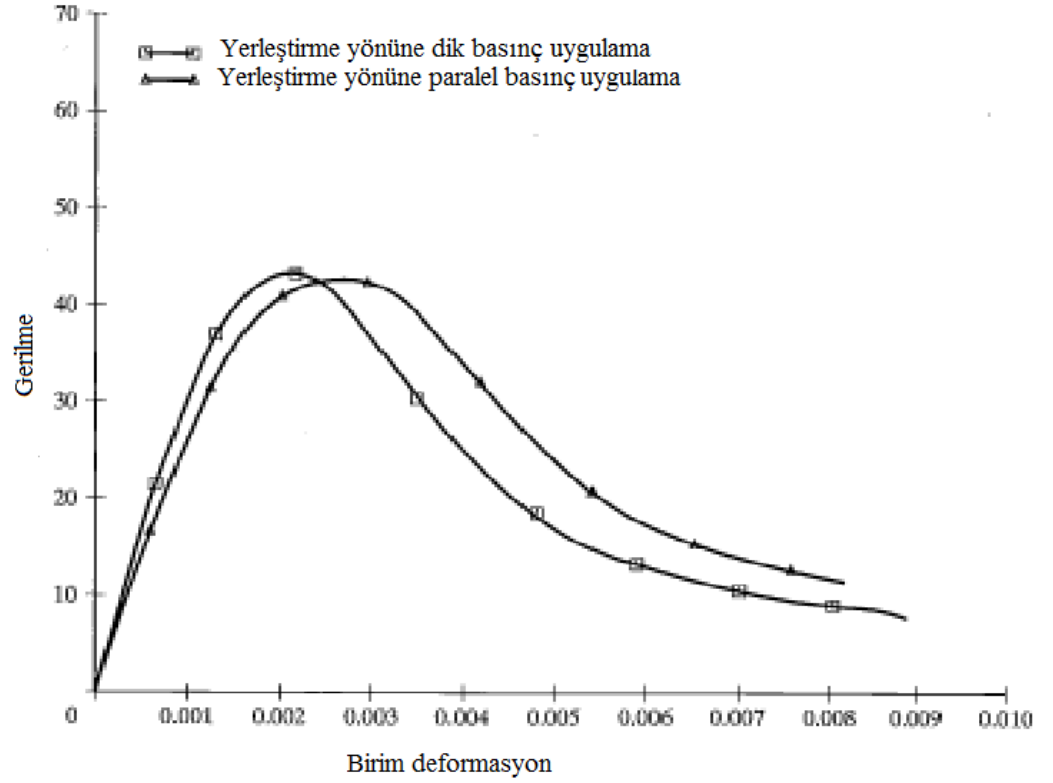
Çizelge 2.1. Beton üretiminde kullanılacak sular için çeşitli araştırmacı ve standartlarca önerilen tuz konsantrasyonları sınır değerleri (Baradan vd, 2012).

Tuz türü	BS 3148	Nan vd.	TS EN 1008	ASTM C94	TS 500
Klor (betonarme)	500 mg/l	1000 mg/l	1000 mg/l	1200 mg/l	1500-2000 mg/l
Klor (öngerilmeli)	500 mg/l	500 mg/l	500 mg/l	400 mg/l	-
* SO ₃ ⁻ , SO ₄ ⁻²	1000 mg/l (SO ₃)	3000 mg/l (SO ₄ ⁻²)	2000 mg/l (SO ₄ ⁻²)	3000 mg/l (SO ₄ ⁻²)	3000 mg/l (SO ₄ ⁻²)
Alkali karbonatlar, bikarbonatlar	1000 ppm	-	-	-	-

*SO₃ miktarı 1.2 ile çarpılarak (SO₄⁻²) miktarına dönüştürülebilir

2.3.10 Basınç yönünün etkisi

Beton numuneye uygulanan yükün yönü basınç dayanımını etkilemektedir. Bu olay taze betonda kanama nedeniyle agregaların altında toplanan su ve oluşan boşluktan kaynaklanmaktadır. Şekil 2.2’de görüldüğü gibi yerleştirme yönüne dik basınç uygulanan beton numuneleri, yerleştirme yönüne paralel basınç uygulanan numunelerden daha yüksek dayanım göstermektedir (Mindess ve Young, 1981).



Şekil 2.5. Yerleştirme yönüne dik ve paralel yüklenen betonların gerilme-birim deformasyon eğrisi.

2.4 Basınç Dayanımına Göre Beton Sınıfları

Türkiye'de 2002 yılından beri yürürlükte olan TS EN 206 beton standardı normal ve ağır betonların basınç dayanımına göre, Çizelge 2.2'de gösterildiği gibi, 16 sınıfa ayırmaktadır. Fakat standard, küp ve silindir numune basınç dayanımları arasında yeterli kesinliğe sahip ilişki kurulması ve bu ilişkinin belgelenmesi şartıyla, çizelgede verilen dayanımlardan başka değerlerin kullanılmasına izin vermektedir. Çizelge 2.2'de ayrıca bu beton sınıfları için öngörülen ortalama tasarım dayanımları da sunulmuştur.

Çizelge 2.2. Normal ve ağır betonlar için dayanım sınıfları ve karışım oranlarında esas alınacak basınç dayanımları (fcm)

Beton sınıfı	En düşük karakteristik		Silindir/küp dayanım oranı	Ortalama silindir dayanımı fcm (MPa)	
	Silindir* dayanımı (MPa)	Küp** dayanımı (MPa)		Standard sapma bilinmiyor	Standard sapma
C 8/10	8	10	0.8	13	fcm = fck + 1.48(standard sapma)
C 12/15	12	15	0.8	17	
C 16/20	16	20	0.8	20	
C 20/25	20	25	0.8	26	
C 25/30	25	30	0.83	31	
C 30/37	30	37	0.81	36	
C 35/45	35	45	0.78	43	
C 40/50	40	50	0.8	48	
C 45/55	45	55	0.82	53	
C 50/60	50	60	0.83	58	
C 55/67	55	67	0.82	63	
C 60/75	60	75	0.8	68	
C 70/85	70	85	0.82	78	
C 80/95	80	95	0.84	88	
C 90/105	90	105	0.86	98	
C 100/115	100	115	0.87	108	

*150x300 mm silindir

**150 mm küp

3. BETON DAYANIM DENEYLERİ

Sertleşmiş betonun basınç dayanımını ölçmek için uygulanan deneylerden bazıları aşağıda verilmiş

3.1 Tahribathı Deneyler

3.1.1 Tek eksenli basınç dayanımı

Beton deneyleri arasında en çok kullanılan basınç dayanımı testidir. Basınç dayanımı önemini bir kaç nedenle açıklamak mümkündür. Genelde betonun en önemli özellikleri betonun basınç dayanımı ile ilişkilidir. Beton kullanımında çekme dayanımından daha çok basınç dayanımı önemlidir. Yapı tasarımı standartları genelde betonun basınç dayanımı göz önüne alınarak yapılmaktadır. Basınç dayanımı testleri çok rahat ve çok ekonomiktir (Mindess ve yong, 1981).

Dünyada temel olarak beton basınç dayanımları üç numune şekli üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bunlar küp, silindir ve prizmadır (Neville, 1995).

3.1.1.1 Beton basınç dayanımı testi sırasında dayanımı etkileyen faktörler

Basınç dayanımı testi çok kolay olduğu için genellikle en çok kullanılan deneydir. Test sırasında basınç dayanımını etkileyen bazı faktörler aşağıda açıklanmıştır. Deney sonuçları yorumlarken bu faktörler göz önüne alınmalıdır.

a. Kırılma yükü hızının basınç dayanımına etkisi

Türk standart'ında ve ASTM'de, basınç dayanımı deneyi esnasında beton numuneye uygulanan yükün $1.4 - 3.5 \text{ kgf/cm}^2/\text{saniye}$ hızda olması gerektiği belirtilmektedir. Böyle bir hızın altında, numunenin kırılması 2 – 3 dakika sürmektedir. Beton numuneye uygulanan yükün hızı azaldıkça (yük daha uzun bir süreyle uygulandıkça), numune daha küçük bir yük altında kırılmaktadır. Diğer bir değişle, düşük yük hızı uygulanan numunelerde elde edilen basınç dayanımı

değeri daha az olmaktadır. Yük hızının 0.02 – 0.18 kgf/cm²/saniye olarak uygulandığı (yani yüklemenin yaklaşık 24 – 30 dakika sürdüğü) numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı değerleri, yük hızının 2.1 kgf/cm²/saniye olarak uygulandığı numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı değerlerinden yaklaşık %15 daha az olmaktadır. Bu durum yükün numune üzerinde daha uzun süre kalması nedeniyle, betonun bir miktar sünme etkisi altında kalmış olabileceği olarak açıklanmaktadır. Öte yandan, yüksek yük hızı uygulanan numuneler daha büyük bir yük altında kırılmakta, yani daha yüksek basınç dayanım değeri elde edilmektedir. Yük hızı 70 kgf/cm²/saniye olarak uygulanan numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı, yük hızı 2.1 kgf/cm²/saniye olarak uygulanan numunelerden elde edilen basınç dayanımından yaklaşık %10 daha yüksek olmaktadır (Erdoğan, 2003).

b. Numunenin deney anındaki nem içeriğinin basınç dayanımına etkisi

Türk ve ASTM standartlarına göre, standart yöntemle deneye tabi tutulacak numuneler, deney tarihine kadar %95 bağıl nem ortamında ıslak kür edilmektedir. Bu durumda kür sonunda numuneler suya doymun durumda olur. Aynı betondan üretilen ve nem içeriği farklı olan beton numuneler farklı basınç dayanımı gösterir. Kuru numunelerin daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği bilinmektedir. Tamamen kuru durumdaki numunelerde ıslak numunelere göre yaklaşık %10 - %15 kadar daha yüksek basınç dayanımı elde edilmektedir. (Mindess ve Yong, 1981).

c. Numunenin deney anındaki sıcaklığın basınç dayanımına etkisi

Deney anında, beton numunenin sıcaklığının yüksek olması basınç dayanımını azaltır. Aynı betondan üretilen fakat deney anındaki sıcaklıkları -4°C olan numunelerin basınç dayanımı, sıcaklığı 21°C olan numunelerin dayanımından %40 kadar daha yüksek olduğu bildirilmiştir. Deney anındaki sıcaklığı 55°C olan numunelerde bulunan basınç dayanımı değeri ise, sıcaklığı 21°C olan numunelerinkinden %15 daha az olduğu açıklanmıştır (Erdoğan, 2003).

d. Cihaz tipi

Numune yüzeyleri, düz olduğu kadar, pres başlıklarına da paralel olmaları gerekmektedir. Bunu elde etmek oldukça zor olduğundan oynar başlık kullanılmakta, böylece paralellikten küçük sapmalar dayanımı fazla etkilememektedir.

Yumuşak başlık kullanıldığında, presde depolanan enerji numune kırılmaya başladığından itibaren boşalır. Bu ilave enerji çatlak yayılmasını arttırıp, sert başlıklı preslere nazaran daha düşük gerilmelerde numunelerin kırılmasına yol açmaktadır (Mindess ve Yong, 1981).

3.1.2 Çekme dayanım deneyi

Betonu çekme dayanımını belirtmek için nadiren direkt yöntem uygulanır. Bunun en büyük nedeni, direkt çekme yöntemi uygulanırken oluşan ikincil gerilmelerin deney sonuçlarının yorumlanmasını zorlaştırmasıdır. Bunun dışında, çekme dayanımı iki dolaylı deney yöntemiyle tespit edilmektedir. Bu metodlar yarmada çekme ve eğilmede çekme deneyleridir. Yarmada çekme deneyi ilk olarak 1943 yılında Japon Akazawa ve hemen sonra Brezilyalı Carneiro tarafından ortaya atılmıştır. Bu metod diğer adıyla Brezilya deneyi olarak da bilinmektedir.

Bu yöntemde yatay olarak presin altına yerleştirilen numuneye çizgisel basınç yükü uygulanır. Yük uygulandığında, düşey çap çizgisinin sonlarında basınç gerilmeleri meydana gelir. Kalan 2/3'd kadarlık bir bölümde ise çekme gerilmeleri oluşur. Beton çekme gerilmesi altında basınç gerilmelerine nazaran daha zayıf olduğundan, göçme, çekme gerilmeleri sonucu gerçekleşir. Böylece betonun çekme dayanımı aşağıdaki denklemden tespit edilmiş olur (Mindess ve Young, 1981).

$$\sigma_{st} = (2P)/(\pi DL)$$

Burada σ_{st} = yarmada çekme dayanımı (MPa)

P= uygulanan yük (N)

D= numunenin çapı (mm)

L= numunenin uzunluğu (mm)

RILEM'e göre yarmada çekme deneyi ile elde edilen çekme dayanımı direk çekme dayanımına göre %15 mertebesinde daha büyüktür (Mindess ve Yong, 1981). Neville'e göre bu değer %5-12 mertebesinde (Neville, 1973).

3.1.3 Eğilmede çekme dayanımı

Beton eğilme dayanımının bulunması TS EN 12390-5 standardında belirlenmiştir. Eğilme dayanımı deneylerinde genellikle kare kesitli kirişler kullanılır. Eğilme dayanımının bulunması için aşağıdaki denklem verilmektedir (Erdoğan, 2003).

$$\sigma_e = Mc/I$$

Yukarıda verilen denklemde

$$\sigma_e = \text{Eğilme dayanımı}$$

M = Maksimum moment

c = (d/2) tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık

d = Kiriş kesitinin yüksekliği

b = Kiriş kesitinin eni

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

Betonun eğilme dayanımının basınç dayanımına oranı 0.11 ile 0.23 arasında değiştiği bilinmektedir (Mindess vd, 2003).

3.2 Tahribatsız Deneyler

Beton numunelerin kırılmalarıyla sonuçlanan deney yöntemlerinin dezavantajlarını ortadan kaldırmak veya azaltmak amacıyla betonun kırılma işlemine tabi tutulmadığı deney yöntemleri geliştirilmiştir. Bu tür yöntemlerle basınç dayanımının bulunabilmesinde kırılma işlemi yer alamadığı için, bunlara hasarsız (tahribatsız) denilmektedir. Hasarsız deney yöntemleriyle yapılan ölçümlerde, betonun sahip olduğu yüzey sertliği, elastiklik, yoğunluk gibi bazı özelliklerden yararlanılarak sayısal değerler elde edilmektedir. Bu sayısal değerler ile standart deney yöntemi uygulanarak elde edilecek olan beton basınç dayanımı arasındaki ilişki kullanılarak betonun basınç dayanımı yaklaşık olarak kestirilmektedir (Erdoğan, 2003).

3.2.1 Beton test çekici

Beton test çekici olarak adlandırılan alet, sertleşmiş betonun yüzey sertliğini ölçmektedir. Beton test çekicinin uygulanmasında, aletin içerisinde yer alan bir kütle vasıtasıyla sertleşmiş betonun yüzeyine darbe vurulmaktadır. Yaylı bir sisteme bağlı olan kütle, geri sıçramaktadır. Kütlenin ne kadar geri sıçradığı, alet üzerindeki bir göstergeden sayısal olarak ölçülmektedir. Doğal olarak, daha sert yüzeylere sahip olan betonlarda, kütlenin geri sıçraması daha çok olmaktadır. Sertleşmiş beton yüzeyine beton test çekiciyle darbe uygulayarak geri sıçrama değerleri elde edildiği takdirde, bu değerlerin ortalaması kullanılarak, betonun sahip olduğu basınç dayanımı değerini yaklaşık olarak tahmin edebilmek mümkün olmaktadır (Erdoğan, 2003).

Beton çekici sonuçlarını etkileyen bazı faktörler aşağıda sıralanmıştır.

a. Test edilecek yüzeyin düzgünlüğü

Yüzey düzgünlüğü, deney sonuçlarını etkileyen önemli bir faktördür. Genelde, deney çekicinin numunenin kalıba temas eden yüzeyine uygulanmasını tavsiye etmektedir. Kalıba temas eden yüzeylerin pürüzlü olması durumda doğru

sonuçlar elde edilebilmesi için yüzey önceden zımpara taşı ile düzeltilmelidir (Malhotra, 1976).

b. Numunenin büyüklüğü, şekli ve rijitliği

Beton eleman veya numune ince bir kiriş, duvar, 15x15x15 cm küp yada 15x30cm silindir gibi küçük boyutlu olduğu takdirde, vuruş yapılırken oluşacak en hafif bir sarsıntı okunacak değeri değiştirecektir. Bu nedenle okuma yapılmadan önce numune iyice sabitlenmelidir (Malhotra, 1976).

c. Numune yaşı

Kolek (1968)'e göre betonda yüzey sertliği artışı ilk 7 günde gerçekleşmekte, daha sonraki günlerde ise kayda değer bir artış gözlemlenmemektedir. Bu durum Zoldners ve Victor tarafından da doğrulanmıştır (Zoldners, 1957: Victor, 1963). Diğer taraftan, düşük dayanımlı betonları erken yaşlarda yada basınç dayanımı 7MPa'dan düşük betonları bu teste tabi tutmak, okunacak rakamlar doğru olmayacak kadar küçük olacağından tavsiye edilmemektedir (Malhotra, 1976).

d. Betonun yüzey ve içsel nem durumu

Betonun doygunluk derecesinin ve yüzeysel nem durumunun vuruş değerleri üzerinde ciddi bir etkisi vardır. Zoldners'e göre doygun-yüzey kuru numuneler, kuru numunelere kıyasla 5 puan daha az vuruş değeri vermektedir (Zoldners, 1957).

e. Kaba agega tipi

İri agregası tipini ayrı olması hatta aynı tipte olan ve farklı taş ocağından alınan agregalardan üretilmiş beton numunelerin dayanımlarında beton çekiciyle ölçümlerde fark görülmektedir. Kliger'e göre, eşit basınç dayanımına sahip betonlarda kırma kireçtaşı kullanılında vuruş değeri, çakıl taşı kullanılan betona kıyasla 7 puan daha azdır (Malhotra, 1976).

f. Beton yüzeyindeki iri agrega ya çelik donatı

Test çekicinin betondaki iri agrega üzerine uygulanması durumunda, veya darbe uygulanan yüzeyin hemen altında donatı bulunması durumunda, daha yüksek geri sıçrama değerleri elde edilmektedir (Erdoğan, 2003).

g. Beton yüzeyinin karbonatlaşması

Beton yüzeyinin karbonatlaşması beton çekicinin sonuçlarını etkilemektedir. Karbonatlaşmış betonlarda çekicinin geri tepme değeri daha yüksek olmaktadır (Erdoğan, 2003).

f. Çimento tipi

Kolek'e göre (1969) kullanılan çimento tipi vuruş değerini kayda değer şekilde etkilemektedir. Yüksek alüminli çimento ile üretilen betonun dayanımı, normal portland çimentosu için düzenlenmiş kalibrasyon tablosuna göre %100 fazla çıkmaktadır. Diğer taraftan süper sülfat çimentosu ile üretilene göre %50 daha düşük çıkmaktadır (Malhotra, 1976).

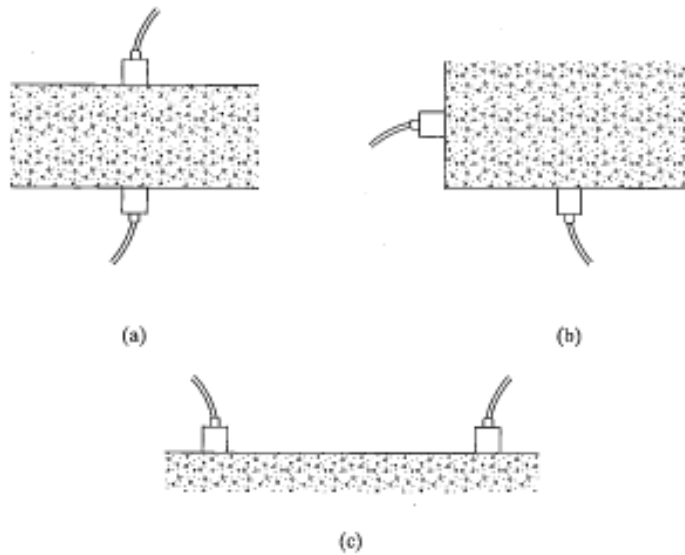
3.2.2 Ultrases yöntemi

Ultrasonik cihazın kullanılmasıyla, betonun içerisine gönderilen sesüstü dalgaların betonun bir yüzeyinden diğerine geçme süresi ölçülmekte ve dalga hızı hesaplanmaktadır. Hesaplanan ses üstü dalga hızı ile betonun basınç dayanımı ve diğer özellikleri arasındaki ilişki yaklaşık olarak elde edilmektedir. Ultrasonik test cihazı ile ölçüm yapabilmek için belirli boyutlarda numunelerin kullanılması şart değildir. Ultrasonik test cihazı ile yapıdaki betonun da basınç dayanımı ölçülebilmektedir. Ultrasonik test yönteminin uygulanması durumunda, ölçüm yapılan betonda çatlama veya kırılma oluşmamaktadır (Erdoğan, 2003).

Ultrases tekniği benzer beton numunelerin kalite kontrolünde kullanılmaktadır. Böylece, sıkıştırma kusurları ve S/Ç oranındaki değişiklikler kolaylıkla fark edilebilmektedir. Ancak, bu teknik, farklı malzemeler içeren ve

karışım oranları belli olmayan beton numunelerin dayanım tespitinde başarılı sonuç vermemektedir. Betonun yoğunluğu arttıkça dayanımında artacağı eğilimi her zaman geçerli olmadığından kullanılan agregaların eşit özgül ağırlığa sahip oldukları varsayımıyla ultrases yöntemi temel alınarak genel bir beton kalitesi sınıflandırması yapmak mümkündür (Neville, 1995).

Betonda ulturases ölçümü üç şekilde yapılabilir. **a)** direkt iletim. Bu metotta alıcı ve verici beton numunesinin karşılıklı yüzlerinde yerleştirilir (Şekil 3.1 a). En çok kullanılan bu yöntem diğer yöntemlere göre gerçeğe daha yakın sonuçlar vermektedir. **b)** yarı-direkt iletim. Bazen beton yüzeyi yalnızbu yöntemle ölçülmek için müsait olur (Şekil 3.1 b). **c)** yüzeysel iletim. Bu yöntem kaplama betonları gibi yerlerde uygulanmaktadır (Şekil 3.1 c) (Mindess ve Young, 1981).



Şekil 3.1. Betonda uygulanan ulturases ölçme teknikleri.

Ultrases testinin etkilendiği bazı faktörler aşağıda açıklanmıştır.

a) Cihazın gönderici ve alıcı başlıkların beton yüzeyi ile teması. Sesüstü dalgaların gönderdiği ve geri kaydedildiği başlıklar beton yüzeyleri ile tamamen temas edecek tarzda tutulmalıdır. Beton yüzeyleri yeterince düzgün değil ise, yüzeyin öğütülerek düzgünleşmesi gerekmektedir. Gerektiğinde, cihazın başlıkları ile beton yüzeyleri arasında kullanılacak parafin veya bir yağ tabakası ile temasın daha iyi olması sağlanmalıdır.

b) Betonun sesüstü dalgalarının gönderdiği başlık ile dalgaların geri alındığı başlık arasındaki mesafe. Ses üstü dalgaların takip ettiği yolun uzun olması, dalga enerjisinde bir miktar azalma yaratmakta ve hatalı değerlendirmelere yol açmaktadır.

c) Ultrases test yönteminin uygulandığı ortam sıcaklığı 0-30°C olduğunda normal dalga hızına sahiptir. Yüksek sıcaklıkta bu hızda düşüş ve çok düşük sıcaklıkta dalga hızında artış yaşanmaktadır. Betonun ıslak olması sesüstü dalga hızının daha yüksek olmasına yol açmaktadır.

d) Betonda demir donatıların bulunması, sesüstü dalga hızının artmasına neden olmaktadır (Erdoğan, 2003).

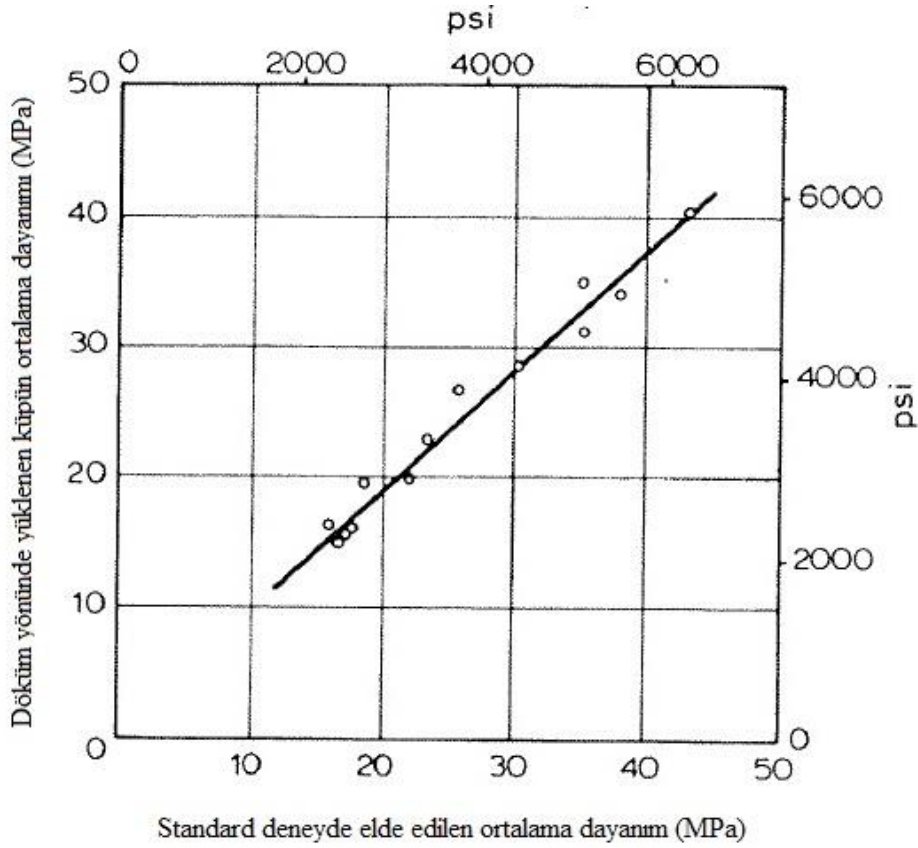
4. LİTERATÜR TARAMASI

Bilindiği gibi deney presi çelik başlığının yarattığı uç etkisi standart küp numunenin tüm yüksekliğinde etkilidir. Narinlik oranı 2 olan standard silindir numunelerin orta bölümünde ise uç etkisi söz konusu değildir. Buna göre, aynı betondan hazırlanan küp ve silindir numunelerin dayanımı farklıdır. Normal dayanımlı betonlarda (≤ 50 MPa) 150x300mm silindir/150 mm küp dayanım oranı genelde 0.8 olarak kabul edilmektedir (TS EN 206). Ancak, söz konusu oranın sabit olmadığı beton dayanımının artışı ile arttığı ve 100 MPa'ın üzerinde dayanıma sahip olan betonlarda yaklaşık bir olduğu açıklanmıştır. Ayrıca, numunenin nem içeriği gibi bazı faktörlerin de söz konusu dayanım oranını etkilediği bilinmektedir (Neville, 1995). Neville'e göre (1995) normal dayanımlı betonlarda silindir ve küp dayanımları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$\sigma_{\text{sil}} = [0.76 + 0.21 \log (\sigma_{\text{sil}}/19.58)] \sigma_{\text{küp}}$$

Neville (1995), küp veya silindir numunelerden hangisinin daha iyi olduğunun söylemesinin zor olduğunu, fakat, küpün standard numune olduğu ülkelerde dahi, en azından araştırma çalışmalarında, silindir numunelerin tercih edildiğini belirtmiştir. Silindir numunelerin uç etkisinden ve iri agrega özelliklerinden daha az etkilendiği ayrıca, yatay düzlemlerde kare kesitli numunelere göre daha uniform gerilme dağılımı gösterdiği bu tercihin nedenleri olarak verilmiştir.

Kolon ve perde duvar gibi yapısal basınç elemanlarda olduğu gibi, silindir numunelerde, döküm yönü ile uygulanan yükün yönü aynıdır. Bundan dolayı silindir numunelerin daha gerçekçi sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Buna rağmen, ayrışmaya uğramamış ve homojen betonlarda, Şekil 4.1'de gösterildiği gibi, küp numunelerde döküm ve yükleme yönlerinin paralel veya dik olmasının deney sonuçlarına kayda değer etkisi olmadığını bildiren araştırmalar da mevcuttur (Neville, 1995,. Neville, 1959)

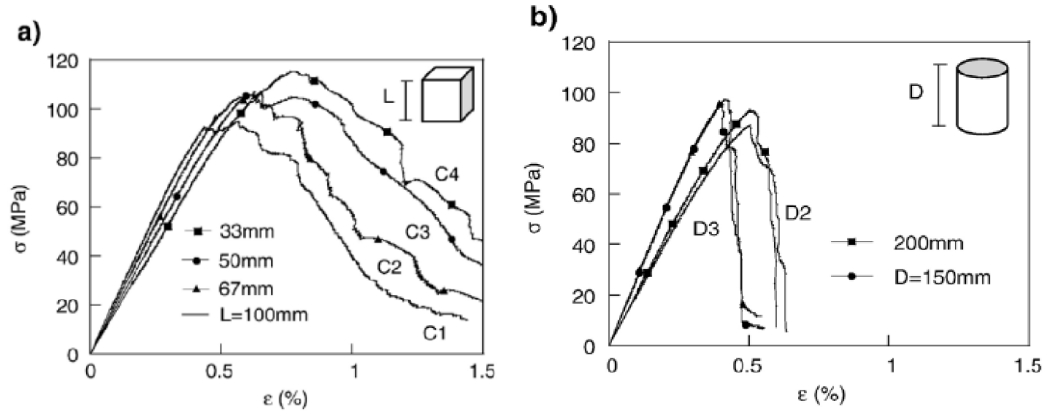


Şekil 4.1. Döküm yönünde ve standard yöntemle deneye tabi tutulan küp numunelerin basınç dayanımı ilişkisi.

Toktay ve Özdemir (1997), numune şekli ve boyunun yüksek dayanımlı beton basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Araştırmada 150 mm çapında ve 0.67 ile 2.00 arasında farklı değerlerde narinlik (l/d) oranında silindir, 75 ile 200 mm arasında farklı çaplarda, narinlik oranı 2 olan silindir ve 75 mm ile 200 mm arasında 4 farklı ayrıttı küp numuneler kullanılmıştır. Deneyler 40, 60 ve 75 MPa basınç dayanımına sahip betonlarda uygulanmıştır. Beton karışımlarında %10 volkanik tüf, ince agregâ olarak nehir kumu, iri agregâ olarak kırma kireç taşı, yüksek oranda su azaltıcı ve silis dumanı kullanılmıştır. Sonuçta, 75 mm çapındaki silindir ve 75 mm ile 100 mm ayrıttı küp numunelerin daha büyük numunelerden düşük dayanımlar verdiği bildirilmiştir. Ayrıca dayanım seviyesi arttıkça silindir numunelerin narinlik oranının basınç dayanımının etkisinin ihmal edilir seviyede olduğu açıklanmıştır.

Del Viso vd., (2007), farklı boyutlarda küp ve silindir numunelerin şekil ve büyüklüğünün yüksek dayanımlı betonun basınç dayanımına etkisini incelemiştir.

Bu araştırmada 100x200 mm ve 75x150 mm silindir numuneler ve 4 farklı ayrıtta küp numuneler (33 mm, 50 mm, 67 mm ve 100 mm) kullanılmıştır. Karışımlarda su/çimento oranı (0.28) sabit tutulmuş ve basınç dayanımı 100 MPa olan betonlar elde edilmiştir. Karışımlarda maksimum tane boyu 12 mm olan andezit agrega, ASTM Tip I çimentosu, mikrosilis ve süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Deneyde eksenel şekil değiştirme hızı (10^{-6} s^{-1}) olarak sabit tutulmuştur. Sonuçta, küçük olan numunelerin yüksek basınç dayanımı gösterdikleri görülmüştür. Şekil 4.2’de görüldüğü gibi σ - ϵ eğrisinde pik öncesi ve sonrası davranışların numune şekli ve boyutuna bağlı olduğu görülmüştür. Pik sonrası yumuşama bölgesinde küp numunelerde hafif bir azalma olurken silindir numunelerde hızlı bir düşüş meydana geldiği bildirilmiştir. Boyut etkisinin küp numunelerde silindir numunelere kıyasla daha çok olduğu açıklanmıştır. Bu pik noktasında yüksek enerji tüketimi silindir numunelerde ortaya çıkan çatlakların fazla olmasıyla kendini göstermiştir. Küp numunelerde boyutun küçülmesiyle pik noktasındaki gerilmenin arttığı açıklanmıştır.



Şekil 4.2. a) Küp ve b) Silindir numunelerin gerilme-birim eğrisi.

TaeYi vd. (2005), araştırmalarında beton numunelerinin büyüklüğü, şekli ve betonun yerleştirilme yönünün basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu araştırmada 4 farklı 28 günlük basınç dayanımına sahip (20 MPa, 40 MPa, 60 MPa ve 80 MPa) karışımlar hazırlanmıştır. 3 farklı şekilde olan (silindir, küp ve prizma) numuneler deneye tabi tutulmuştur. Silindir numuneler 4 farklı boyda (50x100 mm, 100x200 mm, 150x300 mm ve 200x400 mm), küp numuneler 4 farklı boyda (50 mm, 100 mm, 150 mm ve 200 mm) olarak 2 seride (döküm yönüne paralel ve dik yüklenmek için) ve prizma numuneler 4 farklı boyutta

(50x50x100 mm, 100x100x200 mm, 150x150x300 mm ve 200x200x400 mm) olarak 2 seride (döküm yönüne paralel ve dik olarak deneye tabi tutulmak için) hazırlanmıştır. Beton karışımının hazırlanmasında çimento olarak ASTM Tip I çimentosu, agrega olarak kırmataş (maximum tane boyu 13 mm) ve su azaltıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Karışımlar kalıplara yerleştirildikten 24 saat sonra kalıplardan çıkarılmış ve kür odasında bekletilmiştir. Karışım oranları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton karışım oranları.

Su/çimento (%)	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	İri agrega (kg/m ³)	Silis dumanı (kg/m ³)	Süper akışkanlaştırıcı (%)	150x300mm esas silindir basınç dayanımı (MPa)
67	185	276	900	962	-	-	27.0
50	180	360	837	970	-	-	42.9
35	175	500	755	948	-	1.0	65.9
28	165	531	692	942	59	2.5	78.1

Sonuçta, küp ve prizma numunelerde boyut etkisinin daha fazla olduğu görülmüştür. Döküm yönünde basınca tabi tutulan numunelerde basınç dayanımının daha az olduğu açıklanmıştır. Bu etkinin yüksek dayanımlı betonlarda dahada belirgin olduğu vurgulanmıştır. Betonun basınç dayanımı yükseldikçe, küp ve silindir numuneler arasındaki dayanım farkında azalma görülmüştür. Normal dayanımlı betonlardan üretilen küp numunelerde yerleştirme yönünün basınç dayanımına kayda değer etkisi olmadığı bildirilmiştir. Ancak, yüksek dayanımlı betonlarda bu olayın etkili olduğu vurgulanmıştır. Normal dayanımlı betondan üretilen prizma şeklindeki numunelerde betonun kalıba yerleştirme yönü ile yükleme yönünün paralel olması, normal duruma göre (doldurma ve yükleme yönlerinin dik olması) daha düşük dayanımlara yol açtığı bildirilmiştir. Betonun dayanım seviyesi yükseldikçe numunenin boyutundan kaynaklanan dayanım farkında azalma görülmüştür.

Yazıcı ve İnan Sezer (2006), farklı S/Ç oranına sahip karışımlardan hazırladığı beton numunelerin büyüklüğünün basınç dayanımına etkisini

100x200 mm ve 150x300 mm silindir numunelerde incelemişler. Bu araştırmada 8 ayrı S/Ç oranına sahip (0.77, 0.71, 0.62, 0.55, 0.50, 0.47, 0.42, 0.37) beton karışımı incelenmiştir. Numunelere yapılan başlık 3 farklı (çimento hamuru, alçı hamuru ve kükürt harcı) malzemeden yapılmıştır. Beton karışımının hazırlanmasında CEM I 42.5R tipi çimento ve kırma kireç taşı agregası kullanılmıştır. Sonuçta, beton basınç dayanımı yükseldikçe 100x200 mm ve 150x300 mm numunelerin basınç dayanımları arasındaki farkın azaldığı bildirilmiştir. En yüksek basınç dayanımı çimentoyla başlık yapılmış olan numunelerde, en düşük dayanım ise kükürtle başlık yapılan numunelerde elde edildiği bildirilmiştir.

İnce ve Arıcı (2004), araştırmalarında numune büyüklüğünün dayanıma etkisini farklı basınç dayanımına sahip olan küp numunelerde incelemiştir. Bu çalışmada 6 farklı basınç dayanımına sahip beton karışımlarından 3 farklı büyüklükte küp (50 mm, 100 mm ve 200 mm) numune alınarak deneye tabi tutulmuştur. Agreganın en büyük tane boyu Çizelge 4.2’de gösterildiği gibi A,B,C ve D karışımlarında 8 mm, E karışımında 16 mm, F karışımında ise 4 mm olduğu bildirilmiştir. Sonuçta, normal dayanımlı betonlarda numunenin boyutu büyüdükçe beton basınç dayanımının azaldığı açıklanmıştır. Araştırmada söz konusu olan dayanım seviyelerinde agreganın en büyük tane boyutunun basınç dayanımına kayda değer etkisi olmadığı vurgulanmıştır. Çizelgede verilen R , A_2/A_1 oranıdır. Şekil 4.3’de görüldüğü gibi A_1 yük uygulanan alan ve A_2 ise etkin alandır. Ayrıca çizelgede verilen nominal dayanım aşağıdaki bağlantıdan hesaplanmıştır.

$$\sigma_N = B\sigma_o[1+(D/D_o)]^{(-1/2)} + \sigma_R$$

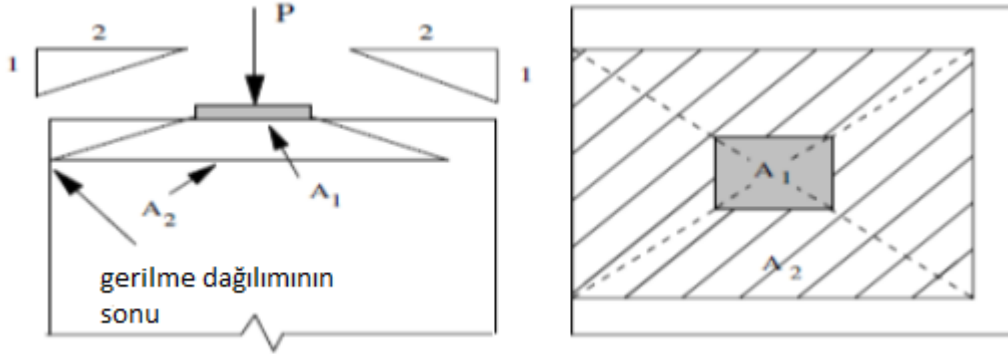
Burada σ_N nominal dayanım olup aşağıdaki gibi ifade edilebilir

$$\sigma_N = C_n P_u / t D$$

Burada D numune boyutu, t numunenin kalınlığı, C_n ise yükleme türüne bağlı bir sabittir. σ_o dayanım parametresi; B , D_o ve σ_R ise ampirik sabitlerdir.

Araştırmacılar ayrıca, en büyük agrega tane boyunun gözardı ederek, küp numunelerinin nominal dayanımı için aşağıdaki bağlantıyı önermiştir.

$$\sigma_N = \sigma_{sil} \sqrt{R [(3.64/\sqrt{(1+(D/10.96))})+0.26]}$$



Şekil 4.3. Yük uygulanan alan ve etkin alan

Çizelge 4.2. Deney sonuçları.

Karışım	Silindir basınç dayanımı (MPa)	Maksimum agrega tane boyu (mm)	R	Numune boyu (mm)	Nominal dayanım (MPa)			Kırılma piramidi açısı (°)
					1	2	3	
A	9.63	8	6.25	50	-	42.00	49.00	39
				100	31.25	31.88	36.63	49
				200	26.72	29.36	27.78	56
B	24.02	8	6.25	50	101.50	99.50	104.00	38
				100	91.81	83.38	87.00	44
				200	69.19	61.95	63.30	50
C	48.00	8	6.25	50	202.75	208.50	221.00	43
				100	163.94	168.00	165.94	52
				200	117.97	117.08	118.53	54
D	23.60	8	16.0	50	182.40	179.20	181.12	46
				100	149.92	148.96	151.20	49
				200	115.16	113.40	113.72	45
E	24.05	16	6.25	50	128.25	129.50	132.75	43
				100	96.69	94.00	97.69	47
				200	77.84	79.34	77.34	54
F	27.42	4	6.25	50	99.00	92.75	101.75	43
				100	70.25	68.19	70.88	50
				200	53.98	55.14	57.38	52

Sim vd. (2013), araştırmalarında farklı basınç dayanıma sahip olan hafif betonlarda numunenin boyut ve şeklinin basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada 2 farklı inceleme yapılmıştır. Birinde 3 farklı S/Ç oranına sahip (0.30, 0.35 ve 0.40) beton karışımlarından hazırlanan (100x200 mm) ve (150x300 mm) silindir numuneler üzerinde deney yapılmıştır. İkinciside ise 3 farklı S/Ç oranına sahip (0.43, 0.47 ve 0.55) beton karışımlarından hazırlanan 3 farklı silindir

(50x100mm, 100x200mm ve 150x300mm) ve 7 farklı küp (50 mm, 100 mm, 150mm, 250 mm, 300mm, 350 mm ve 400 mm) numuneler incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda numune büyüklüğü etkisinin hafif betonlarda normal ağırlıklı betonlara nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu etkinin narinlik oranı 2 olan numunelerde 1 olanlara kıyasla daha belirgin olduğu açıklanmıştır. Normal ağırlıklı betonlarda numune büyüklüğünün artmasıyla dayanım farkında azalma görüldüğü bildirilmiştir.

Khaloo vd. (2009), baraj betonlarında numunenin ve agrega tane büyüklüğünün basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelemiştir. Bu çalışmada 3 farklı silindir numune (150x300 mm, 250x500 mm ve 300x450 mm) kullanılmıştır. Karışımlarda 3 farklı maksimum agrega tane büyüklüğü (37.5 mm, 75 mm ve 150 mm) kullanılarak 20 MPa ile 58 MPa arasında basınç dayanımına sahip betonlar üretilmiştir. Numuneler 2 seride hazırlanmış ve 7 ile 90 gün yaşlarında basınç deneyine tabi tutulmuştur. Sonuçta, numune büyüdükçe nominal dayanımın azaldığı görülmüştür. 7 günlük basınç dayanımı sonuçlarında farklı numuneler arasında düzensizlik olduğu açıklanmıştır. Kütle betonlarda maksimum agrega tane büyüklüğünün basınç dayanımına etkisi ihmal edilebilir seviyede olduğu bildirilmiştir.

Issa vd. (2000), numunenin ve maksimum agrega tane büyüklüğünün beton basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada 5 farklı maksimum agrega tane büyüklüğü (4.75 mm, 9.5 mm, 19.0 mm, 37.5 mm ve 75 mm) kullanılarak farklı betonlar üretilmiştir. 4 farklı büyüklükte plastik silindir kalıp (150x300 mm, 100x200 mm, 75x150 mm ve 50x100 mm) kullanılarak 600'den fazla numune hazırlanmıştır. Çalışmada basınç dayanımı testi ASTM C39 standardı, elastik modülü testi ise ASTM C469 standardına uygun yapılmıştır. Beton karışımlarında ASTM Tip I portland çimentosu kullanılmıştır. Tüm karışımlarda S/Ç oranı 0.5 olarak sabit tutulmuştur. Numuneler 7, 14, 100 ve 180 gün kür odasında bekletildikten sonra basınç dayanımı testine tabi tutulmuştur. Sonuçta, maksimum agrega tane büyüklüğü küçüldükçe numunenin basınç dayanımı/elastik modülü oranında (E/f_c) azalma görülmüştür. Numune büyüklüğü arttıkça, tüm yaşlarda E/f_c oranının arttığı tespit edilmiştir. Farklı büyüklükte olan numunelerin E/f_c oranları arasında lineer bir ilişki olduğu saptanmıştır. Ayrıca, aynı büyüklükte

olan numunelerde en büyük agrega tane büyüklüğü arttıkça E/f_c oranı varyasyon katsayılarında artış görülmüştür. Maksimum agrega tane büyüklüğü benzer olan numunelerde ise numune büyüklüğünün artması ile E/f_c oranının varyasyon katsayısının arttığı rapor edilmiştir.

Alejander vd. (2014), portland çimentosu harç karışımlarından alınan mikro karot numunelerin şekil ve büyüklüğünün basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada CEMII/B-L32,5N çimentosu kullanılmıştır. 0.5, 0.58, 0.9 ve 1 olmak üzere 4 farklı su/çimento oranına sahip karışımlar hazırlanmıştır. Hazırlanan numunelerin karışım oranları Çizelge 4.3'de verilmiştir. 40x40x160 mm büyüklüğünde hazırlanan numunelerden 4 farklı ayrıtlı küp (30 mm, 25 mm, 20mm ve 15 mm) ve bir prizma (40x40x20 mm) mikro karot numunesi alınarak 28 günlük basınç dayanımı belirtilmiştir.

Çizelge 4.3. Numunelerin karışım oranları.

Harç	Çimento:agrega oranı (%)	Maksimum tane boyu (mm)	Kıvam (mm)	Su/çimento oranı
D3A2	1:3	2	184	0.5
D3A1		1	183	0.58
D6A2	1:6	2	182	0.9
D6A1		1	181	1

Sonuç olarak, küçük karot numunelerde (15x15x15 mm) dayanım değeri standart sapmasının daha yüksek olduğu görülmüştür. Tek yönlü ANOVA istatistiksel analizi sonucunda referans numunesi ve mikrokartot dayanımları arasında açık fark olduğu görülmemiştir. Mikrokartotların, büyüklük ve yükseklik/en oranından bağımsız olarak, istatistik bakımından homojen davrandığı anlaşılmıştır. Yükseklik/en oranı 1 veya 0.5 olan mikrokartotların, referans numuneye göre daha büyük dayanım gösterdiği açıklanmıştır.

Dehestani vd. (2014), kendiliğinden yerleşen betonlarda numunenin şekil ve büyüklüğünün basınç dayanımına etkisini araştırmıştır. Çalışmada küp ve silindir numuneler kullanılmıştır. Silindir numuneler 14 farklı büyüklükte (50x25 mm,

50x50 mm, 50x75 mm, 50x100 mm, 75x37.5 mm, 75x75 mm, 75x112.5 mm, 75x150 mm, 100x50 mm, 100x100 mm, 100x150 mm, 100x200 mm, 125x250 mm ve 150x300 mm), küp numuneleri ise 5 farklı büyüklükte (50, 75, 100, 125 ve 150 mm) hazırlanarak basınç deneyine tabi tutulmuştur. Çalışmada Çizelge 4.4’de gösterildiği gibi 3 farklı kendiliğinden yerleşen beton karışımı hazırlanmıştır.

Çizelge 4.4. Beton karışım oranları.

Karışım	Su (kg/m ³)	Çimento (kg/m ³)	Su/çimento oranı (%)	İri agrega (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	Süper akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	Kireçtaşı tozu (kg/m ³)	Basınç dayanımı (MPa)
M1	140	400	35	802	858	9.2	240	45.6
M2	156	400	39	695	850	8.4	240	33.9
M3	172	400	43	688	841	7.6	240	24.0

Araştırmada numunenin narinlik oranı, çap (silindirlerde) veya ayırıtı (küplerde) büyüklüğü ve kesit alanı şeklinin basınç dayanımına etkisi incelenmiştir. Deney sonuçları Çizelge 4.5 ve 4.6’da verilmiştir. Araştırmacılar $f'_c(d)/f'_c$ olarak tanımladıkları dayanım oranlarını incelemiştir. Burada $f'_c(d)$, d çapındaki silindir numune dayanımı f'_c ise 150 mm çapında ve 300 mm yükseklikte standart silindir numune dayanımıdır. Narinlik oranından bağımsız olarak, numune büyüklüğü arttıkça dayanım oranının azaldığı ve bu azalmanın h/d oranı düşük olan numunelerde daha belirgin olduğu görülmüştür. Silindir numunelerde narinlik oranının azalmasıyla dayanım oranında azalma tespit edilmiştir. Buradan yola çıkarak numune büyüklüğünün küçük narinlik oranına sahip numunelerde daha etkin olduğu sonucuna varılmıştır. Sabit h/d oranında dayanım oranındaki azalma büyük ölçüde karışım oranlarına, özellikle karışımın S/Ç oranına bağlı olduğu açıklanmıştır. Numune büyüklüğünün düşük dayanımlı karışımlarda dahada etkin olduğu saptanmıştır. Yüksek narinlik oranlarında numune büyüklüğünün etkisi karışım oranlarından (S/Ç oranından) bağımsız hale geldiği vurgulanmıştır. Narinlik oranı 1 olan numunelerde, kare kesit alanına sahip küplerin silindir numunelere kıyasla daha yüksek dayanım gösterdiği, fakat kesit alanı büyüklüğünün basınç dayanımına kayda değer etkisi olmadığı rapor edilmiştir.

Çizelge 4.5. Küp numunelerin deney sonuçları.

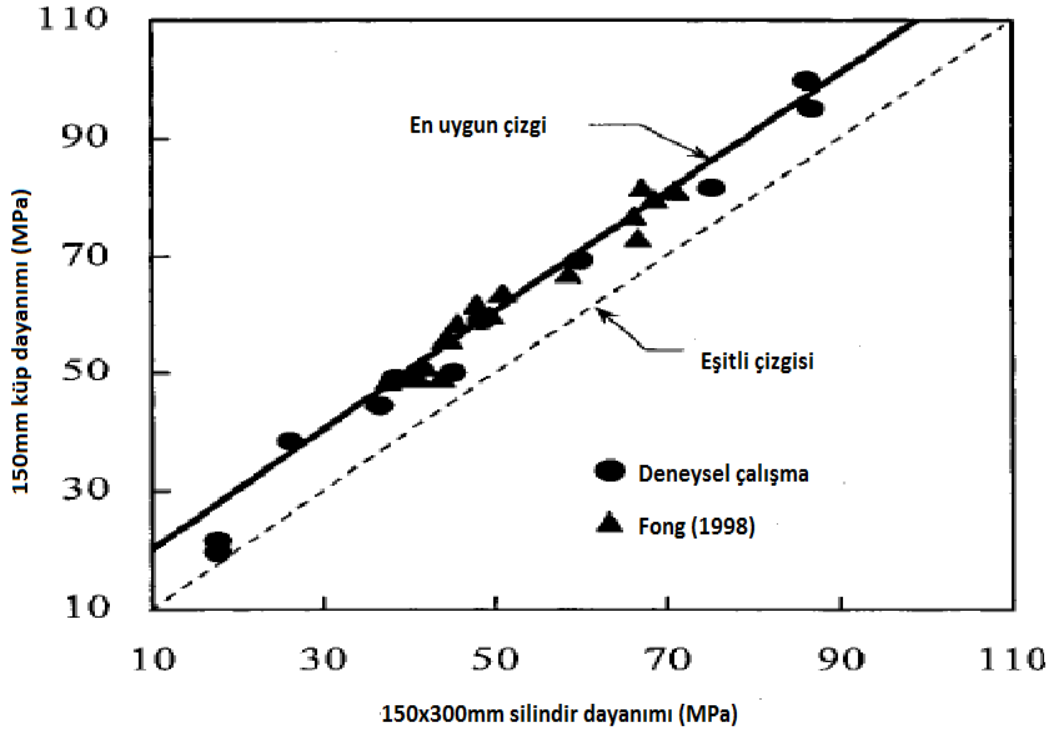
Karışım	Büyüklik (mm)	Basınç dayanımı (MPa)
M1	50x50x50	61.7
	75x75x75	61.6
	100x100x100	61.2
	125x125x125	57.5
	150x150x150	54.5
M2	50x50x50	53.7
	75x75x75	52.2
	100x100x100	50.0
	125x125x125	45.6
	150x150x150	44.8
M3	50x50x50	44.5
	75x75x75	44.1
	100x100x100	44.2
	125x125x125	41.7
	150x150x150	41.1

Çizelge 4.6. Silindir numunelerin deney sonuçları.

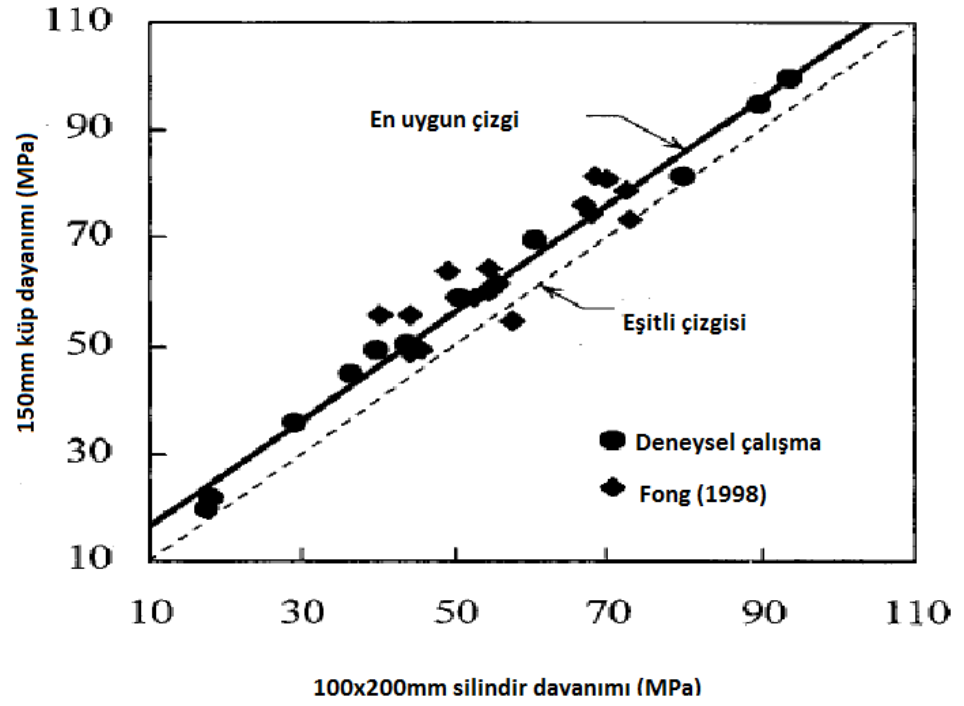
Numune büyüklüğü		M1 karışımından hazırlanan numunenin basınç dayanımı (MPa)	M2 karışımından hazırlanan numunenin basınç dayanımı (MPa)	M3 karışımından hazırlanan numunenin basınç dayanımı (MPa)
Çapı (mm)	Yükseklik (mm)			
50	25	80.1	52.8	50.3
	50	54.9	42.5	40.3
	75	46.4	41.4	28.5
	100	51.3	41.7	28.4
75	37.5	82	49	42
	75	45.8	35.5	34.5
	112.5	41.2	33.3	24.4
	150	51	36.9	26.5
100	50	61.9	52.7	42.9
	100	43.9	35.5	30.8
	150	39.2	29.5	26.8
	200	48.1	35.5	25.5
150	300	45.6	33.9	24

Sarıdemir (2014), uçucu küllü betonlarda numune şekil ve büyüklüğünün basınç dayanımına etkisini genetik programlama uygulayarak araştırmıştır. Oluşturulan modeller ile küp (100 ve 150 mm) ve silindir (100x200 mm ve 150x300 mm) numunelerin basınç dayanımı tahminine çalışılmıştır. Bu araştırmada 36 farklı araştırmanın sonuçları değerlendirilmiştir. Modellerin oluşturulmasında numunenin yaşı, betonun karışım oranları ve çimentonun CaO içeriği girdi parametreleri, basınç dayanımı ise çıktı parametresi olarak kullanılmıştır. Sonuçta, yapay zeka yöntemlerinin betonun çeşitli numunelerinin basınç dayanımı tahmininde kullanılabilir olduğu açıklanmıştır.

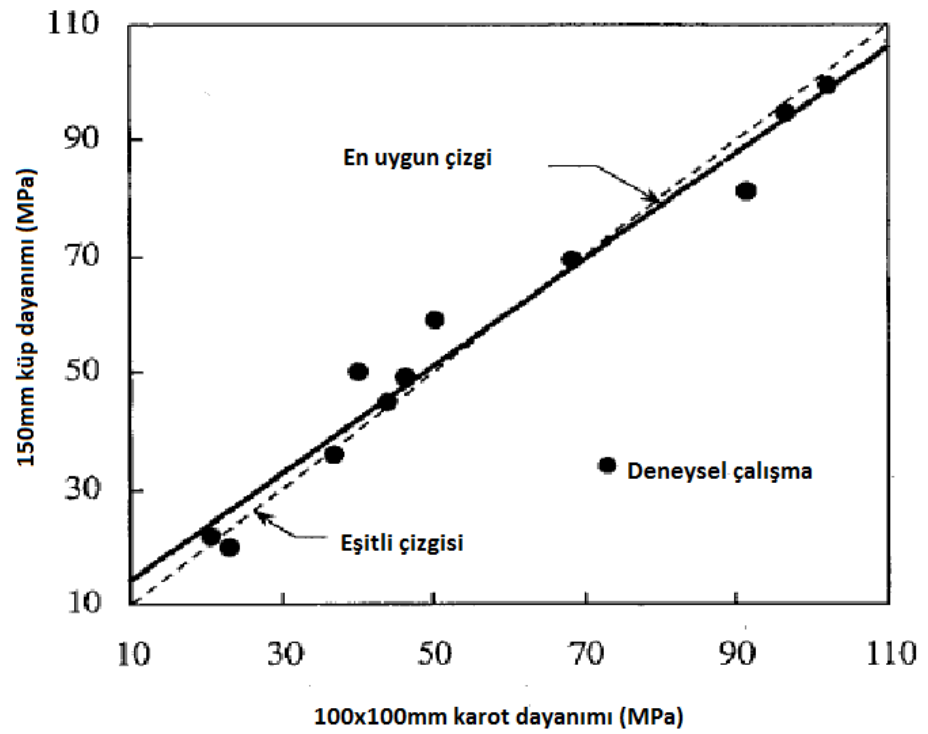
Mansur vd. (2002), çalışmalarında standart olmayan numunelerde elde edilen basınç dayanımını yorumlamıştır. Araştırmalarda 100 mm ve 150 mm ayrıtlı küp, 100x100 mm, 100x200 mm ve 150x300 mm büyüklüğünde silindir numunelerin basınç dayanımları arasındaki ilişki incelenmiştir. Basınç dayanımı 20 MPa ile 100 MPa arasında değişen 11 farklı beton karışımından hazırlanan toplam 210 numune deneye tabi tutulmuştur. Bu araştırmadan çıkan sonuçlar ve daha önce Singapore Milli Üniversitesi'nden elde edilen verilere göre, betonun dayanım seviyesi arttıkça standart küp dayanımı/diğer numunelerin dayanımı oranının azaldığını gösterilmiştir. Ayrıca, bu oranın, numunenin büyüklüğü veya narinlik oranının azalmasıyla azaldığı bildirilmiştir. Hazır beton karışımlarından alınan numuneler 24 saat sonra kalıplardan çıkarılarak 7 gün suda, 20 gün ise laboratuvar ortamında bekletilmiştir. Çeşitli numunelerin 28 günlük basınç dayanımları arasındaki ilişki Şekil 4.4, 4.5, 4.6 ve 4.7'da gösterilmiştir.



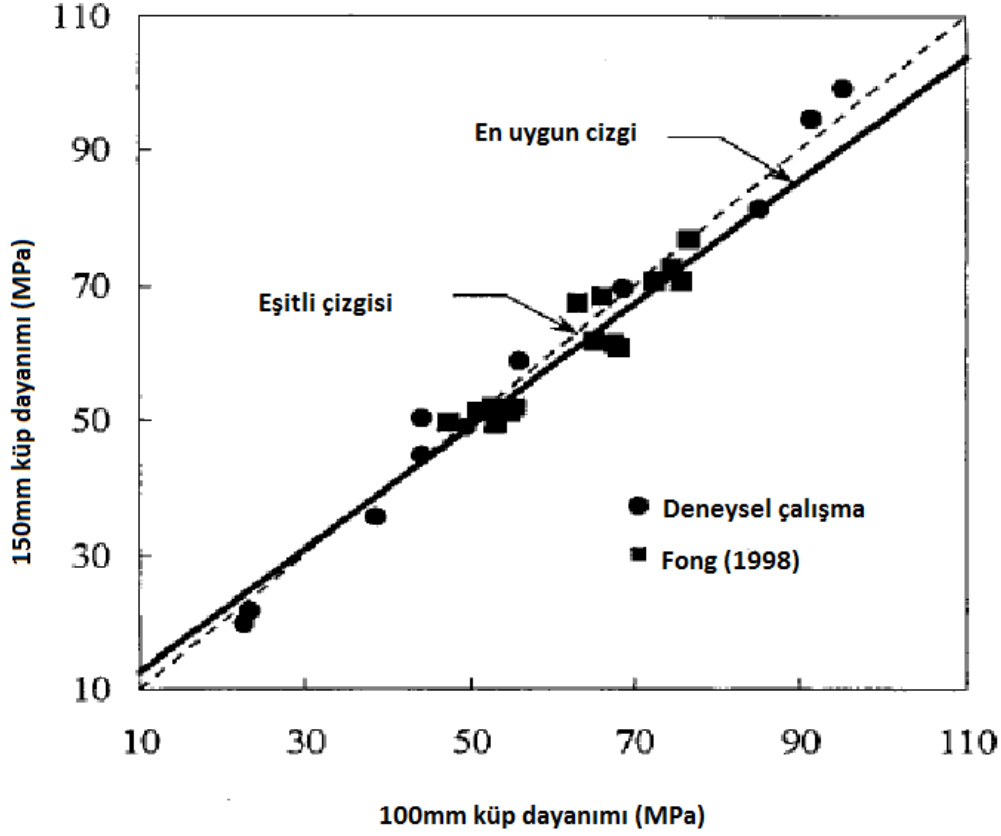
Şekil 4.4. 150 mm küp ve 150x300 mm silindir numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.



Şekil 4.5. 150 mm küp ve 100x200 mm silindir numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki



Şekil 4.6. 150 mm küp ve 100x100 mm karot numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki



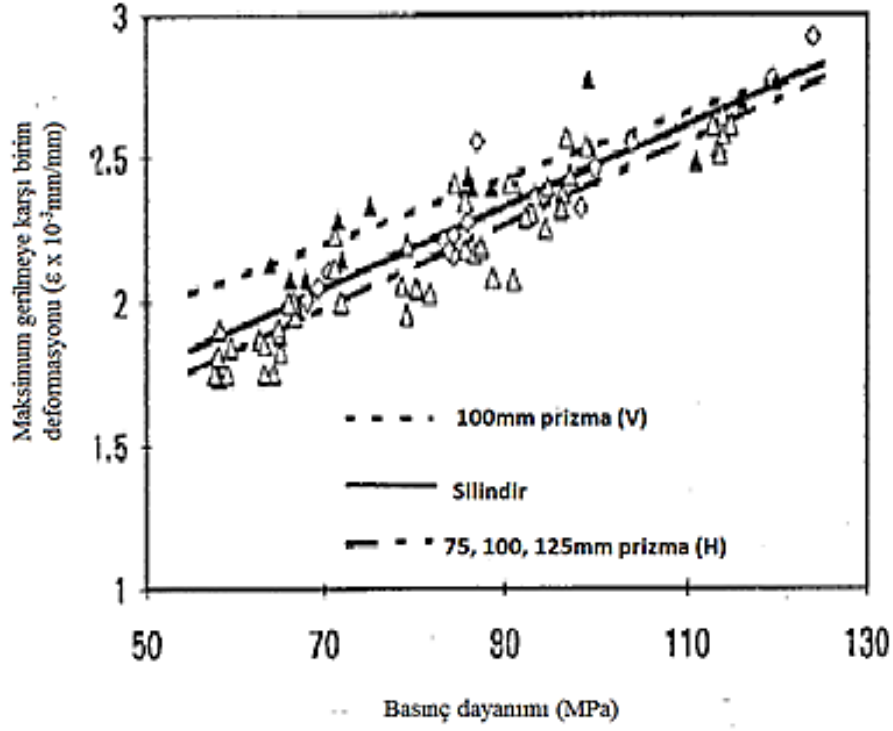
Şekil 4.7. 150 mm küp ve 100 mm küp numunelerinin basınç dayanımları arasındaki ilişki.

Chin vd. (1997), yüksek dayanımlı betonlarda numune şekli, büyüklüğü ve beton yerleştirme yönünün σ - ϵ eğrisi üzerinde etkisini incelemiştir. Çalışmada 50MPa ile 120MPa arasında basınç dayanımına sahip silindir ve prizma örnekler kullanılmıştır. Çizelge 4.7’de görüldüğü gibi 5 farklı su/bağlayıcı oranına sahip (0.40, 0.35, 0.30, 0.25 ve 0.20) ve silis dumanı, uçucu kül, yüksek fırın curufu ile Hi-fi (etrenjit esaslı mineral katkı) olmak üzere dört farklı mineral katkı içeren karışımlar hazırlanmıştır. Karışımlarda normal portland çimentosu, doğal kum, 19 mm en büyük tane çapında kırma granit ve süperakışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. σ - ϵ eğrisini elde etmek için 100x200 mm silindir ile 100x100x200 mm yatay yerleştirilen ve aynı büyüklükte fakat dikey yönden yerleştirilen prizma numuneler hazırlanmıştır. Belirli karışımlardan ayrıca yatay yerleştirilen 75x75x150 mm ve 125x125x250 mm prizma numunelerde üretilmiştir.

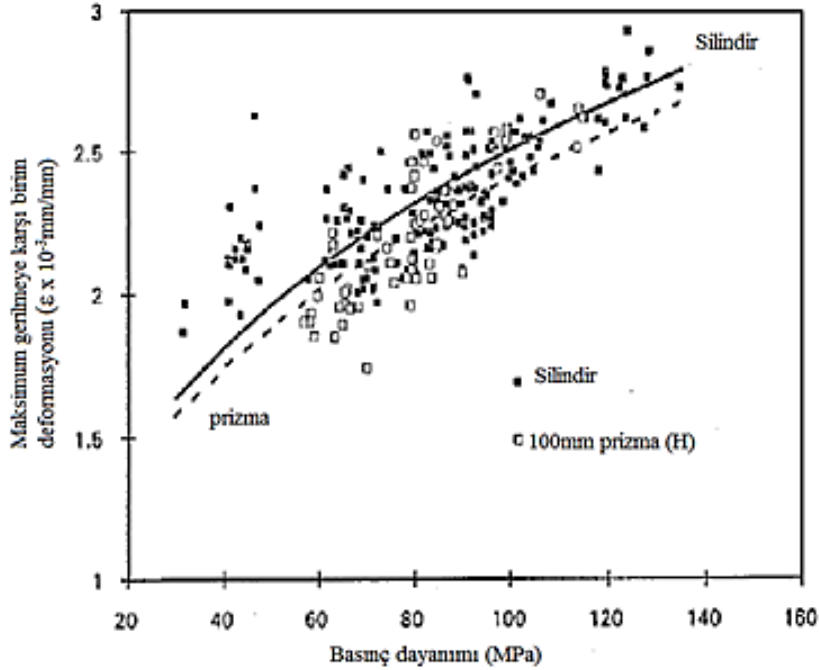
Çizelge 4.7. Beton numunelerin karışım oranları.

Karışım	Su/bağlayıcı oranı (%)	Çimento (kg/m ³)	Mineral katkı		Su (kg/m ³)	İnce agrega (kg/m ³)	İri agrega (kg/m ³)
			Türü	Yer değiştirme oranı (%)			
P1	0.40	425	-	-	170	722	1083
P2		383	Silis dumanı	10	170	722	1083
P3		298	Uçucu kül	30	170	722	1083
P4		191	Fırın curufu	55	170	722	1083
P5		292	Hi-fi	16.7	140	1071	799
P6	0.35	437	Silis dumanı	10	170	698	1046
P7		389	Silis dumanı	20	170	698	1046
P8	0.30	550	-	-	165	640	1045
P9		495	Silis dumanı	10	165	640	1045
P10		385	Uçucu kül	30	165	640	1045
P11		248	Fırın curufu	55	165	640	1045
P12		400	Hi-fi	16.7	144	1122	623
P13	0.25	640	-	-	160	587	1043
P14		608	Silis dumanı	5	160	587	1043
P15		576	Silis dumanı	10	160	587	1043
P16		544	Silis dumanı	15	160	587	1043
P17		448	Uçucu kül	30	160	587	1043
P18		288	Fırın curufu	55	160	587	1043
P19		192	Fırın curufu	70	160	587	1043
P20		500	Hi-fi	16.7	150	929	901
P21	0.20	675	Silis dumanı	10	150	520	1010

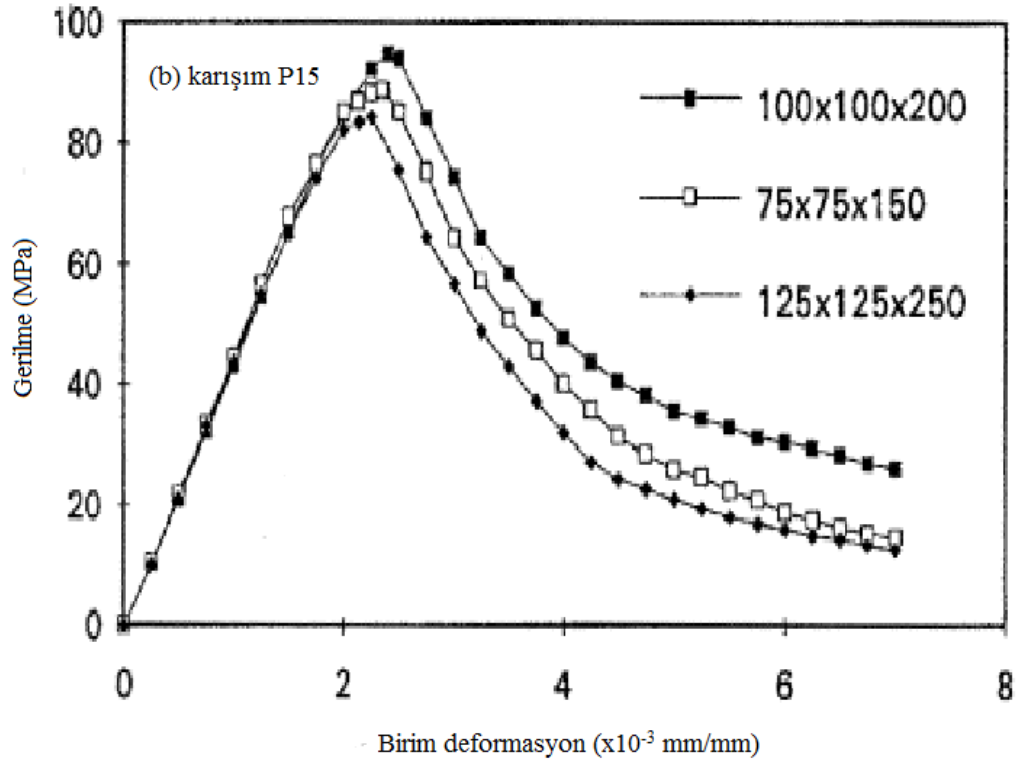
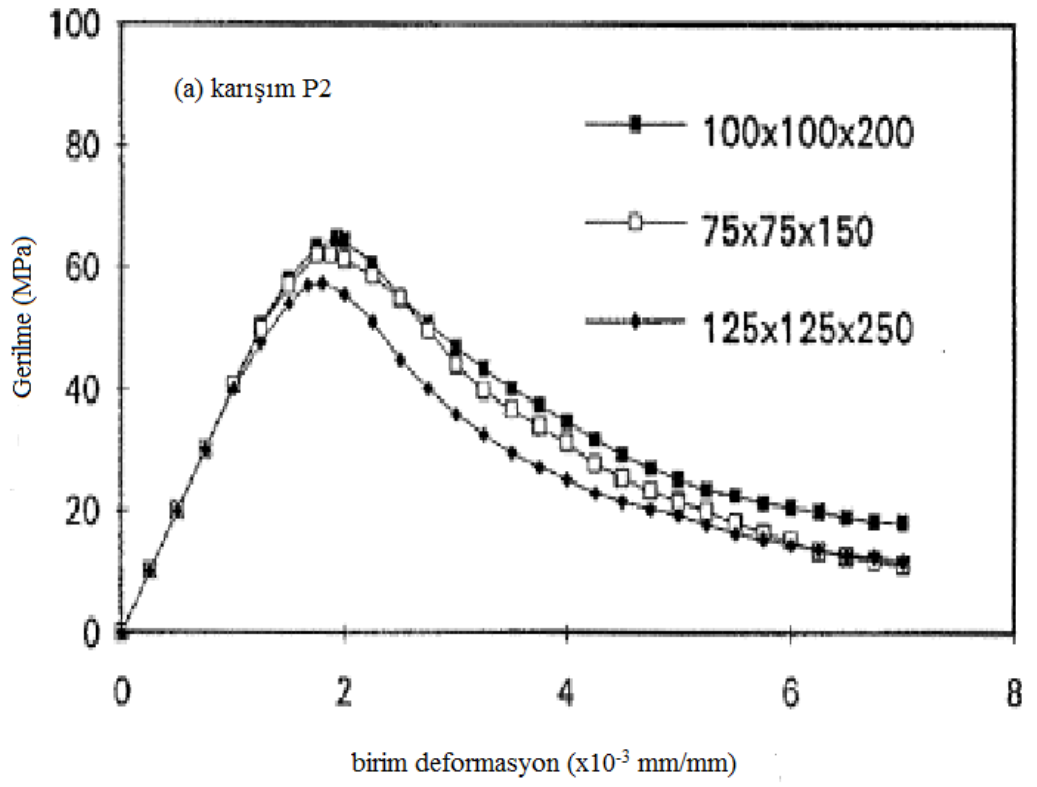
Deney sonuçları Şekil 4.8, 4.9 ve 4.10’da gösterilmiştir.



Şekil 4.8. Şekil, büyüklük ve basınç uygulama yönünün maksimum gerilmekteki birim deformasyona etkisi (V: dikey, H: yatay).



Şekil 4.9. Silindir ve yatay üretilen 100x100x200 mm prizma numunelerde maksimum gerilmeye karşı olan birim deformasyon-basınç dayanımı ilişkisi.



Şekil 4.10. (a) ve (b) Farklı büyüklükte olan prizma numunelerin gerilme-birim deformasyon eğrileri.

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi silindir numuneler dikey yönde dökülen prizma numunelere kıyasla daha düşük ε_0 göstermiştir. Ancak, betonun dayanım seviyesi arttıkça numuneler arasındaki fark kapanmıştır. Aynı şekilden dikey üretilen prizmaların daha yüksek ε_0 değerine sahip olduğu anlaşılmıştır. Burada da ε_0 değerleri arasındaki fark, betonun dayanım seviyesi arttıkça azalmıştır. Şekil 4.9’da silindir numuneleri ile yatay dökülmüş 100x100x200 mm prizma numuneler üzerinde elde edilen veriler gösterilmiştir. Yapılan regresyon analizi sonucunda silindir numuneler için $\varepsilon_0=0.0005(f_0)^{1/4}$, prizma numuneler için ise $\varepsilon_0=0.00048(f_0)^{1/4}$ ilişkileri önerilmiştir. Bu denklemde f_0 MPa olarak basınç dayanımı ε_0 ise maksimum gerilme karşı birim deformasyonunu göstermektedir. Şekil 4.10 a ve b’de iki farklı karışımdan hazırlanan üç farklı büyüklükteki prizma numunelerin σ - ε eğrileri kıyaslanmıştır. Basınç dayanımlarında olduğu gibi bu eğrilerin de birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ancak, numune büyüklüğünün ε_0 ve f_0 değerleri ile eğrinin azalan bölümünde belirli bir ε değerine karşı gelen gerilme miktarında etkili olduğu açıklanmıştır.

Aitcin vd. (1994), çalışmalarında normal ve yüksek dayanımlı betonda silindir numune büyüklüğü ve kür koşulunun basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Çalışmada, 35 MPa, 90 MPa ve 120 MPa dayanımına sahip 3 farklı karışım hazırlanmıştır. Her karışım 3 seride yapılmış, bir seri havada diğeri suda ve son seri ise örtülerek kürlenmiştir. Silindir numuneler 3 ayrı büyüklükte (100x200 mm, 150x300 mm ve 200x400 mm) hazırlanmıştır. Numuneler 1, 7, 28, 91 ve 365 günlük olarak 5 farklı yaşta basınç deneyine tabi tutulmuştur. 1 günlük numunelere kükürt başlık uygulanmıştır. Diğer yaşlarda olanlar ise kesit alanları aşındırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Yüksek basınç dayanımına sahip betonlarda silis dumanı kullanılmıştır. Sonuçta, en yüksek dayanımın suda kürlenene numunelerde elde edildiği bildirilmiştir. Bu numuneleri örtülme yöntemiyle kürlenene numuneler takip etmiştir. En düşük dayanımlar ise havada bekletilen numunelerde görülmüştür. Havada bekletilen numuneler, kirece doymun suda tutulanlara kıyasla %20, örtülerek kürlenene numunelere ise %16 daha düşük dayanım göstermiştir. Su kürü uygulanan numunelerde 120 MPa dayanıma sahip olan beton en yüksek dayanım artışı göstermiştir. 1 yıl sonunda söz konusu beton örtülerek kürlenene benzeri betonlara kıyasla %13 mertebesinde yüksek dayanım göstermiştir. Araştırmacılar bunun 0.25 su/bağlayıcı oranına sahip bu karışımda

su kürünün daha fazla hidratasyona yol açtığından kaynaklanabileceğini vurgulamıştır. Silindir numunelerin büyüklüğü arttıkça basınç dayanımı varyasyon katsayısının arttığı bildirilmiştir. Büyük numuneler daha düşük dayanım göstermiştir. Araştırma sonunda incelenen beton karışımları, kür koşulları ve numune büyüklükleri için betonun zamanla dayanım kazanma denklemleri oluşturulmuştur.

Felekoğlu ve Türkel (2005), numune şekil ve büyüklüğünün beton basınç dayanımına etkisini incelemiştir. Bu çalışmada, 150 ve 200 mm ayrıtlı küp ile 100x200 ve 150x300 mm büyüklüğünde silindir numuneler kullanılmıştır. Bu numunelerin dayanımları arasında geçiş katsayıları önerilmiştir. Bu çalışmada iki farklı dayanım sınıfında (Normal Dayanım-ND ve Yüksek Dayanım-YD) beton karışımları hazırlanmıştır. Hem ND hem de YD sınıfına giren karışımlardan 7. ve 28. günde dokuzarlı gruplar halinde basınç dayanımı deneyine tabi tutulmak üzere dört farklı türde (150 ve 200 mm ayrıtlı küp, 100x200 mm ve 150x300 mm silindir) toplam 144 örnek alınmıştır. Bu örnekler kırım günlerine kadar standart kür uygulanmıştır. Bu araştırmada İzmir'deki Batıçim Çimento Fabrikası'nın ürettiği PÇ 42.5 tipi çimento kullanılmıştır. İri agrega olarak 15-25 mm ve 5-15 mm kırma kireçtaşı, ince agrega olarak 0-5 mm kırma kireçtaşı kumu ve 0-3 mm doğal kum karışımı seçilmiştir. Kullanılan betonların karışım oranları Çizelge 4.8'de, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.9 ve 4.10'da verilmiştir. Sonuçta, aynı forma sahip farklı numuneler büyüdükçe daha yüksek dayanım göstermiştir. Literatüre ters olan bu davranışın küçük örneklerdeki "çeper etkisi" sebebiyle oluştuğu öne sürülmüştür. Farklı şekil ve boyutlar arasındaki geçiş katsayılarının beton dayanım sınıfına göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Standart küpten standart silindire geçiş katsayısı normal dayanımlı betonda 0.75, yüksek dayanımlı betonda da ise 0.90 değerini aldığı açıklanmıştır. 100 mm çaplı silindirden standart silindire geçiş katsayısı normal dayanımlı betonda 1.02, yüksek dayanımlı betonda ise 1.16 olarak bildirilmiştir. 200 mm ayrıtlı küpten standart silindire geçiş katsayısı normal dayanımlı betonda 0.75, yüksek dayanımlı betonda ise 0.85 olduğu saptanmıştır.

Çizelge 4.8.Normal ve yüksek dayanımlı betonların karışım oranı.

Bileşen	Normal dayanımlı sınıf (ND)	Yüksek dayanımlı sınıf (YD)
	Ağırlık (kg/m ³)	Ağırlık (kg/m ³)
Çimento	350	450
Su	193	135
Kum	794	824
İri agrega	1017	1056
Su azaltıcı katkı	-	3.6

Çizelge 4.9. Küp numunelerin basınç dayanımı.

Dayanım sınıfı	ND sınıfı		YD sınıfı		ND sınıfı		YD sınıfı	
Örnek türü	Küp 150mm		Küp 150 mm		Küp 200 mm		Küp 200 mm	
Örnek yaşı	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 4.10.Silindir numunelerin basınç dayanımı.

Dayanım sınıfı	ND sınıfı		YD sınıfı		ND sınıfı		YD sınıfı	
Örnek türü	100x200 mm silindir		100x200 mm silindir		150x300 mm silindir		150x300 mm silindir	
Örnek yaşı	7	28	7	28	7	28	7	28
Ortalama (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

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Çalışmada 100x200 mm ve 150x300 mm büyüklükte silindir ve 150 mm ayrıtlı küp numunelerin basınç dayanımı değerlendirilmiştir. Küp numuneler basınç deneyine iki yönde (döküm yönüne dik ve paralel) yüke tabi tutulmak için iki seride üretilmiştir. Çalışmada numunelerin 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları incelenmiştir. Toplamda 396 beton numunesi hazırlanarak deneye tabi tutulmuştur. Silindir numuneler ve döküm yönüne dik olarak deneye tabi tutulan küp numuneler aşındırılarak deneye hazır hale getirilmiştir.

5.1 Kullanılan Malzeme

5.1.1 Çimento

Deneylerde Batı Anadolu Çimento Fabrikası üretimi olan CEM II/B-M(L-W) 42,5 R çimentosu kullanılmıştır. Üretici firma tarafından verilen çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

İtem	Birim	CEM II/B-M(L-W) 42,5R	TS EN 197-1 Standard Sınırları
CaO	%	58.61	
SiO ₂	%	21.81	
Al ₂ O ₃	%	6.4	
Fe ₂ O ₃	%	2.27	
SO ₃	%	3.05	≤ 3.5
MgO	%	1.26	≤5.0
Na ₂ O	%	0.32	
K ₂ O	%	0.93	
FCaO	%	2.69	
Cl ⁻	%	0.0100	≤0.10
Kızdırma kaybı	%	4.89	
Çözünmeyen kalıntı	%	6.28	
Yoğunluk	g/cm ³	2,98	
Blaine inceliği	cm ² /g	4682	
32 µ Elek üzerinde kalan	%	12,15	
45 µ Elek üzerinde kalan	%	4,2	
90 µ Elek üzerinde kalan	%	0,2	
Priz başlangıcı	Dakika	160	
Priz sonu	Dakika	210	
Hacim genişmesi	mm	1,5	
Normal kıvam	%	29,2	
Basınç Dayanımı	2- Gün	MPa	27,4
	7 -Gün	MPa	42,6
	28- Gün	MPa	51,9

5.1.2 Agregat

İzmir Batıçim taşocağı ürünü olan, 0/4 mm metilen mavi değeri 1.1, 0/4 mm metilen mavi değeri 2.5, 4/16 mm ve 16/22 mm olmak üzere dört farklı boy sınıfında agregat kullanılmıştır. Kullanılan agreganın en büyük tane boyu 22 mm olduğu saptanmıştır. Kullanılan agreganın, TS 3530 EN 933-1 standardına göre belirlenen elek analizi sonucu Çizelge 5.3'te, TS EN 1097-6 standardına göre bulunan tane yoğunluğu ile su emme oranı ise Çizelge 5.4, 5.5 ve 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.2. Agreganın elek analizi.

Yüzde geçen				
ELEK mm	0/4 mm M.B.1.1	0/4 mm M.B.2.5	4/16 mm	11/22 mm
31,5	100	100	100	100
16	100	100	100	27
8	100	100	42	1
4	99	98	6	0
2	79	75	2	0
1	51	47	1	0
0,5	32	29	1	0
0,25	19	18	1	0
0.125	11	9.8	1	0
İncelik modülü.	3.09	3.23	6.46	7.72

Çizelge 5.3. Agreganın fiziksel özellikleri.

Fiziksel özellik	0/4 MB 1.1	0/4 MB 2.5	4/16 mm	16/22 mm
Kuru özgül ağırlığı	2.68	2.67	2.69	2.69
Doygun yüzey kuru özgül ağırlığı	2.7	2.69	2.7	2.70
Su emme oranı (%)	0.88	0.85	0.51	0.46

5.1.3 Mineral katkı

a) Uçucu kül

Çalışmada hazırlanan 11 beton karışımından birinde kullanılan uçucu kül Kütahya Tunçbilek Santralinden temin edilmiştir. Batıçim tarafından verilen uçucu küle ait özellikler ve TS EN 450-1 standardında verilen sınır değerleri Çizelge 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.4. Uçucu külün kimyasal ve fiziksel özellikleri.

Kütahya uçucu külü			TS EN 450-1 standard sınırları
SiO ₂	(%)	57.62	
Al ₂ O ₃	(%)	20.70	
Fe ₂ O ₃	(%)	10.01	
SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	(%)	88.33	≥ %70
CaO	(%)	2.69	
MgO	(%)	4.54	≤ %4/0
SO ₃	(%)	0.07	≤ %3.0
Na ₂ O	(%)	0.27	
K ₂ O	(%)	1.90	
Eşdeğer Na ₂ O	(%)	1.52	≤ %5.0
Serbest CaO	(%)	0.36	≤ %2.5
Cl ⁻	(%)	0.018	≤ %0.10
Kızdırma kaybı	(%)	1.22	Kategori A: < %5 Kategori B: > % 2 ve < % 7 Kategori C: > %4 ve < % 9
Çözünmeyen kalıntı	(%)	-	
Yoğunluk	(g/cm ³)	2.33	
Blaine inceliği	(cm ² /g)	2414	
Pozalanik aktivite indeksi (28 günlük)	(%)	84.5	≥ %75

b) Silis dumanı

Beton karışımlarından birinde kullanılan ve BASF firmasından temin edilen silis dumanının kimyasal özellikleri Çizelge 5.5’de verilmiştir. Silis dumanı kimyasal analizi Batıçim labratuvarında gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 5.5. Silis dumanı kimyasal analizi.

Silis Dumanı			ASTM sınırları
SiO ₂	%	88,68	85
Al ₂ O ₃	%	1,93	
Fe ₂ O ₃	%	3,07	
CaO	%	0,32	
MgO	%	0,73	
SO ₃	%	0,33	
Na ₂ O	%	0,28	
K ₂ O	%	1,39	
Kızdırma Kaybı	%	3,27	6
Toplam	%	100	

5.1.4 Kimyasal katkı

Betonlarda sabit bir kıvam değeri elde etmek için su ihtiyacını azaltarak su/bağlayıcı oranını düşürmek amacıyla, (en yüksek S/B oranına sahip karışımın dışında) süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Kullanılan Gleniyum Sky 608 süper akışkanlaştırıcı katkının üretici firması tarafından verilen bazı özellikleri Çizelge 5.6’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Süper akışkanlaştırıcı katkının bazı özellikleri.

Özellikler	İlgili standard	Test metodu	Limit değerler	Test sonucu
Homojenlik	Gözle	TRA 03	Ayrışmamalı	Ayrışmadı
Renk	Gözle	TRA 04	Opak	Opak
Bağıl yoğunluk (g/ml)	ISO 758	TRA 06	1.06 – 1.103	1.084
Katı madde (%)	EN-480-8 veya üretici metodu	TRA 42	26.51 – 29.29	27.79
pH	ISO 4316	TRA 07	5.0 – 7.0	6.39
Suda çözünen klorür (%)	EN- 480-10	TRA 10	<0.1 kütlece	0.0309
Alkali miktarı (eşdeğer Na ₂ O)	EN-480-12	TRA 18	Max %3	1.213

5.2 Beton Karışım Oranları

Çalışmada çeşitli dayanıma sahip 11 farklı karışım hazırlanmıştır. Her karışımdan 18 adet 150 mm ayrıtlı küp numune, 9 adet 150x300 mm ve 9 adet 100x200 mm silindir beton numunesi hazırlanmıştır. Karışımlarda eşit sıkışma sağlama amacıyla tüm betonların çökme değeri 24 ± 1 cm arasında sabit tutulmuştur. Bu çökme değerini sağlamak için gerekli karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak $24 \pm 2^{\circ}\text{C}$ sabit sıcaklıktaki suda bekletilmiştir. Silindir numuneler ve döküm yönüne paralel olarak basınç uygulanan küp numunelerin basınç yüzeyleri aşındırılarak deneye hazır hale getirilmiştir. Kullanılan aşındırma cihazı Şekil 5.1’de gösterilmiştir. Aşındırma esnasında numune yüzeyleri yaklaşık 2 mm kalınlığında aşındırılarak düzgün hale getirilmiştir. TS EN 206-1 standardında belirtilen sınıflara göre üretilen betonların karışım oranları Çizelge 5.7’de, bazı özellikleri ise Çizelge 5.8’de verilmiştir. Beton karışımları TS EN 802 standardına göre hazırlanmıştır. Beton karışımları içerdiği bağlayıcı ve su/bağlayıcı oranına göre adlandırılmıştır. Örneğin B 0.89 karışımı, CEM II çimentodan hazırlanan ve su/bağlayıcı oranı 0.89 olan karışımı ifade etmektedir. SB 0.24 karışım ise çimento ile silis dumanı içeren ve S/B oranı 0.24 olan karışımdır.

Betonun teorik ve ölçülen birim hacimleri arasındaki fark $\pm \%0.8$ 'in altında olduğundan, Çizelge 5.7'da yer alan teorik ağırlıklarda her hangi bir düzeltme işlemi yapılmamıştır.

Çizelge 5.8'de verilen birim hacim ağırlığı (BHA) TS EN 12350-6, hava içeriği TS EN 12350-7, çökme değeri ve yayılma değeri TS EN 12350-2 standardına göre belirlenmiştir.



Şekil 5.1. Aşındırma cihazı

Çizelge 5.7. Beton karışım oranları (kg/m³).

Karışım	Çimento	Su	Agrega				Kimyasal katkı	Uçucu kül	Mikro silis
			0.4 mm MB 1.1	0.4 mm MB 2.5	4/16 mm	11/22 mm			
B 0.89*	190	170	988	482	222	322	0.0	0.0	0.0
B 0.76	220	165	959	438	260	340	2.6	0.0	0.0
B 0.63	265	165	885	372	315	394	3.2	0.0	0.0
B 0.55	305	165	769	345	384	423	4.0	0.0	0.0
B 0.46	365	165	656	280	431	506	4.4	0.0	0.0
B 0.42	405	165	589	257	460	534	4.9	0.0	0.0
B 0.35	500	170	469	225	503	538	6.2	0.0	0.0
B 0.32	550	170	422	185	524	557	6.6	0.0	0.0
B 0.30	550	160	416	155	554	606	7	0.0	0.0
UB 0.23**	525	140	658	0	495	496	13.7	125	0.0
SB 0.24***	500	125	827	0	486	487	17	0.0	75

*B = CEM II çimentosu kullanılarak hazırlanan beton karışımı

** UB = CEM II çimentosuna ilaveten uçucu kül de içeren karışım

*** SB = CEM II çimentosuna ilaveten silis dumanı da içeren karışım

Çizelge 5.8. Beton karışımlarının bazı özellikleri.

Karışım	S/B oranı*	BHA (kg/m ³)	Hava içeriği (%)	Taze beton sıcaklığı	Hava sıcaklığı	Çökme değeri (cm)	Yayılma değeri (cm)
B 0.89	0.89	2374	2.9	27	27	25	47.5
B 0.76	0.76	2362	2.6	27	27	24	47
B 0.63	0.63	2373	2.6	26.5	26	23	46
B 0.55	0.55	2378	2.1	28	28	25	47
B 0.46	0.46	2410	1.7	29	26	24	45
B 0.42	0.42	2425	1.6	23.5	20	24	42
B 0.35	0.35	2426	1.4	29.5	26.4	24	37
B 0.32	0.32	2412	1.6	29	26	24	31
B 0.30	0.30	2440	1.4	26	23	23	33
UB 0.23	0.23	2442	1.5	27	25	23	28
SB 0.24	0.24	2517	1.2	22.8	19.8	23	34

*S/B oranı hesaplanmasında kimyasal katkıının %60'ı su olarak değerlendirilmiştir.

6. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA

Bu bölümde, betonun yerleştirme yönüne paralel basınç uygulanan 150mm ayrıtlı küp numunelerin (KP), döküm yönüne dik basınç uygulanan 150mm ayrıtlı küp numunelerin (KD), 150x300 mm silindir numunelerin (S 15) ve 100x200 mm silindir numunelerin (S 10) 2, 7 ve 28 günlük basınç dayanımları çizelge ve şekil halinde özetlenmiştir. Elde edilen sonuçlar çizelge ve şekiller üzerinden tartışılmıştır.

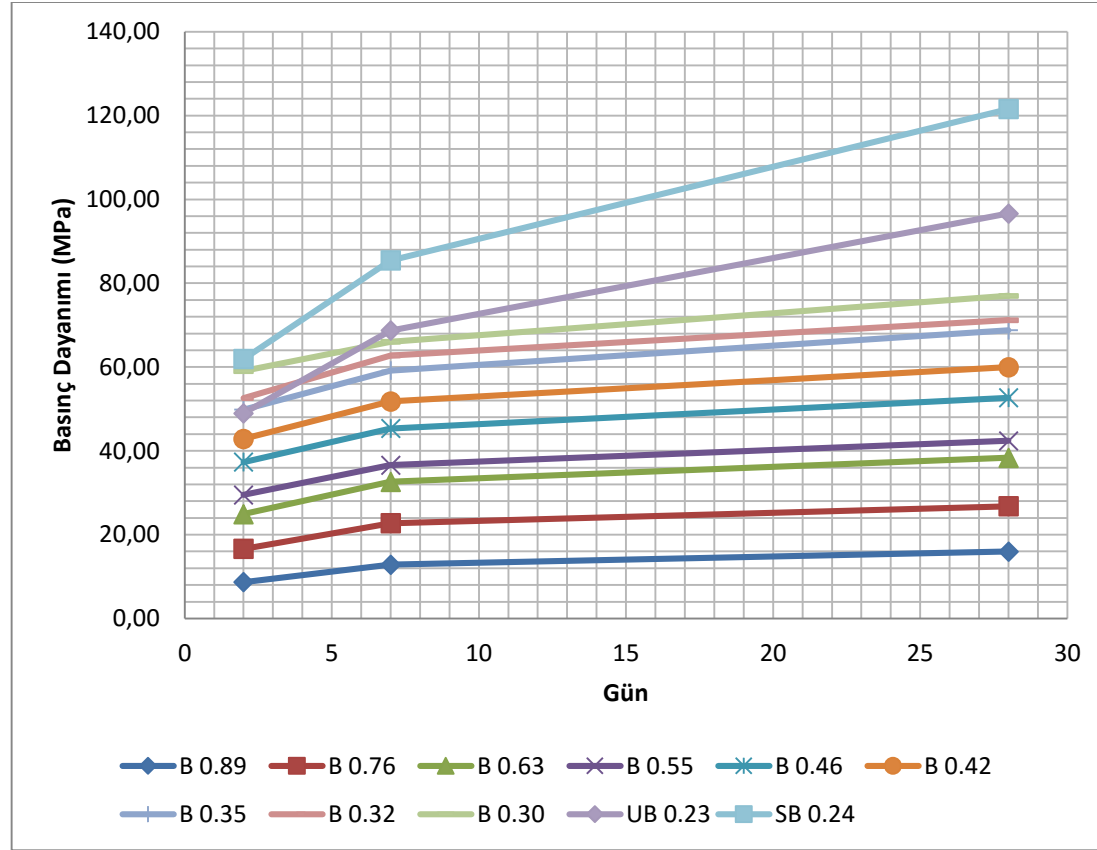
6.1 Dayanım-Zaman İlişkisi

Çizelge 6.1 ve Şekil 6.1’de döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin, Çizelge 6.2 ve Şekil 6.2’de döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin, Çizelge 6.3 ve Şekil 6.3’te 150 mm çapındaki silindir numunelerin ve Çizelge 6.4 ile Şekil 6.4’te 100 mm çapındaki silindir numunelerin zamanla basınç dayanımı gelişmesi gösterilmiştir.

Çizelge 6.1.1. Döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) dayanımının gelişmesi (MPa).

Karışım	2 - Gün						7 - Gün						28 - Gün				
	1	2	3	Ortalama	V* (%)		1	2	3	Ortalama	V (%)		1	2	3	Ortalama	V (%)
B 0.89	8,60	9,00	8,40	8,67	3,53		12,90	12,80	12,80	12,83	0,45		15,90	15,80	16,20	15,97	1,30
B 0.76	17,20	15,90	16,80	16,63	4,00		22,80	23,00	22,40	22,73	1,34		27,80	26,40	26,10	26,77	3,39
B 0.63	24,70	25,10	24,90	24,90	0,80		33,00	32,40	32,50	32,63	0,99		38,60	37,40	39,00	38,33	2,17
B 0.55	29,10	30,00	29,40	29,50	1,55		36,00	35,50	38,30	36,60	4,08		42,50	41,50	43,20	42,40	2,02
B 0.46	37,40	36,90	37,70	37,33	1,08		45,30	44,60	46,10	45,33	1,66		51,60	54,20	52,20	52,67	2,58
B 0.42	43,20	42,80	42,60	42,87	0,71		52,00	52,20	51,20	51,80	1,02		61,80	59,70	58,40	59,97	2,86
B 0.35	48,90	51,50	49,10	49,83	2,90		59,20	59,00	59,30	59,17	0,26		69,50	66,30	70,50	68,77	3,19
B 0.32	52,30	54,00	51,50	52,60	2,43		64,20	60,90	63,20	62,77	2,70		72,10	71,00	70,50	71,20	1,15
B 0.30	60,40	58,50	58,20	59,03	2,02		66,50	66,70	64,90	66,03	1,49		76,00	77,70	77,30	77,00	1,15
UB 0.23	47,70	50,20	49,00	48,97	2,55		69,30	66,80	70,00	68,70	2,45		99,10	96,80	94,00	96,63	2,64
SB 0.24	59,00	64,10	62,70	61,93	4,25		86,30	83,50	86,60	85,47	2,00		123,50	120,90	120,30	121,57	1,40

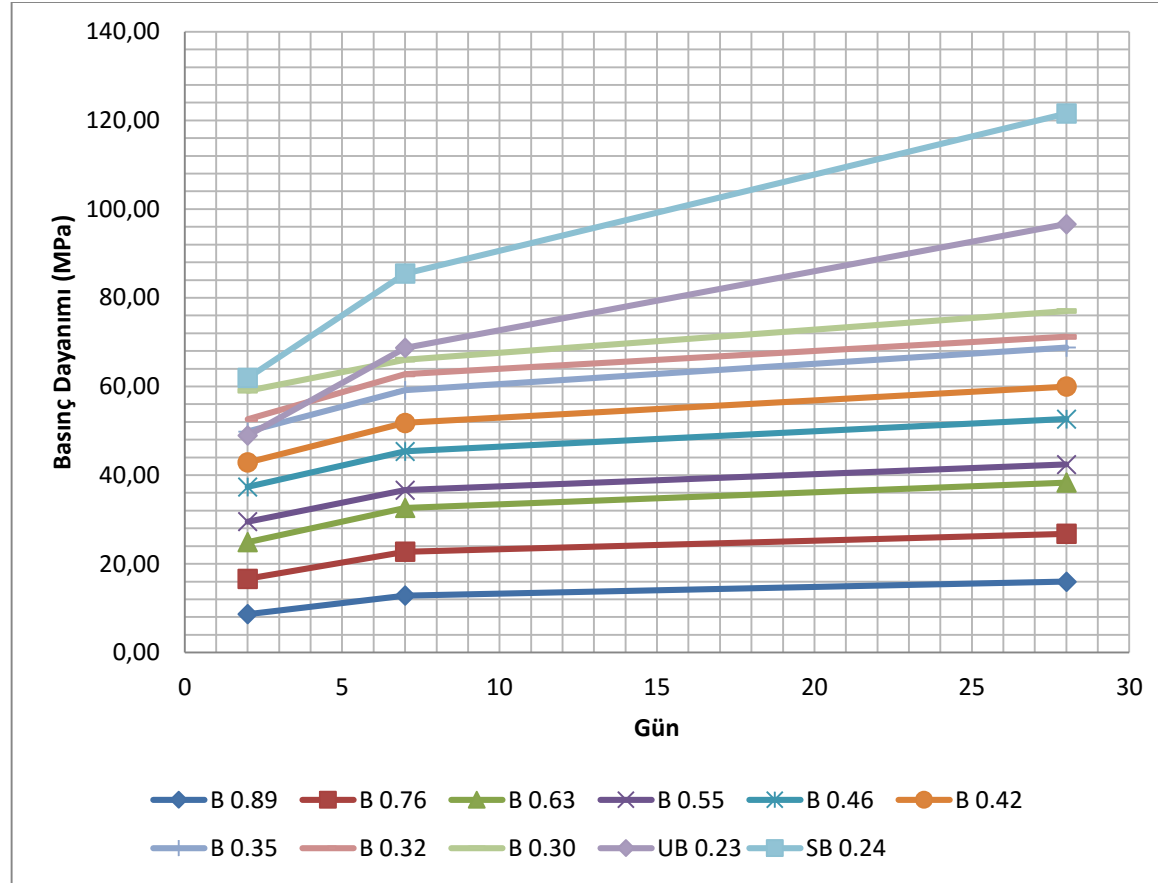
*Varyasyon katsayısı



Şekil 6.1. Döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) zamanla dayanımının gelişmesi.

Çizelge 6.2. Döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) dayanımının gelişmesi (MPa).

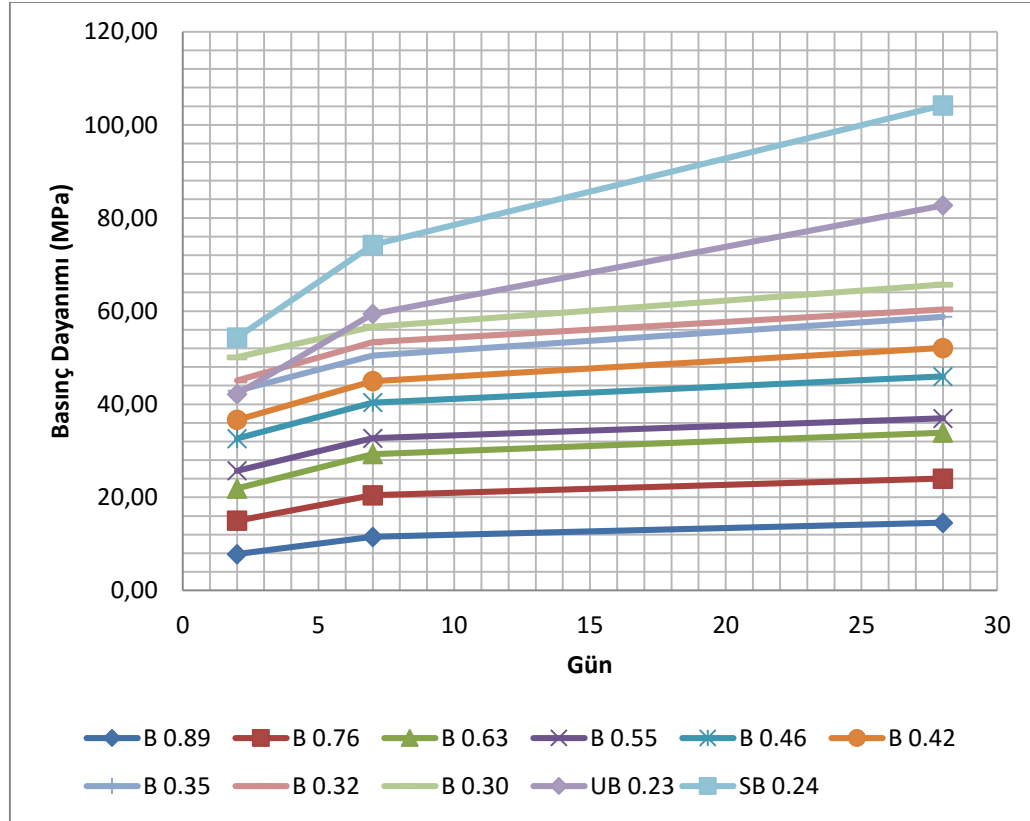
Karışım	2 - Gün					7 - -Gün					28 - Gün				
	1	2	3	Ortalama	V (%)	1	2	3	Ortalama	V (%)	1	2	3	Ortalama	V (%)
B 0.89	8,70	8,90	8,20	8,60	4,19	12,90	12,10	12,30	12,43	3,35	15,10	14,70	15,30	15,03	2,03
B 0.76	16,60	17,50	15,20	16,43	7,05	22,60	21,90	21,80	22,10	1,97	25,30	25,50	25,90	25,57	1,19
B 0.63	24,40	23,40	24,60	24,13	2,66	30,70	31,70	31,90	31,43	2,05	37,90	35,80	36,20	36,63	3,04
B 0.55	28,10	29,60	28,20	28,63	2,93	35,50	35,00	36,10	35,53	1,55	40,00	39,70	39,50	39,73	0,63
B 0.46	35,00	35,50	36,10	35,53	1,55	43,70	41,80	44,50	43,33	3,20	50,20	48,90	50,60	49,90	1,78
B 0.42	39,00	40,90	39,80	39,90	2,39	49,50	51,10	48,20	49,60	2,93	56,00	58,60	55,40	56,67	3,00
B 0.35	44,60	43,20	46,80	44,87	4,04	55,90	55,00	53,60	54,83	2,11	64,50	64,40	61,60	63,50	2,59
B 0.32	46,60	48,70	47,40	47,57	2,23	58,70	58,50	56,20	57,80	2,40	65,60	64,70	66,30	65,53	1,22
B 0.30	52,00	53,90	52,10	52,67	2,03	62,60	60,90	61,60	61,70	1,38	72,00	75,20	72,50	73,23	2,35
UB 0.23	42,10	44,40	45,00	43,83	3,49	62,20	64,90	63,70	63,60	2,13	93,80	88,30	89,00	90,37	3,31
SB 0.24	54,50	58,20	59,00	57,23	4,19	81,00	79,40	77,40	79,27	2,28	119,10	118,30	117,40	118,27	0,72



Şekil 6.2. Döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) zamanla dayanımının gelişmesi.

Çizelge 6.3. 150 mm çapında silindirik numunelerin (S15) dayanımının gelişmesi (MPa).

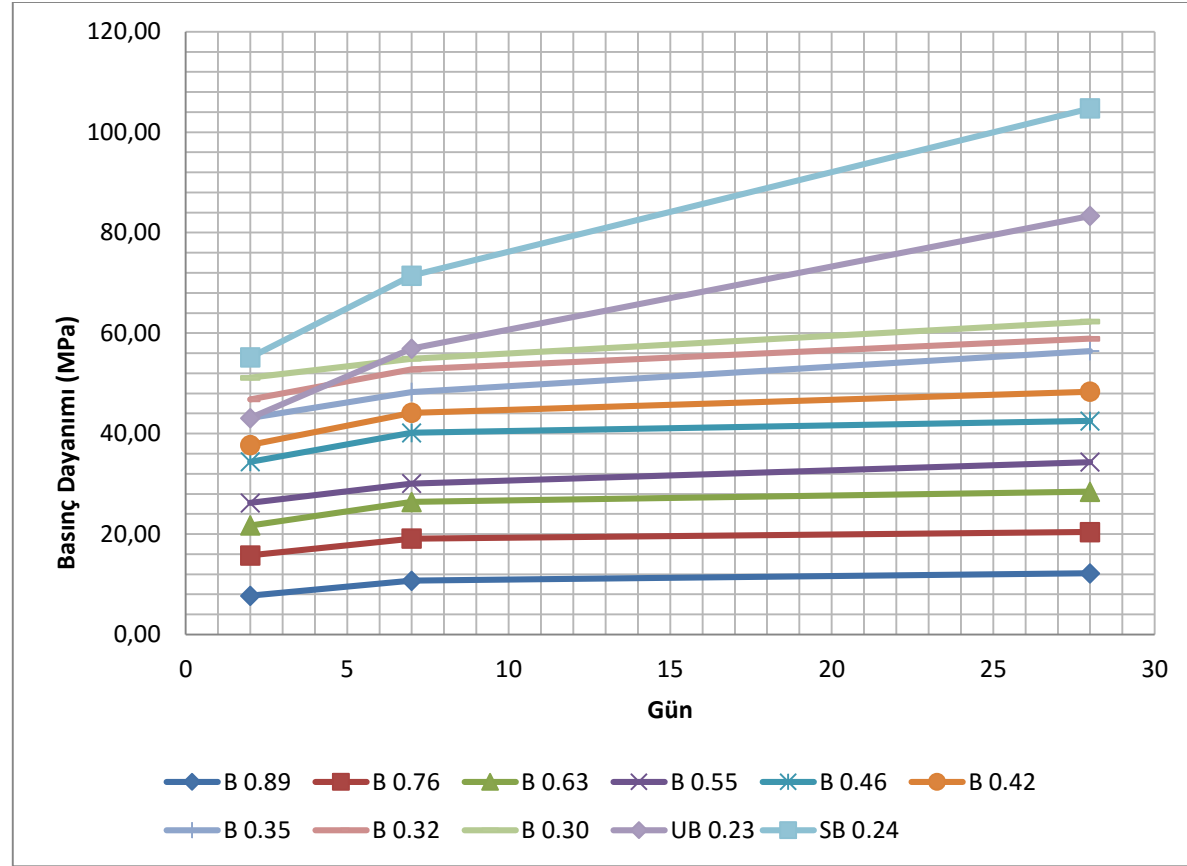
Karışım	2 - Gün						7 - Gün					28 - Gün				
	1	2	3	Ortalama	V (%)		1	2	3	Ortalama	V (%)	1	2	3	Ortalama	V (%)
B 0.89	7,50	7,75	8,20	7,82	4,54		11,10	11,90	11,60	11,53	3,50	14,70	14,30	14,60	14,53	1,43
B 0.76	14,70	22,00	15,10	15,00	1,76		20,30	20,60	20,50	20,47	0,75	23,00	24,30	24,80	24,03	3,87
B 0.63	21,20	22,00	22,50	21,90	2,99		29,70	28,20	30,00	29,30	3,29	34,00	32,80	34,90	33,90	3,11
B 0.55	25,40	25,60	26,20	25,73	1,62		31,70	33,20	33,20	32,70	2,65	35,70	36,70	38,50	36,97	3,84
B 0.46	33,30	30,90	33,70	32,63	4,64		39,10	41,10	40,90	40,37	2,73	44,30	46,70	46,90	45,97	3,15
B 0.42	36,20	36,80	37,00	36,67	1,14		45,40	44,50	45,00	44,97	1,00	53,40	52,80	50,10	52,10	3,37
B 0.35	43,50	41,20	44,00	42,90	3,48		52,00	50,50	48,90	50,47	3,07	60,50	57,20	58,60	58,77	2,82
B 0.32	47,20	45,10	43,00	45,10	4,66		54,10	53,20	52,70	53,33	1,33	60,50	58,60	62,00	60,37	2,82
B 0.30	47,80	51,60	50,90	50,10	4,04		56,60	55,70	57,70	56,67	1,77	64,30	65,70	67,10	65,70	2,13
UB 0.23	41,00	43,50	42,00	54,33	2,98		60,70	58,50	59,00	59,40	1,94	86,40	78,80	83,00	82,73	4,60
SB 0.24	56,30	54,10	52,60	54,33	3,43		75,00	74,40	73,30	74,23	1,16	105,00	103,20	104,30	104,17	0,87



Şekil 6.3. 150 mm çapında silindir numunelerin (S15) dayanımının gelişmesi (MPa).

Çizelge 6.4. 100 mm çapındaki silindir numunelerin (S10) dayanımının gelişmesi (MPa).

Karışım	2 - Gün						7 - -Gün					28 - Gün				
	1	2	3	Ortalama	V (%)		1	2	3	Ortalama	V (%)	1	2	3	Ortalama	V (%)
B 0.89	7,60	8,20	7,40	7,73	5,38		9,80	11,50	10,80	10,70	7,99	12,60	12,40	11,50	12,17	4,82
B 0.76	15,50	15,40	16,30	15,73	3,14		19,50	18,80	19,00	19,10	1,89	19,30	20,10	21,80	20,40	6,26
B 0.63	21,50	21,20	22,40	21,70	2,88		26,30	27,20	25,70	26,40	2,86	29,80	27,20	28,30	28,43	4,59
B 0.63	25,90	26,70	26,00	26,20	1,66		28,00	30,80	31,40	30,07	6,04	35,10	34,70	33,20	34,33	2,92
B 0.46	34,70	35,30	33,20	34,40	3,14		41,40	39,00	40,10	40,17	2,99	43,80	42,50	41,20	42,50	3,06
B 0.42	37,20	37,70	38,30	37,73	1,46		44,00	44,60	43,80	44,13	0,94	48,50	47,20	49,30	48,33	2,19
B 0.35	44,30	42,00	43,00	43,10	2,68		48,20	48,80	47,80	48,27	1,04	58,20	56,00	55,10	56,43	2,83
B 0.32	48,10	46,20	46,10	46,80	2,41		53,30	53,00	52,00	52,77	1,29	58,00	60,90	57,80	58,90	2,95
B 0.30	50,00	52,50	50,80	51,10	2,50		52,50	55,80	56,40	54,90	3,83	62,30	61,60	63,00	62,30	1,12
UB 0.23	41,10	43,20	45,00	43,10	4,53		54,50	58,90	57,40	56,93	3,93	83,10	85,70	81,20	83,33	2,71
SB 0.24	58,30	53,20	54,00	55,17	4,97		72,00	71,40	70,90	71,43	0,77	106,10	104,30	103,80	104,73	1,16



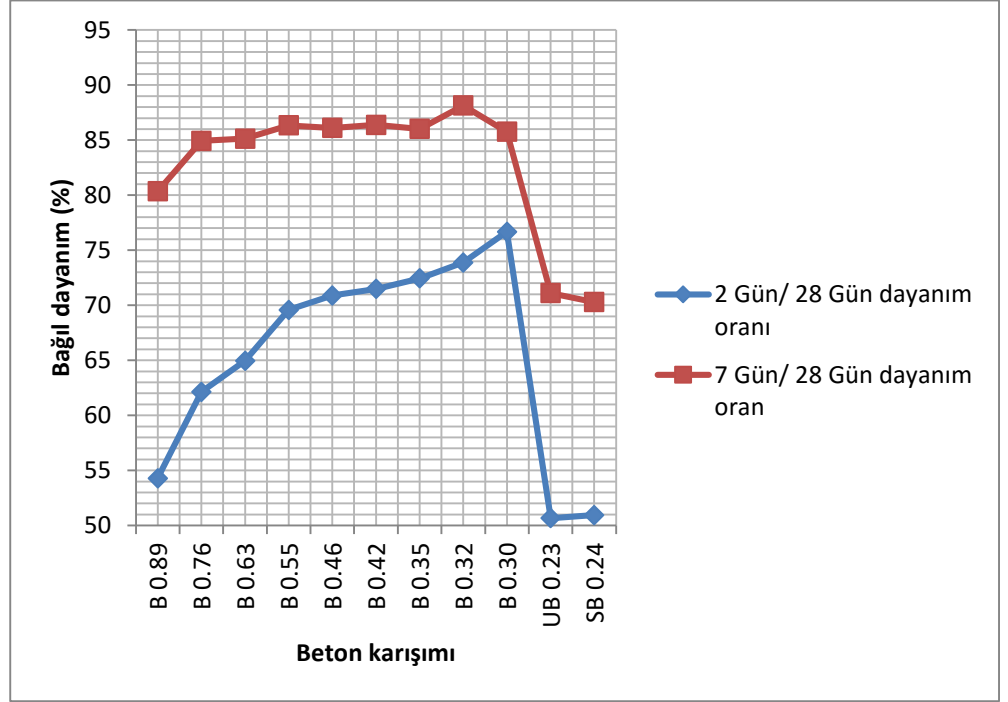
Şekil 6.4. 100 mm çapındaki silindir numunelerin (S10) zamanla dayanımının gelişmesi.

Şekil ve çizelgelerden görüldüğü gibi çimentonun hidratasyon sonucu betonun basınç dayanımında zamanla artış olmaktadır. Beklenildiği gibi bu artış ilk günlerde yüksek olmaktadır. UB 0.23 ve SB 0.24 hariç tüm karışımlarda 7 günlük basınç dayanımlarının 28 günlük dayanımının %80 veya bu değerin üstünde olduğu gözlemlenmiştir. UB 0.23 ve SB 0.24 karışımlarında aşırı miktarda su azaltıcı/priz geciktirici katkı kullanıldığından ilk günlerdeki basınç dayanımı düşük olduğu görülmüştür. Bilindiği gibi betonda puzolanik reaksiyonun oluşması için yeterli miktarda kalsiyum hidroksitin ortaya çıkmasına ve zamana gereksinim duyulmaktadır. Zamanla basınç dayanımında oluşan artış farklı şekil ve büyüklükte olan numunelerde hemen hemen aynıdır. Bu sonuç beklenen bir durumdur, çünkü laboratuvar ortamında (standard koşullarda) dayanım gelişmesi numunelerin aşırı miktarda büyük veya küçük olması süreci, karışımın bir özelliğidir. Çizelge 6.5 ve Şekil 6.5’de görüldüğü gibi düşük dayanıma sahip betonlarda dayanım kazanma hızı, özellikle ilk iki günde düşüktür. Betonun dayanım sınıfı yükseldikçe erken yaşlarda dayanım kazanma hızı artmaktadır. S/B oranı 0.76’nın üstünde olan karışımlarda 7günlük bağıl dayanımlar oldukça yakındır. Betonun dayanım seviyesi yükseldikçe 2günlük bağıl dayanımların daha belirgin bir şekilde arttığı anlaşılmıştır (Şekil 6.5). Bu olay, betonun dayanım seviyesinin yükselmesi ile artış göstermiştir. Bu sonuçlardan anlaşıldığı gibi betonun S/B oranının azalmasıyla dayanım kazanma hızında artış görülmektedir. Bu durum düşük S/B oranına sahip hamurda çimento hidratasyon hızının artışından kaynaklanmaktadır. Ancak, en düşük S/B oranlarına sahip UB 0.23 ve SB 0.24 karışımlarında ters bir durumun görülmesi daha önce vurgulandığı gibi bu karışımların diğer karışımlara kıyasla 2 kat veya daha fazla süper akışkanlaştırıcı/priz geciktirici katkı içermesi ve diğer karışımlarda farklı bağlayıcıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır. Söz konusu karışımlarda bağlayıcı maddelerin fazlalığı ve/veya mineral katkının aşırı inceliğinden, hedeflenen çökme değeri Çizelge 3.10’da verilen kimyasal katkı içerikleri ile mümkün olmuştur.

Her karışımın 28 günlük dayanımı dikkate alınarak hesaplanan 2 ve 7 günlük bağıl dayanımı Çizelge 6.5 ve Şekil 6.5’de verilmiştir.

Çizelge 6.5. Döküm yönüne dik, (KD) yüklenen numunelere 28 günlük dayanımına göre bağıl dayanımları (%).

Yaş	Beton karışımı										
	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
2	54,28	62,13	64,96	69,58	70,89	71,48	72,45	73,88	76,67	50,66	50,94
7	80,35	84,93	85,13	86,34	86,11	86,38	86,02	88,15	85,76	71,1	70,29
28	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100



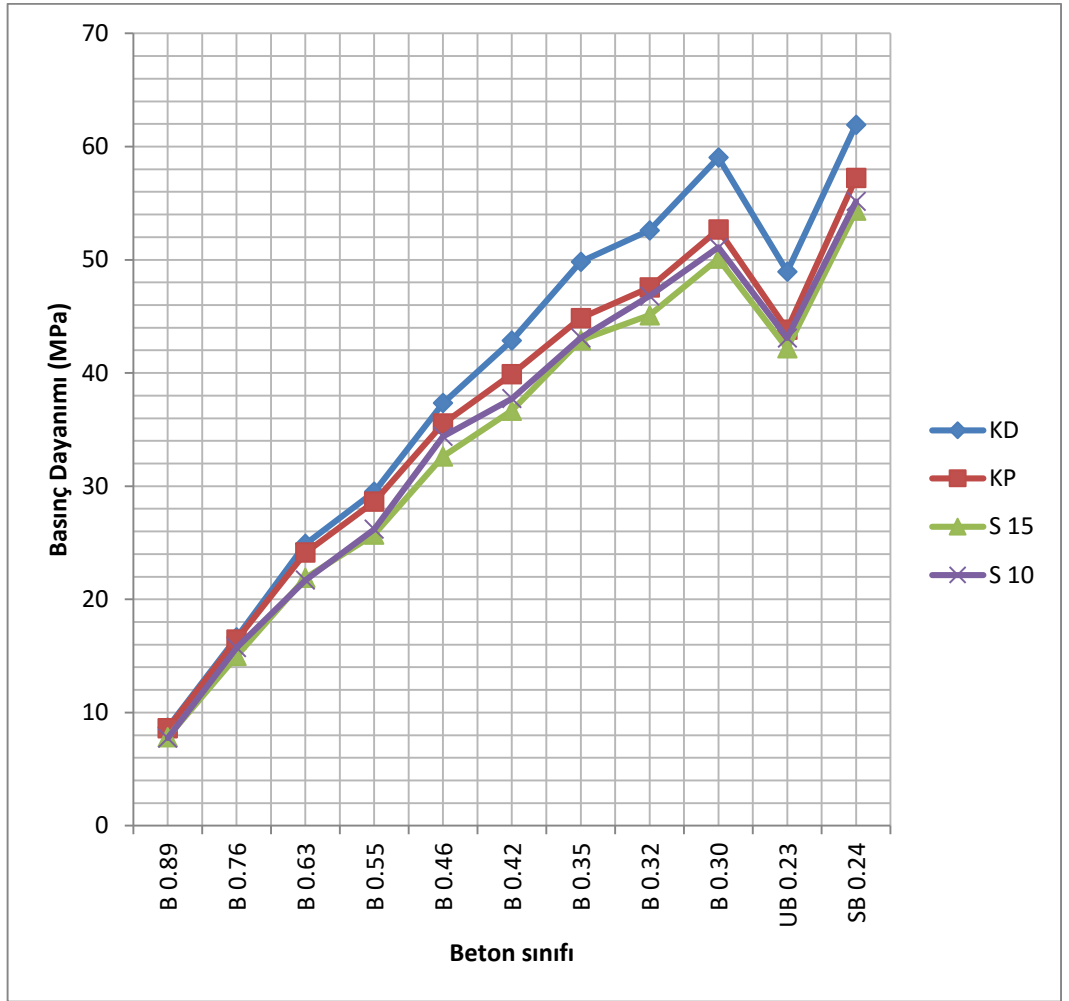
Şekil 6.5. Döküm yönüne dik, (KD) yüklenen numunelere 28 günlük dayanımına göre bağıl dayanımları.

6.2 Numune Şeklinin Basınç Dayanımına Etkisi

Farklı şekil ve büyüklükte olan numunelerin 2, 7 ve 28 günlük dayanım sonuçları sırasıyla Çizelge 6.6, 6.7, 6.8. ve Şekil 6.6, 6.7, 6.8’de verilmiştir.

Çizelge 6.6. 2 günlük numunelerin basınç dayanımı (MPa).

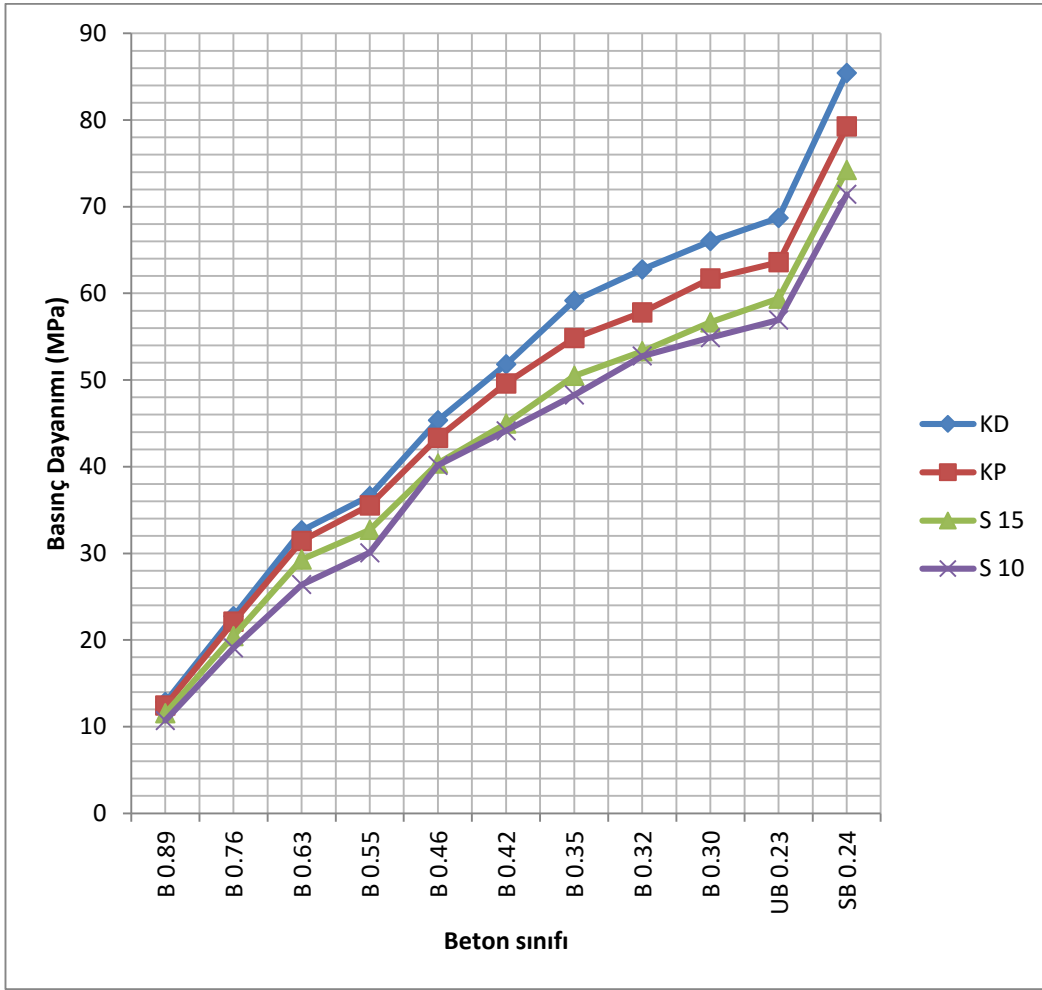
Numune	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
KD	8,67	16,63	24,9	29,5	37,33	42,87	49,83	52,6	59,03	48,95	61,93
KP	8,6	16,43	24,13	28,63	35,53	39,9	44,85	47,55	52,67	43,83	57,22
S 15	7,82	15	21,9	25,73	32,63	36,67	42,9	45,1	50,1	42,17	54,33
S 10	7,73	15,73	21,7	26,2	34,4	37,73	43,1	46,8	51,1	43,1	55,15



Şekil 6.6. 2 günlük numunelerin basınç dayanımı.

Çizelge 6.7. 7 günlük numunelerin basınç dayanımı (MPa).

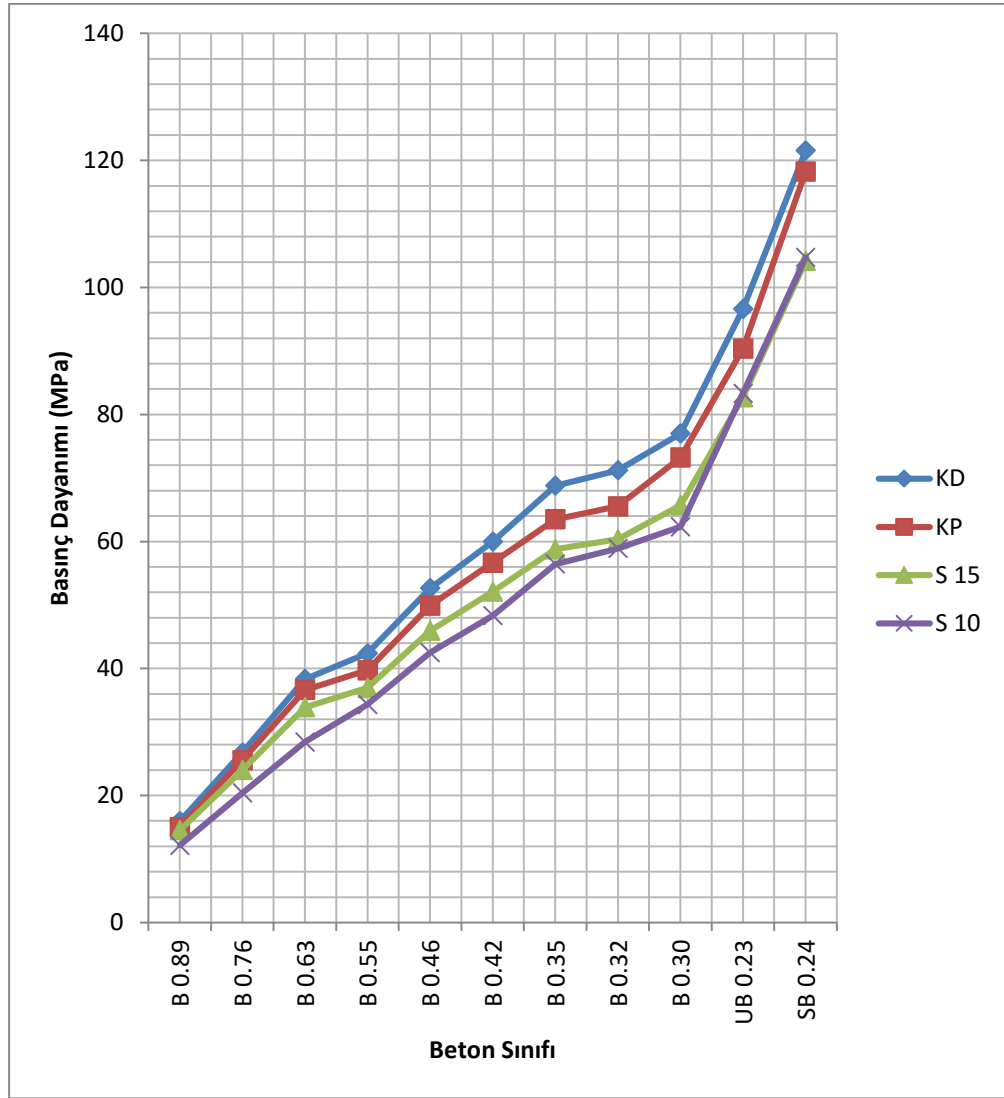
Numune	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
KD	12,83	22,73	32,63	36,61	45,35	51,8	59,17	62,76	66,03	68,7	85,45
KP	12,43	22,11	31,43	35,53	43,33	49,61	54,83	57,81	61,7	63,6	79,25
S 15	11,53	20,47	29,3	32,7	40,37	44,97	50,47	53,33	56,67	59,4	74,23
S 10	10,7	19,1	26,4	30,07	40,15	44,13	48,27	52,77	54,9	56,93	71,43



Şekil 6.7. 7 günlük numunelerin basınç dayanımı.

Çizelge 6.8. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı (MPa).

Numune	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
KD	15,97	26,77	38,33	42,4	52,67	59,97	68,78	71,2	77	96,62	121,57
KP	15,03	25,57	36,63	39,73	49,9	56,67	63,5	65,53	73,23	90,37	118,26
S 15	14,55	24,03	33,9	36,97	45,95	52,1	58,77	60,37	65,7	82,72	104,18
S 10	12,17	20,4	28,43	34,33	42,5	48,33	56,43	58,9	62,3	83,33	104,73



Şekil 6.8. 28 günlük numunelerin basınç dayanımı.

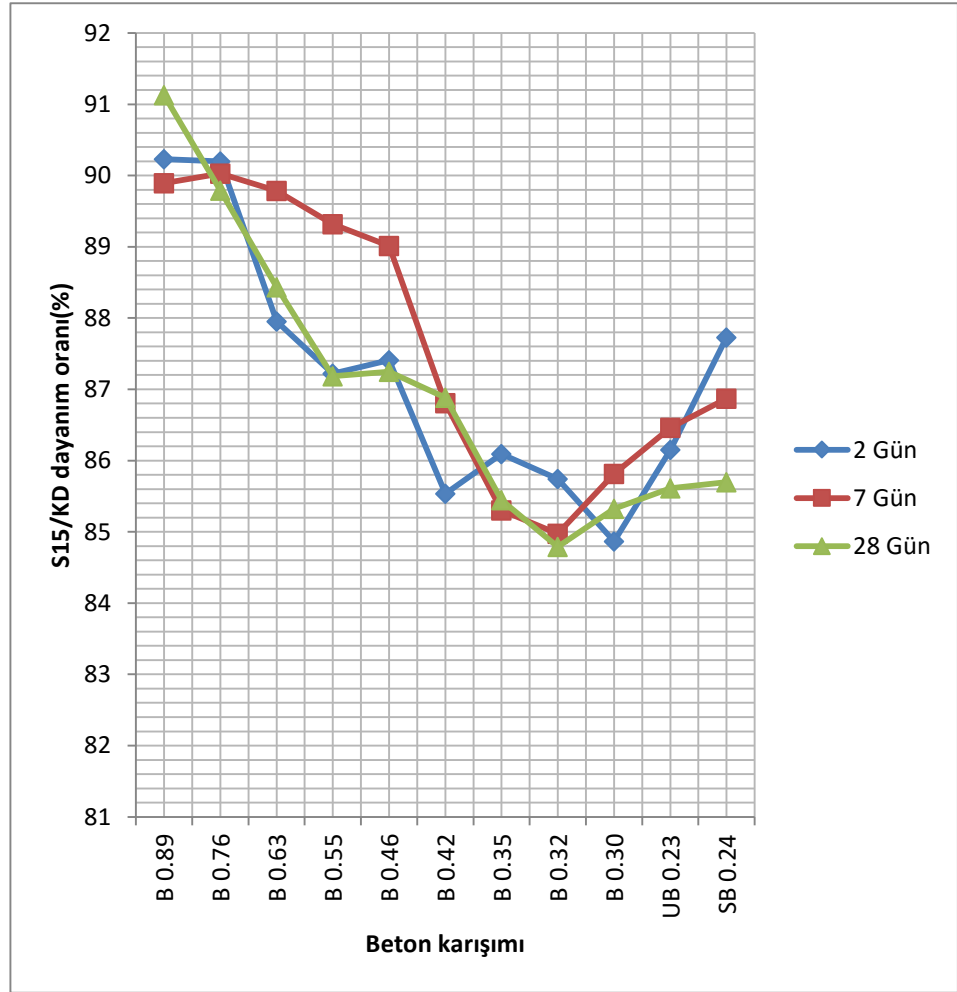
Şekil 6.7 ve 6.8’de görüldüğü gibi silindir numunelerle küp numuneler arasındaki basınç dayanımı farkı betonun basınç dayanımı yükseldikçe yükseliş göstermektedir. B 0.89 karışımlarında, özellikle ilk yaşlarda, numune şekli ve büyüklüğünden bağımsız olarak, farklı numunelerde elde edilen dayanım değerleri oldukça yakındır. Ancak, S/B oranı daha düşük olan karışımlarda döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) dayanımı diğer numunelerin üzerindedir. Bu dayanım farkı betonun dayanım seviyesi arttıkça artmaktadır. 150 mm çapındaki silindir/döküm yönüne dik olarak yüklenen 150 mm ayrıtlı küp dayanım oranları (S15/KD) incelendiğinde, Şekil 6.9’da görüldüğü gibi, bu oranın B 0.32 karışıma kadar azalan bir eğilim gösterdiği anlaşılmaktadır. Söz konusu oran, dayanım seviyesi daha yüksek olan karışımlarda (B 0.32’in üstünde)

artmaktadır. Şekil 6.4 ve Çizelge 6.9’da görüldüğü gibi numune yaşından bağımsız olarak S15/ KD oranı beton dayanımı arttıkça az da olsa azalma göstermektedir. Bu sonuç literatürde yer alan "standard silindir/küp dayanım oranları betonun dayanım seviyesi arttıkça belirgin şekilde artar. Bu oran 100 MPa’ın üzerinde dayanıma sahip betonda yaklaşık 1 olur" (Neville, 1995) ifadesi ile çelişmektedir. Bu durum yüksek dayanımlı silindir numunelere uygulanan başlık aşındırma işleminden oluşan örselenmeden kaynaklandığı düşünülmektedir. Yüzeyi aşındırma suretiyle döküm yönüne paralel olarak deneye tabi tutulan küp numunelerin, herhangi bir aşındırma işlemi uygulanmadan, döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerden daha düşük dayanım göstermesi ve dayanımlar arasındaki oranın, beton dayanım seviyesi arttıkça azalması yukarıdaki savı kanıtlar niteliktedir. Bu durum Çizelge 6.15 ve Şekil 6.13’ten de rahatlıkla anlaşılmaktadır.

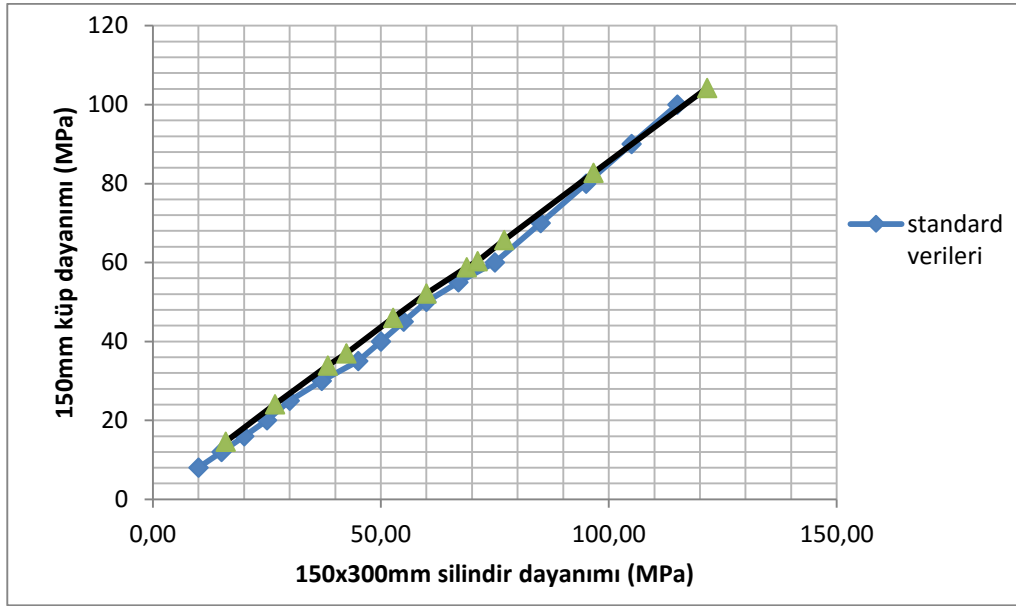
Bu bağlamda TS EN 206 standardında çeşitli beton sınıfları için önerilen ortalama 150x300 mm silindir ve 150 mm küp dayanımları ve bu çalışmada benzer numuneler üzerinde elde edilen 28 günlük dayanım sonuçları Şekil 6.10’da gösterilmiştir. Aynı sonuçlar göreceli olarak Şekil 6.11’de verilmiştir. Şekil 6.10’da görüldüğü gibi TS EN 206 standardında çeşitli beton sınıfları için önerilen 28 günlük küp ve silindir dayanımları ile bu deneysel çalışmada benzer numuneler üzerinde elde edilen dayanım değerleri oldukça yakındır. Şekil 6.11 incelendiğinde ise, farklı beton sınıfları için standard tarafından verilen silindir ve küp ortalama dayanımları oranın düzensiz olduğu, ancak, genelde beton dayanım sınıfı arttıkça artış eğilimi gösterdiği anlaşılmaktadır. Deneysel çalışmada elde edilen 28 günlük S15/ KD dayanım oranları ise, beton sınıfı arttıkça sürekli azalan bir eğilim göstermiştir. Ancak, en düşük dayanımlı (B 0.89) ve en yüksek dayanımlı (SB 0.24) karışımlarda kaydedilen S15/KD oranları arasındaki farkın %6 mertebesinde olduğu da görülmüştür.

Çizelge 6.9. S 15/ KD dayanım oranları (%).

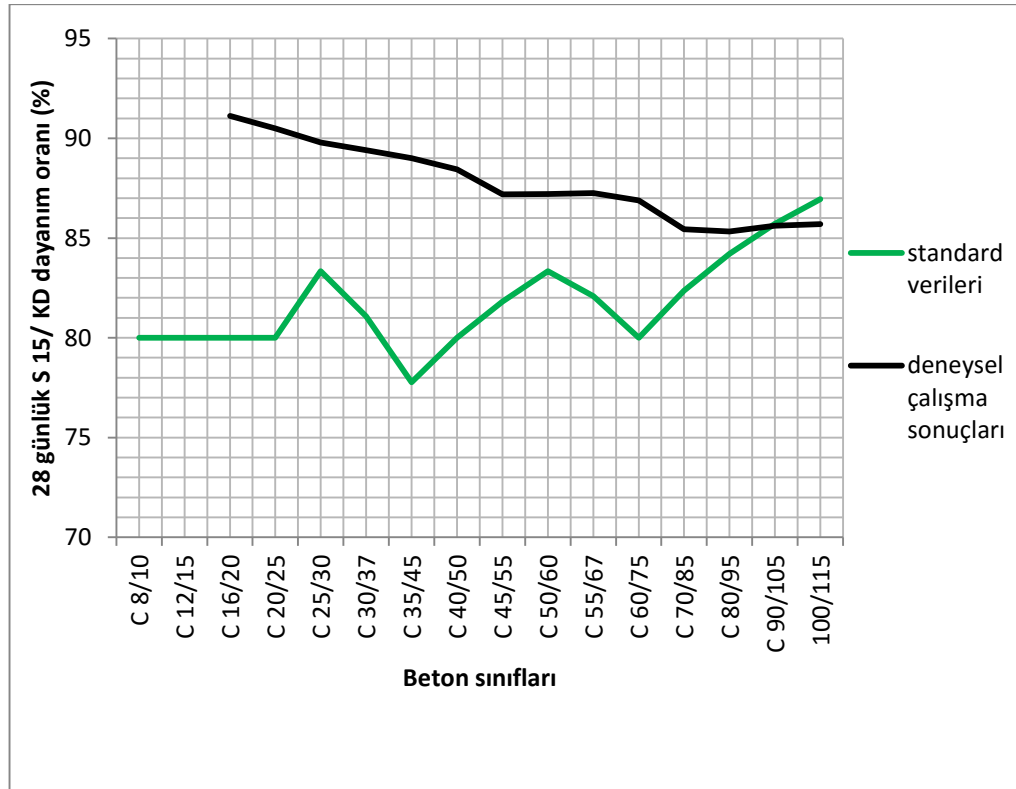
Gün	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
2	90,23	90,2	87,95	87,22	87,41	85,54	86,09	85,74	84,87	86,15	87,73
7	89,89	90,03	89,79	89,32	89,01	86,81	85,3	84,97	85,82	86,46	86,87
28	91,13	89,79	88,43	87,19	87,25	86,88	85,45	84,79	85,32	85,61	85,7



Şekil 6.9. S 15/KD dayanım oranları.



Şekil 6.10. TS 206'da verilen 28 günlük S15 ve KD dayanımları arasındaki ilişki.



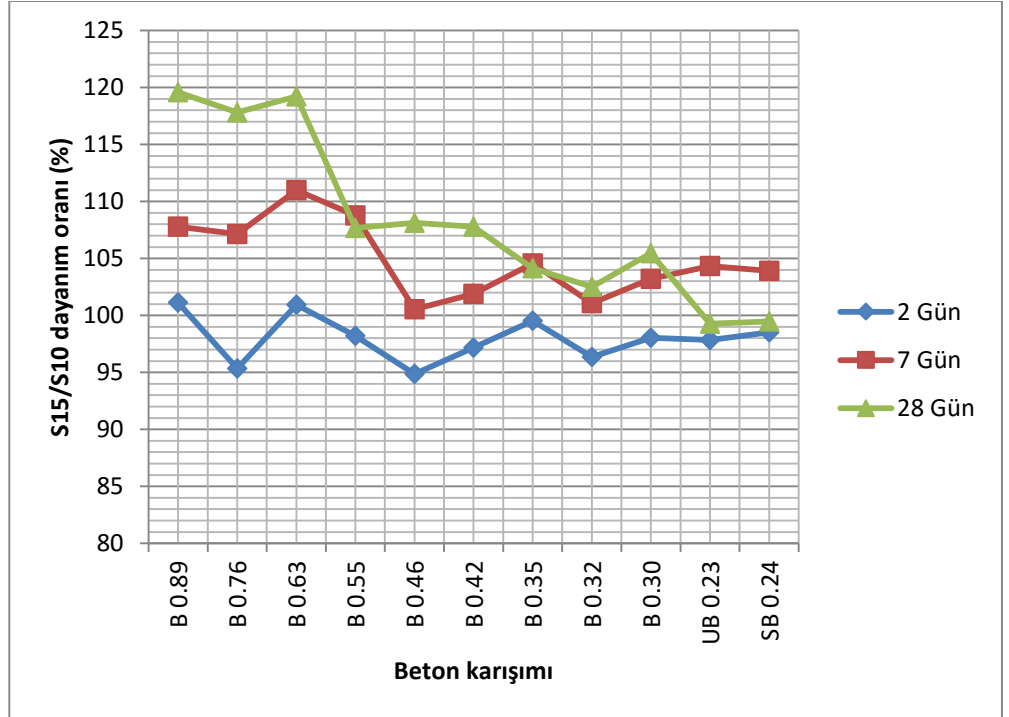
Şekil 6.11. TS 206'da verilen 28 günlük S 15/KD dayanım oranları.

6.3 Numune Büyüklüğünün Basınç Dayanımına Etkisi

150x300 mm silindir numunelerin (S15) farklı yaşlardaki basınç dayanımları 100x200mm silindir numuneler (S10) kıyasla Çizelge 6.10 ve Şekil 6.12’de verilmiştir.

Çizelge 6.10. S 15 / S 10 dayanım oranları (%)

Gün	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
2	101,12	95,34	100,92	98,21	94,86	97,17	99,54	96,37	98,04	97,84	98,51
7	107,79	107,16	110,98	108,76	100,54	101,89	104,56	101,06	103,22	104,34	103,92
28	119,59	117,81	119,23	107,67	108,12	107,79	104,15	102,5	105,46	99,27	99,47



Şekil 6.12. S 15 / S 10 dayanım oranları.

Bilindiği gibi aynı karışımdan hazırlanan küçük numuneler, büyük numunelere kıyasla daha yüksek dayanım gösterir. Çünkü küçük numunelerde istatistiksel olarak zayıf nokta bulunma olasılığı daha düşüktür. Bu durum 2

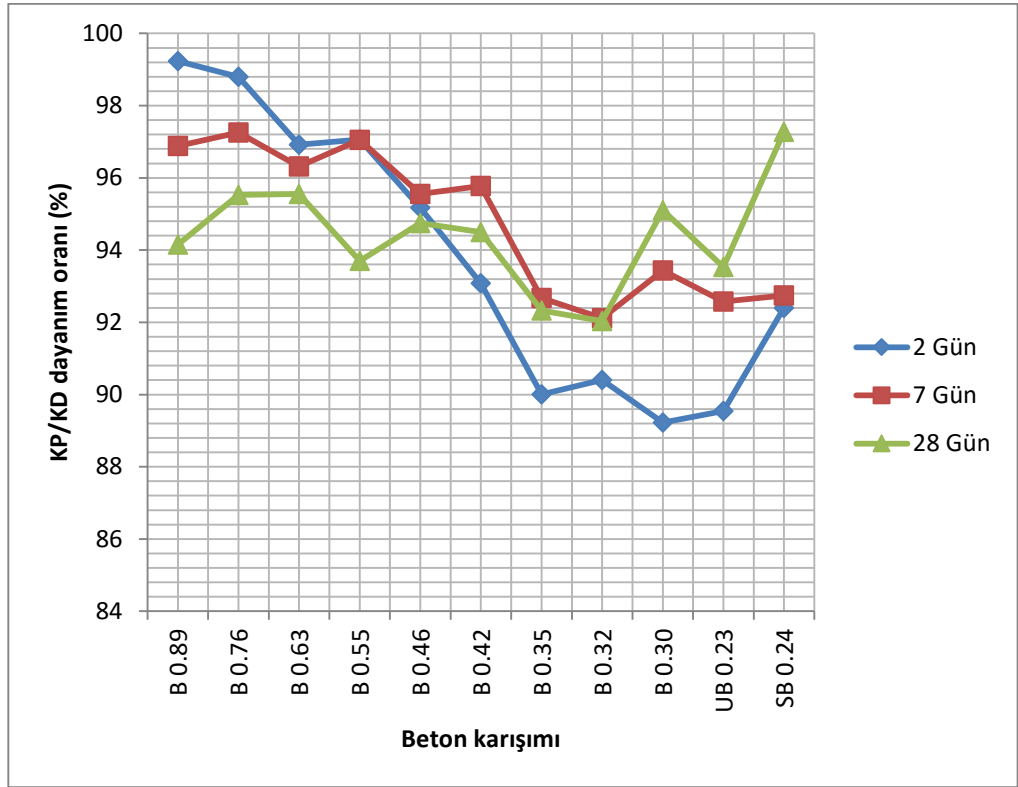
günlük S15/ S10 dayanım oranlarında geçerli olduğu görülmektedir. Ancak, 7 ve 28 günlük yaşlarda Şekil 6.7 ve 6.8’de de görüldüğü gibi S15 numuneleri beklenenin tersine S10 numunelerinden daha yüksek dayanım göstermiştir. Bu nedenle Çizelge 6.10’da sunulan S15/ S10 dayanım oranları %100’ün üzerinde olmuştur. Bu durumun, daha küçük olan numunelerden kütleme esnasında daha fazla kalsiyum hidroksit sızıntısından oluştuğu düşünülmektedir. Ancak, genel olarak, orta ve yüksek dayanımlı karışımlarda S15 ve S10 dayanımları arasındaki farkın $\pm\%5$ aralığında olduğu görülmektedir.

6.4 Yükleme Yönünün Basınç Dayanımına Etkisi

Döküm yönüne paralel basınç uygulanan küp numuneler ile döküm yönüne dik basınç uygulanan küp numunelerin dayanım oranları Çizelge 6.11 ve Şekil6.13’de verilmiştir.

Çizelge 6.11. KP / KD dayanım oranları (%).

Gün	B 0.89	B 0.76	B 0.63	B 0.55	B 0.46	B 0.42	B 0.35	B 0.32	B 0.30	UB 0.23	SB 0.24
2	99,23	98,8	96,92	97,06	95,17	93,08	90,01	90,4	89,22	89,54	92,39
7	96,88	97,26	96,31	97,05	95,55	95,77	92,68	92,11	93,44	92,58	92,74
28	94,15	95,53	95,56	93,7	94,75	94,5	92,32	92,04	95,1	93,53	97,28



Şekil 6.13. KP / KD dayanım oranları.

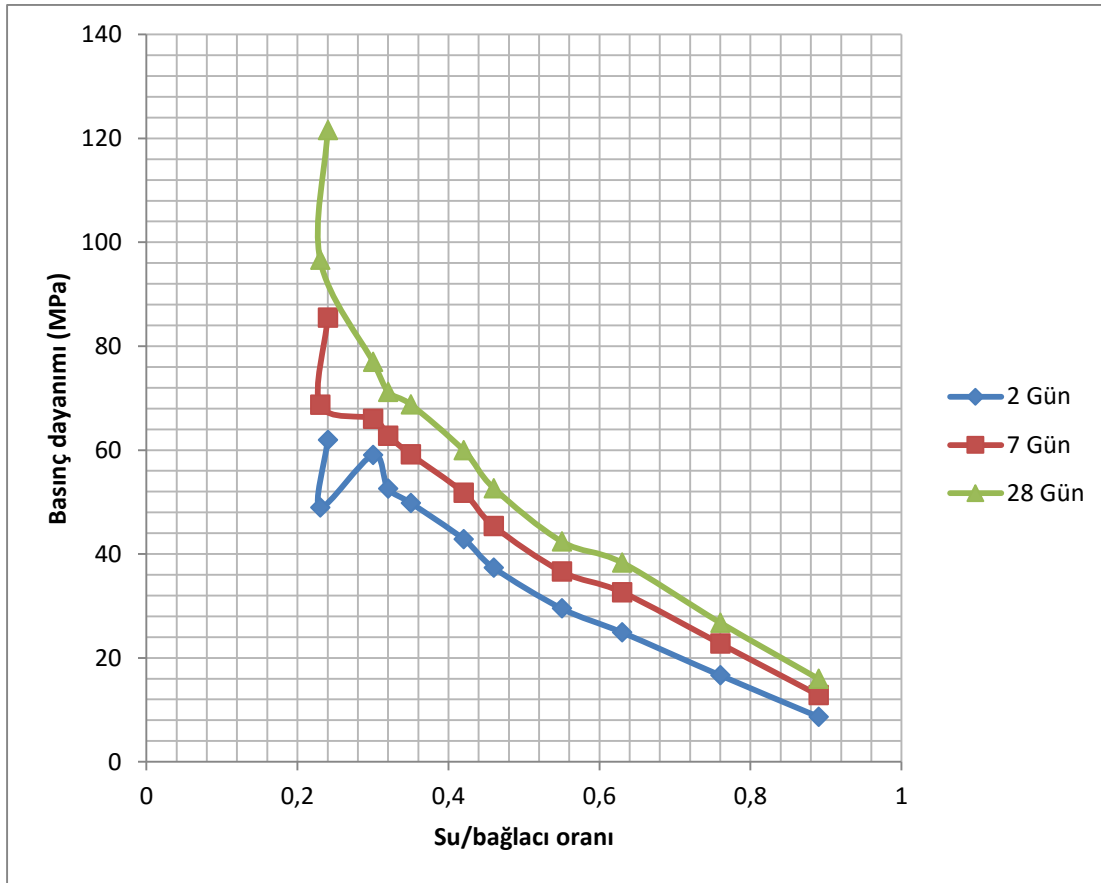
Bilindiği gibi betonun basınç dayanımı, malzeme özellikleri, karışım oranları ve kür koşullarına ilaveten numunenin yükleme yönüne de bağlıdır. Tezin 2.3.10'cübölümünde belirtildiği gibi döküm yönüne paralel yüklenen numunelerin dik yüklenen numunelerden daha yüksek dayanım vermesinin beklendiği açıklanmıştır. Ancak, Çizelge 6.1, 6.2, 6.11 ve Şekil 6.13'te görüldüğü gibi tez kapsamında yapılan deneylerde bu durumun tersi görülmüştür. Deneye tabi tutulan tüm karışımlarda döküm yönüne dik yüklenen küp numuneler, paralel yüklenen numunelere kıyasla daha yüksek dayanım göstermiştir. Dayanımlar arasındaki farkın düşük dayanımlı karışımlarda ve erken yaşlarda ihmal edilecek kadar az olduğu saptanmıştır. Genelde, KP/ KD dayanım oranlarının %89-%99 arasında değiştiği görülmüştür. Deney sonuçlarının literatür bilgileri ile çelişmesinin başlık düzeltme (aşındırma) esnasında örselenme kaynaklı hasarın, döküm yönüne dik yüklenen numunelerde kanama kaynaklı hasardan daha baskın olduğu ve dayanımı daha çok azatlığından kaynaklandığı düşünülmektedir.

6.5 Su/Bağlayıcı Oranının Basınç Dayanımına Etkisi

Farklı şekil ve büyüklükte olan numunelerin S/B oranına bağlı olarak dayanım sonuçları Çizelge 6.12, 6.13, 6.14, 6.15 ve Şekil 6.14, 6.15, 6.16 ve 6.17’de verilmiştir.

Çizelge 6.12. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin (KD) basınç dayanımı (MPa).

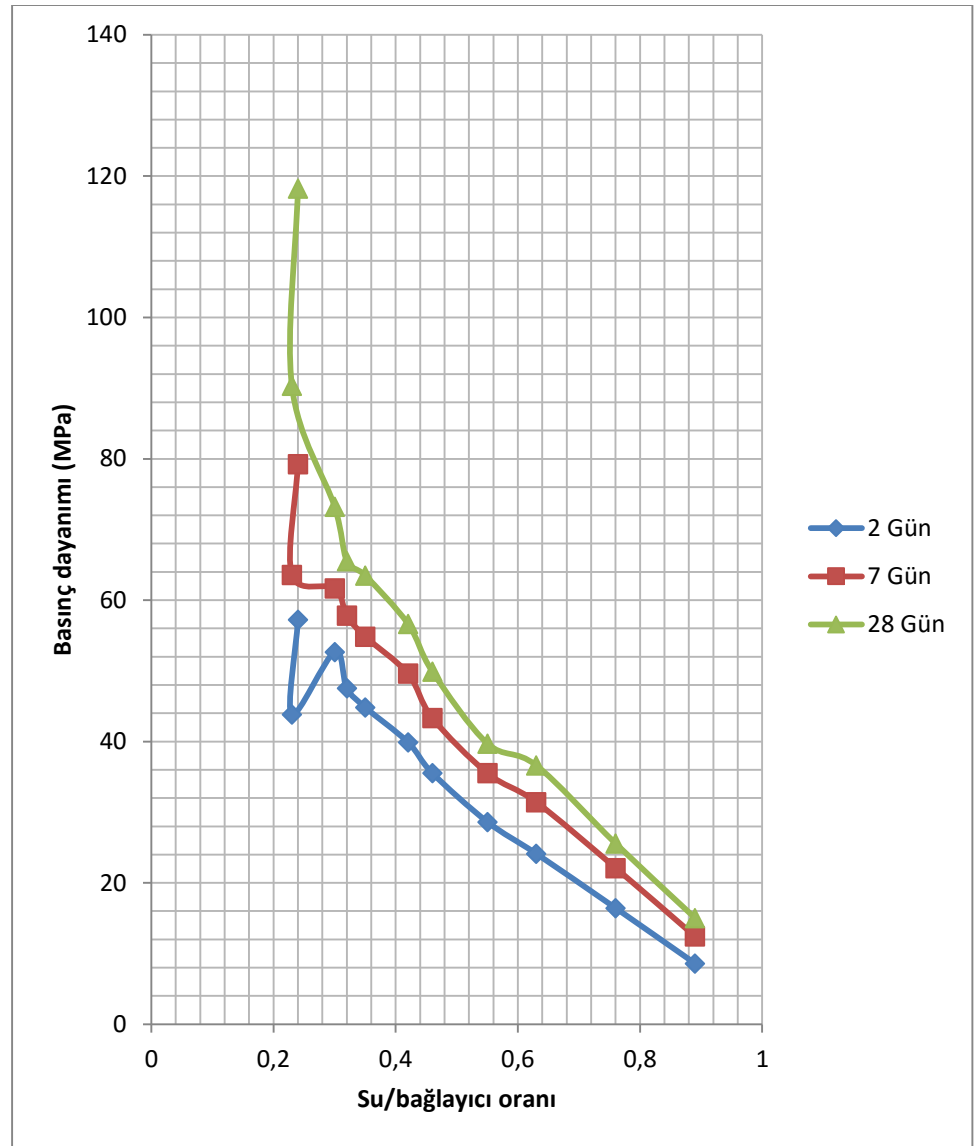
Gün	0.89	0.76	0.63	0.55	0.46	0.42	0.35	0.32	0.3	0.23	0.24
2	8.67	16.63	24.90	29.50	37.33	42.87	49.83	52.60	59.03	48.95	61.93
7	12.83	22.73	32.63	36.61	45.35	51.80	59.17	62.76	66.03	68.70	85.45
28	15.97	26.77	38.33	42.40	52.67	59.97	68.78	71.20	77.00	96.62	121.57



Şekil 6.14. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne dik yüklenen küp numunelerin basınç dayanımı.

Çizelge 6.13. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) basınç dayanımı (MPa).

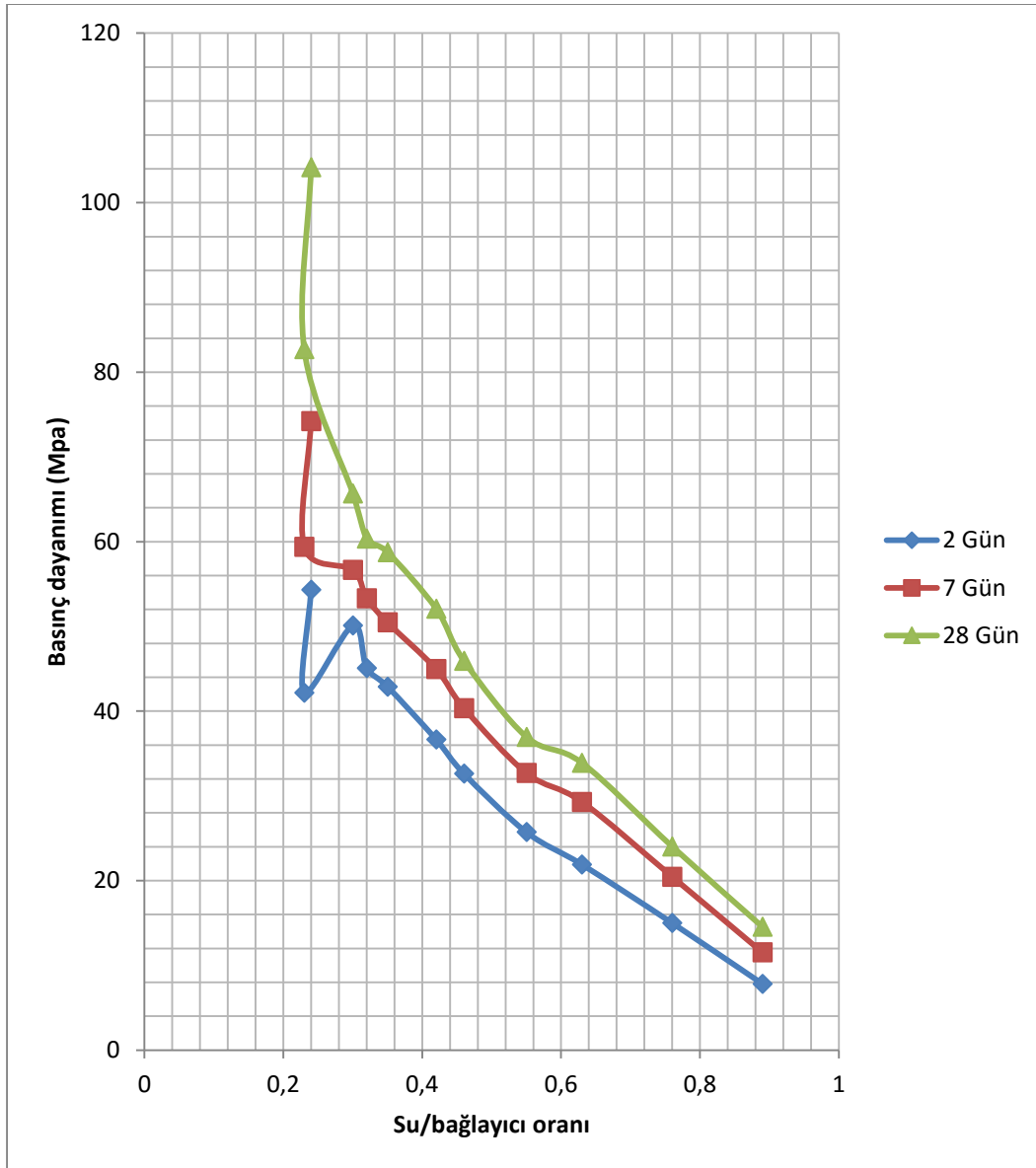
Gün	0.89	0.76	0.63	0.55	0.46	0.42	0.35	0.32	0.3	0.23	0.24
2	8.60	16.43	24.13	28.63	35.53	39.90	44.85	47.55	52.67	43.83	57.22
7	12.43	22.11	31.43	35.53	43.33	49.61	54.83	57.81	61.70	63.60	79.25
28	15.03	25.57	36.63	39.73	49.90	56.67	63.50	65.53	73.23	90.37	118.26



Şekil 6.15. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin (KP) basınç dayanımı.

Çizelge 6.14. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 150 mm çapında silindir numunülerin (S15) basınç dayanımı (MPa).

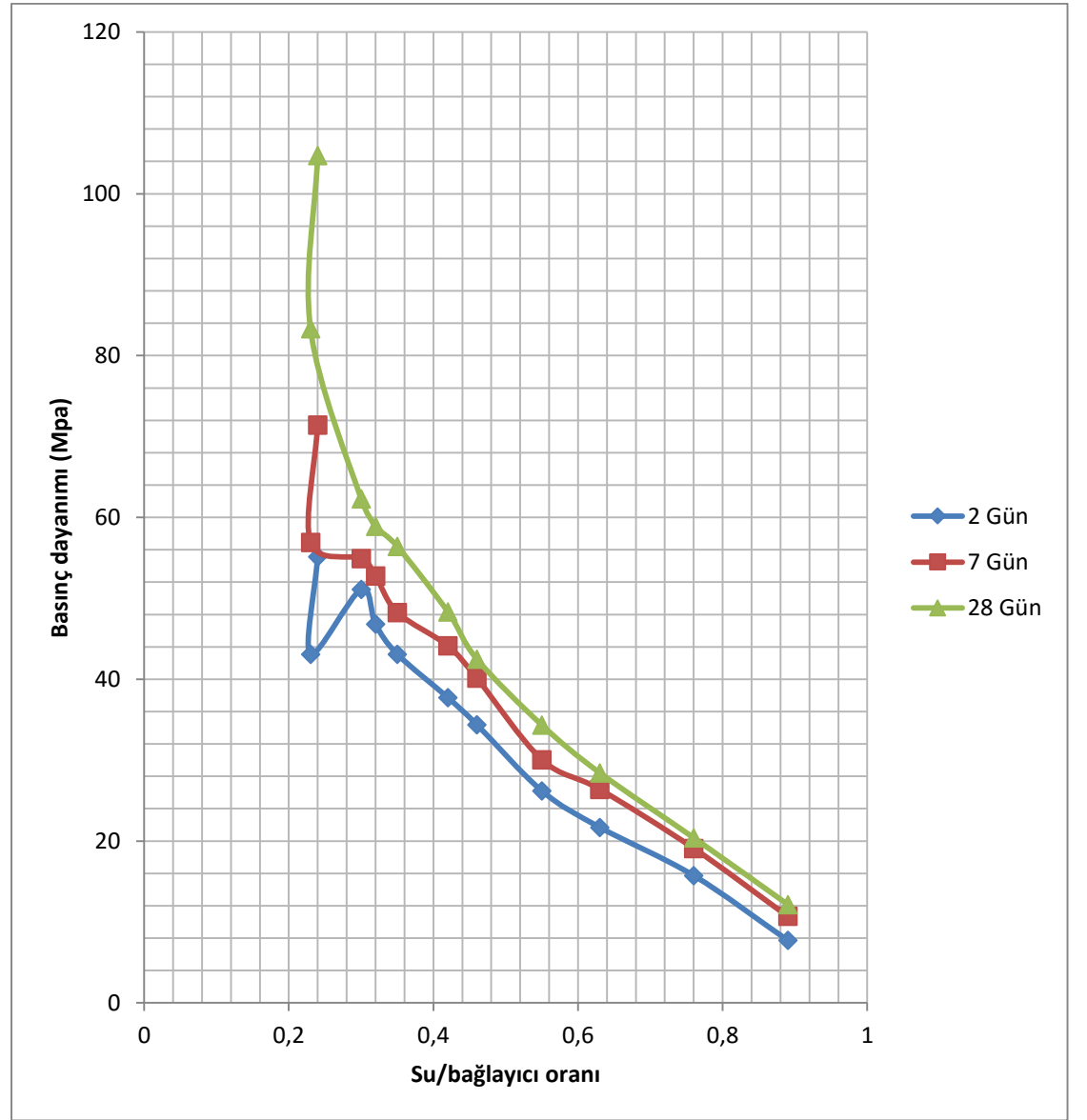
Gün	0.89	0.76	0.63	0.55	0.46	0.42	0.35	0.32	0.3	0.23	0.24
2	7.82	15.00	21.90	25.73	32.63	36.67	42.90	45.10	50.10	42.17	54.33
7	11.53	20.47	29.30	32.70	40.37	44.97	50.47	53.33	56.67	59.40	74.23
28	14.55	24.03	33.90	36.97	45.95	52.10	58.77	60.37	65.70	82.72	104.18



Şekil 6.16. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 150 mm çapında silindir numunülerin (S15) basınç dayanımı.

Çizelge 6.15. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 100 mm çapında silindir numunülerin (S1) basınç dayanımı (MPa).

Gün	0.89	0.76	0.63	0.55	0.46	0.42	0.35	0.32	0.3	0.23	0.24
2	7.73	15.73	21.70	26.20	34.40	37.73	43.10	46.80	51.10	43.10	55.15
7	10.70	19.10	26.40	30.07	40.15	44.13	48.27	52.77	54.90	56.93	71.43
28	12.17	20.40	28.43	34.33	42.50	48.33	56.43	58.90	62.30	83.33	104.73



Şekil 6.17. Su/bağlayıcı oranına bağlı olarak 100 mm çapında silindir numunülerin (S10) basınç dayanımı.

Şekil ve çizelgelerden görüldüğü gibi, numune şekil ve boyutundan bağımsız olarak, su/bağlayıcı oranı yükseldikçe numunelerin basınç dayanımında düşüş görülmektedir. Ayrıca, yüksek dayanımlı karışımlarda S/B oranındaki küçük bir değişim basınç dayanımında büyük oynamalara yol açtığı, bu etkinin düşük dayanımlı karışımlarda azaldığı tespit edilmiştir. Bu durumların beklenen sonuçlar olduğu bilinmektedir.

7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Tez kapsamında kullanılan malzeme ve uygulanan deneylerden aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

1. 2 günlük 100x200mm büyüklüğünde olan numunelerin 150x300mm büyüklüğündeki numunelere kıyasla az miktarda daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. Ancak numune yaşı yükseldikçe bu fark azalmıştır. 7 günde silindir numunelerin dayanımı hemen hemen aynı, 28 günde ise 150mm çapındaki silindir numuneler daha yüksek dayanıma sahip oldukları görülmüştür.

2. 150x300 mm ve 100x200 mm silindir numunelerin 2 günlük dayanımlarının çok yakın olduğu belirlenmiştir, ancak düşük dayanımlı betonlarda ve daha ileri yaşlarda silindir numuneler arasındaki dayanım farkı yükselmiştir. 28 günlük düşük dayanımlı betonlarda 150 mm çapındaki silindir numunelerin, 100 mm çapındaki silindir numunelere kıyasla %20 oranında daha yüksek dayanım gösterdiği, ancak yüksek dayanımlı karışımlarda bu farkın %5'in altına indiği ve çok yüksek dayanımlı betonlarda sıfıra yaklaştığı belirtilmiştir.

3. Döküm yönüne paralel yüklenen 150 mm ayrıtlı küp numuneler, erken yaşlarda yüzey aşındırma esnasında daha fazla örselendiği için silindir numunelere daha yakın dayanım göstermiştir. Ancak, bu dayanımlar arasındaki fark beton yaşı ilerledikçe azalmıştır.

4. Numunelerin yaşından ve dayanım seviyesinden bağımsız olarak, 150 mm küp ve 150x300 mm silindir numunelerin düşük dayanımlı betonlarda dayanım farkları %10 ile %13 arasında olduğu tespit edilmiştir. Ancak, beton dayanımı yükseldikçe söz konusu farkların arttığı ve %12 - %15 arasında olduğu görülmüştür.

5. 150 mm ayrıtlı, döküm yönüne dik ve döküm yönüne paralel yüklenen küp numunelerin basınç dayanım farkı, erken yaşlarda ve düşük dayanımlı betonlarda çok az olduğu, ancak beton dayanım sınıfı yükseldikçe bu farkın

%10'a kadar artmıştır. 28 günlük numunelerde ise bu farkın betonun dayanım sınıfından bağımsız olarak %4 ile %7 arasında değiştiği belirtilmiştir.

6. Deneye tabi tutulan tüm karışımlarda döküm yönüne dik yüklenen küp numuneler, paralel yüklenen numunelere kıyasla daha yüksek dayanım göstermiştir. Dayanımlar arasındaki farkın düşük dayanımlı karışımlarda ve erken yaşlarda ihmal edilecek kadar az olduğu saptanmıştır.

7. Beklendiği gibi numune şekil ve boyutundan bağımsız olarak S/B oranı ve dayanım arasında ters bir ilişki olduğu, yüksek dayanımlı karışımlarda, S/B oranının değişmesi ile dayanımlarda büyük bir değişim meydana geldiği, bu etkinin düşük dayanımlı karışımlarda azaldığı görülmüştür.

8. Agrega gradasyonu ve maksimum tane boyu değiştirilerek benzer bir çalışma yapılabilir.

9. Aşındırma yerine numunelere çeşitli malzeme ile başlık yapılarak benzer çalışma yapılabilir.

KAYNAKLAR DİZİNİ

- Alejandre, F., Flores-Ales, V., Villegas, R., Garcia-Heras, J and Moron, E.,** 2014, Estimation of Portland Cement Mortar Compressive Strength Using Microcores. Influence of shape and size, *Construction and Building Materials*, 55: 359–364pp.
- 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): 349–354pp.
- ACI 211.1.74 Recommendation.,** 1974, Recommended Practice for Selecting Proportions for Normal and Heavyweight Concrete.
- Baradan,B., Yazıcı,H., Aydın, S., Türkel,S., Ün, H., Yiğiter, H., Felekoğlu, B., Tosun Felekoğlu, K., Yücel Yardımcı, Topal,M. A., Uğur, A., Öztürk.,** 2012, *Beton*, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir.
- Chin, M. S., Mansur, M.A., and Wee, T.H.,** 1997, Effects of Shape, Size, and Casting Direction of Specimens on Stress-Strain Curves of High-Strength Concrete, *ACI Materials Journal*, 94, (3): 209-218pp.
- Cordon, W.,** 1979, *Properties, Evaluation, and Control of Engineering Materials*, McGraw-Hill Inc.
- 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: 685–691pp.
- 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: 386–395pp.
- Erdoğan, T.Y.,** 2007, *Beton*, ODTU Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, Ankara.
- Felekoğlu, B and Türker, S.,** 2005, Effects of Specimen Type and Dimensions on Compressive Strength of Concrete, *Journal of Science* 18(4): 639-645pp.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- İnce, R and Arıcı, E.**, 2004, Size Effect in Bearing Strength of Concrete Cubes, Construction and Building Materials, 18:603–609pp.
- Issa, S. A., Islam, M. S., Issa, M. A., Yousif, A. A., and Issa, M. A.**, 2000, Specimen and Aggregate Size Effect on Concrete Compressive Strength, Cement Concrete and Aggregates, 22 (2): 103–115pp.
- 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):349–355pp.
- Kolek, J.**, 1968, An Appreciation of the Schmidt Rebound Hammer, Magazine of Concrete Research, 10 (28): 27-36pp.
- Kolek, J.**, 1969, Analysis of Answers to RILEM Questionnaire on the Schmidt Rebound Hammer, Materials and Structures, 2 (10): 285-291pp.
- Kolek, J.**, 1969, Nondestructive Testing of Concrete by Hardness Methods, Symposium on Nondestructive Testing of Concrete and Timber, Institution of Civil Engineers, (London): 15-17pp.
- Malhotra, V.M.**, 1957, Nondestructive Testing of Concrete-Part I, Cement and Concrete (New Delhi), 5 (1): 22-33pp.
- Malhotra, V.M.**, 1976, Testing Hardened Concrete: Nondestructive Methods, ACI monograph, 9 (Detroit, Michigan).
- Mindess, S., Young, J.F and Darwin, D.**, 1981, Concrete, Prentice-hill, Englewood Cliffs, 671p.
- Mindess, S., Young, J.F and Darwin, D.**, 2003, Concrete, Prentice-hill, Englewood Cliffs.
- 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): 151–155pp.
- Neville, A.M.**, 1995, Properties of Concrete, Longman Press, London.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sarıdemir, M.**, 2014, Effect of Specimen Size and Shape on Compressive Strength of Concrete Containing Fly Ash: Application of Genetic Programming for Design, Materials and Design, 56: 297–304pp.
- 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: 854–864pp.
- Tae Yi, S., Yang, E and Cheol Choi, J.**, 2005, Effect of Specimen Sizes, Specimen Shapes, and Placement Directions on Compressive Strength of Concrete, Nuclear Engineering and Design, 236: 115–127pp.
- Tokay, M and Özdemir, M.**, 1997, Specimen Shape and Size Effect on the Compressive Strength of Higher Strength Concrete, Cement and Concrete Research, 27(8):1281-1289pp.
- TS EN 12390-4.**, 2002, Beton – Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 4: Basınç Dayanımı- Deney Makinelerinin Özellikleri, 1. Baskı.
- TS EN 12350-7.**, 2010, Beton – Taze Beton Deneyleri Bölüm7: Hava Muhtevasının Tayini- Basınç Yöntemleri.
- TS 706 EN 12620.**, 2003, Beton Agregaları.
- TS 3530 EN 933-1.**, 1999, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler - Tane Büklüğü Dağılımı Tayini - Eleme Metodu.
- TS EN 450-1.**, 2008, Uçucu Kül – Betonda Kullanılan – Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.
- TS EN 933-9.**, 2001, Agregaların Geometrik Özellikleri için Deneyler. Bölüm 9: İnce Tanelerin Tayini- Metilen Mavisi Deneyi.
- TS EN 206-1.**, 2002, Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, Türk Standardı.
- TS EN 1008.**, 2003, Beton – Karma Suyu Numune Alma, Deneyleri ve Beton Endestürisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TS EN 12350-2., 2010, Beton –Taze Beton Deneyleri- Bölüm 2: Çökme (Slump) Deneyi.

TS EN 12350-6., 2010, Beton –Taze Beton Deneyleri- Bölüm 6: Yoğunluk.

Victor, D.J., 1963, Evaluation of Hardened Field Concrete with Rebound Hammer, The Indian Concrete Journal, 37 (11): 407-411pp.

Yazıcı, Ş and İnan Sezer, G., 2007, The Effect of Cylindrical Specimen Size on the Compressive Strength of Concrete, Building and Environment, 42: 2417–2420pp.

Zoldners, N.G., 1957, Calibration and Use of Impact Test Hammer, ACI Journal, 54 (2): 161-165pp.

.

ÖZGEÇMİŞ

Hadi ASHKARİ, 1984 yılında İranın Marand şehrinde doğdu. İlk okul, lise ve orta okulu Meremd şehrinde bitirdi. 2004 yılında Marand Azad Üniveritesi'nde İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladığı Lisans eğitimini 2008 yılında tamamlamıştır. 2012 yılında Ege Üniversitesi İnşaa Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Bilim Dalında Yüksek Lisans eğitimine başlamıştır.