

GEÇİRİMLİLİĞİN BETONUN MEKANİK ÖZELLİKLERİNE ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Investigation of The Effect of Permeability on Mechanical Properties of Concrete

Arif BENLİOĞLU
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İsmail Hakkı ÇAĞATAY
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

ÖZET

Günümüzde en yaygın yapı malzemesi olarak kullanılan betonun, boşluksuz ve geçirimsiz bir yapıda olması durabilite açısından önemlidir. Üretilen betonların hizmet ömrü boyunca zararlı etkilerden korunabilmesi için düşük geçirimsizlik değerlerine sahip olması gerekmektedir. Bu çalışmada, 4 farklı su/çimento (0,4-0,5-0,6-0,7) oranında hazırlanmış karışımların iyi ve kötü gradasyon etkisindeki basınç, yarmada çekme ve basınç altında su işleme derinliği deneyleri gerçekleştirilmiştir. Standart silindir ve küp olarak üretilen 96 adet numune üzerinde 28. günde geçirgenlik ve dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında betonun mekanik özellikleriyle geçirimsizlik parametreleri arasında önemli bir ilişki olduğu gözlenmektedir. En düşük su işleme derinliği, iyi gradasyon kullanılarak hazırlanmış su/çimento oranı 0,4 olan karışımda gözlemlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Basınç Altında Su İşleme Derinliği, Geçirimsizlik, Beton, Su/Çimento Oranı

ABSTRACT

Being in a form with void-less and impermeable for the concrete, which is used as the most common building material, is very important in terms of the durability. It is required to have a low permeability value of the concrete to be able to protect the produced concrete from harmful effects during its service life. In this study, some experiments such as compressive strength under the effect of poor and well gradation, tensile splitting strength, and the depth of penetration of water under pressure were conducted for the mixtures prepared in four different water/cement ratios (0.4-0.5-0.6-0.7). Permeability and strength tests on 28th day were performed on 96 samples prepared as standard cylinder and cube. In the scope of this study, it is observed that there is a significant relationship between the mechanical properties and permeability parameters of the concrete. The lowest depth of penetration was obtained in the mixture consisting of well-graded crushed stone and water/cement ratio of 0.4.

Keywords: Depth of Penetration of Water Under Pressure, Permeability, Concrete, Water/Cement Ratio

¹ Aynı başlıklı yüksek lisans tezinden üretilmiştir.

Giriş

Beton, farklı dane boyutundaki agregalar, çimento, su ve katkı maddeleri içeren kompozit bir yapı malzemesidir. Agregalar karışımın önemli bir kısmını oluştururken çimento şerbeti tanecikler arasındaki boşlukları doldurmaktadır. Beton dayanımını, çimento ve su arasında gerçekleşen hidratasyon reaksiyonundan elde eder. Hidratasyon reaksiyonu sonucu ortaya çıkan jel yapıları agrega etrafını sararak sert monolitik bir yapı oluşturur.

Beton, geçmişten günümüze en çok kullanılan yapı malzemeleri arasında yer almaktadır. Bunun sebebi ise betonu oluşturan malzemelerin diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomik olmasıdır. Betonun yapı malzemesi olarak kullanılmasının birçok avantajı bulunmasına rağmen dezavantajı da mevcuttur. Oluşturulan betonun boşluklu yapıda olması birçok zararlı maddeden etkilenmesine yol açmaktadır. Bu da betonun hem mekanik hem de durabilite açısından problemler yaşamasına sebep olur.

Günümüzde betonun geçirgenliğini azaltmaya yönelik birçok çalışma yapılmaktadır. Betonu oluşturan parametreler üzerinde yapılan bu çalışmalarda su/çimento oranı, mineral ve kimyasal katkı maddeleri kullanılarak, betonun minimum düzeyde geçirgen bir yapıya sahip olması amaçlanmıştır. Literatüre bakıldığında bu çalışmalarda hangi parametrenin beton geçirimsizliği için daha önemli olduğu saptanmaya çalışılmıştır.

Bu çalışmada standart silindir ve küp olarak üretilen 96 adet numune üzerinde 28. günde geçirgenlik ve dayanım deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında betonun mekanik özellikleriyle geçirimsizlik parametreleri arasında önemli bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir.

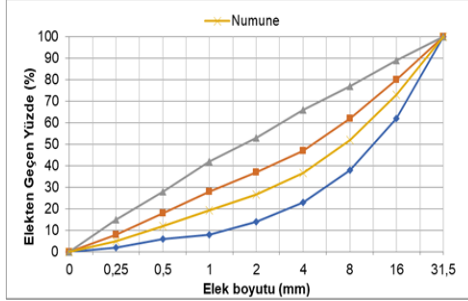
Materyal ve Metot

Bu çalışmada özgül ağırlığı $3,15 \text{ g/cm}^3$ ve özgül yüzeyi $3880 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olan TS EN 197-1 standardı ile uyumlu CEM V/A (S-P) 32,5 R tipi portland çimentosu kullanılmıştır.

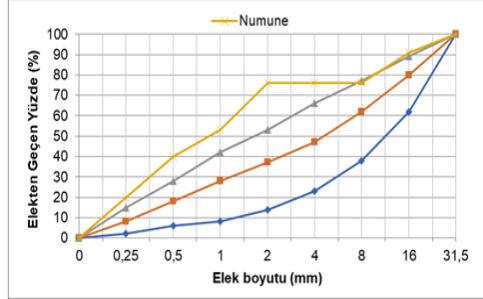
Hazırlanan deney karışımlarında 0-0,25, 0,25-0,5, 0,5-1, 1-2, 2-4, 4-8, 8-16, 16-31,5 mm boyutlarındaki tek tip kırma taş agrega kullanılmıştır. 1. Grup numunelerde kullanılan gradasyon TS 802'de verilen maksimum dane çapı 31,5 mm olan A ve B eğrileri arasında kalan uygun alan içerisinde kalacak şekilde seçilmiştir. 2. Grup numunelerde, bir kısmı TSE 802'de verilen uygun alan içerisinde kalan ve 2-4, 4-8 mm agrega dane çaplarının kullanılmadığı gradasyon grafiği seçilmiştir. Çalışmada kullanılan ince agregaların özgül ağırlıkları $2,66 \text{ g/cm}^3$ iken iri agregaların özgül ağırlıkları $2,65 \text{ g/cm}^3$ olarak bulunmuştur.

Kimyasal katkılar, betonun birtakım özelliklerini iyileştirmek ya da çimentolu sistemlerin farklı uygulama alanlarına adaptasyonunu amacıyla, beton içerisindeki çimento miktarı baz alınarak belli oranlarda katılan organik veya inorganik kökenli katkı maddelerdir.

Düşük su/çimento oranına sahip karışımların işlenebilirliğini arttırmak için 1. ve 2. Grup numunelerde BASF MGLENIUM 51 kullanılmıştır.



Şekil 1. Grup 1 Gradasyon Grafiği



Şekil 2. Grup 2 Gradasyon Grafiği

Bu çalışma kapsamında yapılan deneylerde 4 farklı su/çimento oranı (0,4-0,5-0,6-0,7) ve iki tip gradasyon kullanılarak standartlara uygun beton karışımları hesaplanmıştır. Hazırlanan karışım değerleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de gösterilmiştir.

Tablo 1. Grup 1 Beton Karışım Değerleri

	Su/Çimento: 0,4	Su/Çimento: 0,5	Su/Çimento: 0,6	Su/Çimento: 0,7
Malzemeler	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)
Çimento	300	300	300	300
Su	125	163,475	192,919	222,362
31,5- 16 mm Agrega	535,888	517,441	496,082	474,722
16- 8 mm Agrega	416,802	402,454	385,841	369,229
8- 4 mm Agrega	303,670	293,217	281,113	269,009
4- 2 mm Agrega	198,477	191,645	183,734	175,823
2- 1 mm Agrega	148,858	143,734	137,801	131,867
1- 0,5 mm Agrega	142,381	137,480	131,805	126,130
0,5- 0,25 mm Agrega	138,426	133,661	128,144	122,627
0,25- 0 mm Agrega	98,876	95,472	91,531	87,590
Akışkanlaştırıcı	4,500	0	0	0

Tablo 2. Grup 2 Beton Karışım Değerleri

	Su/Çimento: 0,4	Su/Çimento: 0,5	Su/Çimento: 0,6	Su/Çimento: 0,7
Malzemeler	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)	1 m³ mik. (Kg)
Çimento	300	300	300	300
Su	136,52	150,865	195,21	224,555
31,5- 16 mm Agrega	179,866	172,736	165,606	158,475
16- 8 mm Agrega	299,777	287,893	276,009	264,125
8- 4 mm Agrega	0	0	0	0
4- 2 mm Agrega	0	0	0	0
2- 1 mm Agrega	459,658	441,436	423,214	404,992
1- 0,5 mm Agrega	258,858	248,596	238,334	228,072
0,5- 0,25 mm Agrega	398,243	382,456	366,668	350,881
0,25- 0 mm Agrega	398,243	382,456	366,668	350,881
Akışkanlaştırıcı	4,500	2,250	0,000	0,000

Numunelere 28. günde basınç deneyi, yarmada çekme deneyi ve basınç altında su işleme derinliği deneyleri yapılmıştır.

Çalışmada karışımlara ait basınç deneyleri silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülünü bulmak amacıyla silindir numunelerden komparatör yardımıyla ölçüm alınarak, gerilme-şekil değiştirme grafiği çizilmiş ve oradan elastisite modülü hesaplanmıştır. Silindir numunelerin üst yüzeyleri pürüzlü bir yüzeye sahip olduğu için numunelere kükürt başlık uygulanmıştır.

Çalışmada karışımlara ait yarma deneyleri küp ve silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Su işleme derinliğine tabi tutulan numuneler 72 saat sonunda yarma deneyine tabi tutulmuştur. Yatay olan presin başlıkları arasına yerleştirilen silindir ve küp beton örneklerin altına ve üstüne yerleştirilen plakalar yardımıyla dik yönde basınç yükleme uygulayarak deney gerçekleştirilir.

Numunelerin geçirimsizlik değerlerinin incelemek için basınç altında su işleme derinliği deneyi yapılmıştır. Numuneler 72 saat boyunca 500 KPa basınç altında test edilmektedir. 72 saat sonunda deney sonlandırılmakta ve silindir yarma deneyi uygulanarak suyun beton içerisinde ne kadar yükseldiği ölçülmektedir. Deney esnasında gerekli sızdırmazlık ekipmanı kullanılarak su sızıntısı engellenir. Deneyden önce beton numuneler üzerinde, basınca maruz kalacak yüzeyde pürüzlendirme işlemi yapılmaktadır. Şekil 3'de basınç altında su işleme cihazı gösterilmiştir.



Şekil 3. Basınç Altında Su İşleme Test Cihazı

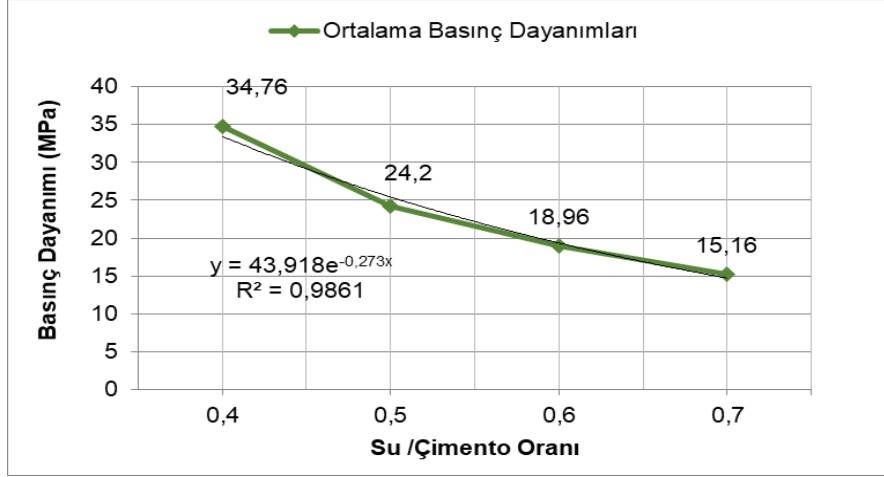
Araştırma Bulguları ve Tartışma

Yapılan deneyler sonucunda iyi gradasyon ile hazırlanmış farklı su/çimento oranındaki 1. Grup numuneler için bulunan basınç değerleri Çizelge 1'de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Grup 1 Ortalama Basınç Dayanımları

Su /Çimento	Ortalama basınç dayanımları (MPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,4	34,76	2,41
0,5	24,20	2,38
0,6	18,96	2,33
0,7	15,16	2,28

Çizelge 1 incelendiğinde su/çimento oranının basınç dayanımını etkilediği görülmektedir. 28 gün sonra yapılan basınç deneylerinde en yüksek değer ortalama 34,76 MPa olarak su/çimento oranı 0,4 karışımında görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri su/çimento oranı 0,7 olan karışımında ortalama 15,16 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 4. Grup 1 Ortalama Basınç Dayanımları

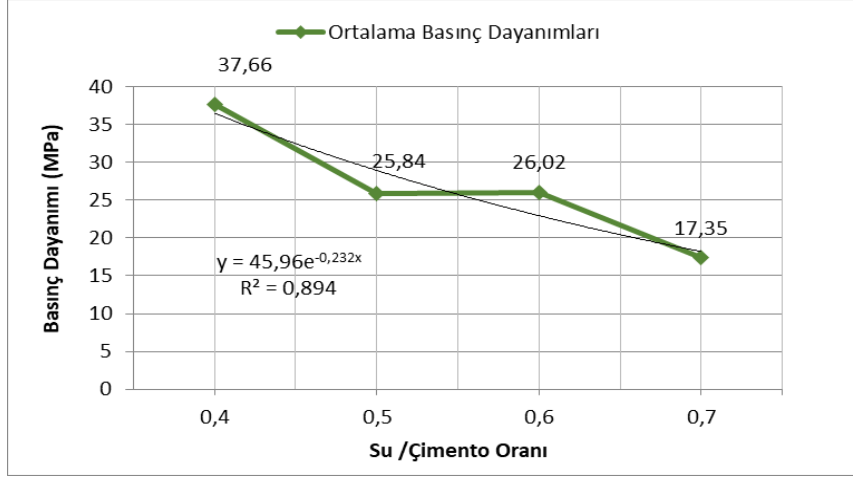
Şekil incelendiğinde su/çimento oranının 0,4'ten 0,7'ye artması durumunda basınç dayanımı %56,4 oranında azalmıştır. Su/çimento oranı arttığında basınç dayanımı azalmaktadır.

Yapılan deneyler sonucunda kötü gradasyon ile hazırlanmış farklı su/çimento oranındaki 2. Grup numuneler için bulunan basınç değerleri Çizelge 2'de gösterilmektedir.

Çizelge 2. Grup 2 Ortalama Basınç Dayanımları

Su/ Çimento	Ortalama Basınç Dayanımları (MPa)	Yoğunluk (gr/cm ³)
0,4	37,66	2,435
0,5	25,84	2,368
0,6	26,02	2,331
0,7	17,35	2,281

Çizelge 4.2 incelendiğinde su/çimento oranının basınç dayanımını etkilediği görülmektedir. 28 gün sonra yapılan basınç deneylerinde en yüksek değer ortalama 37,66 MPa olarak su/çimento oranı 0,4 karışım tipinde görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise su/çimento oranı 0,7 olan karışım tipinde ortalama 17,35 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 5. Grup 2 Ortalama Basınç Dayanımları

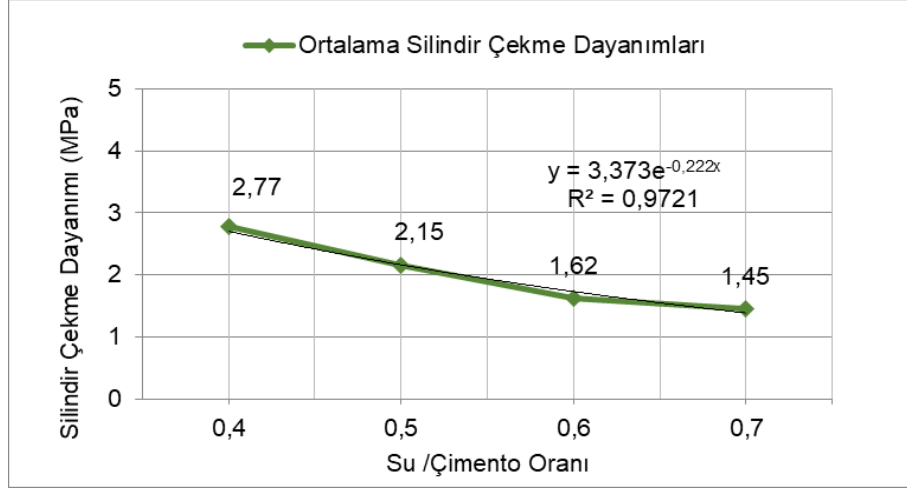
Şekil 5 incelendiğinde su/çimento oranının 0,4'ten 0,7'ye artması durumunda basınç dayanımı %53,9 oranında azalmaktadır.

İyi gradasyon ile hazırlanmış 4 farklı su/çimento oranındaki 1. Grup numuneler için 28. günde bulunan ortalama silindir yarma dayanımı değerleri Çizelge 3'de gösterilmektedir.

Çizelge 3. Grup 1 Ortalama Yarmada Çekme Dayanımları

Su /Çimento	Yükleme hızı (kN/s)	Ortalama silindir çekme dayanımları (MPa)
0,4	3,5	2,77
0,5	3,5	2,15
0,6	3,5	1,62
0,7	3,5	1,45

Çizelge 3 incelendiğinde su/çimento oranı ile çekme dayanımı arasındaki ilişki olduğu görülmektedir. Su/çimento oranının 0,4'ten 0,7'ye artması durumunda yarmada çekme dayanımları %47,6 oranında azaldığı görülmektedir.



Şekil 6. Grup 1 Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri

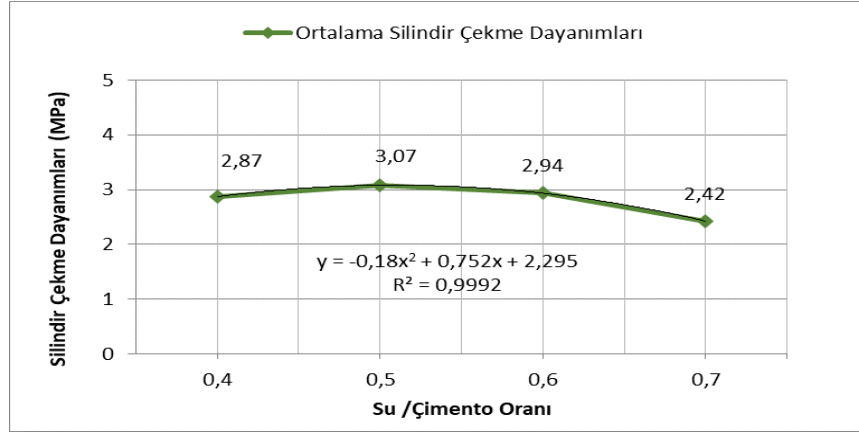
Yapılan silindir yarma deneylerinde en büyük yarma dayanımı değeri su/çimento oranı 0,4 nolu numunede 2,77 MPa olarak bulunurken en küçük yarma dayanımı değeri ise su/çimento oranı 0,7 nolu numunede 1,45 MPa olarak bulunmuştur.

Kötü gradasyon ile hazırlanmış 4 farklı su/çimento oranındaki 2. Grup numuneler için 28. günde bulunan ortalama silindir yarma dayanımı değerleri Çizelge 4.'te gösterilmektedir.

Çizelge 4. Grup 2 Ortalama Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri

Su/ Çimento	Yükleme hızı (kN/s)	Ortalama Silindir Çekme Dayanımları (MPa)
0,4	3,5	2,87
0,5	3,5	3,07
0,6	3,5	2,94
0,7	3,5	2,42

Yapılan silindir yarma deneylerinde en büyük yarma dayanımı değeri su/çimento oranı 0,5 nolu numunede 3,07 MPa olarak bulunurken en küçük yarma dayanımı değeri ise su/çimento oranı 0,7 nolu numunede 2,42 MPa olarak bulunmuştur.

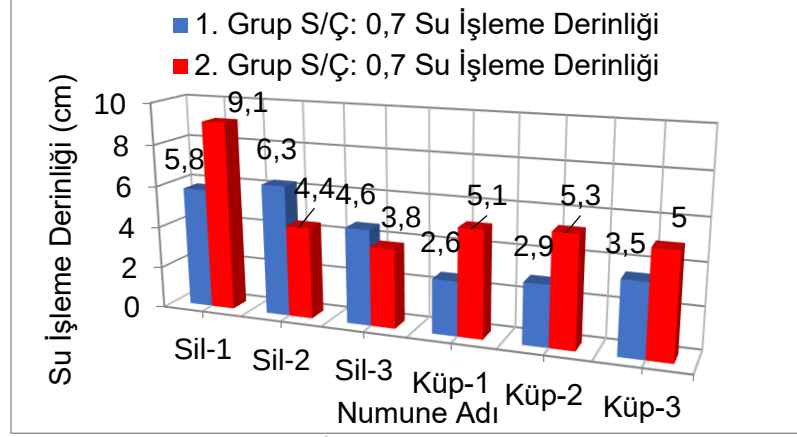


Şekil 7. Grup 2 Yarmada Çekme Dayanımı Değerleri

İyi ve kötü gradasyon ile hazırlanmış 1. ve 2. Grup numunelerde su işleme derinliği deneyi yapılmıştır. Numuneler 28 gün kür havuzunda bekledikten sonra su işleme derinliği deneyine tabi tutulmuştur. Çizelge 5'de 1. ve 2. Grup karışımların su/çimento oranı 0,7 numaralı numuneler üzerindeki su işleme derinlikleri verilmiştir.

Çizelge 5. Grup 1-2 Su/Çimento: 0,7 nolu Numune Su İşleme Derinlikleri

Eleman	1. Grup (İyi Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)	2. Grup (Kötü Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)
Silindir-1	5,8	9,1
Silindir-2	6,3	4,4
Silindir-3	4,6	3,8
Küp-1	2,6	5,1
Küp-2	2,9	5,3
Küp-3	3,5	5,0
Ortalama Silindir Su İşleme Derinlikleri	5,56	5,76
Ortalama Küp Su İşleme Derinlikleri	3,0	5,13



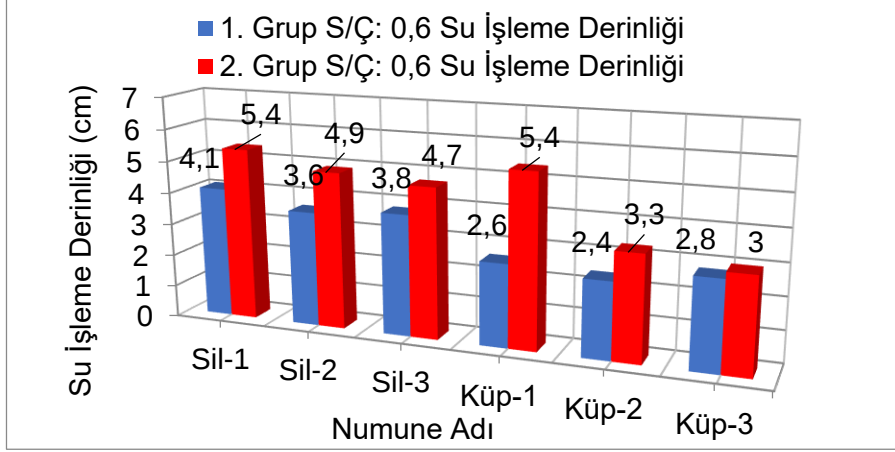
Şekil 8. Grup 1-2 S/Ç:0,7 Numune Su İşleme Derinlikleri

İyi gradasyon ile hazırlanmış silindir numunelerde ortalama su işleme derinliği 5,56 cm, k p numunelerde ortalama su işleme derinliği 3,0 cm çıkmıştır. Kötü gradasyon ile hazırlanmış su/ imento oranı 0,7 olan silindir numunelerde ortalama su işleme derinliği 5,76 cm çıkarken k p numunelerde ortalama su işleme derinliği 5,13 cm bulunmuştur. İyi gradasyon ile hazırlanmış ortalama silindir su işleme derinlikleri kötü gradasyon ile hazırlanmış silindir numunelerden %3,47 oranında daha az bulunmuştur.

İyi ve kötü gradasyon ile hazırlanmış 1. ve 2. Grup karışımların su/ imento oranı 0,6 numaralı numuneler üzerindeki su işleme derinlikleri  izelge 6'da gösterilmiştir. 28 gün kür havuzunda bekleyen numuneler 1 gün kurumaya bırakıldıktan sonra basınç altında su işleme derinliği deneyine tabi tutulmuştur.

Çizelge 6. Grup 1-2 Su/ imento: 0,6 nolu Numune Su İşleme Derinlikleri

Eleman	1. Grup (İyi Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)	2. Grup (Kötü Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)
Silindir-1	4,1	5,4
Silindir-2	3,6	4,9
Silindir-3	3,8	4,7
K�p-1	2,6	5,4
Küp-2	2,4	3,3
Küp-3	2,8	3,0
Ortalama Silindir Su İşleme Derinlikleri	3,83	5,0
Ortalama K�p Su İşleme Derinlikleri	2,6	3,9



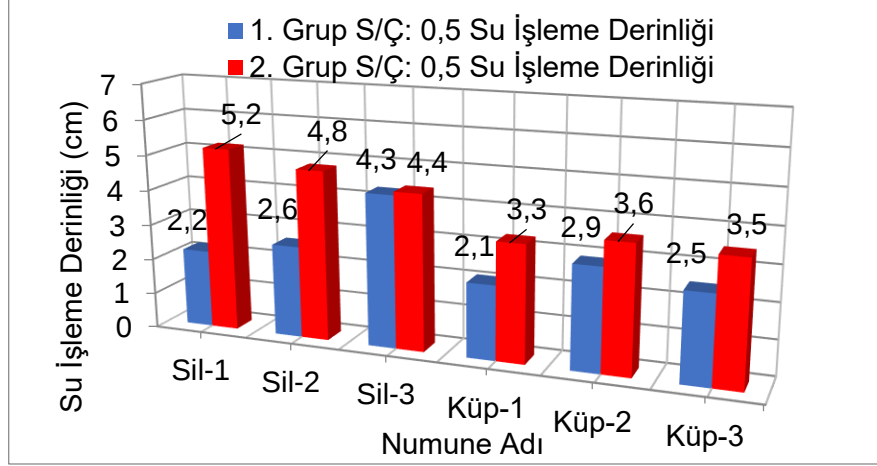
Şekil 9. Grup 1-2 S/ :0,6 Numune Su İşleme Derinlikleri

Kötü ve iyi gradasyon ile hazırlanmış numunelerin su işleme derinlikleri karşılaştırıldığında, iyi gradasyonla hazırlanmış silindir numunelerde ortalama %23,4 daha az su işleme derinliği bulunurken k p numunelerde ortalama %33,3 oranında daha az su işleme derinlikleri tespit edilmiştir. Su/ imento oran azaldıkça hem iyi gradasyon hem de kötü gradasyon ile hazırlanmış numunelerdeki su işleme derinliklerinde önemli bir düşüş gözlemlenmiştir.

İyi ve kötü gradasyon ile hazırlanmış 1. ve 2. Grup karışımların su/ imento oranı 0,5 numaralı numuneler üzerindeki su işleme derinlikleri  izelge 7'de gösterilmiştir.

Çizelge 7. Grup 1-2 Su/ imento: 0,5 nolu Numune Su İşleme Derinlikleri

Eleman	1. Grup (İyi Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)	2. Grup (Kötü Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)
Silindir-1	2,2	5,2
Silindir-2	2,6	4,8
Silindir-3	4,3	4,4
K�p-1	2,1	3,3
Küp-2	2,9	3,6
Küp-3	2,5	3,5
Ortalama Silindir Su İşleme Derinlikleri	3,03	5,13
Ortalama K�p Su İşleme Derinlikleri	2,5	3,46



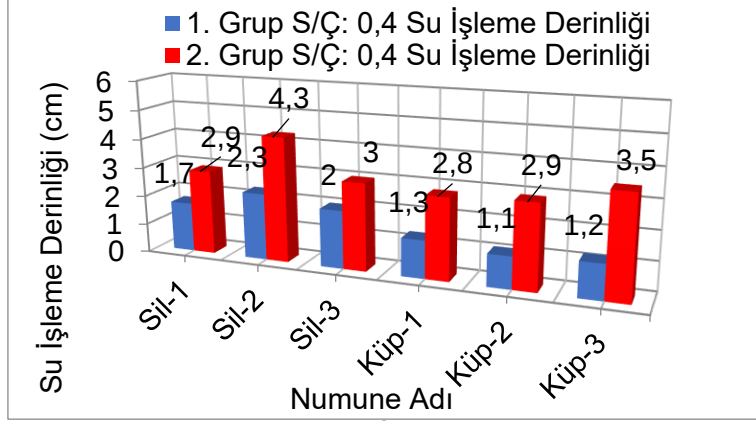
Şekil 10. Grup 1-2 S/Ç:0,5 Numune Su İşleme Derinlikleri

Kötü ve iyi gradasyon ile hazırlanmış numunelerin su işleme derinlikleri karşılaştırıldığında, iyi gradasyonla hazırlanmış silindir numunelerde ortalama %40,9 daha az su işleme derinliği bulunurken k p numunelerde ortalama %27,7 oranında daha az su işleme derinlikleri tespit edilmiştir.

İyi gradasyon ve kötü gradasyon ile hazırlanmış 1. ve 2. Grup karışımların su/çimento oranı 0,4 numaralı numuneler üzerindeki su işleme derinlikleri Çizelge 8'de gösterilmiştir.

Çizelge 8. Grup 1-2 Su/Çimento: 0,4 nolu Numune Su İşleme Derinlikleri

Eleman	1. Grup (İyi Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)	2. Grup (Kötü Gradasyon) Su İşleme Derinliği (cm)
Silindir-1	1,7	2,9
Silindir-2	2,3	4,3
Silindir-3	2,0	3,0
K�p-1	1,3	2,8
Küp-2	1,1	2,9
Küp-3	1,2	3,5
Ortalama Silindir Su İşleme Derinlikleri	2,0	3,4
Ortalama K�p Su İşleme Derinlikleri	1,2	3,06



Şekil 11. Grup 1-2 S/Ç:0,4 Numune Su İşleme Derinlikleri

Kötü ve iyi gradasyon ile hazırlanmış numunelerin su işleme derinlikleri karşılaştırıldığında, iyi gradasyonla hazırlanmış silindir numunelerde ortalama %41,2 daha az su işleme derinliği bulunurken küp numunelerde ortalama %60,8 oranında daha az su işleme derinlikleri tespit edilmiştir. 1. ve 2. Gruplarla yapılan su işleme derinliği deneyinde ortalama en az su işleme derinlikleri, su/çimento oranı 0,4 olan bu karışımda gözlemlenmiştir.

Sonuç

1. Yapılan deneylerde su/çimento oranı ve gradasyon etkisinin beton geçirimsizliğini etkileyen önemli bir parametre olduğu tespit edilmiştir.
2. 1.ve 2. grup karışımlarda su/çimento oranının artması beton numunelerin basınç altında su işleme derinliğini, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerlerini olumsuz olarak etkilemiştir. Su/çimento oranının artmasıyla su işleme derinlikleri artmış, basınç ve yarmada çekme dayanım değerleri düşmüştür.
3. Farklı su/çimento oranı kullanılarak hazırlanan karışımlarda en büyük su işleme derinliği 2. Grup silindir numunelerde elde edilmiş ve su/çimento oranı 0,7 olan karışımda 9,1 cm olarak ölçülmüştür. En küçük su işleme derinliği ise iyi gradasyona sahip 1. Grup küp numunede elde edilmiş ve su/çimento oranı 0,4 olan karışımda 1,1 cm olarak bulunmuştur.
4. 1. ve 2. Grup küp numuneler kıyaslandığında aynı su/çimento oranında 1. Grup numunelerin ortalama su işleme derinlikleri 2. grup numunelerden %40,82 oranında daha az bulunurken bu değerler silindir numunelerde %27,1 bulunmuştur.
5. İyi ve kötü gradasyon kullanılarak hazırlanmış 1. ve 2. Grup numunelerde en büyük basınç dayanımı değeri su/çimento oranı 0,4 olan kötü gradasyon ile hazırlanmış numunede 37,66 MPa olarak

bulunmuştur. En küçük basınç dayanımı değeri iyi gradasyonla ile hazırlanmış su/çimento oranı 0,7 olan karışımda 15,16 MPa olarak bulunmuştur.

KAYNAKÇA

- Durmuş, G. (2008). Farklı Beton Sınıflarının Su İşleme Derinliğinin Değerlendirilmesi. Journal of Polytechnic, 11(4): 379-383.
- Erdoğan Y.T., "Beton", Sayfa: 183, Ankara, 2003.
- TS 802, 2009. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2003. Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-6, 2002. Beton Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12390-8, 2010. Beton Sertleşmiş Beton Deneyleri-Bölüm 8: Basınç Altında Su İşleme Derinliğinin Tayini
- Güçlüer, K., Ünal, O. (2010). Uçucu Kül İçeriğinin Beton Basınç Dayanımı ve Geçirimliliği Üzerine Etkisinin Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 6, No: 1, (11-18).