

BETON BASINÇ DAYANIMINDA KÜÇÜK EBATLI KÜP BETON NUMUNELERİN YAYGIN KULLANIMI İÇİN ŞEKİL-BOYUT ETKİSİNİN DETAYLI İNCELENMESİ*

İrem Şanal¹, Deniz Sarılioğlu²

Özet

Bilindiği gibi çeşitli standartlarda basınç dayanım testleri için kabul edilen numune şekil ve boyutları fark gösterebilmektedir. Ancak, zaman ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurulduğunda kalite kontrolünde daha küçültülmüş boyutlarda numune (Örn: 150 mm'lik küp yerine 100 mm'lik küp numuneler) kullanımının daha avantajlı olacağı öngörülmektedir. Aynı zamanda kalite kontrol prosedürü kapsamında daha az miktarda beton kullanılarak zayıf olan beton miktarının ve atığın azalmasını sağlaması ve laboratuvarlarda daha düşük kapasiteli beton basınç presi kullanımına olanak vermesi açısından da 100 mm'lik küp numunelerin kullanımı oldukça avantajlıdır. Norveç gibi bazı Avrupa ülkelerinde standart olarak kullanılmakta olan 100 mm'lik küp numuneler, Türkiye'de TS EN 206 ve TS 13515'te yer almazına rağmen, çoğunlukla AR-GE ve laboratuvar çalışmalarında tercih edilmekte olup, bütün kullanım avantajlarına rağmen pratik uygulamada ne yazık ki yaygın olarak yer almamaktadır. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında, 100 mm'lik küp numune kullanımının pratik uygulamada da arttırılabilmesi için, numune tip ve boyutlarının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisinin detaylıca incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, i) iki farklı kaynaktan alınan (beton üretim tesisi ve laboratuvar), ii) iki farklı karışım içeriğine sahip (mineral katkılı veya mineral katkısız), iii) dört ayrı beton sınıfına ait (C30, C35, C50 ve C70), iv) iki ayrı tipte (küp ve silindir) ve v) dört farklı boyuttaki numuneler (10cm ve 15cm'lik küpler, 10x20cm ve 15x30cm'lik silindirler) kullanılarak ölçülen basınç dayanım sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Araştırma sonucunda farklı boyutta numuneler üzerinde ölçülen basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki incelenip, silindir dayanımı-küp dayanımı çevirim katsayıları değerlendirilip, küp ve silindir numuneler kendi aralarında karşılaştırılmıştır. Böylelikle, basınç deneyinde kullanılan numunelerin şekil ve ebatlarının deneysel sonuçlara olan etkileri geniş kapsamlı olarak değerlendirilmiş ve 100 mm'lik küplerin pratikte kullanımının uygunluğu incelenmiştir.

Detailed Investigation on The Shape and Size Effect For The Common Use of Small Size Concrete Cube Samples for Compressive Strength Testing

As is known, the sample sizes and sizes accepted for the compressive strength tests of various standards may be different. However, when time and economic factors are considered, it is predicted that the use of smaller size samples in quality control (eg 100 mm cube samples rather than 150 mm cube) will be more advantageous. At the same time, it is very advantageous to use 100 mm cube samples in order to ensure the reduction of the amount of concrete and waste which is lost by using less amount of concrete within the scope of the quality control procedure and to enable the use of a lower capacity concrete pressure press in laboratories. 100 mm cube sample being used as a standard in some European countries such as Norway, despite the EN 206 and take place TSE 13515'to Turkey, often it is preferred in R & D and laboratory work, despite all the advantages in practice unfortunately that is not commonly included. Therefore, in this study, it is aimed to investigate the effect of sample type and dimensions on concrete compressive strength in order to increase the usage of 100 mm cube sample in practical application. In this context, i) taken from two different sources (concrete production plant and laboratory), ii) having two different mixture contents (with or without mineral additive), iii) belonging to four different concrete classes (C30, C35, C50 and C70), iv) (c) two different types (cube and cylinder) and v) four different sizes of samples (10cm and 15cm cubes, 10x20cm and 15x30cm cylinders) measured using the pressure strength results were compared with each other. As a result of the research, the relationship between the measured compressive strength values on different size samples was examined and the cylinder strength-cube strength conversion coefficients were evaluated and the cube and cylinder samples were compared among themselves. Thus, the effects of the shape and size of the samples used in the pressure test on the experimental results have been evaluated extensively and the suitability of the 100 mm cube in practice has been investigated.

¹ irem.sanal@eng.bau.edu.tr, Bahçeşehir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul

² deniz.sarialioglu@oyakbeton.com.tr, Deniz Sarılioğlu, OYAK Beton, Ankara

³ Türkiye Hazır Beton Birliği tarafından düzenlenen Beton İstanbul 2017 Hazır Beton Kongresi'nde sunulmuştur.

Giriş

Beton konusunda yapılan birçok araştırmada, basınç dayanımı en önemli malzeme özelliği olarak kabul edilmektedir. Betonun, diğer birçok özelliğinin basınç dayanımıyla ilişkili olduğu bilinmektedir. Basınç dayanımını etkileyen etkenlerin başında su-bağlayıcı oranı, agrega, çimento ve kullanılan katkıların kalitesi ile kür şartları ve süresi gelmektedir. Ancak, betonun basınç dayanımını etkileyen diğer önemli bir faktör ise, numune boyut ve şeklinin değişimidir. Çünkü basınç dayanımı, betonun kırılma mekaniklerinden dolayı numune boyut ve şekline bağlı olarak değişmektedir (Akçaözöğlü, 2007).

Beton kalite kontrolünde yaygın olarak kullanılan ve tek eksenli basınç dayanımı deneyinde de kullanılan örnek tip ve boyutlar, deney sonuçlarını önemli ölçüde etkilemektedir. Bu sorunların üstesinden gelebilmek amacıyla, numune boyut ve şeklinin basınç dayanım değerleri üzerindeki etkisini en aza indirmek ve basınç dayanım değerlerinde bir birlik sağlayabilmek için numune şekil ve boyutlarında bir standartlaşmaya gidilmiştir. Bunun sonucunda, beton dayanımının tespitinde kullanılan tek eksenli basınç dayanım deneyinde, standart boyutlarda silindir ve küp numunelerin kullanılması öngörülmüştür. Beton basınç dayanımını ölçmede kullanılan numune boyut ve şekilleri ülkeden ülkeye farklılıklar gösterse de en çok kullanılan numune şekilleri küp ve silindirlerdir. Ülkemizin standartlarında yer alan silindir numune boyutları 150x300 mm (Standart silindir numunede, boy/çap=2,0'dır.), küp numune boyutları ise 150x150x150 mm'dir. Ancak, kolay çalışılabilme, iş ve işçi sağlığı, deney aletlerinin kapasitelerinin küçük olması, daha az beton kullanma ve buna bağlı olarak maliyetin daha düşük olması gibi çeşitli sebeplerden dolayı, uygulamalarda standartlarda belirtilen 100x100x100 mm boyutlarındaki numunelerin de kullanılmasının yaygınlaştırılması amaçlanmaktadır. Basınç dayanımı deneyi sonunda elde edilen dayanım değerini etkileyen önemli faktörlerden bazıları aşağıdaki gibi sıralanabilir (Felekoğlu, 2005):

1. Numune şekli ve boyutları,
2. Basınç presi başlığının özellikleri,
3. Deney esnasında uygulanan yükleme hızı,
4. Kür süresi, koşulları ve deney anında ortamın nemlilik - sıcaklık durumu
5. Numunenin alındığı kaynak ve taşınması
6. Beton karışımı içeriği (mineral katkı, agrega tipi-boyutu, vb.)

Bu çalışmada, yukarıda sözü geçen basınç presi başlık özelliği, yükleme hızı, numunenin kür koşulları, nemliliği ve sıcaklığı, agrega tip ve boyutu gibi değişkenler sabit tutularak; numune kaynağının, mineral katkı kullanımının, numune şekil ve boyutunun basınç dayanımına etkileri incelenmiştir.

1.1. Numune Kaynağının Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Taze betonun kalitesi numune alınarak belirlenir. Bu numunelerin, şantiyede dökülen betonun birebir örneği olduğu, onun kalitesini temsil ettiği varsayılır; bu nedenle numune alımı ve korunması, kesinlikle ilgili standartlara uygun olmalıdır. Taze beton numunesi şantiye ya da laboratuvar koşullarında TS EN 12390-2 Standardı'na uygun olarak alınmalı ve saklanmalıdır. Ancak bazen santrallerde üretilen betonun kalitesi elde edilmek istenen betonun kalitesinden farklı olabilmektedir. Bu farklılıklar, karışıma giren malzemenin yapısının değişmesi, santralde karıştırılma süresinin gerekli olandan az veya fazla olması, üretim sonrası beton kıvamı ve teslim sırasındaki beton kıvamının ve sıcaklığının farklı olabilmesinden kaynaklanmaktadır. Betona şantiyede yeterli kür yapılmaması durumunda, betonun dayanım kaybına uğrayacağı ve kür havuzunda tutulan numunelerle, dışarıda tutulan numuneler arasında dayanım açısından 3 kata varan farklar oluştuğu saptanmıştır. (Akakin, 2003) Aynı zamanda, santralde numune alınırken, numunenin beton harmanının tamamını homojen bir şekilde temsil etmesine dikkat edilmeli ve yine dayanım açısından farka sebep olacağı için numune, alındıktan hemen sonra taşınmamalı, bekletilmelidir. Çünkü santralde alınan numuneler, rüzgârdan ve nem kaybından korunmaz ve taşıma işlemi sırasında, mekanik etkiler (sarsılma vb.), sıcaklık değişimleri ve rutubet kaybından etkilenirse, basınç dayanım sonuçlarında da düşüşler ortaya çıkabilecektir.

Bu nedenle, santral üretimli numune ve laboratuvar ortamında üretilen numunelerin farklılıklarını da göz önünde bulundurmak amacıyla, aynı karışımların hem laboratuvar, hem de santral üretimli numuneler teste tabi tutulmuştur.

1.2. Mineral Katkı Kullanımının Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Uçucu kül betonda mineral katkı olarak kullanılan yapay bir puzolandır ve çoğunlukla kendi başına bağlayıcı olmadığı hâlde, sönmüş kireçle hidratasyon reaksiyonuna girerek suda sertleşir. Uçucu kül, elektrik üreten termik santrallerden elde edilir ve beton teknolojisinde ya çimento ile birlikte doğrudan betona katılarak ya da betonda kum yerine kullanılabilirler,

böylelikle daha büyük özgül yüzey ve inceliğe sahip olduklarından bağlayıcı hacminin artmasını ve çimentodan ekonomi yapılmasını sağlarlar. Araştırmalar ağırlıkça % 20 oranında uçucu kül kullanılmasının beton basınç dayanımı açısından olumlu sonuçlar verdiğini göstermiştir (Sümer, 1994). Bunun yanında uçucu kül kullanılması ile betonun erken yaştaki basınç ve eğilme dayanımları düşmekte (Li et al. 2002) (Naik et al. 2002), prizi geciktirmektedir (Fu et al. 2002).

Uçucu kül ile yapılan bir çalışmada (Sümer, 1994) % 20 uçucu kül kullanıldığında kontrol betonuna yakın basınç dayanımları elde edilmiş ve uçucu kül ile birlikte akışkanlaştırıcı da kullanıldığında birim ağırlıklarda azalma meydana gelmiş, akışkanlaştırıcı kullanılmadığında birim ağırlıklar artmıştır. Ayrıca yüksek dayanımlı betonlarda çimento yerine % 25 oranında uçucu kül kullanılması ile basınç dayanımları ve elastisite modülleri düşmekte, çekme ve eğilme dayanımları artmaktadır. Uçucu kül kullanımının beton basınç dayanımını azalttığı ve miktarının artırılması durumunda dayanımın daha da geç kazanıldığı anlaşılmıştır.

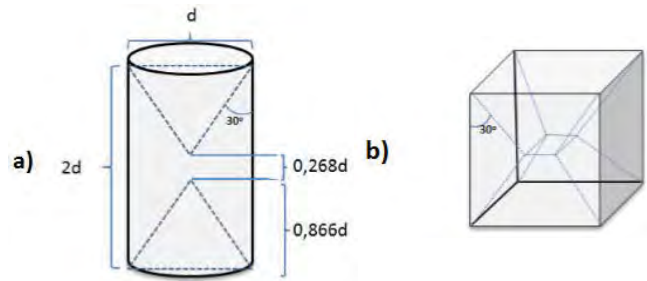
Yapılan başka bir çalışmada ise uçucu külün, çimento üretimi sırasında % 7,5 oranında kullanılmasının betonun mekanik özelliklerini olumlu yönde etkilediği belirtilmektedir (Elkhadiri, 2002).

Dolayısıyla bu çalışma kapsamında, uçucu külün beton basınç dayanımı üzerindeki etkilerini detaylıca görebilmek için, farklı kür sürelerine tabi tutulmuş, farklı beton sınıfında, boyut ve şekilleri farklı olan numunelerin beton basınç dayanımları karşılaştırılacaktır.

1.3. Numune Şeklinin Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Numune şekli ve boyutları basınç dayanım sonuçlarını doğrudan etkilemekte ve genel olarak küp numunelerin basınç dayanımı silindir numunelerden yüksek olmaktadır. Bunun nedenleri: i) silindir numunede gerilme yoğunluğunun daha uniform dağılması ve küp numunede gerilme yoğunluğunun köşelerde daha fazla olması, ii) yükleme makinesi ile numune arasındaki sürtünme kuvvetinin küp numunede daha etkili olması, iii) kırım ve beton döküm yönlerinin farklı olması, ve iv) agrega gradasyonunun küp numune dayanımını silindir numuneden daha çok etkilemesi gibi nedenlerle açıklanabilir (Engin, 2014).

Buradaki en önemli etken numunelerin geometrik şekiller sonucu oluşan gerilme etki alanlarının farklı olmasıdır. Numune yüzeyi ve basınç makinesi başlığı arasındaki sürtünmeden dolayı numunede yatay gerilme oluşur. Bu yatay gerilme basınç dayanımını arttırıcı çok eksenli gerilme etkisi meydana getirir. Konik veya piramit şeklindeki bir alanda bu etki meydana gelir. Şekil 1'de görüleceği gibi küp numune tamamen bu etki altındadır, ancak silindir numunede bu etkinin meydana gelmediği bir bölge mevcuttur.



Şekil 1. Çok eksenli gerilmenin a) silindir ve b) küp numunede etki alanları (Elwell ve Fu, 1995).

1.4. Numune Boyutlarının Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Boyut etkisi göz önünde bulundurulduğunda ise, numunelerin boyutu küçüldükçe basınç dayanımının artmakta olduğu bilinmektedir. Bu durumu en iyi izah edecek durum hacim arttıkça betondaki kusur ve zayıflıkların daha çok ve daha belirgin olmasıdır. Numune boyutlarının büyümesi, istatistiksel olarak, numunede bulunabilecek mikro çatlakların veya diğer hatalı bölümlerin miktarını da artırmaktadır. O nedenle, daha küçük boyutlu numuneler üzerinde yapılan deneylerde, daha yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmektedir (Erdoğan, 2003).

Özdemir (1994), numune şekil ve boyutunun yüksek dayanımlı betonun basınç mukavemeti üzerindeki etkisini araştırmıştır. Basınç dayanım değerleri 40, 60 ve 75 MPa olan üç değişik mukavemet düzeyinde çalışmalar yapmıştır. Araştırmacı, küçük boyutlu ve küçük boy/çap oranına sahip olan numunelerin basınç dayanımında daha iyi sonuçlar gösterdiklerini belirtmektedir. Boy/çap oranlarının yüksek dayanımlı betonların basınç dayanımı üzerindeki etkisini incelendiğinde, boy/çap oranı 1,00 olan numunelerin en iyi performansı gösterdiği ve boy/çap oranı azaldıkça, dayanım değerinin arttığı gözlenmektedir.

Çopuroğlu (2001), betonun dayanım seviyesi ve numunenin şekil ve boyut değişiminin basınç ve yarmada çekme dayanımları üzerindeki etkisini incelemiştir. Araştırmada, farklı S/B oranlarında hazırlanan 7,5x15, 10x20 ve 15x30 cm boyutlarındaki silindirlerle, 10, 15 ve 20 cm boyutlarındaki küp numunelerin tahribatlı ve tahribatsız yöntemlerle 7 ve 28 günlük dayanımları test edilmiştir. Araştırma sonucunda, standart olarak kullanılmakta olan 15 cm'lik küp numuneler ile 15x30 cm boyutlarındaki silindir numunelerin basınç dayanımları arasında 0,74 ile 0,94 arasında değişen bir oran bulunmuştur. Genel eğilim, dayanım seviyesi arttıkça, bu oranın küçüldüğü yönündedir. Küp numunelerde boyut etkisi kurallına uygun olarak numune boyutu büyüdükçe, dayanımların azaldığı görülmüştür. Ancak silindir numunelerde bunun tam tersi bir durumla karşılaşmıştır. Araştırmacı bu durumun sebebini, çeper etkisi ve başlık yapımındaki güçlükler bağlamaktadır.

1.5. Beton Dayanım Sınıfının Basınç Dayanım Sonuçlarına Etkisi

Felekoğlu ve Türkel (2005), farklı boyutlarda küp ve silindir formdaki numunelerin basınç dayanım değerlerini iki farklı dayanım sınıfı için incelemişler ve bu boyutlar arasında geçiş katsayıları önermişlerdir. Elde edilen bulgular ışığında, numuneler arasındaki geçiş katsayılarının beton dayanım sınıfına göre değişkenlik gösterdiği belirlenmiştir. Çalışmada, küçük boyutlu numuneler kullanıldığında, elde edilen dayanımların ve sonuçlardaki değişkenliğin arttığı belirtilmektedir.

1.6. Küçük Boyutlu Numunelerin Basınç Dayanım Testinde Kullanılması

Basınç dayanımı deneylerinde kullanılan beton numunelerin boyutunun küçük olması bazı avantajlara sebep olmaktadır. Bu avantajlar: (i) küçük boyutlu numunelerin daha kolay kaldırılabilir ve taşınabilir olması, (ii) numuneler için kullanılan kalıplar da küçük olduğundan maliyetlerin daha düşük olması, (iii) daha az miktarda beton kullanılması sonucu, zayi olan beton miktarının ve atığın azalması (iv) küçük boyutlu numunelerin kesit alanları ve dolayısıyla kırılma yükleri de daha küçük olduğundan, daha düşük kapasiteli makinelerde deneye tabi tutulabilmeleri ve (v) numunelerin hazırlanması için daha az beton, kür işlemleri için daha az alan gerekli olması gibi sıralanabilir.

Öte yandan, örnek numunelerin boyutunun küçük kullanılmasının getirdiği bazı dezavantajlar da olabilmektedir, örneğin

numunelerin boyutunun küçük olması, dayanımların göreceli olarak artmasına neden olup, deney sonuçları arasında değişkenliği artırarak, karşılaştırma yapılmasını güçleştirebilmektedir.

TS EN 206 Standardı 150 mm kenar ebatlı küp ve 150/300 mm ebadında silindir numunelerin kullanılmasına izin vermiş; ancak farklı ebatlar için de açık kapı bırakmıştır. 2015 yılında yayımlanan bir genelge ile 100/200 mm ebadında silindir numune alınmasının da önü açılmıştır (EK 1). 100 mm'lik küp numune kullanımı ise birçok avantajları olmasına ve standartlar açısından kullanımının mümkün olmasına rağmen pratik uygulamada ne yazık ki yer almamaktadır.

Bu nedenle, bu çalışmada, 100 mm'lik küp numune kullanımının pratik uygulamada da arttırılabilmesi için, numune tip ve boyutlarının beton basınç dayanımı üzerindeki etkisinin detaylı olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Küçük numunelerle elde edilen dayanımların ve sonuçlardaki değişkenliğinin inceleneceği bu çalışma kapsamında, i) iki farklı kaynaktan alınan (beton üretim tesisi ve laboratuvar), ii) iki farklı karışım içeriğine sahip (mineral katkılı veya mineral katkısız), iii) dört ayrı beton sınıfına ait (C30, C35, C50 ve C70), iv) iki ayrı tipte (küp ve silindir) ve v) dört farklı boyuttaki numuneler (10cm ve 15cm'lik küpler, 10x20cm ve 15x30cm'lik silindirler) kullanılarak ölçülen basınç dayanım sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

2. Deneysel Çalışma

Beton karışımlarında kullanılan malzemeler, karışım oranları ve deneysel çalışmalarda kullanılan yöntemler bu bölümde sunulmuştur.

2.1. Kullanılan Malzemeler

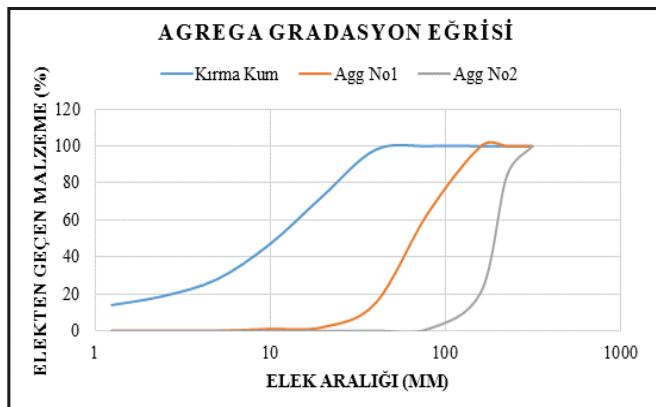
Hem laboratuvarında yapılan deneysel çalışmalar süresince hem de santralden temin edilen numuneler için kullanılan malzemeler ve özellikleri aşağıda belirtilmiştir.

2.1.1. Agrega

Çalışmaların tamamında aynı kaynaktan ve aynı kırma eleme tesisinden elde edilen kırmakum (0-4mm), kırmataş No1 (4-11,2 mm) ve No2 (11,2-22,4 mm) agregaları kullanılmıştır. Kullanılan agregaların fiziksel özellikleri ve karışım tane boyut dağılımı, Tablo 1 ve Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 1. Beton dizaynında kullanılan agregaların fiziksel özellikleri ve karışım oranları

Deney Adı	Numune Tanımı	Sonuç
Tane Yoğunluğu (Yüzey Kuru Suya Doygun)	Kırma Kum	2,65 Mg/m ³
	Agrega No1	2,66 Mg/m ³
	Agrega No2	2,68 Mg/m ³
Su Emme Oranı	Kırma Kum	1,40%
	Agrega No1	0,70%
	Agrega No2	0,60%
Yassılık endeksi	Agrega No1	4%
	Agrega No2	2%
İri agregaların parçalanmaya karşı direnci- Los Angeles	Agrega No1	20%
	Agrega No2	
Çok ince malzeme muhtevası (0,063 mm geçen)	Kırma Kum	11,60%

Şekil 2. Kullanılan agregaların tane boyut dağılımı

2.1.2. Çimento

Deneyisel çalışmada CEM I 42,5 tipi çimento kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun üretici firmadan alınan fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Deneyisel çalışmada kullanılan CEM I 42,5R çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikleri

Özellikler	CEM I 42,5R
Kızdırma Kaybı (%)	1,67
SO ₃ (%)	2,724
Cl (%)	0,008
Çözünmeyen Kalıntı (%)	1,04
2 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	27,3
7 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	42,5
28 Günlük Basınç Dayanımı (MPa)	57,3
Priz Başlangıcı (dk)	150
Priz Sonu (dk)	215
Hacim Genleşmesi (mm)	1
Yoğunluk (gr/cm ³)	3,12
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	3950

2.1.3. Uçucu Kül

Tunçbilek Uçucu külü için EN 450-1 Standardı’na göre yapılmış olan kimyasal ve fiziksel analiz sonuçları Tablo 3’te verilmiştir.

Tablo 3. Tunçbilek uçucu külünün kimyasal özellikleri

KİMYASAL DENEYLER (%)	
SiO ₂	56,3
Al ₂ O ₃	20,7
Fe ₂ O ₃	10
CaO	3,52
MgO	3,24
Na ₂ O	0,376
K ₂ O	1,95
SO ₃	1,74
Klorür (Cl ⁻)	0,0078

2.1.4. Akışkanlaştırıcı Kimyasal Katkı

Deneysel çalışma programında dört farklı dayanım sınıfında beton üretimi yapılmış olup, su kesme amacıyla akışkanlaştırıcı kimyasal katkı kullanılmıştır. Söz konusu katkı C30 ve C35'de Glenium 150; C50 beton sınıfında Glenium 3561; C70 da ise Glenium 608'dir.

2.2. Deneysel Yöntemi ve Karışım Oranları

Deneysel çalışmada basınç dayanım testine tabi tutulacak numuneler 2 farklı boyutta (10x20 cm ve 15x30cm) silindir ve

2 farklı boyutta (10x10cm ve 15x15cm) küp numuneler olarak belirlenmiştir.

Beton karışım oranları, OYAK Beton'un standart reçetelerine göre, çökme değeri 15 (± 3) cm olacak şekilde belirlenmiş ve C30, C35, C50 ve C70 sınıfı betonlar için hazırlanmıştır. Deneysel çalışmada numune boyut ve şekil değişkenlerine ek olarak, bu 4 farklı dayanım sınıfında hem mineral katkısız, hem de mineral (uçucu kül) katkılı beton üretimi hedeflenmiştir. Beton karışım bileşenlerinin detayları Tablo 4'te sunulmuştur.

Tablo 4. Deneysel Çalışmada Kullanılan Beton Karışım Oranları

Malzemeler	Tip	Mineral Katkısız				Tip	Mineral Katkılı			
		C30	C35	C50	C70		C30	C35	C50	C70
w/c oranı	-	0.65	0.6	0.45	0.38	-	0.65	0.6	0.45	0.38
w/b oranı	-	0.64	0.59	0.44	0.37	-	0.64	0.59	0.44	0.37
Serbest Su Miktarı	kg/m ³	166	165	159	163	kg/m ³	166	165	159	163
Teorik Hava Miktarı	%	2	2	2	2	%	2	2	2	2
Kıvam Sınıfı	Çökme	15+- 3	15+- 4	15+- 5	15+- 6	Çökme	15+- 3	15+- 4	15+- 5	15+- 6

Ancak bazen santrallerde üretilen betonun kalitesi elde edilen betonun kalitesinden farklı olabilmektedir. Bu farklılıklar, karışıma giren malzemenin yapısının değişmesi, santralde karıştırılma süresinin gerekli olandan az veya fazla olması, üretim sonrası beton kıvamı ve teslim sırasındaki beton kıvamının ve sıcaklığının farklı olabilmesinden kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, santral üretilmiş numune ve laboratuvar ortamında üretilen numunelerin farklılıklarını da göz önünde bulundurmak amacıyla, aynı karışımların hem laboratuvar hem de santral üretilmiş numuneler teste tabi tutulmuştur.

Beton basınç dayanımının elde edilmesi Standart deney yöntemi TS EN 12390-3:2010 verilmektedir. Standart deney yönteminin uygulamasında, beton standartlarında belirtilen

standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Beton numune bu kalıplara yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıptan çıkarılmaktadır. Bu numuneler daha sonra standartta belirtilen yöntem uygulanarak 28 günlük küre tabi tutulmakta ve kırılım gününde deney presi vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılmaktadır. Üretilen numunelerin tamamına TS EN 12390-2 Standardı'na uygun olarak su kürü uygulanmıştır. İzlenen ısıl işlem programında numuneler 28 gün süreyle $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 'de kirece doygun su içinde saklanmıştır.

3. ÇIKTILAR

3.1. Deneysel Çıktılar

Deneysel çalışmaya kapsamındaki bütün numunelerin aynı yüklemeye ve ortam koşullarında elde edilen ortalama (3 numuneden) basınç dayanımları Tablo 5'te verilmiştir.

Tablo 5. Basınç Dayanım Sonuçları

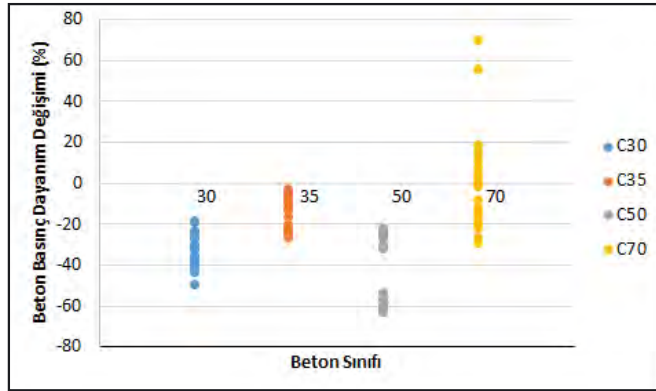
Katkı	Kaynak	Beton Sınıfı	Ortalama Beton Basınç Dayanımı (MPa)											
			2 günlük				7 günlük				28 günlük			
			K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15
Katkısız	Lab	C30	14	11	11	10	46	43	39	37	50	49	43	42
		C35	24	23	23	22	42	41	41	40	49	50	48	47
		C50	45	45	43	40	65	63	60	58	74	69	68	66
		C70	63	62	59	57	70	68	69	63	79	72	74	71
	Santral	C30	8	7	7	6	32	31	28	29	38	37	35	34
		C35	22	22	21	21	39	37	35	35	48	46	46	45
		C50	39	38	37	37	44	42	41	40	50	45	49	42
		C70	51	50	45	46	78	70	69	68	81	78	76.3	72
Katkılı	Lab	C30	10	9	9	9	40	37	37	36	46	43	46	41
		C35	31	29	27	27	44	41	40	39	54	49	49	47
		C50	45	44	45	43	65	64	61	60	77	72	69	66
		C70	52	49	45	42	67	62	67	60	82	75	80	71
	Santral	C30	6	6	6	5	25	23	23	23	35	33	31	30
		C35	23	22	22	20	40	38	36	36	45	46	45	43
		C50	20	21	35	33	51	44	45	44	59	54	51	46
		C70	41	39	33	35	69	65	56	58	81	74	67	72

3.1.1. Numune Kaynağının Basınç Dayanımına Etkisi

Tablo 5'teki basınç dayanım sonuçlarından da görüleceği gibi, santralden alınan beton numunelerin basınç dayanımları, C70 sınıfı numuneler hariç, laboratuvar numunelerine göre çoğunlukla düşük dayanım göstermiştir. Santral numunelerinin basınç dayanımındaki düşüşü daha iyi gözlemleyebilmek adına, Tablo 6 ve Şekil 3'te beton sınıflarına göre, santral ve laboratuvar numuneleri arasındaki basınç dayanımının yüzdesel değişimi verilmiştir.

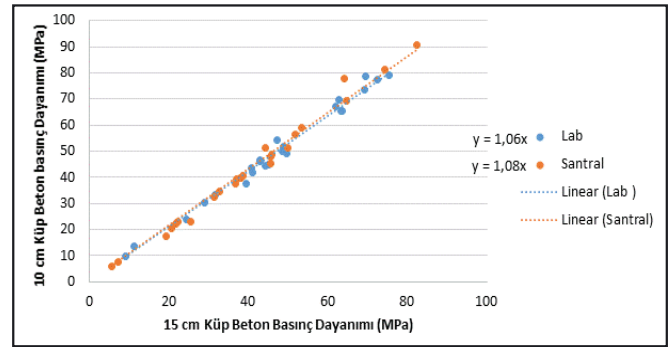
Tablo 6. Santral ve laboratuvar numuneleri arasındaki basınç dayanımındaki yüzdesel değişim

Beton Sınıfı	Santral Numuneleri Beton Basınç Dayanımındaki Değişim (%)																							
	Katkısız												Katkılı											
	2 günlük				7 günlük				28 günlük				2 günlük				7 günlük				28 günlük			
	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15
C30	-44	-35	-41	-33	-30	-27	-27	-23	-25	-24	-19	-19	-39	-38	-39	-49	-38	-36	-37	-36	-25	-24	-31	-31
C35	-8	-5	-9	-26	-6	-10	-13	-21	-3	-8	-6	-12	-24	-23	-20	-24	-9	-7	-9	-6	-17	-4	-10	-12
C50	-61	-57	-62	-60	-25	-27	-24	-30	-24	-25	-25	-32	-54	-54	-63	-62	-22	-30	-26	-27	-24	-26	-25	-31
C70	-19	-20	56	70	11	2	16	0	15	18	8	3	-22	-21	-26	-30	3	5	-14	-12	3	-1	-15	-9



Şekil 3. Beton sınıflarına göre, santral ve laboratuvar numuneleri arasındaki basınç dayanımındaki yüzdesel değişim

Tablo 6 ve Şekil 3'te de görüleceği gibi, C30-35 sınıfı normal dayanımlı betonlarda, santralden alınan numunelerin beton basınç dayanımları, laboratuvar ortamında dökülen numunelerin beton basıncından düşük çıkmıştır. Yalnızca, C70 sınıfı şantiyeden alınan numunelerin basınç dayanımları, laboratuvar ortamında dökülen numunelerin basınç dayanımından yüksek çıkmıştır. Santral numunelerinin basınç dayanım sonuçlarının laboratuvar numunelerine kıyasla, kürün hemen başlatılamaması, santralden numunelerin taşınma süresi, şantiye ortamında kalıpların durumu, ve benzeri gibi sebepler düşünüldüğünde düşük çıkması beklenen bir durumdur. Ancak, yüksek dayanımlı C70 sınıfı numunelerde, santral numunelerinin daha yüksek basınç dayanım sonucu vermesi, diğer faktörlerle birlikte de incelenip açıklanması gereken bir konudur.



Şekil 4. 10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı küp numunelerin beton basınç dayanımlarının kaynak etkisine göre karşılaştırılması

10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı küp numunelerin beton basınç dayanımlarının kaynak etkisine göre karşılaştırılmasının verildiği Şekil 4, detaylıca incelendiğinde numunenin alındığı kaynağın, farklı boyutlardaki küp numune basınç dayanımı arasındaki ilişki ve dönüşüm katsayısı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı görülmektedir.

3.1.2. Mineral Katkı Kullanımının Basınç Dayanımına Etkisi

Mineral katkı kullanımının beton basınç dayanımına etkisi Tablo 7 ve Şekil 5'te detaylıca verilmiştir. Tablo 7 detaylı olarak incelendiğinde, mineral katkı kullanılan numunelerin 2 günlük basınç dayanımlarında düşüş gözlenirken, kür süresi 2 günden 28 güne çıktığında numunelerin büyük çoğunluğu için basınç dayanımlarında olumsuz bir etki görülmemiştir.

Tablo 7. Mineral katkı ve katkısız numunelerin ortalama arasındaki dayanım sonuçları

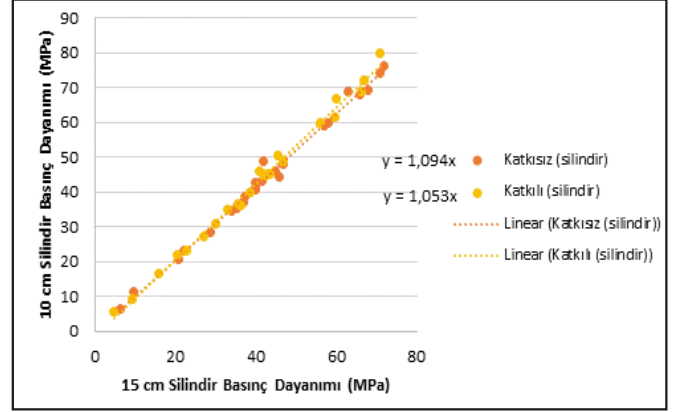
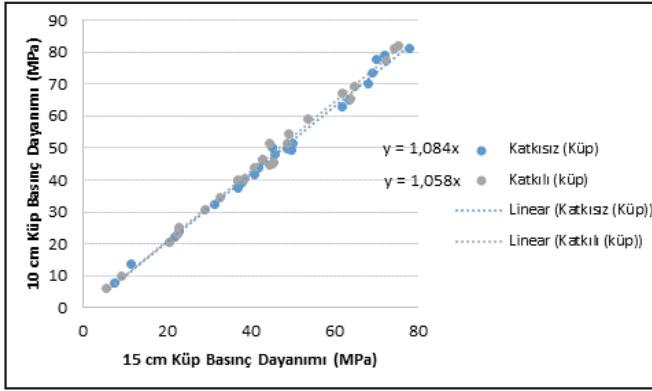
Kaynak	Beton Sınıfı	Ortalama Beton Basınç Dayanımı (MPa)																							
		Katkısız												Katkılı											
		2 günlük				7 günlük				28 günlük				2 günlük				7 günlük				28 günlük			
		K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15
Lab	C20	14	11	11	10	46	43	39	37	50	49	43	42	10	9	9	9	37	40	37	36	46	43	44	44
	C25	24	24	23	28	42	41	41	45	49	50	48	51	31	29	27	27	44	41	40	39	54	47	47	49
	C40	45	45	43	40	65	63	59	62	74	69	66	68	45	44	45	43	65	64	61	60	77	72	68	66
	C60	33	32	29	27	70	63	59	68	79	70	71	74	52	49	45	50	67	62	65	67	79	75	79	79
Santral	C20	8	7	7	6	32	31	28	29	38	37	35	34	6	6	6	5	23	25	23	23	35	33	30	31
	C25	22	22	21	21	39	37	35	35	48	46	45	45	23	22	22	20	40	38	36	36	45	46	43	43
	C40	18	19	17	16	49	46	45	43	56	52	50	47	20	21	17	16	51	44	45	44	59	54	51	46
	C60	51	50	45	46	78	64	69	68	91	82	76	76	41	39	33	35	69	65	56	58	81	74	67	72

Dolayısıyla mineral katkıli betonlarda beklenen bir sonuç olan, erken yaşlarda basınç dayanımında düşüş gözlenirken, ileriki yaşlarda basınç dayanımı üzerinde fazla bir değişim gözlenmemektedir. C50 sınıfı betonlarda mineral katkının beton basınç dayanımı üzerinde etkisi neredeyse hiç yoktur. C25 sınıfı betonlarda mineral katkının beton basınç dayanımına etkisi erken yaşta (2 günlük), %16 civarında bir artışa neden olurken, 7 günlük ve 28 günlük test sonuçlarında bu etki oldukça azalmış ve kaybolmuştur.

Tablo 8. Mineral katkıli numunelerin basınç dayanımındaki yüzdesel değişim

Kaynak	Mineral Katkıli Numunelerin Beton Basınç Dayanımındaki Değişim (%)											
	2 günlük				7 günlük				28 günlük			
	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15	K10	K15	S10	S15
Lab	-27	-20	-17	-2	-14	-14	-6	-5	-7	-12	7	-1
	27	26	18	23	4	0	-2	-3	10	-1	2	0
	-1	-2	4	7	0	0	2	3	5	5	1	1
	-18	-21	-23	-26	-4	-9	-3	-5	4	5	8	0
Santral	-21	-23	-14	-27	-23	-27	-18	-20	-8	-11	-11	-12
	5	3	5	-2	1	3	3	3	-5	0	-2	-4
	-48	-46	-55	-57	17	6	10	9	18	19	3	9
	-21	-23	-21	-28	-11	-7	-13	-17	0	-5	-6	-7

Şekil 6a ve 6b'deki genel eğilime bakıldığında ise, 10 cm ve 15 cm ebatlı küp ve silindirik numunelerin basınç dayanım sonuçları arasındaki ilişki, mineral katkı kullanımından oldukça az etkilenmiştir.



Şekil 5. 10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı a) küp ve b) silindir numunelerin beton basınç dayanımlarının mineral katkı etkisine göre karşılaştırılması

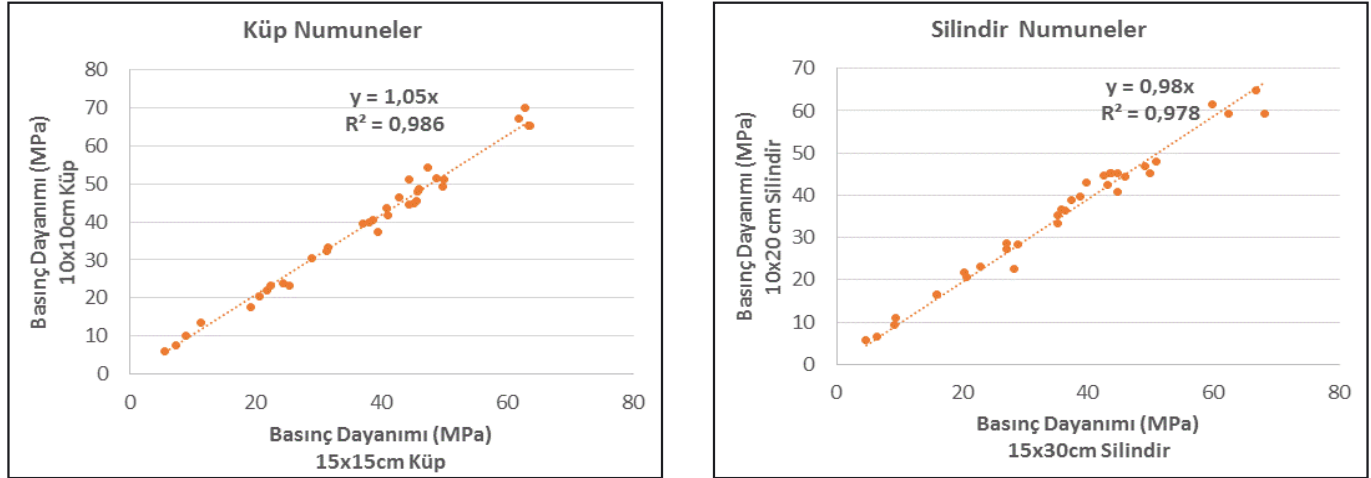
3.1.3. Numune Boyutunun Basınç Dayanımına Etkisi

Aynı betondan üretilen değişik boyuttaki numunelerin basınç dayanımları, boyut etkisinden dolayı farklı olabilmektedir. Tablo 7’de 15 mm’lik küp ve silindir numunelerin beton basınç dayanım sonuçları 10 mm’lik numunelerle karşılaştırılmış ve sonuçları yüzde değişim olarak verilmiştir.

Tablo 9. 15 mm ebatlı küp ve silindir numunelerin beton basınç dayanımındaki yüzdesel değişim

Katkı	Kaynak	Beton Sınıfı	Beton Basınç Dayanımı Azalış (%)					
			2 günlük		7 günlük		28 günlük	
			Küp	Silindir	Küp	Silindir	Küp	Silindir
Katkısız	Lab	C30	-16	-14	-8	-4	-2	-3
		C35	-4	-4	-2	-2	1	-2
		C50	0	-7	-3	-3	-6	-3
		C70	-2	-3	-3	-9	-9	-4
	Santral	C30	-4	-2	-3	1	-2	-2
		C35	-1	1	-6	-1	-5	-3
		C50	-3	0	-5	-2	-10	-14
		C70	-3	3	-10	-2	-4	-6
Katkılı	Lab	C30	-9	1	-8	-2	-7	-11
		C35	-5	-1	-7	-3	-10	-4
		C50	0	-5	-3	-3	-6	-4
		C70	-5	-7	-8	-10	-8	-11
	Santral	C30	-7	-16	-8	-1	-5	-3
		C35	-3	-6	-5	0	0	-4
		C50	-5	-6	-13	-3	-9	-10
		C70	-6	-9	-6	-7	-8	-7

Numunelerin beton basınç dayanım sonuçlarından da görülebileceği üzere, (15 mm'lik) büyük boyutlu numunelerin sonuçlarında çoğunlukla azalma olduğu farkedilmiştir. Büyük boyutlu numunelerin beton basınç dayanımlarının küçük boyutlu numunelere göre düşük çıkması, literatürdeki önceki çalışmalar ve numunedeki kusur bulunma olasılığının artışı göz önünde bulundurulduğunda, beklenen bir sonuçtur.



Şekil 6. a) Küp ve b) silindir numunelerin beton basınç dayanımlarının boyut etkisine göre karşılaştırılması

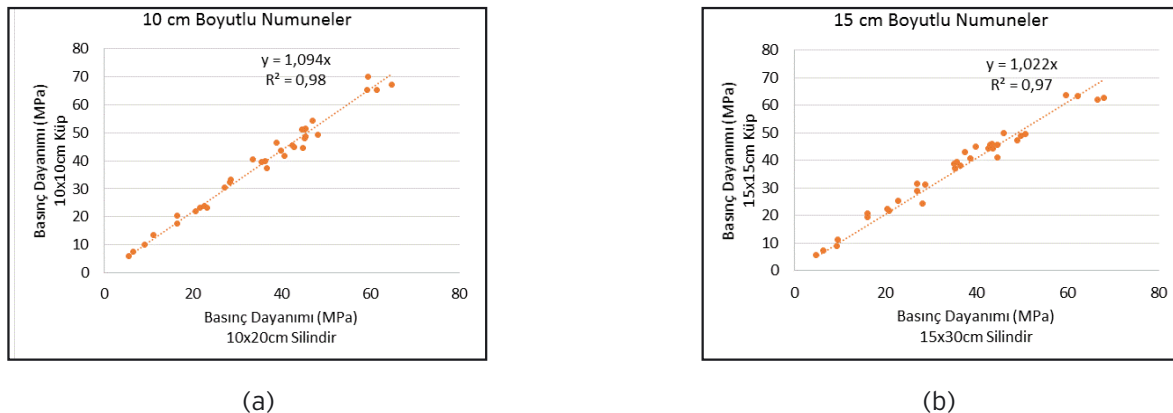
Şekil 6'dan da görüldüğü üzere, küp numunelerde 15 cm ebatlı numune ve 10 cm ebatlı numune arasındaki dönüşüm katsayısı oldukça yüksek bir korelasyonla 1,05 çıkmış olup, bu değer silindir numuneler için yine çok yüksek bir korelasyonla 0,98 çıkmıştır. Bu çıktıları dayanarak, hem küp hem de silindir numuneler için boyut arttıkça, beton basınç dayanımının azalmakta olduğu söylenebilir. Bu durumun oluşma nedenleri beton numunelerin alt ve üst yüzeyleri ile deney presinin başlıklarının yüzeyleri arasındaki sürtünme nedeniyle numunelerin uçlarına yakın kısımlardaki kayma kuvvetinin etkisi numunenin kesit alanına göre farklı olmasıdır. Küçük boyutlu numunelerde bu yüzey, büyük numunelere kıyasla küçüktür. Ancak, başlıca neden, küçük boyutlu numunelerin kesit alanları ve hacimlerinin küçük olması ve bulunan kusur oranının azalmasından kaynaklanmaktadır. Numune boyutlarının büyümesi, istatistiksel olarak numunede

bulunabilecek mikro çatlakların veya diğer hatalı bölümlerin miktarını da artırmaktadır. Bu nedenle, küçük numuneler üzerinde yapılan deneylerde daha yüksek dayanım elde edilmektedir.

Lessard ve ark. (1993), çeşitli beton numuneler üzerinde gerçekleştirdikleri deneylerde, 100x200 mm boyutlu silindir ile 150x300 mm boyutundaki silindirlerin basınç dayanımları arasında 1,05 gibi bir oran saptamışlardır.

3.1.4. Numune Şeklinin Basınç Dayanımına Etkisi

Küp numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanımı değeri, silindir numuneden elde edilen basınç dayanımından yüksektir. Değişik dayanımlara sahip betonlar kullanılarak araştırılan 15x30cm boyutlu silindirlerle, 15cm boyutlu küpler ve 10x20cm boyutlu silindirlerle, 10cm boyutlu küpler arasındaki ilişki Şekil 7 ve Tablo 8'de detaylı olarak verilmiştir.



Şekil 7. a) 10 cm ebatlı ve b) 15 cm ebatlı küp ve silindir numunelerin beton basınç dayanımlarının şekil etkisine göre karşılaştırılması

Deney sonuçlarına göre, hem 10cm, hem de 15cm kenar uzunluğu olan küp numunelerde, silindir numunelere göre daha yüksek dayanım elde edilmiştir. Silindir basınç dayanımı ve küp basınç dayanımı arasında dönüşüm katsayısı olarak 10 cm'lik numuneler için, 1.094 bulunurken; 15 cm'lik numuneler için 1.022 bulunmuştur. Bunun başlıca sebeplerinden biri silindir numunelerde yükleme başlığıyla temas eden yüzeyin zayıf olmasıdır. Silindir kalıplara yerleştirilen beton numune, sertleştikten sonra bu ekseninde kırılmaktadır, fakat küp kalıba dikey ekseninde yerleştirilen beton, sertleştikten sonra 90 derece çevrilerek kırılmaktadır. Silindir numunelerin bu nedenle üst kısmı terlemeden dolayı daha gözenekli ve zayıf bir yapıya sahiptir. Küp numunede böyle bir durum söz konusu değildir. Bu nedenle de küp numunelerin basınç da-

yanımlarının silindir numunelerden yüksek olması beklenen bir durumdur.

Şekil 7 daha detaylı incelendiğinde ve bulunan silindir-küp basınç dayanımı dönüşüm katsayıları da göz önünde bulundurulduğunda, silindir basınç dayanımı ile küp basınç dayanımı arasındaki farkın, küçük boyutlu betonlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Küp numunelerin basınç dayanımının, silindir numunelerin basınç dayanımından daha fazla olmasının nedenleri boy/çap oranı 2 olan silindir numunelerin alt ve üst uçlarına yakın kısımları kayma kuvvetleri etkisinde bulunurken, numune ortalarına doğru kayma kuvvetinin etkisi ortadan kalkmasıyla açıklanabilir. Küp numunelerde ise, boy/genişlik oranı 1'dir. Bu nedenle, kayma kuvvetlerinin etkisinden kurtulamamaktadır.

Tablo 10. Silindir numunelerin beton basınç dayanımındaki yüzdesel değişim

Katkı	Kaynak	Beton Sınıfı	Küp Numunelere Göre Basınç Dayanımı Düşüş (%)					
			2 günlük		7 günlük		28 günlük	
			S10	S15	S10	S15	S10	S15
Katkısız	Lab	C30	-18	-14	-16	-4	-14	-3
		C35	-5	25	-3	10	-2	6
		C50	-5	-7	-9	5	-11	4
		C75	-14	-6	-15	14	-10	5
	Santral	C30	-14	-2	-12	1	-8	-2
		C35	-6	1	-10	-1	-6	-1
		C50	-6	-3	-7	-4	-12	-6
		C75	-13	3	-11	-2	0	0
Katkılı	Lab	C30	-7	1	-2	-2	-5	0
		C35	-11	-1	-9	-3	-14	4
		C50	0	-5	-6	-3	-13	-2
		C75	-12	10	-3	3	0	-1
	Santral	C30	-7	-16	0	-1	-13	1
		C35	-6	-6	-9	0	-6	1
		C50	-19	-3	-12	-3	-14	-10
		C75	-18	5	-19	4	0	0
Toplam Düşüş			-161	-17	-145	15	-127	-3

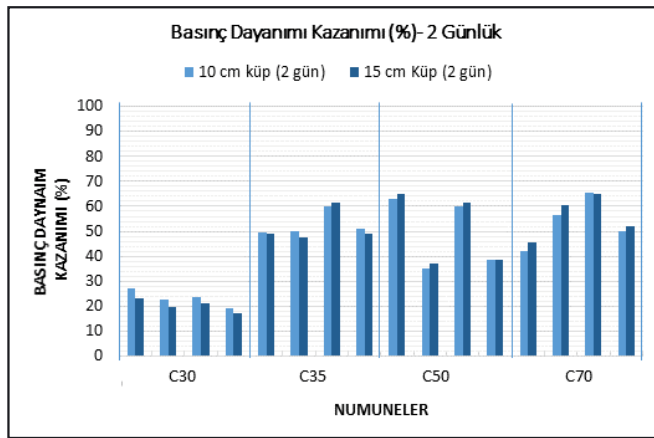
Tablo 8 incelendiğinde de yine silindir numunelerdeki basınç dayanım düşüşlerinin 10cm'lik (ufak boyutlu) numunelerde daha belirgin bir fark yarattığı görülmüştür. Bu sonuç, silindir-küp basınç dayanım dönüşümleri için bulunmuş olan katsayılarla da tutarlıdır. Bir başka deyişle, küçük boyutlu numunelerde küp ve silindir beton basınç dayanım farkı, daha büyük boyuttaki numunelere göre fazla olmaktadır. Yani numune boyutu küçüldükçe, silindir-küp beton basınç dayanımı arasındaki fark artmaktadır.

Ayrıca yine, Tablo 8 incelendiğinde küp ve silindir numune dayanımları arasındaki değişim yüzdelerinden, beton dayanım sınıfı arttıkça aradaki farkın genelde azaldığı görülmektedir. Yapılan çalışmalarda ve literatürde yer alan makalelerde de C50 ve üzeri beton sınıflarında küp ve silindir numune

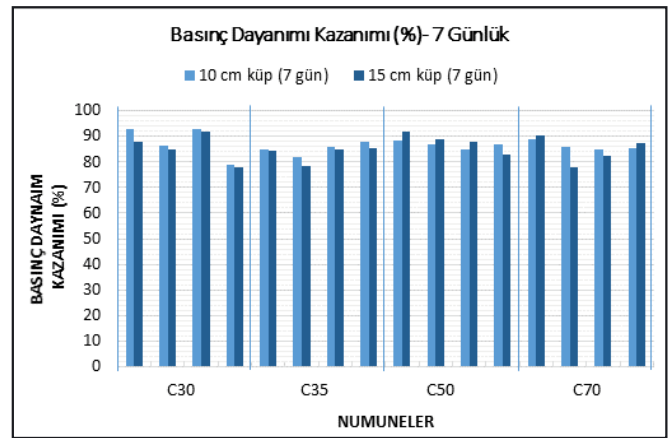
arasındaki dayanım farkının standardın belirttiği değerlerden daha az olduğu tespit edilmiştir.

3.1.5. Numune Yaşının Beton Basınç Dayanımına Etkisi

Beton dayanımını etkileyen önemli faktörlerden biri de betonun yaşıdır. Beton basınç testleri standarda uygun olarak, 28 günlük dayanımları ölçmek üzere uygulanır, çünkü 28 günden sonraki dayanım artışı çok azdır. Deneysel çalışma kapsamında, numune yaşının beton boyutlarına bağlı bir etkisi olup olmadığının detaylıca incelenmesi için, erken basınç dayanımlarının da ölçülüp karşılaştırılması düşünülmüş ve beton numunelerin 2 günlük, 7 günlük ve 28 günlük basınç dayanım değerleri ölçülmüştür. 10 cm ve 15 cm ebatlı numuneler için, dayanım kazanım değerleri nihai dayanıma göre yüzdesel olarak hesaplanmış ve aralarındaki ilişki Şekil 8'de detaylıca verilmiştir.



(a)

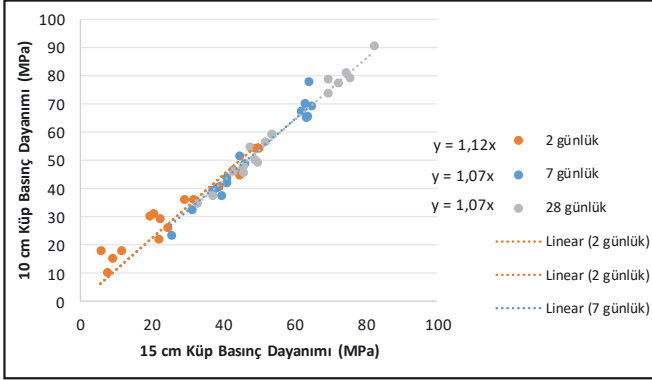


(b)

Şekil 8. 10 cm ve 15 cm ebatlı küp numunelerin 28 günlük basınç dayanımlarına göre, dayanım kazanım yüzdeleri
a) 2 günlük kür süresi, b) 7 günlük kür süresi

Şekil 8a ve 8b'den de görüleceği üzere, daha küçük boyutlu olan 10 cm ebatlı küp numuneler, C30 ve C35 sınıfı numuneler için, hem 2 günlük hem de 7 günlük dayanım sonuçlarında daha yüksek sonuç vermiştir. Dolayısıyla C30 ve C35 sınıfı betonlarda, küçük boyutlu numunelerin dayanım kazanımının, büyük boyutlu numunelere göre daha hızlı olduğu sonucu görülmüştür. C50 sınıfı numuneler için 2 ve 7 günlük dayanım kazanımlarında ise, 10 cm ve 15 cm ebatlı numunelerin basınç dayanım kazanımlarında numune boyutunun etkisi neredeyse hiç görülmemiştir. Ancak, C70 sınıfı numunelerin sonuçları incelendiğinde, bu kez büyük boyutlu olan 15 cm ebatlı küp numunelerin, hem 2, hem de 7 günlük sonuçlarında küçük boyutlu numunelere göre az da olsa daha fazla dayanım kazandığı görülmüştür.

Deneysel çalışma sonucu ölçülen bu değerler, beklendiği gibi daha küçük boyutlu numunelerin, daha büyük boyutlu numunelere göre daha hızlı kurumakta olup, daha hızlı dayanım kazanması sonucuyla örtüşmektedir. O nedenle, ilk günlerde, deneye tabi tutulan numunelerde, daha küçük boyutlu olanlar, daha yüksek dayanım göstermektedir. Bu etki düşük sınıftaki betonlar için (C30 ve C35) daha fazla görülmektedir. Betonun yaşı, ilerledikçe, değişik boyutlu numuneler arasındaki dayanım farkı azalmakta, dolayısıyla numune boyut etkisi de gözlenmemektedir.

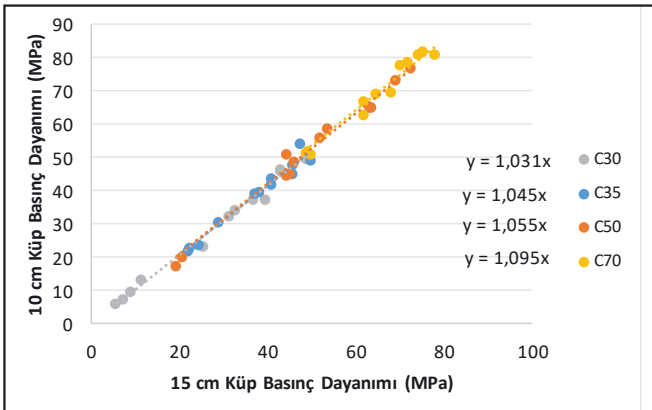


Şekil 9. 10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı a) küp numunelerin beton basınç dayanımlarının beton yaşına göre karşılaştırılması

10 cm ve 15 cm ebatlı küp ve silindir numunelerin basınç dayanım sonuçları arasındaki ilişki, erken dayanım değerleri için (2 günlük) küçük boyutlu numunelerde, büyük boyutlu numunelere göre daha yüksek olup, aralarındaki fark 1,12 dönüşüm katsayısı ile daha fazla iken, 7 ve 28 günlük dayanım sonuçlarında, küçük boyutlu numunelerin basınç dayanımı büyük boyutlu numunelere göre daha az artış göstermekte, dönüşüm katsayısı 1,07'ye inmekte ve basınç dayanım kazanım yüzdesi üzerinde numune boyutunun etkisi azalmaktadır.

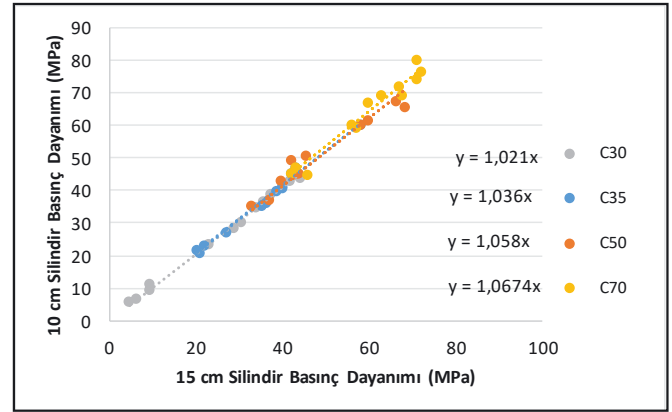
3.1.6. Farklı Beton Sınıfının Basınç Dayanımına Etkisi

Araştırma sonucunda, standart olarak kullanılmakta olan 15 cm'lik küp numuneler ile 10 cm'lik küp numunelerin basınç dayanımları arasında lineer bir ilişki bulunmuştur; ancak bu ilişkinin farklı beton sınıflarına göre nasıl bir değişim gösterdiği ise daha detaylı olarak Şekil 10'da verilmiştir.



Şekil 10. 10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı küp numunelerin beton basınç dayanımlarının beton sınıflarına göre karşılaştırılması

Şekil 10'da görüldüğü üzere, 15 cm ebatlı küp numunelerin basınç dayanımlarının 10 cm ebatlı küp numune basınç dayanımlarıyla ilişkilendirilmesi için bulunmuş olan katsayılar 1,031 ile 1,095 arasında değişen bir oran bulunmuştur. Genel eğilim, dayanım sınıfı arttıkça, bu oranın arttığı yönündedir. Dolayısıyla, yüksek dayanım sınıfında küçük boyutlu numuneler kullanıldığında, elde edilen dayanım sonuçlarının artmasıyla birlikte, numune boyutuna bağlı olan dayanım ilişkisindeki değişkenliğin arttığı da söylenebilir.



Şekil 11. 10 cm ebatlı ve 15 cm ebatlı silindir numunelerin beton basınç dayanımlarının beton sınıflarına göre karşılaştırılması

Şekil 11'de görüldüğü üzere, 15 cm ebatlı silindir numunelerin basınç dayanımlarının 10 cm ebatlı silindir numune basınç dayanımlarıyla ilişkilendirilmesi için bulunmuş olan katsayılar 0,965 ile 1,02 arasında değişen bir oran bulunmuştur. Silindir numunelerin basınç dayanımı söz konusu olduğunda, küp numuneler için olduğu gibi genel bir eğilimden bahsetmek mümkün olmayacaktır; ancak silindir numunelerde beton sınıfındaki değişimin numune boyutuna göre dayanım ilişkisindeki değişkenliğe belirgin bir etkisi olmadığı söylenebilir.

4. SONUÇLAR

Küçük boyutlu beton numunelerin kullanımının artması için beton basınç dayanımlarının değişkenliğinin detaylıca incelendiği bu çalışma kapsamında, farklı kaynaktan alınan (beton üretim tesisi ve laboratuvar, mineral katkı ve mineral katkısız), farklı beton sınıfına ait, farklı boyutlardaki küp ve silindir numuneler kullanılarak ölçülen basınç dayanım sonuçları birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Çalışma sonucunda, numunenin alındığı kaynağın, farklı boyutlardaki küp numune basınç dayanımı arasındaki ilişki ve dönüşüm katsayısı üzerinde belirgin bir etkisi olmadığı gö-



rülmektedir. Mineral katkı kullanımının ise, nihai basınç dayanımları üzerinde özellikle erken yaşlarda düşüş gözlenirken, ileriki yaşlarda basınç dayanımı üzerinde fazla bir değişim yaratmadığı gözlenmiştir. Bununla birlikte 10 cm ve 15 cm ebatlı küp ve silindir numunelerin basınç dayanım sonuçları arasındaki ilişki ve dönüşüm katsayıları, mineral katkı kullanımından da oldukça az etkilenmiştir.

Küp numuneler üzerinde elde edilen basınç dayanım sonuçları ise, beklendiği gibi silindir numunelerinkinden yüksek çıkmakta olup, silindir ve küp basınç dayanımı arasındaki fark, yüksek dayanımlı betonlarda daha fazla olmaktadır.

Çalışma sonucunda, farklı boyutta numuneler üzerinde ölçülen basınç dayanım değerleri arasında yüksek korelasyon katsayılı doğrusal ilişki bulunduğu saptanmış olup, numune boyutu küçüldükçe, literatüre uygun olarak, betonun basınç dayanımının arttığı görülmüştür. Büyük boyutlu numunelerin beton basınç dayanımlarının küçük boyutlu numunelere göre düşük çıkması, literatürdeki önceki çalışmalar ve numunede ki kusur bulunma olasılığının artışı göz önünde bulundurulduğunda, beklenen bir sonuçtur. Silindir-küp basınç dayanımı dönüşüm katsayıları da göz önünde bulundurulduğunda, silindir basınç dayanımı ile küp basınç dayanımı arasındaki farkın, küçük boyutlu betonlarda daha fazla olduğu görülmektedir. Sonuç olarak ölçülen basınç dayanımı değerleriyle betonun basınç dayanımının numune boyutlarından etkilendiği ve bu etkinin daha çok yüksek dayanım düzeylerinde belirgin olduğu saptanmıştır.

Dolayısıyla, küçük boyutlu numunelerin basınç deneylerinde kullanılmasının artışı oldukça fazla avantaj sağlamasına karşın, dikkat edilmesi gereken bir önemli nokta da yüksek mukavemetli betonlarda küçük boyutlu numune kullanımı ile diğer boyuttaki numunelere oranla daha fazla etkiye maruz kalıyor olmasıdır. Diğer bir deyişle, yüksek dayanım sınıfında küçük boyutlu numuneler kullanıldığında, elde edilen dayanım sonuçlarının artmasıyla birlikte, numune boyutuna bağlı olan dayanım ilişkisindeki değişkenlik de artmaktadır. Bu nedenle de basınç dayanım testlerinde yüksek hassasiyetle ölçüm yapılması gerekmektedir.

Sonuç olarak, küçük boyutlu numunelerin basınç dayanım sonuçlarında gerek şantiyelerde düşük kapasiteli basınç test makinesi kullanımı, gerek azalan ağırlıkla birlikte numune taşıma kolaylığı ve gerek de zayi olan beton miktarının azaltılması bakımından, kalite denetiminde küçük boyutlu, 100 mm boyutunda küp numunelerin de kullanımında bir engel olmayıp (TS13515-T1 ve TS13515-T2), ölçümlerde gerekli hassasiyet sağlandığında, pratikte kullanımının yaygınlaşması oldukça faydalı olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde destek ve yardımı oldukça fazla olan, OYAK Beton AŞ'nin bütün çalışanlarına sonsuz teşekkürlerimizi sunarız.

Referanslar

1. Akakın, T. "Beton Numunesi Alma", TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, Sayı 427/5, 2003.
2. Akçaözoğlu, K. "Silis Dumanı İçeren Yüksek Dayanımlı Harçlarda Numune Boy Değişiminin Basınç Dayanımı ve Birim Kısalma Üzerindeki Etkisi", Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, 2007.
3. Alyamaç, K.E., İnce, R., "Kür Süresinin Betonun Kırılma Parametreleri Üzerine Etkisinin İncelenmesi", *Uluslararası Kırılma Konferansı Bildiriler Kitabı*, s.600-609, 2007.
4. Çopuroğlu, O., "Beton Numunesi Şekil ve Boyutunun Basınç ve Çekme Dayanımına Etkisi", Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir, 2001.
5. Elkhadiri, I., Diouri, A., Boukhari A., Aride, J. and Puertas, F., "Mechanical Behaviour of Various Mortars Made by Combined Fly Ash and Limestone in Moroccan Portland Cement", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1597-1603, 2002.
6. Elwell, J.D., Fu, G., "Compression Testing of Concrete: Cylinders vs. Cubes", *Transportation Research and Development Bureau of Newyork*, 1995
7. Engin, Y. "Beton Silindir&Küp Numune Basınç Dayanımı İlişkisi", www.betonvecimento.com, 2014.
8. Erdoğan, T.Y. Beton. ODTÜ Geliştirme Vakfı ve Yayıncılık AŞ, Ankara, 2003.
9. Felekoğlu, B., Türkel, S., "Effects of Specimen Type and Dimensions on Compressive Strength of Concrete". *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 18 (4), S.639-645, 2005.
10. Fu, X., Wang, Z., Tao, W., Yang, C., Hou, W., Dong, Y. and Wu, X., "Studies on Blended Cement with Large Amount of Fly Ash", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1153-1159, 2002.
11. Kosmatka, S.H., Kerkhoff, P., William, C., "Design and Control of Concrete Mixtures", Portland Cement Association Publication, 2003
12. Lessard, M., Chaallal, O., Aitcin, P. C., "Testing High-Strength Concrete Compressive Strength", *ACI Materials Journal*, V. 90, No. 4, Pp. 303- 308, 1993.
13. Li, B., Liang, W. and He, Z., "Study on High-Strength Composite Portland Cement with a Larger Amount of Industrial Wastes", *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, pp. 1341-1344, 2002.
14. Naik, T.R., Singh, S.S. and Ramme B.W. "Effect of Source of Fly Ash on Abrasion Resistance of Concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, pp. 417-426, September-October 2002.
15. Özdemir, M., "Numune Şekil ve Boyutunun Yüksek Dayanımlı Betonun Basınç Mukavemetine Etkisi", ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 1994.
16. Safan, M., Kohoutkva, A., "Influence of Different Drying Conditions on High Strength Concrete Compressive Strength", *Acta Polytechnica*, No.3, 2001.
17. Sümer, M., "Uçucu Kül Atıklarının Beton Üretiminde Değerlendirilmesi", I. Ulusal İnşaat & Çevre Sempozyumu, Salihli, Bildiriler Kitabı, ss. 179-185, 1994.
18. TS 13515, "TS EN 206-1'in Uygulamasına Yönelik Tamamlayıcı Standard", 2014.
19. TS EN 450-1 "Uçucu Kül - Betonda Kullanılan - Bölüm 1: Tarif, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri", 2013.