

ÇEPER ETKİSİ OLUŞMAYAN FARKLI BİÇİM VE BOYUTTAKİ BETON NUMUNELERİN BASINÇ DAYANIMLARININ DENEYSEL KARŞILAŞTIRILMASI

Can DEMİREL*, Ahmet GÖKDEMİR

Özet

Beton basınç dayanımında geometrinin önemine ait birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmada beton numunelerde geometrinin ve narinliğinin önemini görmek için çeper etkisi oluşumu engellenerek basınç dayanımları incelenmiştir. 28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım 100 mm ayrıtlı küp numune olan 100G'de 34.2 değeri ile elde edilmiştir. Standart numune olan 150 mm ayrıtlı küp numunede ise 33.6 Mpa değeri elde edilmiş ve en az 30 Mpa olması gereken değer sağlanmıştır. En az 25.0 Mpa değeri aranan 150x300 mm silindir numunede 27.6 Mpa dayanım elde edilirken 100x200 mm silindir numunede 29.5 Mpa'lık dayanım elde edilmiştir. Kimyasal kür uygulanan numunelerde ise beklenenin aksine fazla bir dayanım artışı olmazken bu tür malzemelerin küçük yüzey alanlardaki etkisinin çok olmadığı tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışma sonucu sahada kullanılan beton karışımını içindeki maksimum agrega boyutuna uygun numune kalıbı seçilmesinin daha doğru olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca farklı geometrideki numuneler arasında geçiş katsayıları ve çeşitli modeller önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çeper Etkisi, Beton Numune, Basınç Dayanımı, Beton Karışım

EXPERIMENTAL COMPARISON OF CONCRETE SPECIMENS HAVING DIFFERENT FORM AND SIZES WITHOUT WALL EFFECT FORMATION

Abstract

Many studies have been done on geometry's importance in concrete compressive strength. In this study because of seeing the importance of geometry and slimness in concrete samples, compression strengthes have been analysed by preventing the wall effect process. If the 28 day compression strengthes are examined, the highest strength is obtained from the 100 mm-edged cube sample in 100G with the value 34.2. In the 150 mm-edged cube sample which is a standard sample, the value 33.6 Mpa is obtained and the minimum value is provided that must be 30 Mpa. In the 150x300 mm cylinder sample looking for the minimum value 25 Mpa, 27.6 Mpa strength is obtained while in the 100x200 mm cylinder sample strength of 29.50 Mpa is obtained. In chemical cure performed samples strength increase isn't very much on the contrary it has been determined that effects on small surfaces of this kind of materials aren't very much. By the result of the experimental study it has been fixed that it would be useful to choose sample formwork necessary for maximum aggregate size in concrete mixture used in the field. Furthermore pass parameters between samples in different geometry and various models have been suggested.

Keywords: Wall Effect, Concrete Sample, compressive strength, Concrete Mixtur

1. Giriş

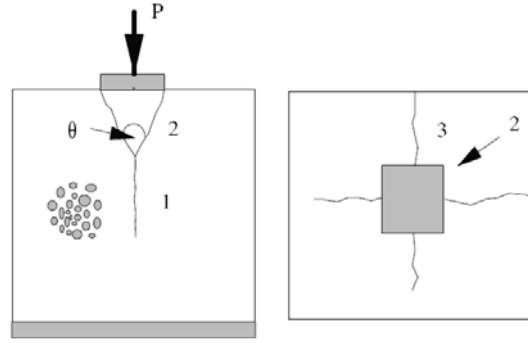
Beton basınç dayanım testi gerçekleştirilen test yöntemlerinden en yaygın olan yöntemlerden birisidir. Bunun nedeni bu tür test yöntemlerinin kolay ve diğer yöntemlere göre daha ekonomik olmasıdır [1]. Dünyadaki bazı ülkelerde beton basınç dayanımının (f_c) belirlenmesi

* Kırklareli Üniversitesi, Pınarhisar Meslek Yüksek Okulu, Kırklareli/Türkiye
E-posta: candemirel@klu.edu.tr

için kullanılacak farklı geometrideki numuneler standartlarca belirtilmiştir. En yaygın kullanılan geometrik numuneler boy/çap oranı 2'ye eşit olan silindir ve küp numunelerdir. Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Fransa, Avustralya gibi ülkeler silindir numune kullanırken Almanya, İngiltere gibi birçok Avrupa ülkesi küp numune kullanmaktadır. Genellikle 150 mm küp ve 150x300 mm boyutlu silindir numuneler kullanılır. Bununla birlikte kolay işgücü, düşük kapasiteli test makineleri, daha az beton kullanımı gibi avantajları bulunan daha küçük boyutlu numunelerin kullanımı tavsiye edilmektedir. Boyut etkisi üzerine birçok çalışma yapılmış basınç dayanımı ve numune geometrisi arasındaki ilişkiler incelenmiştir [3]. Normal dayanımlı betonların dayanımı için numune biçimi ve boyutu ile ilgili çalışmalar 1925 [4] yılına dayanırken yüksek dayanıma sahip betonlar için numune boyutu ve biçimi ile ilgili çalışma sayısı azdır. Yapılan araştırmalar sonucu küp-silindir arasındaki dayanım ilişkisi için ve farklı boyuttaki numunelerin dayanımını standart numune dayanımına denkliliğini bulabilmek için dönüşüm faktörleri belirlenmiştir. Önceki testler ve teorik araştırmalar betonun yapısal davranışını numune boyutunun büyük ölçüde etkilediği gözlenmiştir. Boyut etkisi benzer geometrik şekillere sahip test numunelerinin davranışlarını karşılaştırmayı sağlamaktadır [5,6]. Daha sonraki çalışmalarda ise çeşitli kuramsal yaklaşımlar ve modeller ile elde edilen test verileri ilişkilendirilmeye çalışılmıştır [6].

Yapı malzemelerinde taşıma gücü ilk olarak Bauschinger tarafından incelenmiştir [7,8]. Taşıma kapasitesi için küp kök formülünü önermiş ancak bu formül sınırlı sayıdaki kumtaşı küplerinde yapılan testlere dayandığı için beton örnekler için yanlış sonuçlar vermektedir. Meyerhof [9] ve Shelson [10] tekil yüklemeye maruz betonlardaki kırılmanın üç eksenli basınç testine maruz betonlardakine benzediğini vurgulamışlardır. Au ve Baird [11] beton bloklarda taşıma yetersizliğini (bearing failure) yükleme plakası altında ters çevrilmiş bir piramit oluşmasına dayanan bir teori geliştirmişlerdir. Ters piramidin düşey penetrasyonundan önce oluşan kırılmaların yatay basınçlara neden olduğunu kabul etmişlerdir. Bu baskıların sonucu beton blok üzerinde çekme ve eğilme gerilmelerinin oluştuğunu varsaymışlardır. Betonun çekme dayanımı bloğun üst kısmında maksimum çekme dayanımını aştığı zaman kırılmalar oluşmaktadır. Bu teori başlangıç kırılması için makul görülmesine rağmen final kırılması için makul görünmemektedir [12].

Betonun taşıma gücünün test yöntemleriyle belirlenmesi için ilk gerçekçi yaklaşımı Hawkins önermiştir [13]. Beton bloklar sert bir destek üzerine yerleştirildikten sonra sert bir levha ile yükleme yapılmasını önermiştir. Yük aşamalı olarak arttırıldığında ilk kırılma Şekil 1'de 1 numaralı alanda görüldüğü gibi bloğun iç tarafında düşey bir çatlak oluşmaktadır. Maksimum yüklemeye varıldığında 2 numaralı alanda görüldüğü gibi yükleme plakasının altında konik kama ve 3 numaralı alanda görüldüğü gibi yükleme yüzeyinde radyal kırıklar tespit edilmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar piramidin tepe açısının 38 ile 70° arasında değiştiğini göstermiştir [10,11,12,13]. Niyogi numune geometrisi, destek yapısı, dışmerkezlik, karışım özellikleri, betonun dayanımı ve örnek boyutu gibi betonun taşıma gücünü etkileyen faktörleri araştırmıştır [14].



Şekil 1. Basınç testinde kırılma mekanizması (a) Düşey kırılma (b) Son kırılma

Tanigawa ve Yamada [15] örnek boyutunun artmasıyla beton basınç dayanımının da arttığını belirlemişlerdir. Carpinteri vd. [16] multifractal scaling law (MFSL), (çoklu kırılma ölçekleme kanunu) esas alarak büyük numuneler $D \approx 10d$ formülünü önermiştir. Issa vd. [17] uygulamada kullanılması için boyut etkisini dikkate alarak minimum D/d (Boy/Çap) değerinin 5 olması gerektiğini belirtmişlerdir.

100 mm çaplı yüksekliği 200 mm olan silindir ve 100 mm ayrıtlı küp örnek kullanılması küçük örneklerin bazı dezavantajlarından dolayı kısıtlıdır. Bu dezavantajlar:

- Örnek boyutunun küçük olması dayanımların göreceli olarak artmasına ve sonuçlardaki değişkenliğin artmasına yol açmaktadır.
- Karışımdaki en büyük tane boyutu küçük kalıplar kullanıldığında “çeper etkisi”ni azaltmak için kısıtlanmalıdır.

Öte yandan, küçük örnek kullanımının getirdiği avantajlar da şu şekilde sıralanabilir:

- Küçük boyutlu örnekler daha kolay taşınır ve kaza sonucu zarar görmeleri daha nadirdir.
- Küçük boyutlu örneklerin kalıpları da küçük olduğundan maliyetleri daha düşüktür.
- Küçük boyutlu örneklerin kesit alanları ve dolayısıyla kırılma yükleri de daha küçük olduğundan daha düşük kapasiteli makinelerde deneye tabi tutulabilirler.
- Küçük boyutlu örneklerin hazırlanması için daha az beton, kür işlemleri için daha az alan gereklidir [2,18,19].

Konuyla ilgili yapılan diğer çalışmalar ise şu şekilde özetlenmiştir ;

Yazarlar	Çalışma Tipi	Sonuç
Motaz M. E. and Theodor K. [20]	Dinamik etki boyut olayı	Dinamik ve statik yükler altındaki normal ve yüksek dayanımlı betonlarda silindir numunelerin dayanımına etki eden diğer boyut faktörleri ile kanıtlamıştır.
Türkel A. and Özkul H. [21]	Çeper etkisi ihmal edilerek beton numunelerden alınan karotlar üzerinde incelemeler yapılmıştır.	50, 100, 150, ve 200 mm boyutundaki numuneler arasında boyut etkisi tespit edilmiştir.
Patnaik A.K. and Patnaikuni I. [22]	100-75 mm çaplı silindir numunelerin basınç dayanımları yoluyla boyut etkisi araştırılmıştır.	100 MPa.ve üzeri dayanıma sahip betonlar için 75x150-mm boyutundaki silindir numune kullanımının daha uygun olacağını tespit etmişlerdir.
J.R. del Viso et al. [23]	Yüksek dayanımlı betonların aksenal gerilme altındaki mekanik davranışlarını incelemiştir. Örneklerin boyut ve biçimini dikkate alarak deneysel program belirlenmiştir.	Gerilme açısından büyük numuneler küçük numunelere göre daha az direnç göstermektedir. Küplerin boyut etkisine göre dayanımları silindirlere göre oldukça fazladır.
Tuncan M. et al. [24]	Agrega boyutu ve tipi, betonun yaşı ve l/d gibi parametreler dikkate alınarak basınç dayanımı incelenmiştir.	l/d oranı azaldıkça dayanımın arttığı tespit edilmiştir. Bu etki 46 mm çaplı numunelerde oldukça belirgin bir şekilde ortaya çıkmıştır.

Bu çalışmada literatürün aksine çeper etkisi ihmal edilerek farklı boyut ve biçimdeki numunelerin basınç dayanımları istatistiksel olarak değerlendirilmiştir. Ayrıca karot standartlarında genellikle boy/çap oranı 2 ve 2'den az olan numuneler için katsayılar belirlenmiş bu çalışmada ise narinlik faktörünün etkisini görmek için 2'den büyük boy/çap

oranları 2.2 ve 2.4 belirlenmiştir. Beton numune yüzeylerine kimyasal kür malzemelerinin etkinlik faktörü tespit etmek için ise ayrı bir çalışma yapılmıştır. Bu amaçla istatistik yöntemleri kullanılarak boy/çap, kimyasal kür ve narinlik gibi parametreler dikkate alınarak değerlendirme ve karşılaştırmalar yapılarak geçiş formülleri/modelleri önerilmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Agregası

Çeper etkisini ihmal etmek için minimum kalıp boyutunun 1/5'i olan 100 mm (100x200) için $D_{max}=20$ mm belirlenmesine rağmen maksimum agrega boyutu 16 mm seçilmiştir. Deneylerde maksimum tane çapı 16 mm olan kalker esaslı kırmataş agrega kullanılmış ve agregaların üretilmesi için kullanılan kireçtaşının kimyasal özellikleri Tablo 1'de, her bir tane sınıfındaki agreganın fiziksel özellikleri Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Agregası olarak kullanılan kireçtaşının kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim (%)								
Malzeme	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	CaCO ₃
Kireçtaşı	53.13	2.88	1.19	0.32	0.04	0.07	0.13	96.12

Tablo 2. Karışımda kullanılan agregaların fiziksel özellikleri

Agre ga	Elekten geçen (%)							
	Elek açıklığı (mm)							
	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
0-4	100	100	100	95	67	42	30	24
4-8	100	100	96	29	19	13	11	10
8-16	100	94	22	14	10	7	5	4
Agregası	0-4		4-8		8-16			
Özgül Ağı. (gr/cm ³)	2.66		2.67		2.68			
Su Emme %	6.0		5.4		4.6			

2.2. Çimento

Betonların üretilmesinde bağlayıcı olarak PÇ 42.5 R Portland çimentosu (CEM I) kullanılmıştır. 28 günlük basınç dayanımı esas alındığı için karışım içinde mineral katkı kullanılmamıştır. Kullanılan çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler Tablo 3'de verilmiştir.

Tablo 3. PÇ 42.5 R tipi çimentoya ait kimyasal ve fiziksel özellikler

Kimyasal Bileşim										
(%)	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	SO ₃	Cl-	SCaO
	63.67	22.05	5.32	2.77	0.61	0.09	1.11	3.26	-	0.55
Fiziksel Özellikler										
(gr/cm ³)	A. Blaine (cm ² /gr)	Hacim Geniş. (mm)	Priz süresi (dk)		Basınç Dayanımı					
			Başlangıç	Bitiş	2	7	28			
3.10	3300	1.7	135	190	23.1	40.2	48.9			

2.3. Kimyasal Katkı ve Karışım Suyu

Üretilen betonda, naftalin sülfonat esaslı süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Kimyasal katkının katı madde içeriği %35.8 , pH 'ı (20 °C) 9.1 ve yoğunluğu 1.21 kg/dm³ olarak tespit edilmiştir. Kullanılan karışım suyu, Hazır Beton Santrali üretimlerinde kullanılan sondaj kuyusu olup, pH 'ı 7.7, SO₃ miktarı 9.90 ppm , Cl miktarı 35.5 ppm , toplam katı madde miktarı 301 ppm ve alkaliler 9.10 ppm olarak tespit edilmiştir.

2.4. Kimyasal Kür Malzemesi

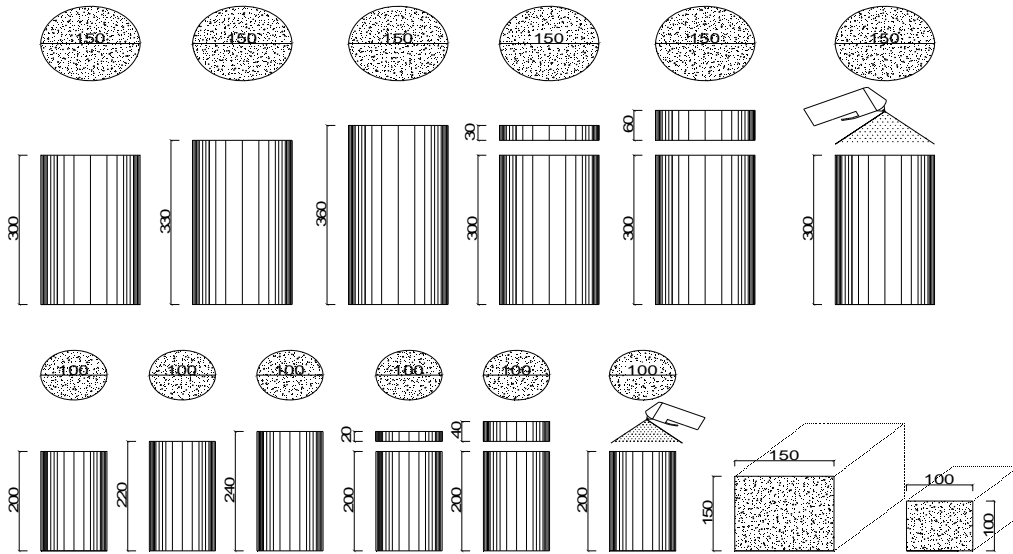
Betonların terlemesine karşın beyaz renkli reçine esaslı sıvı kimyasal kür malzemesi kullanılmıştır. 20 °C'de yoğunluğu 1.05 kg/dm³ ve pH'ı 7.7'dir.

2.5. Yöntem

Çalışmada üç farklı boy/çap oranına sahip iki farklı çapta (100x200-100x220-100x240-150x300-150x330-150x360) 6 adet, farklı boy/çap oranına sahip iki farklı çapta (100x220-100x240-150x330-150x360) ancak 7. ve 28. günde boy/çap oranları 2 olacak şekilde kesilerek referans numune (100x200 ve 150x300) ile eşit duruma getirilen 4 adet, farklı ayrıta sahip (100mm ve 150mm) küp numunelerden 2 adet ve boy/çap oranı 2 olan numunelerde uygulanan kimyasal kürden dolayı 2 adet olmak üzere toplam 14 farklı numune üretilmiş olup elde edilen numunelere ait kodlar ve özellikler Tablo 4 ve Şekil 2'de gösterilmiştir.

Tablo 4. Deneysel çalışmada elde edilen numunelerin özellikleri

	1 Grup			2. Grup			3. Grup
Boyut (mm)	100x200	100x220	100x240	100x200	100x220	100x240	100x100
<i>Biçim</i>	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Küp
<i>Kesilme</i>	-	-	-	-	x	x	-
<i>Kür</i>	-	-	--	x	-	-	-
<i>Boy/Çap</i>	2	2.2	2.4	2	2	2	-
<i>Kod</i>	120C	122C	124C	-120C	-122C	-124C	110G
Boyut (mm)	150x300	150x330	150x360	150x300	150x330	150x360	150x150
<i>Biçim</i>	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Silindir	Küp
<i>Kesilme</i>	-	-	-	-	x	x	-
<i>Kür</i>	-	-	--	x	-	-	-
<i>Boy/Çap</i>	2	2.2	2.4	2	2	2	-
<i>Kod</i>	130C	133C	136C	-130C	-133C	-136C	150G



Şekil 2. Deneysel çalışmada üretilen betonların şematik görünümü (boyutlar mm)

1. Grupta boy/çap oranı literatürde genelde azaltılırken bu çalışmada 2, 2.2 ve 2.4 olarak seçilerek narinliğin ve artan beton hacminin basınç dayanımı üzerindeki etkisi incelenmiştir. 2. Grupta farklı boy/çap (2, 2.2 ve 2.4) oranına sahip numuneler 7. ve 28. günde basınç dayanımı deneyinden önce atmosfere açık olan terleme olduğu kabul edilen yüzeyden boy/çap oranı 2'ye eşit olacak şekilde kesilirken boy çap oranı 2 olan 100x200 ile 150x300mm boyutundaki numunelerin yüzeyinde oluşabilecek terlemeyi engellemek için yüzeylerine kimyasal kür malzemesi spreylemesi yapılmıştır. 2. Grupta farklı boy/çap oranına sahip bütün numuneler kesim işleminden sonra eşit duruma getirilmiş böylece narinlik faktörü ortadan

kalkmış ve hacim ile terleme faktörleri üzerinde karşılaştırmalar yapılmıştır. 3. Grupta yer alan küp numuneler de ise hiçbir işlem uygulanmamış sadece silindir küp arasındaki dayanım faktörü incelemesi yapılmıştır.

Çalışmada kullanılacak beton C 25/30 sınıfı seçilmiş ve karışım oranı Tablo 5’de verilmiştir. Bütün numunelerde aynı karışım kullanılmış dolayısıyla çimento dozajı ve s/ç oranı sabit tutulmuştur. Her grup numune için 7 ve 28 günlük basınç dayanımlarını belirlemek için her yaş grubunda üçer adet olmak üzere toplam 84 adet numune üretilmiştir. Beton harcı 150x300 ve 150x150mm kalıplara üç eşit katmanda, 100x200 ve 100x100mm kalıplara ise iki eşit katmanda yerleştirilmiş ve her katmandan sonra, sarsma tablası üzerinde on beş saniye vibrasyon uygulanmıştır. Döküm esnasında hava sıcaklığı 29 °C ve bağıl nem %51 olarak tespit edilmiştir. Küp ve silindir kalıplara alınan numuneler laboratuvar içinde üzerleri ıslak çuvallarla örtülerek ilk 24 saat sabit bekletilmişler ve sonra kalıplardan sökülerek 20±2 °C sıcaklığa sahip laboratuvar kür havuzunda deney günlerine kadar küre tabi tutulmuşlardır. Deney günü gelen silindir numunelerde basınç dayanım deneyine tabi tutulmadan önce % 70 kükürt ve % 30 grafit tozundan oluşan karışım ile başlık yapılmıştır.

Tablo 5. 1 m³ için hazırlanan beton karışım oranları

Malzeme	Çimen	Su	İnce	İri	Kimyasal	S/
	to		Agrega	Agrega	Katkı	Ç
Ağırlık (kg/m ³)	345	190	808	1019	3.1	0.5 5

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

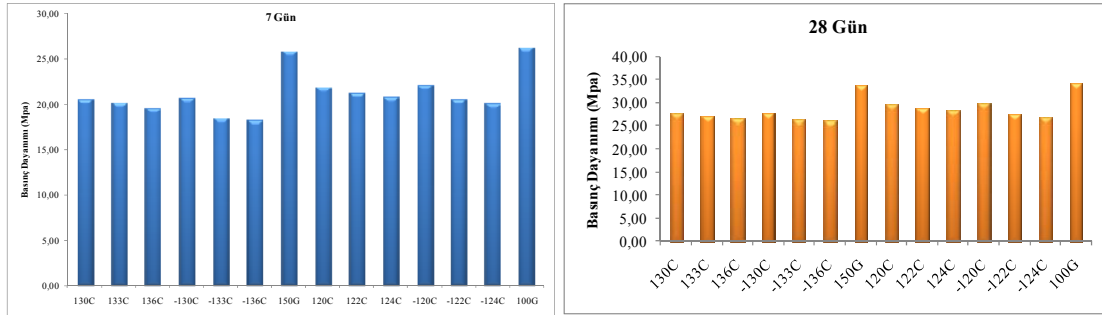
7. ve 28. günlerdeki basınç dayanımı deneyinden elde edilen sonuçlar Tablo 6’da verilmiştir. 7 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım 100 mm ayrıtlı küp numune olan 100G’de 26.13 değeri ile elde edilmiştir. 150 mm ayrıtlı küp numunede ise 25.7 Mpa değeri elde edilmiştir. 150x300 mm silindir numunede 20.5 Mpa dayanım elde edilirken 100x200 mm silindir numunede 21.80 Mpa’lık dayanım elde edilmiştir. Beklendiği gibi küçük hacimli numunelerde hidrasyon olayı daha hızlı gelişmiş bu yüzden dayanımlarda artış gözlenmiştir. 150x330mm silindir numunelerde 20.1 Mpa’lık dayanım elde edilirken 150x360 mm silindir numunede 19.5 Mpa dayanım değeri elde edilmiştir. Farklı boy çap oranlarına sahip iki numuneden 150x360 silindir numunenin hem narinliği daha fazla hem de hacmi daha fazla olduğu için dayanımı 133C’ye göre daha düşük çıkmıştır. Aynı durum 122 ve 124 kodlu numunelerde de görülmektedir. Döküm yüzeyinde oluşan terleme etkisi ve boy çap etkisini ortadan kaldırmak için kesilen numuneler karşılaştırıldığında ise -133C koldu numunede 18.4 Mpa değeri elde edilirken -136C kodlu numunede 18.1 değeri elde edilmiş ve hacmin hidrasyon süreci dolayısıyla basınç dayanımı üzerindeki etkisi görülmüştür. Boy/çap oranı 2 olan ve yüzeyine kimyasal malzemesi ile kür uygulanan -130C kodlu numunede 20.6 Mpa değeri elde edilmiş ve bu değer 130C numunesinde elde edilen değerden çok farklı olmadığı tespit edilmiştir.

28 günlük basınç dayanımları incelendiğinde en yüksek dayanım 100 mm ayrıtlı küp numune olan 100G'de 34.2 değeri ile elde edilmiştir. Standart numune olan 150 mm ayrıtlı küp numunede ise 33.6 Mpa değeri elde edilmiş ve en az 30 Mpa olması gereken değer sağlanmıştır. En az 25 Mpa değeri aranan 150x300 mm silindir numunede 27.6 Mpa dayanım elde edilirken 100x200 mm silindir numunede 29.5 Mpa'lık dayanım elde edilmiştir. 7 günlük numunelerde olduğu gibi küçük hacimli numunelerde (100x200 silindir ve 100 küp) hidrasyon olayı daha hızlı gelişmiş ve dayanımlarda artış gözlenmiştir. 150x330mm silindir numunelerde 27.1 Mpa'lık dayanım elde edilirken 150x360 mm silindir numunede 26.4 Mpa dayanım değeri elde edilmiştir. Farklı boy çap oranlarına sahip iki numuneden 150x360 silindir numunenin hem narinliği daha fazla hem de hacmi daha fazla olduğu için dayanımı 133C'ye göre daha düşük çıkmıştır. Aynı durum 122 ve 124 kodlu numunelerde de görülmektedir. Terleme etkisi ve boy çap etkisini ortadan kaldırmak için kesilen numuneler karşılaştırıldığında ise -133C koldu numunede 26.3 Mpa değeri elde edilirken -136C kodlu numunede 25.9 değeri elde edilmiş ve hacmin hidrasyon süreci dolayısıyla basınç dayanımı üzerindeki etkisi görülmüştür. Aynı durum -122C ve -124C kodlu numunelerde de görülmüştür. Boy/çap oranı 2 olan ve yüzeyine kimyasal malzemesi ile kür uygulanan -130C kodlu numunede 27.5 Mpa değeri elde edilmiş ve bu değer 130C numunesinde elde edilen değerden çok farklı olmadığı tespit edilmiştir. Kimyasal kür uygulanan -120C kodlu numunede 29.8 değeri elde edilirken 120C kodlu numune ile arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir.

Tablo 6. Silindir ve küp numunelere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

Ortalama Basınç Dayanımı (Mpa)	7 Gün	28 Gün
130C	20.46	27.63
133C	20.06	27.03
136C	19.46	26.38
-130C	20.60	27.53
-133C	18.40	26.26
-136C	18.10	25.90
150G	25.76	33.60
120C	21.80	29.50
122C	21.13	28.83
124C	20.70	28.30
-120C	22.00	29.86
-122C	20.40	27.33
-124C	19.93	26.70
100G	26.13	34.13

130C	20.46	27.63
133C	20.06	27.03
136C	19.46	26.38
-130C	20.60	27.53
-133C	18.40	26.26
-136C	18.10	25.90
150G	25.76	33.60
120C	21.80	29.50
122C	21.13	28.83
124C	20.70	28.30
-120C	22.00	29.86
-122C	20.40	27.33
-124C	19.93	26.70
100G	26.13	34.13
Toplam	21.06	28.50



Şekil 3. Silindir ve küp numunelere ait 7 ve 28 günlük basınç dayanımları

150x300 mm standart numune için en az olması gereken basınç dayanımı 25 Mpa'dır. Boy/çap oranının artmasına rağmen 133C ve 136C kodlu numunelerde de bu hedef dayanım sağlanmıştır. Ancak hacim artışı ve boy/çap oranına bağlı narinlik dayanımı olumsuz etkilemektedir. 150 mm ayrıtlı küp için olması gereken basınç dayanımı 30 Mpa iken 150G kodlu numune için bu değer elde edilmiş ve hacmindeki azalmadan dolayı 100G kodlu numunede bu değer daha fazla olduğu tespit edilmiştir. Boy/çap oranları 2'ye eşit olması için kesilen numunelerin dayanımları ilk hacimlerinin fazla olmasından dolayı dayanımlarının düşük olduğu belirlenmiştir. Ancak boy/çap oranı 2.2 ve 2.4 olan numunelerden daha düşük dayanıma sahip olmasının nedeni kesim esnasında yüzey ve kenar bölgesinde mikro çatlakların oluşmasından dolayı gerilmelerin bu bölgelere yığılması numunelerin dayanımlarını olumsuz etkilemiştir. Kimyasal kür uygulanan numunelerde ise beklenen aksine fazla bir dayanım artışı olmazken bu tür malzemelerin küçük yüzey alanlardaki etkisinin pek olmadığı tespit edilmiştir.

Her deney türü için ayrı ayrı olmak üzere 14 grubun ortalamaları arasında fark olup olmadığı varyans analizi tekniği ile belirlenmiş fark bulunan gruplarda hangi gruplar arasında fark olduğunu belirlemek için Duncan testi kullanılmıştır. Tablo 7’de beton basınç dayanımı açısından hedef dayanıma 28 günde ulaşıldığı kabulüne göre dayanımlar incelendiğinde Duncan testinde 10 farklı grup elde edilmiştir.

Tablo 7. 28 günlük basınç dayanımlarına göre Duncan testi sonuçları ve gruplar arası farklar

Numune	Küme/Grup									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
-136C	D*									
-133C	D*	D*								
136C	D*	D*	D*							
-124C	D*	D*	D*	D*						
133C		D*	D*	D*	D*					
-122C			D*	D*	D*					
-130C				D*	D*	D*				
130C					D*	D*				
124C						D*	D*			
122C							D*	D*		
120C								D*	D*	
-120C									D*	
150G										D*
100G										D*
Sig.	.071	.083	.051	.060	.173	.074	.185	.100	.358	.185

Standart silindir numune boyutu olan 150x300 mm numuneye ait 130C kodunun 5. ve 6. grup içinde yer aldığı görülmektedir. 6. grupta ise boy/çap oranı 2.4 olan 124C numunesi ile benzer özellik göstererek aynı grupta yer almıştır. Standart küp numune boyutu olan 150x150 mm kodlu 150G kodlu numune ise 100mm ayrıtlı küp numune ile aynı grupta yer alarak (10. grup) benzer özellik göstermiştir. 120C kodlu 100x200 mm boyutlu silindir numune boy/çap oranı 2.2 olan 122C (8. grup) ve kimyasal kür uygulaması yapılan -120C (9. grup) numuneleri ile aynı grupta yer alarak benzer özellik göstermiştir. 7. grupta yer alan boy/çap oranları farklı 122C ve 124C numunelerinin aynı grupta yer aldığı ve bu numunelerde hacim artışının da çok etkili olmadığı görülmüştür. Farklı boy/çap oranına sahip fakat kesilerek boy/çap oranları 2’ye eşitlenen -133C ve -136C kodlu numunelerde benzer özellik göstererek 1. grup içinde yer almıştır. Kesim işlemi uygulanarak boy/çap oranı referans numune ile aynı olan bu numuneler aynı grupta yer almadığı belirlenmiş ve farklı bir davranış gösterdiği tespit edilmiştir. Boy/çap oranının 2.2’ den 2.4’e çıkarılmasından dolayı narinlik ve hacim artışının 28 günlük basınç dayanımı üzerinde belirgin bir etkisi gözlenmemiştir. İstatistiksel sonuçlara göre kimyasal kür malzemelerinin basınç dayanımı üzerinde olumlu ve olumsuz bir etkisi

tespit edilmediği bu yüzden küçük boyutlu numunelerde terleme olayının saha betonlarında olduğu gibi büyük bir risk oluşturmadığı belirlenmiştir.

Yapılan çalışmadaki numuneler için iki değişken (boy/çap oranı ve hacimsel değişiklik) belirlenmiş ve bu değişkenlere ait etki boyutunun tahmini yapılarak Tablo 8’de verilmiştir.

Tablo 8. Basınç dayanımı üzerinde etkili olan parametrelerin etki boyutları

Source	Type III Sum of Squares	Tahmini Etki Boyutları	
		7 Gün	28 Gün
Corrected Model	19.654	.382	.400
Intercept	2341.143	.987	.992
Boy/çap	4.047	.113	.137
Hacim	19.654	.382	.400
Error		31.834	
Total		14821.840	

Silindir numuneler üzerinde yapılan analizler sonucu 7 günlük numunelerde boy/çap oranı %11,3 ve hacimsel artış %38,2 değerleriyle etkili olurken 28 günlük sonuçlar incelendiğinde boy/çap oranı %13,7 ve hacimsel artış %40 etkili olmuştur. Bu çalışmaya göre basınç dayanımı üzerinde hacmin daha etkili olduğu tespit edilirken boy/çap etkisinde belirgin bir etki tespit edilememiştir. Laboratuvar ortamında hazırlanan ve kür edilen betonlar için 28 günlük basınç dayanımı açısından hacimsel faktör önemli bir parametre olurken yapılardan alınan karot numunelerinde boy/çap etkisi daha önemli bir parametre olmaktadır. Bunun nedeni laboratuvar ortamında üretilen numunelerin deney gününe kadar herhangi bir fiziki ve kimyasal etkiye maruz kalmamasıdır. Yapılardan alınan karot numuneler uzun süre yük altında kalmasından dolayı bünyesel değişikliğe uğramakta ve narinlik faktörü önemli bir parametre olmaktadır. Ayrıca düşük dayanımlı beton kullanılan yapılarda karot alımı ve numunenin deneye hazırlanması esnasında numunelerde parçalanmalar görülmektedir. Bu yüzden bu tür beton numunelerinde boy/çap etkisinin önemi oldukça fazladır [12]

Elde edilen farklı boyut ve biçimdeki betonlar standart numune boyutu kabul edilen 150x300 mm silindir ve 150 mm ayrıtlı küp numunelere dönüşümleri için çeşitli regresyon modelleri ve dönüşüm katsayıları bulunarak literatür değerleriyle karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar ve elde edilen bağıntılar detaylı olarak Tablo 9’da verilmiştir.

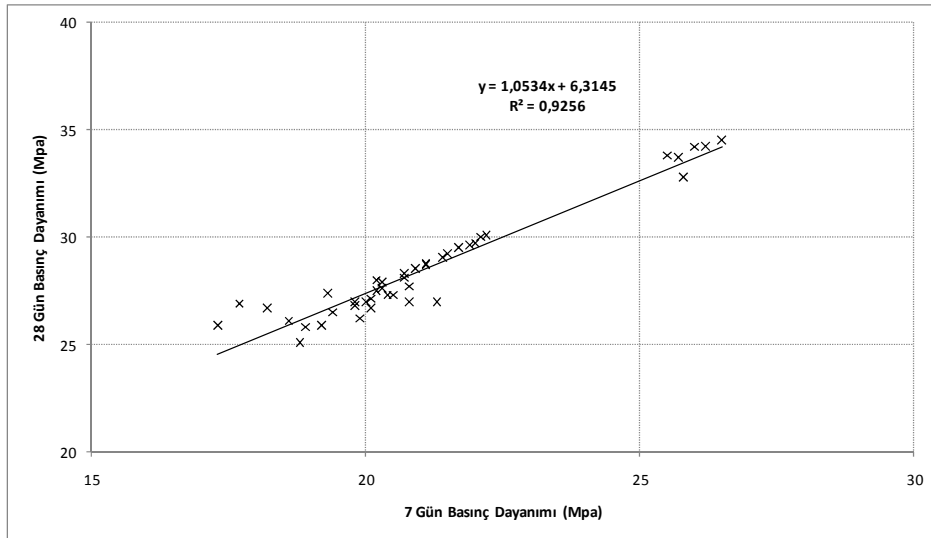
Tablo 9. Farklı boyut ve biçimdeki beton numuneler için önerilen bağıntılar

Numune (f _x)	Standart Numune (y)			
	150x300 mm (silindir)		150x150 mm (küp)	
	Bağıntı	R ²	Bağıntı	R ²
133C	$y = -1.1081f_{150x133} + 57.589$	0.8737	$y = -2.027 f_{150x133} + 88.397$	0.9745
	$y = -30.02\ln(f_{150x133}) + 126,62$	0.8761	$y = -54,81\ln(f_{150x133}) + 214.31$	0.9734
	$y = 985.93f_{150x133}^{-1.084}$	0.8780	$y = 7417.9 f_{150x133}^{-1.637}$	0.9719
136C	$y = -0.7363 f_{150x136} + 47.12$	0.9486	$y = -1.2527 f_{150x136} + 66.756$	0.9155
	$y = -19.49\ln(f_{150x136}) + 91.482$	0.9512	$y = -33.06\ln(f_{150x136}) + 141.89$	0.9121
	$y = 276.91 f_{150x136}^{-0.704}$	0.9525	$y = 851.12 f_{150x136}^{-0.987}$	0.9095
-130C	$y = -0.8158 f_{150x130k} + 50.095$	0.9727	$y = -1.3421 f_{150x130k} + 70.553$	0.8775
	$y = 22.44\ln(f_{150x130k}) + 102.02$	0.9743	$y = -36.81\ln(f_{150x130k}) + 155.65$	0.8743
	$y = 404.86 f_{150x130k}^{-0.81}$	0.9752	$y = 1281.6 f_{150x130k}^{-1.098}$	0.8712
150G	$y = -0.5769 f_{150x150} + 47.018$	0.9985	-	
	$y = -19.31\ln(f_{150x150}) + 95.479$	0.9989		
	$y = 319.45 f_{150x150}^{-0.696}$	0.9990		
120C	$y = -1.5714f_{100x200} + 73.99$	0.9973	$y = -2.2857 f_{100x200} + 101.03$	0.7033
	$y = -46.25\ln(f_{100x200}) + 184,17$	0.9971	$y = -67.22\ln(f_{100x200}) + 261.09$	0.702
	$y = 7822,1 f_{100x200}^{-1.668}$	0.9968	$y = 29542 f_{100x200}^{-2.003}$	0.6978
100G	$y = -1.0204x + 62.463$	0.9812	$y = -1.6531 f_{100x100} + 90.024$	0.8583
	$y = -34.79\ln(f_{100x100}) + 150.46$	0.9820	$y = -56.27\ln(f_{100x100}) + 232.25$	0.8561
	$y = 2325.1 f_{100x100}^{-1.256}$	0.9828	$y = 12588 f_{100x100}^{-1.679}$	0.8529

130C	-	$y = -1.7308 f_{150 \times 300} + 81.427$	0.9985
		$y = -47.98 \ln(f_{150 \times 300}) + 192.86$	0.9987
		$y = 3925.3 f_{150 \times 300}^{1.434}$	0.9990
-120C, -122C ve -124 numunelerinde kesilme ve kimyasal kür uygulanmasından dolayı standart numunelerle arasında herhangi bir matematiksel modelleme yapılmamıştır.			

Farklı boyut ve biçimdeki silindir numunelerin standart 150x300 mm boyutlu silindire dönüşümünde çeşitli regresyon modelleri kullanılmış ve bu modellere ait R^2 katsayılarının model değişmesine rağmen önemli bir fark görülmemiştir. 150x150 mm boyutlu küp numunenin 150x300 mm silindir numuneye dönüşümünde elde edilen bağıntı da $R^2=0.99$ değeri ile oldukça kuvvetli bir ilişki elde edilmiştir. aynı ilişki 100x200 mm boyutlu silindir numune içinde geçerlidir. Ancak 120C ve 100G kodlu silindir ve küp numunelerde R^2 katsayısı ise sırasıyla 0.70 ve 0.85 elde edilmiş ve diğer numunelere oranla daha zayıf bir ilişki elde edilmiştir.

Şekil 4'de deneysel çalışmada elde edilen 84 veri kullanılarak ve lineer regresyon modellemesi yapılarak 7 ile 28 gün arasında bir ilişki kurulmuştur. Bu ilişkiye göre $R^2=0.9256$ katsayısı ile kuvvetli bir ilişki elde edilmiştir. Şekil 3'deki eğri yardımıyla $y=1.0534x+6.3145$ denklemi elde edilerek 7 günlük basınç dayanımı sonucuna göre 28 günlük basınç dayanımının tahmini yapılmaktadır. Ancak bu tahmini karışımında kullanılan agrega boyutu ve gradasyonu, çimento tipi, inceliği, kimyasal bileşimi ve karışımın s/ç oranı çimento dozajı gibi birçok etken etkilediği için çok uygun olmayacaktır.



Şekil 4. 7 ve 28 günlük basınç dayanımları arasındaki korelasyon

Bazı araştırmacılar tarafından farklı boyut ve biçimdeki numuneler için dayanım oranları tespit edilmiş ve bunlar Tablo 10'da özetlenmiştir.

Deneysel çalışma sonucu elde edilen basınç dayanımları yardımıyla literatürde yapıldığı gibi dayanım oranları hesaplanarak karşılaştırma yapılmıştır. 150x300 mm silindir numune ile 150x150 mm küp numune arasındaki dayanım faktörü deneysel çalışma sonucu 1,30 bulunurken, Heldt (1990) tarafından yapılan çalışmada bu değer 1.20 olarak bulunmuş ve 150x300 mm silindir numune ile 100x100 mm küp arasında 1.22 dayanım oranını bulurken deneysel çalışmada bu oran 1.28 olarak tespit edilmiştir. Smeplass (1989) ise farklı dayanımlara sahip 150x300 silindir numuneler ile 100x100 mm küp numuneler arasındaki dayanım oranları incelemiş ve bu oranın 1.20 ile 1.33 arasında değiştiğini tespit etmiştir. 150x300 mm ve 100x200 mm silindir numuneler arasındaki dayanım oranı 0.88 olarak hesaplanırken, Lessard (1993) vd. tarafından bu değer 1.06 olarak hesaplanmıştır. Silindir numuneler arasındaki bu kadar yüksek farkın çıkmasının nedeni çeper etkisinin ortadan kaldırılmasından dolayı küçük hacme sahip olan 100x200 mm silindir numunede hidrasyon daha hızlı gelişerek dayanım artışı gerçekleşmiştir.

Standart küp numune olan 150x150 mm numune ile 100x100 mm küp numune arasında dayanım oranı 1.02 olarak bulunurken Heldt (1990) tarafından bu değer 1.01 olarak bulunmuştur. 150x300 ve 100x200 mm silindir numuneye dönüşüm için sırasıyla 0.82 ve 0.88 dayanım oranları hesaplanmıştır.

Tablo 10. Basınç dayanımlarına ait geçiş katsayıları ve literatür karşılaştırması

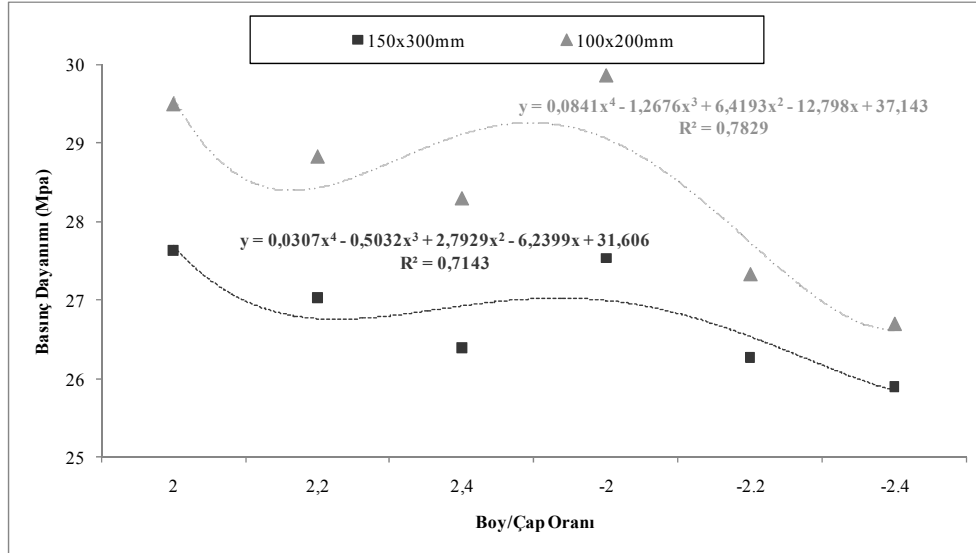
Ref.	Numune	Dayanı m	100 mm küp	150 mm küp	200 mm küp	100x200 mm silindir	150x300 mm silindir
Deneysel	150x300	27.63	0.81	0.82		0.94	1.00
	150x330	27.03	0.79	0.8		0.92	0.98
	150x360	26.38	0.77	0.79		0.89	0.98
	150x300K	27.53	0.81	0.82		0.93	1.04
	150x330-	26.26	0.77	0.78		0.89	0.95
	150x360-	25.90	0.76	0.77		0.88	0.99
	150x150	33.60	0.98	1,00		1.14	1.30
	100x200	29.50	0.86	0.88		1,00	0.88
	100x220	28.83	0.84	0.86		0.98	0.98
	100x240	28.30	0.83	0.84		0.96	0.98
	100x200K	29.86	0.88	0.89		1.01	1.06
	100x220-	27.33	0.8	0.81		0.93	0.92
	100x240-	26.70	0.78	0.79		0.91	0.98
	100x100	34.13	1.00	1.02		1.16	1.28
ER A TT [25]	100mm cube	66 97	1.00 1.00	-	-	-	1.33 1.30

		115	1.00				1.20
	100mm cube	-	1	1.01	1.05	-	1.22
[26]	150mm cube	-	-	1	1.04	-	1.20
	200mm cube	-	-	-	1	-	1.15
[27]	102x203m m cylinder	48-80	-	-	-	1	0.93
[28]	100x200m m cylinder	35-126	-	-	-	1	1.06

Kimyasal kür malzemesinin etkinliğini tespiti için dayanım oranları incelenmiştir. 150x300 mm silindir numunede yüzeyine kür malzemesi spreylene numune ile arasında 1.04 değerinde dayanım oranı elde edilmiştir. 100x200 mm silindir numunede ise bu oran 1.01 olarak tespit edilmiştir. 100x200 silindir numunede bu oranın düşük olmasının numune boyutunun ve atmosfere açık yüzey alanının 150x300 mm silindir numuneye göre düşük olmasıdır.

200 mm küp numuneler boyutlarının büyük olmasından dolayı günümüzde pek kullanılmamaktadır. Bu yüzden deneysel çalışmada da dikkate alınmayarak deney programında yer verilmemiştir.

Şekil 5’ de 28 günlük basınç dayanımlarının boy/çap ilişkisi 4. dereceden polinom regresyon modellemesi ile verilmiştir. Boy/çap oranının artması ile narinliğe bağlı basınç dayanımında azalmalar olmuştur. Ancak bu azalma uygulamada olduğu gibi büyük farklar göstermemiştir. 150x300 mm esas alınarak hazırlanan numuneler, 100x200 mm esas alınarak hazırlanan numunelerden daha düşük bir dayanım göstermiştir. Yüzeyine kimyasal kür uygulanan numuneler ise boy/çap oranı 2 olan numunelere benzer özellik göstermiştir. İlk boy/çap oranı 2.2 ve 2.4 olan numunelerin (-2.2 ve -2.4) daha sonra boy/çap oranları kesilerek 2’ye eşitlenmiş olmasına rağmen hacim artışından dolayı basınç dayanımında azalmalar olmuştur. Hacim artışından dolayı basınç dayanımındaki azalmalar 100x200 mm esaslı numunelerde daha belirgin olmuştur. Çeper etkisi olmadığı için beklendiği gibi hacim olarak küçük olan 100x200 mm esaslı silindir numunelerin basınç dayanımları daha yüksek çıkmıştır.



Şekil 5. Boy/çap ve basınç dayanımı arasındaki ilişki

4. SONUÇ

Literatür içerisinde genellikle agrega maksimum çapı dikkate alınmadan farklı boyut ve biçimdeki numuneler üretilerek basınç dayanımı incelenmiştir. Bu çalışmada çeper etkisi oluşumunu engellemek için agrega maksimum dane çapı sınırlandırılmış ve 20 mm olarak belirlenerek basınç dayanımları istatistiksel yöntemlerle incelenmiştir. Deneysel çalışmada beklendiği gibi çeper etkisi oluşmadığında hacim faktörünün önemi ortaya çıkmış küçük numunelerde hidrasyon olayı daha hızlı gerçekleşmiştir. Hacim parametresinin etkinliği farklı boy/çap oranındaki numunelerin daha sonra boy/çap oranları eşitlenerek karşılaştırma yapılmış boy/çap oranı 2.4 olan dolayısıyla hacmi en fazla olan numunelerin dayanımları daha düşük çıkmıştır. Ancak boy/çap oranları kesilerek 2'ye eşitlenen numunelerde basınç dayanımları boy/çap oranları 2.2 ve 2.4 olan numunelerden beklenenin aksine düşük çıkmıştır. Bunun nedeni kesim esnasında yüzeyde oluşan mikro çatlakların oluşması ve gerilmelerin üniform dağılmamasından olduğu tahmin edilmektedir. Boy/çap oranının artması ile basınç dayanımında önemli kayıplar beklenirken bu durum gerçekleşmemiş gerek 100 mm gerekse 150 mm kesitli numunelerdeki dayanım kayıpları normal olarak değerlendirilmiştir. Yapı elemanlarından alınan karot numunelerinde boy/çap oranında küçük artışların olmasına rağmen dayanımda büyük kayıplar gerçekleşirken laboratuvar ortamında bu durum oluşmamıştır. Bunun nedeni yapı elemanı servis ömrü boyunca fiziksel, kimyasal ve hava koşullarına maruz kalmasından dolayı zamanla bünyesel zarara uğrayarak ilk dayanımını kaybeder. Ayrıca hasarlı yöntem olan karot yöntemi numune alımı esnasında da numuneye zarar vermekte numune yüzeyinde mikro çatlaklar oluşmasına neden olmakta ve gerilmelerin üniform dağılmasına neden olmaktadır. Bu yüzden karot numuneler için geçerli olan boy/çap oranı ilişkileri laboratuvar ortamında elde edilen numuneler için çok geçerli olmadığı tespit edilmiştir. Taze betonda oluşan terleme olayı ve terleme derinliğinin etkinliğini örmek için boy/çap oranı arttırılmış daha sonra bu kısımlarda terleme olacağı düşünülerek kesilme işlemi yapılmıştır. Ancak numunelerin küçük olması ve büyük ısı farklılığının olmamasından dolayı

terleme etkinliği kesin olarak bulunamamıştır. Bu yüzden kimyasal kür malzemeleri de terleme olayı üzerinde etkinlik gösterememiş basınç dayanımlarında referans numune ile yakın sonuçlar elde edilmiştir. kimyasal kür malzemelerinin etkinliğini görmek için havaalanı betonları, beton yollar gibi büyük kütle betonlarından alınan karot numuneleri ile daha doğru tespit edilebilir. Dayanım oranları eski yapılan çalışmalar ile karşılaştırılmış ve sonuç olarak genelinde yakın değerler olduğu belirlenmiştir. Farklılık nedenleri ise; kullanılan agrega mineraloji ve petrografisinin farklılığı, agrega gradasyonu, agrega maksimum dane çapı (çeper etkisi), çimento tipi ve inceliği, beton karışım oranları, s/ç oranı, kimyasal katkı miktarı ve türü ve yükleme hızı gibi parametreler sıralanabilir. İstatistiksel analiz sonucu kontrollü laboratuvar ortamında kural ve standartlara uygun kür edilen malzemelerde hacim parametresi boy/çap parametresinden daha önemli olduğunu göstermiştir. Baraj, metro, havaalanı gibi kütle beton kullanılan inşaatlarda kalite kontrol sürecini standart ve sağlıklı hale getirmek için daha fazla ama daha küçük boyutta ve hacimde numuneler almak daha faydalı olacaktır. Bu yüzden standart numune boyutlarına göre dayanım oranları veya çeşitli regresyon modellemeleri ile belirlendikten sonra (çeper etkisinin varlığı) küçük boyutta numuneler kullanmak kür sırasındaki büyük alan kullanımı, işçilik ve zamandan büyük tasarruf sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

- [1] Mindess. S., Young. J.F., Darwin. D., Concrete, United States of America, Prentice Hall Pearson Education, 2003.
- [2] Tokyay, M., Özdemir, M., Specimen shape and size effect on the compressive strength of higher strength concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 27, No. 8. 1281-1289, 1997.
- [3] Van Mier, J.G.M. Strain-softening of concrete under multiaxial loading conditions. PhD thesis, Eindhoven University of Technology, Eindhoven, The Netherlands, 1984.
- [4] H.F. Gonnerman, Proc. ASTM, 25, Part 2,237-250, 1925.
- [5] Sabnis, G.M., and Mirza, S.M., Size Effect in Model Concrete. *Journal of the Structural Division*, ASCE, V. 105, No. 6, 163-177, June 1979,
- [6] Neville, A.M., A General Relation for Strength of Concrete Specimens of Different Shape and Size. ACI Journal, V. 63, No. 10, 1095-1110, Oct. 1966.
- [7] Bauschinger, J. Tests with blocks of natural stone. Mech Tech Lab Kgl 1876.
- [8] İnce, R., and Arici, E., Size effect in bearing strength of concrete cubes. Construction and Building Materials, V.8 No.18, 603-609, 2004.

- [9] Meyerhof, GG., The bearing capacity of concrete and rock. *Mag Concrete Res* 4(12) 107–116, 1953.
- [10] Shelson, W., Bearing capacity of concrete. *J Am Concrete Inst Pro* 54(5), 405–414, 1957
- [11] Au, T., Baird, DL., Bearing capacity of concrete blocks. *J Am Concrete Inst Proc* 56(9), 869–879, 1957.
- [12] Hawkins, N.M., Discussion of references. *J Am Concrete Inst Proc* 56(9), 1469–1479, 1960.
- [13] Hawkins, N.M. The bearing strength of concrete loaded through rigid plates. *Mag Concrete Res.*, 19(4), 20:31, 1968
- [14] Niyogi, S.K., Concrete bearing strength-support, mix, size effect. *J Struct Div-ASCE*, 100, 1685–1701, 1974.
- [15] Tanigawa, Y., and Yamada, K., Size Effect in Compressive Strength of Concrete. *Cement and Concrete Research*, V.8, No.2, 181-190, Feb. 1978..
- [16] Carpinteri, A., Ferro, G., and Monetto, I., Scale Effects in Uniaxially Compressed Concrete Specimens. *Magazine of Concrete Research*, V.51, No.3, 217-225. June 1999.
- [17] Issa, S.A., Islam, Md.S., Issa, M.A., Yousif, A.A., and Issa, M.A., Specimen and Aggregate Size Effect on Concrete Compressive Strength. *Cement, Concrete and Aggregates*, V. 22, No. 2, 103-115, Dec. 2000.
- [18] Day, R.L., Haque, M.N., Correlation between strength of small and standard concrete cylinders. *ACI Materials Journal*, 90(5), 452-462, 1993.
- [19] Felekoğlu, B., Türkel, S., Effects of Specimen Type and Dimensions on Compressive Strength of Concrete. *G.U. Journal of Science*, 18(4), 639-645, 2005.
- [20] Motaz, M.E. and Theodor, K. Dynamic Size Effect in Normal- and High-Strength Concrete Cylinders. *ACI Materials Journal*, 102 (2), 77-85, 2005.
- [21] Türkel, A. and Özkul, H., Size and Wall Effects on Compressive Strength of Concretes. *ACI Materials Journal*, 107(4), 372-379, 2010.
- [22] Patnaik, A.K. and Patnaikuni I., Correlation of strength of 75 mm diameter and 100 mm diameter cylinders for high strength concrete. *Cement and Concrete Research* 32 (2) 607–613, 2002.

- [23] Del Viso, J.R., Carmona, J.R., Ruiz, G., Shape and size effects on the compressive strength of high-strength concrete. *Cement and Concrete Research*, 38 (5), 386–395, 2008.
- [24] Tuncan, M., Arioz, O., Ramyar, K., Karasu, B., Assessing concrete strength by means of small diameter cores. *Construction and Building Materials*, 22(1), 981–988, 2008.
- [25] Smeplass, S., High Strength Concrete, SP4-Materials Design. Report 4.4 Mechanical Properties-Normal Density Concrete 1989.
- [26] Held, M., Darrnstadt Concrete, 5 1990.
- [27] Carasquillo, P.M. and Carasquillo, R.C. *ACI Journal*, 85 (1), 49-54, 1988.
- [28] Lessard, M. and Aitcin, P-C., High Performance Concrete. Y. Malier, ed. E&FN Spon, London 1993.