

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ahmet AKKAYA

**GEÇİRİMLİ BETONLARIN YOL KAPLAMASI OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2017

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GEÇİRİMLİ BETONLARIN YOL KAPLAMASI OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ahmet AKKAYA

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu Tez /07/2017 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. İsmail H. ÇAĞATAY
F. KARA

DANIŞMAN

.....
Prof.Dr. Abdulazim YILDIZ

ÜYE

.....
Doç.Dr. İlker

ÜYE

Bu Tez Enstitümüz İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.

Kod No:

**Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü**

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**GEÇİRİMLİ BETONLARIN YOL KAPLAMASI OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ahmet AKKAYA

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Yıl: 2017, Sayfa: 229
Jüri : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ
: Doç. Dr. İlker Fatih KARA

Bu çalışmanın amacı ülkemizde pek bilinmeyen geçirimli beton malzemenin tanıtılması ve laboratuvar koşullarında Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesine uygun, yeterli dayanımı sağlayabilecek geçirimli beton malzemenin elde edilme potansiyelinin araştırılmasıdır. Farklı boyutlarda yıkanmış kireçtaşı esaslı kırma taş agregalar kullanılarak agrega boyutunun ve farklı agrega/bağlayıcı oranlarının geçirimli betonların mekanik ve geçirimlilik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, uygun agrega gradasyonuna ve çalışmadaki geçirimli betonlarla aynı karışım oranına sahip konvansiyonel beton da üretilmiştir. Her geçirimli beton karışımı için basınç dayanımı, eğilme dayanımı, silindir yarma dayanımı, aşınma dayanımı, yoğunluk, porozite ve permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu tez kapsamında yoğunluk değerlerinin ölçüm yöntemlerinden büyük ölçüde etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca genel olarak agrega boyutu veya agrega/bağlayıcı oranı arttıkça mekanik dayanımın azaldığı gözlenmiştir. Uygun agrega boyutu, karışım oranları ve kıvamla birlikte Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesinde yer alan karakteristik dayanım değerleri ile uyumlu geçirimli beton karışımı üretilebileceği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler:Geçirimli beton, Geçirimli kaplama, Agregabağlayıcı oranı, Porozite, Permeabilite

ABSTRACT

MSc THESIS

INVESTIGATION OF THE USE OF PERVIOUS CONCRETE AS A ROAD PAVEMENT MATERIAL

Ahmet AKKAYA

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING

Supervisor : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
Year: 2017, Pages: 229
Jury : Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY
: Prof. Dr. Abdulazim YILDIZ
: Assoc. Prof. Dr. İlker Fatih KARA

The objectives of this study are to introduce pervious concretes, which are not well known in Turkey, and investigate production potential of pervious concretes which can provide strength value suitable for Technical Specification for Concrete Road Pavements of General Directorate of Highways in laboratory conditions. The effects of aggregate size and different aggregate to binder ratios on the mechanical and permeability properties of pervious concretes have been investigated using washed limestone based crushed aggregates in different sizes. Moreover, conventional concrete, which has proper aggregate gradation and the same mixture ratio as the pervious concretes, has also been produced. Compressive strength, flexural strength, splitting tensile strength, abrasion resistance, density, porosity and permeability tests were carried out for each pervious concrete mixture. Within the scope of this thesis it has been found that density values have been considerably affected by density measurement methods. In addition, it has been observed that generally mechanical strength of pervious concretes have been decreased with the increase of aggregate size and aggregate to binder ratio. It has been determined that if selecting proper aggregate size, mixture ratio and consistency, pervious concrete mixtures which are suitable for characteristic strength values of Technical Specification for Concrete Road Pavements of General Directorate of Highways can be produced.

Keywords: Pervious concrete, Permeable pavements, Aggregate to binder ratio, Porosity, Permeability

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Geçirimli betonlar ağırlıklı olarak çevreci özellikleri ile ön plana çıkan yapı malzemeleridir. Araştırmacılar tarafından şehir yaşamını olumlu yönde etkileyecek özellikleri nedeniyle kullanım alanlarını genişletebilecek pek çok çalışma yürütülmektedir. Ülkemizde pek fazla çalışmanın bulunmadığı geçirimli betonların yol kaplama malzemesi olarak kullanılma potansiyelleri bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Bu tez kapsamında Karayolları Genel Müdürlüğü Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi esas alınarak ilgili şartnamedeki gerekli dayanım değerlerini sağlayabilecek geçirimli beton malzeme üretilebilme potansiyeli araştırılmıştır. Üretilcek geçirimli betonların yüksek dayanımının yanında yüksek geçirgenlik katsayısına da sahip olması istenildiğinden 2-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm agrega granülometrelerine sahip geçirimli beton karışımları üretilerek optimum agrega granülometrisi belirlenmeye çalışılmıştır. Her agrega granülometrisi için 3; 2,5 ve 2 agrega/bağlayıcı oranları kullanılarak optimum karışım belirleme süreci derinleştirilmiştir. Konvansiyonel betonla geçirimli betonun dayanım farkını gözlemlemek üzere geçirimli betonlara ek olarak aynı malzemeler kullanılarak uygun derecelendirilmiş agregalı bir adet konvansiyonel beton karışımı da üretilmiştir.

Agregalar OYAK Beton Sanayi ve Ticaret A.Ş. Sarıçam Hazır Beton Tesisinden temin edilmiştir. Agregalar ilk olarak Sarıçam Hazır Beton Tesisinde eleme işleminden geçirilmiş ardından çuvallara doldurularak Çukurova Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarına getirilmiştir. Laboratuvarda yıkanan agregalar kurutulduktan sonra bir kez daha eleme işleminden geçirilerek 2-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm aralığında agrega gruplarına ayrılmıştır. Yüksek dayanımlı çimento hamuru elde etmek üzere BASF Yapı Kimyasallarından silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi tedarik edilmiştir. Kahramanmaraş Çimento tarafından üretilen CEM I 42,5 R çimento kullanılarak geçirimli beton numunelerin üretilmesi işlemine geçilmiştir.

Karışımlar üretilirken dar gradasyonlu agregalar kullanıldığından segregasyon riskinin oldukça yüksek olduğu fark edilmiştir. Fazla su kullanımını engellemek ve optimum su miktarını belirlemek üzere önceden hazırlanmış PVC boru parçalarını dolduracak şekilde deneme karışımları hazırlanarak uygun su miktarları belirlenmiştir. Yine de iri agregalı geçirimli betonlarda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça tabanda çimento hamuru birikme riskinin arttığı gözlenmiştir. Karışımlar standart proktor çekici kullanılarak silindir numuneler 3 katman halinde, diğer numuneler 2 katman halinde her katmanda proktor çekicinin temas etmediği yer kalmayacak şekilde sıkıştırılmıştır. Bu tez kapsamında geçirimli betonlar için basınç, eğilme, silindir yarma ve aşınma dayanımları ile birlikte porozite, yoğunluk ve permeabilite deneylerinin yanında konvansiyonel betonlar üzerinde basınç, eğilme ve silindir yarma deneyleri de gerçekleştirilmiştir.

Permeabilite deneyleri için 15 cm yüksekliğinde 10,6 cm çapında PVC borular içerisine geçirimli beton doldurularak permeabilite deneyleri sabit seviyeli ve iki farklı düşen seviyeli olmak üzere toplamda üç ayrı yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde sabit seviyeli permeabilite ölçüm yöntemiyle daha az permeabilite katsayısı değeri elde edildiği, iri agregalı geçirimli betonlar üzerinde yüksek permeabilite özelliklerinden dolayı sadece su haznesi ve numuneden oluşan düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemi kullanılarak ölçüm yapılamadığı tespit edilmiştir. En yüksek permeabilite katsayıları 8-16 mm agregalı agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışıma ait numunelerden, en düşük permeabilite katsayıları ise 2-4 mm agregalı agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışıma ait permeabilite numunelerinden elde edilmiştir.

Yoğunluk ve porozite değerlerinin belirlenmesi için numunelerden beton kesme makinesi yardımıyla parçalar kesilerek TS 699 (1987)'de esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan deney numunelerinde hacimsel kütle tayini yöntemi, Shea ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada yer alan Houghton ve Wilson (1989)' un çalışmasından türetilen yoğunluk belirleme yöntemi, parafinle kaplama yöntemi ve bu çalışmada türetilen su taşıma yöntemi kullanılarak

yoğunluk değerleri ve bu yöntemlerden elde edilen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerleri tespit edilmiştir. Söz konusu deney yöntemlerinin haricinde bazı permeabilite deney numuneleri üzerinde hacimsel porozite ve yoğunluk ölçümü de yapılmıştır. Deneyler sonunda boşluklu malzemeler için yoğunluk ölçüm yöntemlerinin oldukça farklı sonuçlar verdiği ve yoğunluk değerleri arasındaki farkların boşluk hacimlerinin hesaba dahil edilip edilmemesinden ve poroz malzemelerin yoğunluklarını ölçmek için her ölçüm yönteminin uygun olmamasından kaynaklandığı belirlenmiştir.

Çimento hamurunun dayanımını gözlemlemek üzere üretilen konvansiyonel betonlarda 28 günlük ortalama silindir basınç dayanımı 92,52 MPa, ortalama eğilme dayanımı 9,76 MPa, ortalama silindir yarma dayanımı 5,91 MPa olarak ölçülmüştür. Konvansiyonel betona ait değerlerin oldukça yüksek olduğu göz önünde bulundurulduğunda çimento hamuru bağlayıcılığının ne kadar yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Geçirimli betonlar üzerinde yapılan deneyler sonunda genel olarak aynı agregaya boyutunda agregabağlayıcı oranı düştükçe dayanım değerlerinin arttığı, aynı agregabağlayıcı oranında agregaya boyutu arttıkça dayanım değerlerinin azaldığı tespit edilmiştir. Geçirimli betonlar arasında en yüksek dayanım değerleri agregabağlayıcı oranı 2 olan 2-4 mm agregalı geçirimli beton karışımlarından elde edilmiştir. En yüksek değerler sırasıyla; 28 günlük ortalama silindir basınç dayanımı 35,02 MPa, 28 günlük küp numune ortalama basınç dayanımı 56,18 MPa, ortalama eğilme dayanımı değeri 5,12 MPa, ortalama silindir yarma dayanımı 3,42 MPa ve ortalama kalınlık kaybı değeri 1,4 mm olarak bulunmuştur. Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesine göre karayollarında kullanılmak üzere izin verilen silindir numune karakteristik basınç dayanımı değeri 30 MPa, küp numune karakteristik basınç dayanımı değeri 37 MPa; karakteristik eğilme dayanımı değeri 4,5 MPa ve karakteristik silindir yarma dayanımı değeri 3,3 MPa olarak belirtilmiştir. 2-4 mm agregalı agregabağlayıcı oranı 2 olan karışıma ait dayanım değerlerinin, beton yollar için istenilen karakteristik dayanım değerlerinin üzerinde olduğu tespit edilmiştir.

Deneysel alışmalar esnasında geçirimli betonların konvansiyonel betonlara göre daha çok dikkat gerektirdiği ayrıca uygun su miktarı, kıvam, sıkıştırma işlemi ve kalıpta bekleme süresi gibi birçok etkenin geçirimli betonların dayanımlarını olumsuz yönde etkilediği gözlenmiştir. Bu yüzden geçirimli beton tasarımı yapmadan önce mutlaka n deneyler yapılarak söz konusu sorunlar minimum seviyeye indirilmelidir.



TEŞEKKÜR

Yüksek Lisans öğrenimimin gerek ders gerekse de tez aşamasında yönlendirmeleriyle çalışmalarımı olgunlaştırmama destek olan ve her konuda yardımlarını esirgemeyen kıymetli danışmanım Sayın Prof. Dr. İsmail Hakkı ÇAĞATAY'a sonsuz teşekkür ederim.

Tezin hazırlanmasında sabırla bana her fırsatta destek olan, umutsuzluğa kapılmamam için maddi manevi her anlamda yanımda olan kıymetli eşim Sayın İnci AKKAYA'ya sonsuz teşekkür ederim. Deneyler öncesinde yapılan çalışmalarda bana yardım ederek işlerimi kolaylaştıran değerli kardeşim Sayın Mehmet AKKAYA'ya teşekkür ederim.

Deneylerde kullanılan agregaları temin eden OYAK Beton A.Ş.'ye ve yoğunluk ölçümleri esnasında ihtiyaç duyulan parafin'i temin eden EMPİSAN Kimya Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye teşekkür ederim.

Zorlandığım noktalarda desteklerini esirgemeyen Sayın Dr. Baki BAĞRIAÇIK, Arş. Gör. Sedat KARAHMETLİ ve diğer Araştırma Görevlisi arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Katkılarından dolayı, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü personelleri Sayın Ömer KÜTÜK, Muzaffer KURT ve Süleyman EVLEKSİZ'e teşekkür ederim.

Son olarak, desteklerini esirgemeyen değerli aileme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ.....	I
ABSTRACT	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER.....	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XXII
SİMGELER VE KISALTMALAR	XXXII
1.GİRİŞ.....	1
1.1. Genel	1
1.2. Tezin Amacı	4
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	7
2.1. Geçirimli Beton Agregaları	7
2.2. Bağlayıcı Malzemeler.....	9
2.3. Kimyasal Katkı Malzemeleri.....	11
2.4. Geçirimli Betonlarda Karışım Oranları ve Kıvam.....	12
2.5. Geçirimli Betonların İletim ve Çevreci Özellikleri	14
2.6. Sıkıştırma ve Yerleştirme Yöntemleri.....	17
2.7. Geçirimli Betonların Basınç Dayanımları	20
2.8. Geçirimli Betonların Eğilme, Kırılma Tokluğu ve Yorulma Dayanımları	23
2.9. Geçirimli Betonların Aşınma ve Donma Çözülme Dayanımları.....	25
2.10. Geçirimli Betonların Saha Performansları	28
2.11. Geçirimli Betonların Sülfat Dayanımı.....	30
2.12. Ulusal Tez Merkezinde Yer Alan Çalışmalar.....	30
2.13. Kabul Koşulları	32
3. MATERYAL VE METOT	37

3.1. Materyal.....	37
3.1.1. Çimento	37
3.1.2. Agrega	37
3.1.3. Mineral Katkı.....	42
3.1.4. Kimyasal Katkı.....	42
3.2. Karışım Oranları.....	43
3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Kür İşlemi.....	47
3.4. Test Yöntemi	49
3.4.1. Basınç Dayanımı	49
3.4.2. Eğilme Dayanımı.....	51
3.4.3. Silindir Yarma Dayanımı.....	53
3.4.4. Yoğunluk ve Porozite	54
3.4.5. Aşınma Dayanımı	62
3.4.6. Permeabilite.....	63
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	67
4.1. Yoğunluk.....	67
4.2. Porozite.....	91
4.3. Basınç Dayanımı	115
4.4. Eğilme Dayanımı.....	161
4.5. Silindir Yarma Dayanımı	175
4.6. Aşınma Dayanımı	188
4.7. Permeabilite Deneyi	201
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	215
KAYNAKLAR.....	221
ÖZGEÇMİŞ.....	229

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 2.1.	Çeşitli kaplama türleri için gerekli dayanım değerleri.....	35
Çizelge 3.1.	Çimento fiziksel özellikleri ve kimyasal analizi.....	37
Çizelge 3.2.	Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri	42
Çizelge 3.3.	Süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kimyasal ve fiziksel özellikleri	43
Çizelge 3.4.	Karışım isimlendirmeleri	46
Çizelge 3.5.	2-4 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları	46
Çizelge 3.6.	4-8 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları	46
Çizelge 3.7.	8-16 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları	47
Çizelge 3.8.	Uygun gradasyonlu beton karışım oranları.....	47
Çizelge 4.1.	Silindir numunelerden elde edilen parçalar ait ortalama yoğunluk değerleri	67
Çizelge 4.2.	Silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları	69
Çizelge 4.3.	Küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerleri	71
Çizelge 4.4.	Küp numunelerden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları.....	73

Çizelge 4.5.	Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri	75
Çizelge 4.6.	Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları.....	77
Çizelge 4.7.	Aşınma numunelerine ait yoğunluk değerleri	79
Çizelge 4.8.	Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemlerinden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden bulunan ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları.....	80
Çizelge 4.9.	Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri	82
Çizelge 4.10.	Permeabilite deney numunelerinden alınan parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları	84
Çizelge 4.11.	PVC boru içerisindeki permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri	86
Çizelge 4.12.	Permeabilite deney numunelerinden farklı yöntemlerle elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerleri ortalamalarına göre oranları	88
Çizelge 4.13.	Farklı deney yöntemlerine göre ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranlanması	90
Çizelge 4.14.	Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri	92

Çizelge 4.15.	Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	94
Çizelge 4.16.	Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri	96
Çizelge 4.17.	Küp numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	97
Çizelge 4.18.	Hacim değerleri farklı deney yöntemlerinden elde edilen kırıntı numunelere ait parçaların ortalama porozite değerleri	99
Çizelge 4.19.	Kırıntı numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin, hacim değerleri su taşıma yöntemine göre belirlenen ortalama porozite değerlerine göre oranları	101
Çizelge 4.20.	Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak elde edilen hacim değerlerine göre hesaplanan ortalama porozite değerleri	103
Çizelge 4.21.	Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	105
Çizelge 4.22.	Permeabilite numunelerine ait parçalar üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri	107
Çizelge 4.23.	Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	109

Çizelge 4.24.	Permeabilite numunelerine ait ortalama hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri	111
Çizelge 4.25.	Permeabilite deney numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	113
Çizelge 4.26.	7 günlük silindir numune basınç dayanımı değerleri.....	116
Çizelge 4.27.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	118
Çizelge 4.28.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	119
Çizelge 4.29.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	120
Çizelge 4.30.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	121
Çizelge 4.31.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	123
Çizelge 4.32.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	124
Çizelge 4.33.	7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	125

Çizelge 4.34.	7 günlük küp numune basınç dayanımı değerleri	126
Çizelge 4.35.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	127
Çizelge 4.36.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	128
Çizelge 4.37.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	130
Çizelge 4.38.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	131
Çizelge 4.39.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	132
Çizelge 4.40.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	133
Çizelge 4.41.	7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	135
Çizelge 4.42.	28 günlük silindir numune basınç dayanımı değerleri	136
Çizelge 4.43.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	138
Çizelge 4.44.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	139

Çizelge 4.45.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	140
Çizelge 4.46.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	141
Çizelge 4.47.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	142
Çizelge 4.48.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	144
Çizelge 4.49.	Geçirimli beton karışımlarına ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	145
Çizelge 4.50.	Uygun gradasyonlu konvansiyonel betona ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değeri	146
Çizelge 4.51.	28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin konvansiyonel beton ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	148
Çizelge 4.52.	28 günlük küp numune basınç dayanım değerleri	149
Çizelge 4.53.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	151
Çizelge 4.54.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	152

Çizelge 4.55.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	153
Çizelge 4.56.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	154
Çizelge 4.57.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	155
Çizelge 4.58.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	157
Çizelge 4.59.	Küp numunelere ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları	158
Çizelge 4.60.	Literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri	159
Çizelge 4.61.	Literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri	160
Çizelge 4.62.	Eğilme dayanımı değerleri	162
Çizelge 4.63.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	165
Çizelge 4.64.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	166
Çizelge 4.65.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	167

Çizelge 4.66.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	169
Çizelge 4.67.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	170
Çizelge 4.68.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	171
Çizelge 4.69.	Ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	172
Çizelge 4.70.	Çalışmalardan derlenen bazı eğilme dayanımı değerleri	173
Çizelge 4.71.	Konvansiyonel betona ait ortalama eğilme dayanımı değeri	174
Çizelge 4.72.	Geçirimli beton ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, konvansiyonel betona ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları	175
Çizelge 4.73.	Silindir yarma dayanımı değerleri	176
Çizelge 4.74.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	177
Çizelge 4.75.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	178
Çizelge 4.76.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	180
Çizelge 4.77.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	181

Çizelge 4.78.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	182
Çizelge 4.79.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	183
Çizelge 4.80.	Ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları	184
Çizelge 4.81.	Konvansiyonel beton ortalama silindir yarma dayanımı değeri	185
Çizelge 4.82.	Tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, konvansiyonel beton ortalama silindir yarma dayanımı değerine göre oranları	186
Çizelge 4.83.	Çalışmalardan derlenen bazı silindir yarma dayanımı değerleri	187
Çizelge 4.84.	Aşınma dayanımı sonuçları	188
Çizelge 4.85.	2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	189
Çizelge 4.86.	4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	190
Çizelge 4.87.	8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	191
Çizelge 4.88.	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	193

Çizelge 4.89.	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	194
Çizelge 4.90.	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları	195
Çizelge 4.91.	Tüm karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları.....	196
Çizelge 4.92.	Ortalama ağırlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama ağırlık kaybı değerine göre oranları.....	197
Çizelge 4.93.	Ortalama hacim kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama hacim kaybı değerine göre oranları	198
Çizelge 4.94.	Böhme diski kullanılarak gerçekleştirilen bazı aşınma deneyi sonuçları.....	200
Çizelge 4.95.	Farklı yöntemlerle elde edilen permeabilite katsayıları.....	201
Çizelge 4.96.	2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemlere ait sonuçların kıyaslanması	203
Çizelge 4.97.	4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 2-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması	204
Çizelge 4.98.	8-16 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 3-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması	206

Çizelge 4.99. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-3 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması	208
Çizelge 4.100. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması	209
Çizelge 4.101. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması	211
Çizelge 4.102. Farklı ölçüm yöntemlerinden elde edilen permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve ölçüm yöntemlerinin kıyaslanması	213



Şekil 2.1.	Farklı su içeriğindeki geçirimli beton karışımları a) Çok az su içeren karışım b) Uygun miktarda su içeren karışım c) Fazla su içeren karışım (Tennis ve ark., 2004)	13
Şekil 2.2.	Geçirimli betonun çelik silindirle sıkıştırılma aşaması (Tennis ve ark., 2004)	20
Şekil 2.3.	A grega gradasyon limiti (Kevern ve ark., 2010).	33
Şekil 3.1.	Agrega granülometri eğrileri.....	38
Şekil 3.2.	Saha koşullarında agrega eleme işlemi	39
Şekil 3.3.	Agrega yıkama işlemi	39
Şekil 3.4.	Agrega kurutma işlemi.....	40
Şekil 3.5.	Kurutma işleminden sonra (a): 8-16 mm, (b): 4-8 mm ve (c): 2-4 mm boyutlu agregaların görüntüleri	40
Şekil 3.5.	Kurutma işleminden sonra (a): 8-16 mm, (b): 4-8 mm ve (c): 2-4 mm boyutlu agregaların görüntüleri(devam)	41
Şekil 3.6.	Su miktarını belirlemek üzere yapılan ön deney.....	44
Şekil 3.7.	Su miktarının gereğinden fazla olması durumu	45
Şekil 3.8.	Deneylerde kullanılan devirmeli betoniye.....	48
Şekil 3.9.	Bu tez kapsamında teste tabi tutulan numuneler.....	49
Şekil 3.10.	150x300 mm boyutlu silindir numune basınç dayanımı deneyi	50
Şekil 3.11.	150x150x150 mm boyutlu küp numune basınç dayanımı deneyi.....	51
Şekil 3.12.	Eğilme dayanımı deneyi şematik çizimi	52
Şekil 3.13.	Geçirimli beton eğilme dayanımı deneyi	52
Şekil 3.14.	Silindir yarma dayanımı deneyi	53
Şekil 3.15.	Farklı hacim türleri (Webb, 2001).	54
Şekil 3.16	İri agregalar kullanılarak elde edilen örnek geçirimli beton yüzeyi.....	55

Şekil 3.17. Geçirimli beton kesiti	57
Şekil 3.18. Kaplanmış deney numunesi	57
Şekil 3.19. Su taşıma yöntemi	59
Şekil 3.20. Parafinle kaplı geçirimli beton numune	60
Şekil 3.21. Hacimsel porozite deneyi.....	61
Şekil 3.22. Aşınma deneyi	62
Şekil 3.23. Permeabilite deney düzeneği şematik çizimi	63
Şekil 3.24. Permeabilite deney düzeneği	64
Şekil 3.25. Düşen seviyeli permeabilite deney düzeneği (2. Yöntem).....	65
Şekil 4.1. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri	68
Şekil 4.2. Silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri	70
Şekil 4.3. Küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde yapılan yoğunluk deneyi sonuçları	72
Şekil 4.4. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranlarının değişimleri	74
Şekil 4.5. Eğilme kırışi numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri	76
Şekil 4.6. Eğilme kırışi numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları	78
Şekil 4.7. Aşınma numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri	80

Şekil 4.8. Aşınma numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk deneyleri sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri	81
Şekil 4.9. Permeabilite deney numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri	83
Şekil 4.10. Permeabilite deney numunelerinden alınan parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre bulunan ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri.....	85
Şekil 4.11. Permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri	87
Şekil 4.12. Permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile belirlenen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları	89
Şekil 4.13. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri.....	93
Şekil 4.14. Farklı yöntemlerle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	95
Şekil 4.15. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerleri	97
Şekil 4.16. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre değişimleri.....	98
Şekil 4.17. Kiriş numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri	100

Şekil 4.18. Kiriş numune parçalarına ait farklı ölçüm yöntemlerinden elde edilen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	102
Şekil 4.19. Aşınma numunelerine ait farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri	104
Şekil 4.20. Aşınma numunelerine ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak elde edilen ortalama porozite değerlerine göre oranları	106
Şekil 4.21. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri	108
Şekil 4.22. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre değişimleri	110
Şekil 4.23. Permeabilite numunelerine ait hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri	112
Şekil 4.24. Permeabilite numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları	114
Şekil 4.25. Geçirimli beton silindir numune basınç deneyi	115
Şekil 4.26. 2-4 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	117
Şekil 4.27. 4-8 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	118

Şekil 4.28. 8-16 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	119
Şekil 4.29. Agregabağlayıcı oranı 3 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	121
Şekil 4.30. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	122
Şekil 4.31. Agregabağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	123
Şekil 4.32. Tüm karışımlara ait 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri	124
Şekil 4.33. 2-4 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	127
Şekil 4.34. 4-8 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	128
Şekil 4.35. 8-16 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	129
Şekil 4.36. Agregabağlayıcı oranı 3 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	130
Şekil 4.37. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	131
Şekil 4.38. Agregabağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	132
Şekil 4.39. 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	134
Şekil 4.40. 2-4 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	137
Şekil 4.41. 4-8 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	138

Şekil 4.42. 8-16 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	139
Şekil 4.43. Agregabağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	140
Şekil 4.44. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan 28 günlük silindir numunelere ait basınç dayanımı değerleri	142
Şekil 4.45. Agregabağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	143
Şekil 4.46. 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	144
Şekil 4.47. Konvansiyonel betona ait gerilme, şekil değiştirme grafiği.....	146
Şekil 4.48. Tüm karışımlara ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerleri	147
Şekil 4.49. 2-4 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	150
Şekil 4.50. 4-8 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	151
Şekil 4.51. 8-16 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	152
Şekil 4.52. Agregabağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	154
Şekil 4.53. Agregabağlayıcı değeri 2,5 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	155
Şekil 4.54. Agregabağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri	156
Şekil 4.55. 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin değişimleri	157
Şekil 4.56. K 1-2 karışımına ait küp numunenin deney sonundaki görüntüsü	161

Şekil 4.57. K 3-2'ye ait eğilme kirişi numunesinden beton kesme makinesi yardımıyla alınan bir parçanın kesit görünümü	163
Şekil 4.58. Kiriş numunelerin test sonrası görünümü	164
Şekil 4.59. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	165
Şekil 4.60. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	166
Şekil 4.61. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	167
Şekil 4.62. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	168
Şekil 4.63. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	169
Şekil 4.64. Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	170
Şekil 4.65. Geçirimli beton karışımlarına ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	172
Şekil 4.66. Konvansiyonel beton ve geçirimli betonlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri	174
Şekil 4.67. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	177
Şekil 4.68. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	178
Şekil 4.69. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	179
Şekil 4.70. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	180
Şekil 4.71. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	181

Şekil 4.72. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	182
Şekil 4.73. Geçirimli betonlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	184
Şekil 4.74. Tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri	185
Şekil 4.75. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	189
Şekil 4.76. 4-8 mm agregalı karışımlara ait aşınma numunelerinin ortalama kalınlık kaybı değerleri	190
Şekil 4.77. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	191
Şekil 4.78. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	192
Şekil 4.79. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	193
Şekil 4.80. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	195
Şekil 4.81. Tüm karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri	196
Şekil 4.82. Aşınma numunelerine ait yüzde cinsinden ortalama ağırlık kaybı değerleri	197
Şekil 4.83. Aşınma numunelerine ait ortalama hacim kaybı değerleri	198
Şekil 4.84. 2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları	202
Şekil 4.85. 4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları	204
Şekil 4.86. 8-16 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları	206
Şekil 4.87. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları	207
Şekil 4.88. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları	209

Şekil 4.89. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları	210
Şekil 4.90. Tüm karışımlara ait sabit ve düşen seviyeli ölçüm yöntemleriyle belirlenen permeabilite katsayıları	212
Şekil 4.91. Porozite değişimi ile permeabilite katsayılarının değişimi	214





SİMGELER VE KISALTMALAR

f_{cf}	: Eğilme dayanımı
M	: Moment
W	: Mukavemet momenti
F	: Maksimum yük
d_1	: Kesit genişliği
d_2	: Numune yüksekliği
f_{ct}	: Silindir yarma dayanımı
D	: Silindir numune çapı
L	: Silindir numune uzunluğu
d_h	: Geçirimli betonun hacim kütlesi
G_k	: Değişmez kütleye kadar kurutulmuş numune kütlesi
G_{dh}	: Doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi
G_{ds}	: Doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesi
ρ	: Yoğunluk
W_{numune}	: Numunenin etüv kurusu ağırlığı
$W_{k.suda}$	: Kaplanmış numunenin su içindeki ağırlığı
$W_{kaplama}$	: Kaplama malzemesinin su içindeki ağırlığı
V	: Hacim
$V_{taşan}$	: Taşan su hacmi
$V_{kaplama}$	: Kaplama malzemesinin hacmi
V_1	: Parafinli numune hacmi
P	: Parafinli numune ağırlığı
S	: Su içerisindeki parafinli numune ağırlığı
V_2	: Parafin hacmi
K	: Parafin yoğunluğu
B	: Numune yoğunluğu

W_d	: Kuru haldeki numune ağırlığı
W_s	: Su içerisindeki numune ağırlığı
ρ_w	: Su yoğunluğu
V_t	: Hacim
M_1	: Kalıp, numune ve cam parçadan oluşan sistemin ağırlığı
M_2	: Su ile doldurulan sistemin ağırlığı
V	: Hacim
V_n	: Numune hacmi
ΔV	: Numune hacim kaybı
Δm	: 16 çevrimden sonra kütle azalması
ρ_R	: Numunenin yoğunluğu
M_0	: Deney numunesinin deneyden önceki ağırlığı
A	: Aşınma uygulanan yüzey alanı
k	: Permeabilite katsayısı
a	: Boru kesit alanı
L	: Numune uzunluğu
A	: Numune kesit alanı
t	: Su seviyesinin h_1 'den h_2 'ye düşmesi için gereken süre
h_1	: Başlangıç su seviyesi
h_2	: Bitiş su seviyesi
Q	: Deney esnasında geçen su hacmi
i	: Hidrolik eğim
t	: Deney süresi
A	: Numune kesit alanı
K 1-3	: Agregabağlayıcı oranı 3 olan, 2-4 mm agregalı karışım
K 1-2,5	: Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan, 2-4 mm agregalı karışım
K 1-2	: Agregabağlayıcı oranı 2 olan, 2-4 mm agregalı karışım
K 2-3	: Agregabağlayıcı oranı 3 olan, 4-8 mm agregalı karışım

K 2-2,5	: Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan, 4-8 mm agregalı karışım
K 2-2	: Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan, 4-8 mm agregalı karışım
K 3-3	: Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan, 8-16 mm agregalı karışım
K 3-2,5	: Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan, 8-16 mm agregalı karışım
K 3-2	: Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan, 8-16 mm agregalı karışım
Ç.	: Çimento
S.D.	: Silis dumanı
U.K.	: Uçucu kül
S.T.	: Silis tozu
B	: Bağlayıcı
Agr.	: Agrega
Eff.	: Efektif hava boşluğu
L	: Latex
G.B.	: Geçirimli beton
K.B.	: Konvansiyonel beton



1. GİRİŞ

1.1. Genel

Beton; agregası ismi verilen çakıl, kum gibi malzemelerin bir bağlayıcı ile bağlanması sonucunda elde edilen basınç dayanımı yüksek çekme dayanımı düşük olan bir yapı malzemesidir. Diğer yapı malzemeleriyle kıyaslandığında birçok avantajı söz konusudur. Bu avantajlardan bazıları: İstenilen şeklin verilebilmesi, birçok yapı malzemesine göre hizmet ömrü boyunca çevresel etkilere karşı daha dayanıklı olması, çelik donatılarla çok iyi aderans (kenetlenme) göstermesi ve ayrıca daha ekonomik olması şeklinde sıralanabilmektedir (Erdoğan, 2015). Betonun yapı malzemesi olarak yer altında ve yer üstünde birçok alanda kullanımı mevcuttur.

Gelişen teknoloji, çevreci yaklaşımlar, konforlu yaşama arzusu ve mühendislik hizmetlerindeki iyileştirme atılımları yeni beton türlerinin ortaya çıkmasına imkan tanımıştır. Geçirimli betonlarda bu atılımlardan birisidir. Genel olarak geçirimli betonlar kum içermeyen ya da çok az içeren ve sertleşmiş halde genellikle %15 ile %25 arasında boşluk elde edilen yapı malzemeleridir (Tennis ve ark., 2004).

Geçirimli betonlar çevreci özellikleri sayesinde günümüzde oldukça ilgi gören yapı malzemeleridir. Ancak keşfedilmeleri çevreci özelliklerinden ziyade, ekonomik kaygılardan kaynaklanmıştır. Chopra ve ark. (2007) tarafından yapılan çalışmada sınırlı miktarda çimento kullanılmasından dolayı geçirimli betonun en eski kullanımı için maliyet uygunluğunun temel neden olarak görüldüğü, ayrıca çimento kıtlığından ve konvansiyonel betona göre daha az çimento kullanmasından dolayı özellikle 2. Dünya savaşı sonrasında Avrupa'da kullanımının sürekli arttığı da belirtilmiştir. Patil ve ark. 'nın yapmış oldukları çalışmada ise geçirimli kaplama malzemeleri üzerine yapılan araştırmanın 1980'li yıllardan itibaren Japonya ve ABD gibi gelişmiş ülkelerde başladığı, geçirimli betonun Avrupa ve Japonya'da kayma direncini geliştirmesi ve trafik gürültüsünü azaltmasından dolayı taşıt yolu

uygulamalarında yüzey katmanı olarak da yaygın olarak kullanıldığı yer almaktadır.

Şehirlerin günden güne kalabalıklaşması ve doğanın tahrip edilmesiyle şehir yaşamının kalitesi düşmektedir. Yang ve Jiang (2003)'ün yapmış olduğu çalışmada geçirimli beton kaplamanın şehir çevresini geliştirecek birçok avantaja sahip olduğu belirtilmektedir. Bunlar:

1. Yağmur sularının kolaylıkla zemine doğru süzülebilmesi ve böylelikle yeraltı su kaynaklarının zamanla yenilenebilmesi,
2. Kaplama hava ve su geçirimli olduğundan altta kalan toprağın yaş kalabilmesi, böylece yol yüzeyi çevresinin gelişmesi,
3. Geçirimli beton kaplamanın araç gürültülerini absorbe edebilmesi,
4. Yağmurlu günlerde kaplama yüzeyinde su göllenmesi olmaması ve gece parlama yaşanmaması bu sayede sürücülerin konfor ve güvenliğinin artması,
5. Geçirimli beton kaplama malzemelerinin ısıyı toplayabilecek boşluklara sahip olması bu tür kaplamanın yeryüzündeki ısı ve nemi ayarlayabilmesi ve şehirlerdeki ısı adası olayını gidermesi olarak sıralanmıştır.

Çevreyi olumsuz etkileyen faktörlerin büyüklüklerini ve geçirimli betonların potansiyellerini araştıran çalışmaların özetlenmesiyle geçirimli betonlara neden ihtiyaç duyulacağı daha iyi anlaşılabilir.

Gürültü kirliliği şehir yaşamını zaman zaman çekilmez hale getiren bir sorun olmaktadır. Gelişmiş poroz betonların ses absorpsiyonu potansiyellerini araştıran Marolf ve ark. (2004)'ün yapmış olduğu çalışma sonucunda tek boyutlu agregalarla üretilen gelişmiş poroz beton karışımların gürültü absorpsiyonunda konvansiyonel betona göre önemli gelişme sağladığı bulunmuştur.

Şehir ısı adası etkisi de şehir yaşamını olumsuz etkilemektedir. Isı adası terimi meskûn mahallerin yakındaki kırsal alanlardan daha sıcak olmasını

tanımlamaktadır. Isı adaları yazın maksimum enerji talebini, iklimlendirme giderlerini, hava kirliliğini, sera gazı emisyonlarını, ısıya bağlı hastalıkları ve ölüm oranlarını arttırarak toplulukları etkileyebilmektedir (EPA, 2017). Kolokotroni ve ark. (2012) tarafından yapılan çalışma kapsamında Londra'nın şehir ısı adası etkisindeki bir ofis yapısının günümüzde ve gelecekte ısıtılması, soğutulması için gerekli enerji tüketimi ve ilgili CO₂ emisyonunu hesaplama çalışmasının sonuçlarına yer verilmiştir. Sonuçlar aşırı ısınmanın gelecekte artmasıyla birlikte daha fazla binanın soğutma sitemlerini kullanacağını göstermektedir.

Artan trafik yüküyle birlikte yağmursuyundaki kirletici miktarları da artış göstermekte ve şehrin doğasını olumsuz etkilemektedir. Geçirimsiz kaplamalar (özellikle park alanları) yağ, antifriz ve diğer otomobil akışkanlarını toplar; bu akışkanlar yağmur yağdığı anda akarsu, göl veya okyanuslara taşınabilir (Tennis ve ark, 2004). Barrett ve ark. (1998) tarafından yapılan bir çalışmada drenaj sistemi türü, çevresindeki arazi kullanımı ile trafik hacminin otoyol yağmursuyu yüzeysel akış karakteristiği üzerindeki etkisi araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Çalışmanın sonucunda yüzeysel akıştaki en yüksek kirlilik konsantrasyonu en yüksek trafik yoğunluğunun bulunduğu şehir kesiminde meydana gelmesine rağmen, drenaj sistemi türünün yüzeysel akışın kalitesini etkilediği belirtilmiştir. Arazilerin verimli kullanımının oldukça önemli olduğu şehir kesimlerinde çim hendeği vs. gibi Barrett ve ark. (1998) tarafından yapılan çalışmada bahsedilen yağmursuyundaki bileşen konsantrasyonlarını azaltıcı önlemleri almak her zaman mümkün olmayabilmektedir.

Geçirimli beton kullanımı Birleşik Devletler Çevre Koruma Ajansı (EPA) tarafından bölgesel ve lokal tabanlı yağmursuyu yönetimi için tavsiye edilen en iyi yönetim uygulamaları (Best Management Practices, BMP) arasında yer almaktadır, (Tennis ve ark., 2004). Geçirimli betonlar kirleticileri uzaklaştırma konusunda da iyi bir alternatif olarak değerlendirilebilir. Çinko ve bakır kirleticilerini yağmursuyu akışından uzaklaştırma konusunda geçirimli betonların etkili olup olmadığı Haselbach ve ark. (2014) tarafından araştırılmıştır. Sonuç olarak geçirimli

betonların yağmursuyundaki bakır ve çinko kirleticilerini uzaklaştırmada etkili olduğu, ön hızlandırılmış metal yükleme sonucunda çıkış suyundaki konsantrasyonda giriş suyu konsantrasyonuna göre çinko ve bakır için sırasıyla ortalama %90 ve %87 oranında azalma olduğu bulunmuştur.

Geçirimli betonlar poroz yapıları sayesinde ısı ve iyi akustik yalıtım özelliklerine sahiplerdir. Yer altı suyunu beslemede ve yağmursuyu akışını azaltmada etkilidirler. Ayrıca bekletme havuzu, yağmursuyu hendeği ve diğer yağmursuyu yönetimi araçlarının kullanımına duyulan ihtiyacı da ortadan kaldırarak daha etkili arazi kullanımı imkânı sunmaktadırlar (Tennis ve ark., 2004). Ancak, genel olarak portland çimentonun bağladığı tek tip agrega ile yapılan geçirimli betonlar yetersiz yapısal dayanımlarından dolayı kaplama malzemesi olarak kısıtlı biçimde kullanılmaktadır (Lian ve Zhuge, 2010). Geçirimli betonun farklı alanlarda da kullanılabilecek potansiyeli olmasına rağmen, temel kullanım alanı kaplama malzemesi olarak kullanımıdır (Tennis ve ark., 2004).

Geçirimli betonun kaplama malzemesi olarak uygulanması özellikle gelişmekte olan birçok ülkede malzeme hazırlanması ve test edilmesinin yanı sıra inşaat uygulamalarındaki standart yöntem eksikliğinden dolayı hala uygulanmamaktadır (Chandrappa ve Biligiri, 2016). Yapılan literatür araştırmalarında geçirimli betonlarla ilgili ülkemizde de sınırlı sayıda çalışma yapıldığı görülmektedir.

1.2. Tezin Amacı

Tezin amacı, önceki çalışmalarda elde edilen bulgular yardımıyla farklı boyutlardaki agregalar ve agrega/bağlayıcı oranlarında hazırlanan karışımların dayanımlarını arttırarak Karayolları Genel Müdürlüğü' nün Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesinde belirlenen minimum dayanım değerlerini karşılayabilecek yol kaplama malzemesinin elde edilebilme potansiyelinin araştırılmasıdır. Karışımların dayanımlarıyla birlikte, permeabilite değerlerinin de olabildiğince yüksek olması hedeflenmiştir. Birçok olumlu özellikleri sıralanan geçirimli

betonların sık sık su baskınları yaşanan ülkemizde altyapı maliyetlerini düşürmesi ve aynı zamanda çevreci özellikleriyle birlikte yaşam standartlarını yükseltebileceği göz önünde bulundurularak bilinirliğinin artırılması, girişimde bulunacaklara yol gösterilmesi aynı zamanda agrega gradasyonu, agrega/ bağlayıcı oranı, mineral ve kimyasal katkı eklentilerinin dayanım ve permeabilite özelliklerine etkilerinin incelenmesi hedeflenmiştir.





2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Geçirimli betonlarla ilgili literatürde yer alan çalışmalar; genel olarak mekanik ve durabilite özelliklerinin iyileştirilmesine, boşluk özelliklerinin anlaşılmasına, çevreci özelliklerinin belirlenmesine, uzun dönem performanslarının değerlendirilmesine ve test yöntemlerinin kıyaslanmasına yönelik çalışmalar şeklinde sınıflandırılabilir.

Bu bölüm kapsamında geçirimli betonlarla ilgili literatürdeki araştırmalar; kullanılan malzemeler, taze haldeki kıvam, sıkıştırma ve yerleştirme şekilleri, basınç dayanımı, eğilme ve yorulma dayanımı, aşınma ve donma-çözülme dayanımı, iletim ve çevreci özellikleri, uzun dönem performansları ve kullanılabilirlik sınır değerleri bakımından ayrı ayrı incelenmiştir.

2.1. Geçirimli Beton Agregaları

Literatür araştırmalarında agrega faktörünün geçirimli betonların özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği pek çok çalışma olduğu görülmektedir (Yang ve Jiang, 2003; Kevern ve ark., 2010; Ćosić ve ark., 2015; Fu ve ark., 2014; Zhong ve Wille, 2015; Jain ve Chouhan, 2011; Kareem, 2014; Lian ve Zhuge, 2010; Gaedicke ve ark., 2014).

Geçirimli betonlarda ince agrega miktarı sınırlıdır ve iri agrega dar gradasyonlu olarak sınırlandırılmaktadır. Genel olarak kullanılan iri agrega gradasyonları ASTM C 33 No. 67 (19, 4.75 mm); No. 8 (9.5, 2.36 mm) veya No 89. (9.5, 1.18 mm) eleklerini kapsamaktadır (Tennis ve ark., 2004).

Geçirimli betonların mekanik özellikleri üzerinde agrega türünün etkililiği araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Lian ve Zhuge, (2010)'un yapmış oldukları çalışmada dolomit, kireçtaşı ve kuvarsit agrega türleri poroz beton yapmak için optimum agrega türünü belirlemek üzere karşılaştırılmıştır. Çalışmada tek boyutlu agregalarda dolomitin diğer iki türe göre hem 7 hem de 28 günde daha yüksek basınç dayanımına sahip olduğu, ayrıca dolomit agregalarla üretilen numunelerin

daha yüksek eğilme dayanımı gösterdikleri belirtilmiştir. Sonuçlara göre aynı boyutta ve gradasyonda olsa dahi agregâ türünün dayanımı etkilediği bildirilmiştir.

Agregâ türü ve boyutunun geçirimli beton özellikleri üzerindeki etkilerinin incelendiği Ćosić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada ise 0-2 mm boyutunda kum, 4-8 mm ve 8-16 mm boyutlarında dolomit ve çelik cürufu agregalar farklı oranlarda kullanılmıştır. Sonuçta bağlantılı porozitenin, agregâ boyutuna göre agregâ türünden daha çok etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca, agregâ türü ve boyutunun basınç dayanımı üzerindeki etkileri ve agregâ boyutunun dinamik elastisite modülü üzerindeki etkisi açık bir şekilde gözlenmemiştir.

Araştırmacılar agregâ türüne ek olarak agregâ şeklinin de geçirimli betonlar üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Kevern ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada iri agreganın geçirimli betonun donma çözülme dayanımı üzerindeki özel rolünü belirlemek üzere on yedi farklı iri agregâ numunesi kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan agregaların çoğunluğunun kırma silisli granit, kırma veya doğal silisli nehir çakılı ve kırma kireçtaşı olmak üzere üç ana tipte olduğu belirtilmiştir. Sonuçlara göre köşeli agregâ içeren karışımların tasarım boşluk içeriğinden daha yüksek porozite içermeye yatkın olduğu bulunurken, yarı köşeli veya yuvarlak agregaların tasarım boşluk içeriğine yakın veya daha az boşluk içerdiği, agregâ su emme kapasitesinin donma çözülme dayanımı üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca yapılan deneylerde en iyi donma çözülme dayanımı granit agregalar kullanılarak elde edilen geçirimli betonlarda gözlenmiştir.

Agregâ şeklinin, geçirimli betonların basınç dayanımı ve permeabilitesi üzerindeki etkisinin büyüklüğü Jain ve Chouhan (2011)'in yapmış olduğu çalışmada incelenmiştir. Çalışmada şekillerine göre yassı, köşeli ve düzensiz olarak sınıflandırılmış agregalar kullanılmıştır. Sonuçta geçirimli betonun dayanım ve permeabilitesinin agregâ boyutu ve su/çimento oranı ile birlikte agregâ şeklinin fonksiyonu olarak değiştiği gözlenmiştir. Bütün agregâ boyutlarında geçirimli betonların basınç dayanımlarının agregaların köşelilik sayılarıyla ters orantılı

olarak değiştiği, bu sonuçlara göre geçirimli beton hazırlamak için agregaya uygunluğuna karar verilirken agreganın şeklinin de önemli bir parametre olarak düşünülmesi gerektiği bildirilmiştir.

Geri dönüşümlü agregaların geçirimli beton üretiminde kullanımı da araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Gaedicke ve ark. (2014)'ün yapmış oldukları çalışma kapsamında ince çakıl, kireçtaşı ve bir geri dönüşümlü beton agregası karışımı kullanılmıştır. Sonuç olarak geri dönüşümlü agregaya ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufunun geçirimli betonun aşınma dayanımı üzerinde zararlı bir etkiye sahip olmadığı belirtilmiştir. Geri dönüşümlü agregaların geçirimli betonlar üzerindeki etkilerini inceleyen bir başka çalışmadaysa Kareem (2014) tarafından farklı oranlarda geri dönüşümlü agreganın, doğal agregaya ile yer değiştirilmesi sonucunda geçirimli betonların özelliklerinde meydana gelen değişimler incelenmiştir.

Geçirimli beton kaplamaların yapısal ve hidrolojik performanslarını belirlemede bağlayıcı malzeme kaplama kalınlığı da önemli bir faktör olarak görülmektedir (Chandrappa ve Biligiri, 2016). Ağırlıklı olarak ince agregaların daha büyük yüzey alanına sahip olmasıyla ilişkili olarak, daha iri agregalar etrafında daha kalın kaplama tabakası oluşmasına karşın daha ince agregalar etrafında daha ince kaplama tabakası oluştuğu bulunmuştur (Deo, 2011: Chandrappa ve Biligiri, 2016' dan).

2.2. Bağlayıcı Malzemeler

Konvansiyonel betonlarda olduğu gibi portland çimentolar ve katkı çimentolar geçirimli beton karışımlarında da kullanılabilir. Ek olarak uçucu kül, puzolanlar ve öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu gibi çimentoya ilave bağlayıcı malzemeler de geçirimli beton karışımlarına eklenebilir (Tennis ve ark., 2004).

Literatür incelemelerinde ek bağlayıcı malzemelerin geçirimli betonlarda ya çimento miktarı belli bir oranda azaltılarak azaltılan oran kadar (ikame)

karışıma eklendiğine ya da doğrudan çimentoya ilave olarak kullanıldığına rastlanılmaktadır. Çalışmalarında ilave bağlayıcı kullanan bazı araştırmacılar ve bağlayıcı türleri şöyledir: Gaedicke ve ark. (2014) yaptıkları çalışmada öğütülmüş granüle yüksek fırın cürufu, Yang ve Jiang (2003) silis dumanı, Marolf ve ark. (2004) silis dumanı, Chen ve ark. (2013) C sınıfı uçucu kül ve silis dumanı, Zhong ve Wille (2015) silis tozu ve silis dumanı kullanmışlardır.

Yang ve Jiang (2003) tarafından yapılan çalışmada geçirimli betonların dayanımını arttırmak için: Bağlayıcı çimento hamuru alanını arttırmak ve/veya çimento hamuru dayanımını arttırmak şeklinde iki çeşit yöntem olduğu bildirilmektedir. Buna karşılık, Tennis ve ark. (2004)'e ait çalışmada ise geçirimli betonlarda çimento hamuru miktarının agregalar arasındaki boşluktan az olduğu için her zaman çimento hamurunu güçlendirmenin toplam dayanımı arttırmayabileceği belirtilmektedir.

Genel olarak ilave bağlayıcı kullanımı mekanik dayanımı geliştirebilmektedir. Ancak gereğinden fazla kullanılması durumunda permeabilite değerini ve mekanik dayanımı olumsuz etkileyebilmektedir. Fu ve ark. (2014)'ün yapmış oldukları deneyler sonucunda %10 silis dumanı içeriği bulunan karışımın, kontrol numunesinden ve daha yüksek oranda (%20 ve %30) silis dumanı içeren numunelerden üstün mekanik dayanım gösterdiği bulunmuştur. Sonuçta uygun miktarda silis dumanı eklenmesinin mekanik dayanımı geliştirebileceği belirtilmiştir.

Portland çimento ve ilave bağlayıcılar haricinde alkaliyle aktifleştirilmiş cüruf harçların da geçirimli betonlarda bağlayıcı olarak kullanımı test edilmiştir. Fu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada sodyum silikat, sodyum hidroksit ve fosforik asit alkaliyle aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcı elde etmek üzere kullanılmıştır. Sonuç olarak uygun miktarda alkaliyle aktifleştirilmiş cürufun bağlayıcı olarak kullanılmasıyla geçirimli betonun mekanik dayanımını etkili biçimde geliştirebileceği gözlenmiştir.

2.3. Kimyasal Katkı Malzemeleri

Kimyasal katkı malzemeleri konvansiyonel betonlarda olduğu gibi geçirimli betonlarda da kullanılmaktadır. Hızlı priz süresinden dolayı geciktiriciler veya hidratasyon düzenleyiciler geçirimli betonlarda yaygın olarak tercih edilmektedir. Ayrıca, hava sürükleyici katkıları donma çözülme hasarını azaltabilmektedir ve donma çözülme endişesi bulunan yerlerde kullanılmaktadır (Tennis ve ark., 2004).

Literatürde geçirimli betonlarda su azaltıcı katkı maddesinin sıklıkla tercih edildiği gözlenmektedir. Chindaprasirt ve ark. (2008)'in yapmış olduğu çalışmada çimento hamurunun viskozitesini ve akma gerilmesini arttırmada süper akışkanlaştırıcının oldukça etkili olduğu belirtilmiştir. Lian ve Zhuge (2010) tarafından yapılan çalışmada da süper akışkanlaştırıcının silis dumanının dağılmasına yardım etmesi açısından oldukça faydalı olduğu ve dağıtma elemanı olarak süper akışkanlaştırıcı kullanımının yüksek dayanımlı poroz betonlar için gereklilik olduğu belirtilmiştir.

Su azaltıcı katkı maddesine ek olarak başka kimyasal katkı maddeleri de çalışmalarda kullanılmıştır. Gaedicke ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada Tip A orta sınıf su azaltıcı katkı maddesi ve Tip S viskozite düzenleyici katkı maddesi kullanılmıştır. Ghafoori ve Dutta (1995) tarafından yapılan çalışma kapsamında Tip A su azaltıcı katkı maddesi, Tip D priz geciktirici katkı maddesi ve donma çözülme dayanımını arttırmak amacıyla da hava sürükleyici katkı maddesi karışıma eklenmiştir.

Araştırmacılar tarafından geçirimli betonların mekanik dayanımını ve durabilitesini arttırmak amacıyla polimer katkı malzemeleri de kullanılmıştır. Yang ve Jiang (2003) tarafından yapılan çalışmada süper akışkanlaştırıcı katkı maddesi, vinil asetat-etilen emülsiyon (VAE) ve polivinil alkol formaldehid hidrosol (PAF) katkı malzemeleri geçirimli beton karışımlarına eklenmiştir. Çalışma sonunda VAE'nin betonda fazla boşluk doldurduğu, betonun sık taneli hale gelerek permeabilitesinin düştüğü gözlenmiştir. Ayrıca PAF' nin silis dumanı ve VAE

kadar iyi etki gösteremediği bulunmuştur. Çalışma kapsamında katkı malzemeleri kıyaslandığında silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanımının geçirimli beton özelliklerini iyileştirmede en iyi sonuçları verdiği belirtilmiştir. Chen ve ark. (2013)'ün yapmış oldukları çalışmada ise geçirimli betonların bağlayıcı özelliklerini modifiye etmek için vinil asetat etilen (VAE) ve akrilik emülsiyonun bir karışımı olan SJ-601 polimeri ile ilave bağlayıcı geçirimli betonların işlenebilirliğini geliştirmek üzere süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin kullanıldığı bildirilmiştir. Çalışmanın sonuçlarına göre hem polimer modifiyeli geçirimli betonlarla (PPC) hem de ilave bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli betonlarla (SPC) yüksek dayanımlı geçirimli betonlar elde edilebildiği bulunmuştur.

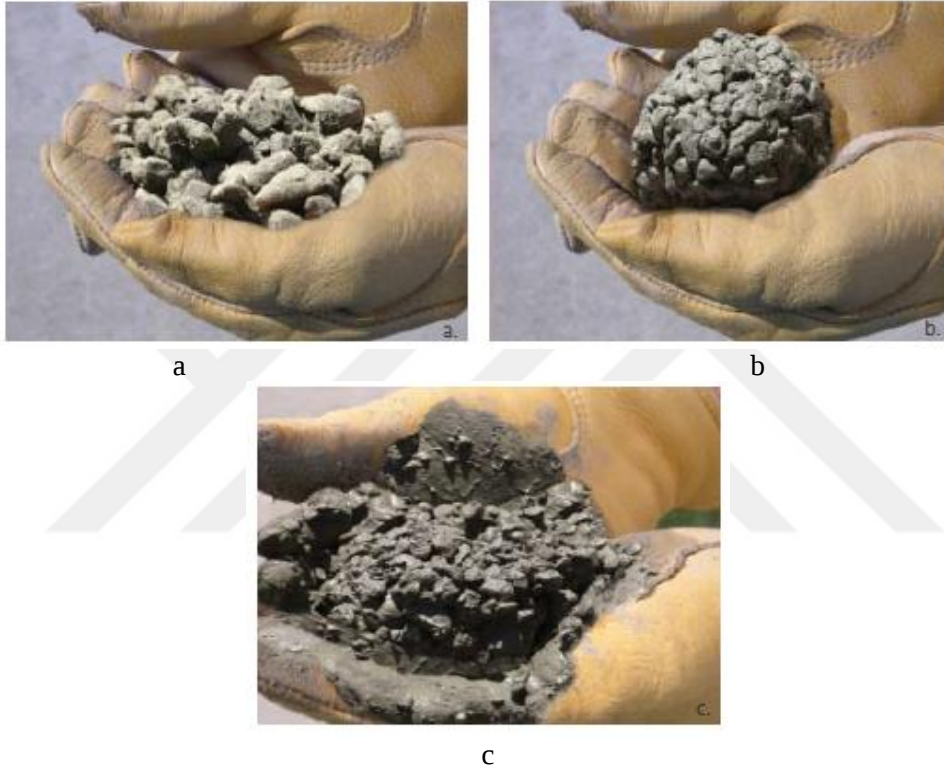
2.4. Geçirimli Betonlarda Karışım Oranları ve Kıvam

Tasarım açısından düşünüldüğünde su/bağlayıcı (çimento veya çimento + ilave bağlayıcı malzemeler) oranı geçirimli betonlar için de önemli parametrelerdendir. Kimyasal katkıların uygun şekilde katılmasıyla birlikte 0,27 ile 0,30 arasında su/bağlayıcı oranları rutin olarak tercih edilmekte ve 0,34 ile 0,40'a kadar olan değerler başarıyla kullanılmaktadır (Tennis ve ark., 2004).

Geçirimli betonlarda agrega/bağlayıcı oranı da önemli bir parametre olarak değerlendirilmektedir. Chandrappa ve Biligiri (2016)'nın yapmış oldukları çalışmada geçirimli betonlarda agrega/çimento oranının 4:1' den 6:1' e kadar olan aralıkta değişmekte olduğu ayrıca genellikle konvansiyonel betonda yaklaşık % 60 - % 75 kadar olan agrega hacminin, geçirimli betonda yaklaşık % 50 - % 65 kadar olduğu belirtilmektedir.

Geçirimli betonların kıvamı da konvansiyonel betonlarda olduğu gibi oldukça önemlidir. İnce agrega içermeyen beton için taze beton standart kıvam deneyleri (slump testi, K test, Kelly ball test) uygun bulunmamaktadır. İri agregaların etrafının çimento hamuruyla dengeli şekilde kaplanmasının sağlanması için görsel inceleme yapılması uygun kıvam elde etmede en tatmin edici yaklaşım

olarak tanımlanmaktadır (Ghafoori ve Dutta, 1995). Doğru su miktarı karışıma, agregadan akmadan parlaklık veren su miktarı şeklinde tanımlanmıştır (Tennis ve ark., 2004). Şekil 2.1.'de doğru kıvam ile ilgili fikir verici bir fotoğraf görülmektedir.



Şekil 2.1. Farklı su içeriğindeki geçirimli beton karışımları a) Çok az su içeren karışım b) Uygun miktarda su içeren karışım c) Fazla su içeren karışım (Tennis ve ark., 2004).

Doğru kıvam ile ilgili olarak Jain ve Chouhan (2011) tarafından yapılan çalışmada ıslak metalik parlıtlı çimento hamurunun aşağıya doğru çökmediği bir karışımın optimum basınç dayanımı ürettiği belirtilmiştir. Başka bir karışım oranı ve kıvam tavsiyesinde ise geçirimli beton yapmak için uygun yüksek viskoziteli ve 150-230 mm akışa sahip çimento hamurunun 0,20-0,25 su/çimento oranında %1

süper akışkanlaştırıcı katkı ve yeterli karıştırma ile elde edildiği ifade edilmektedir (Chindaprasirt ve ark., 2008).

2.5. Geçirimli Betonların İletim ve Çevreci Özellikleri

Geçirimli betonların kullanım amaçları göz önüne alındığında en önemli özellikleri kuşkusuz boşluk ve geçirimsizlik özellikleridir. Genel olarak akış oranı daha yüksek olabilmekle birlikte 0,34 cm/sn civarındadır (Tennis ve ark. 2004).

Geçirimli betondaki boşluklar boyutlarına veya bağlantılı olup olmamasına göre birbirinden ayrılmaktadır. Geçirimli betonlar iki seviyede permeabiliteye sahiptir. Bunlar: 1) Yağmursuyu süzülmesini kontrol eden makro ölçekli boşluklar, 2) Betonun durabilitesini etkileyen mikro ölçekli boşluklardır (Kevern ve ark., 2010). Ćosić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada geçirimsiz beton toplam porozitesinin izole olmuş (kapalı) porozite ile açık (bağlantılı) porozitenin toplamı olduğu ve hidrostatik tartım ile hesaplanabildiği belirtilmiştir. Ancak permeabilitenin boşluk sayısının yanında ayrıca boşlukların dağılımından ve birbirleriyle bağlantılı olup olmamasından da etkilendiği için doğrudan porozitenin iç yüzünü anlamının yararlı olacağı bildirilmektedir.

Birçok çalışmada bağlayıcı türlerinde veya karışım oranında yapılan düzenlemelerle geçirimsizlik özelliklerinin değişimi incelenmiştir. Fu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada su geçirgenlik katsayısı ve bağlantılı porozitenin, kullanılan bağlayıcı miktarı arttıkça düştüğü, agrega boyutu arttıkça yükseldiği ayrıca çalışmadaki alkaliyle aktifleştirilmiş cüruf bağlayıcılı geçirimsiz beton ve portland çimentolu geçirimsiz beton arasında su geçirimsizliği farkının önemsiz olduğu bulunmuştur. Jain ve Chouhan (2011)'in yapmış oldukları çalışmanın sonucunda ise geçirimsiz betonların permeabilite değerlerinin su/çimento oranının, agrega şeklinin ve boyutunun fonksiyonu olarak değiştiği gözlenmiştir.

Araştırmacılar geçirimsiz betonun boşluk özelliklerini de farklı yöntemler kullanarak incelemişlerdir. Ćosić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada boşluk hacmi ve boşluk bağlantılılığını ölçmek için X Ray mikrotomografi

kullanılmıştır. Ayrıca bu sonuçları değerlendirmek için tarayıcı elektron mikroskop kullanılarak mikro yapı analizi yapılmıştır. Sumanasooriya ve Neithalath (2011)'in yaptığı çalışmada porozite hacimsel ve fotoğraf analizi temelli yöntemle belirlenirken, karakteristik boşluk boyutları morfolojik fonksiyonlar yardımıyla bulunmuştur. Sonuçta boşluk boyutlarının poroziteden değil yalnızca agrega boyutundan etkilendiği bulunmuştur. Ayrıca elektriksel ölçümle boşluk bağlantılılık faktörü de belirlenmiştir. Yüksek çimento hamuru içeren karışımların düşük boşluk bağlantılılık faktörüne sahip oldukları ve belirli bir porozitede daha küçük boyutlu agrega kullanılarak yapılan karışımların azalmış bağlantılılıkla sonuçlandığı, yüksek çimento hamuru içeren karışımlarda minimum porozite ve maksimum çimento hamuru oranının numunenin tabanında gözlemlendiği belirtilmiştir. Bu durum da çimento hamuru kaynaklı tıkanmanın numunenin tabanına yakın bölgede oluştuğunu doğrulamaktadır.

Literatür incelemelerinde laboratuvarda üretilen geçirimli betonların permeabilite değerlerini belirlemek üzere birçok farklı deney düzeneğinin ve farklı ölçüm yönteminin kullanıldığı görülmüştür. Qin ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada düşen seviyeli ve sabit seviyeli permeabilite ölçüm yöntemleri geçirimli betonların permeabilitesini belirlemek için test numuneleri üzerinde farklı su seviyelerinde birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçların düşen seviyeli veya sabit seviyeli ölçüm yöntemine göre değişkenlik gösterdiği bulunmuştur. Geçirimli betonların permeabilite değerlerinin test metodu ve uygulanan basınçla birlikte rapor edilmesi gerektiğine vurgu yapılmış olup düşen seviyeli permeabilite metodunda başlangıç ve bitiş seviyesi seçimlerinin ölçülen permeabiliteyi ciddi oranda etkilediği sonucuna varılmıştır.

Laboratuvardaki test yöntemlerinin haricinde sahada permeabilite ölçümüne imkan tanıyan yöntemler de mevcuttur. Li ve ark. (2013)'ün yapmış oldukları çalışmada poroz asfalt ve geçirimli betonların permeabilite ölçüm testleri için yoğun olarak kullanılan testlerden Ulusal Asfalt Teknoloji Merkezi (NCAT) permeametri ve ASTM C 1701, hali hazırda kullanımda olan çeşitli geçirimli

kaplama yüzeyleri üzerinde test edilerek değerler kıyaslanmıştır. Test sonuçlarına göre ASTM metodunun NCAT metoduyla yapılan ölçümlere göre ortalama % 75 kadar düşük sonuçlar verdiği bulunmuştur. Sonuçlara göre test metodlarından her ikisi de tüm kaplama yüzeylerinin permeabilitesinin ölçülmesinde etkili olarak kullanılabilir. Ayrıca karışım tasarımının ve bağlayıcı tipinin ölçümün hassasiyeti üzerinde ciddi etki göstermeyeceği belirtilmiştir.

Su seviyesindeki değişimlerden yararlanılarak permeabilitenin belirlendiği yöntemlerden ayrı olarak Kuang ve ark. (2011) tarafından yapılan çalışmada bir geçirimli kaplama için hidrolik iletkenlik “k” bir dizi boşluk yapısı modeli kullanılarak incelenmiştir. Çalışma kapsamında X-Ray tomografi yöntemi ile boşluk yapısı parametreleri ölçülmüştür. X-Ray tomografi sonuçları, geçirimli kaplama boşluk matrisinin yüksek kıvrımlı olduğunu ve toplam porozite ile efektif porozitenin eşit olmamakla birlikte heterojen şekilde dağıldığını göstermiştir. Çalışmada efektif porozite, efektif boşluk hacmi temelli özgül yüzey alanı ve ağırlıklı kıvrımlılığı kullanan modifiye Kozeny Carman modeli de önerilmiştir. Sonuçların modifiye Kozeny Carman modeli ile bu tür geçirimli kaplama boşluk yapı parametrelerinin hidrolik iletkenliği tahmin edebildiğini gösterdiği belirtilmiştir.

Geçirimli betonlar boşluklu yapısı sayesinde gürültüyü absorbe etme özelliğine de sahiptir. Marolf ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada gelişmiş poroz beton karışımlarının ses absorpsiyon karakteristiğini değerlendirmek için akustik empedans tüpü kullanılmıştır. Sonuç olarak akustik absorpsiyon davranışının porozite ve boşluk boyutu ile sıkı biçimde ilişkili olduğu saptanmıştır. Farklı boyutlarda agregalar karıştırılarak oluşturulan sistemlerin çoğu durumda akustik absorpsiyonun artmasına neden olduğu, büyük bağlantılı boşluklu gelişmiş poroz betonların düşük sürtünme kaybından dolayı düşük gürültü absorpsiyonuna sahip olduğu bulunmuştur. En yüksek absorpsiyon frekansının numunenin kalınlığıyla ilgili olduğu ve bir kez optimal frekans aralığı bilinirse optimal numune kalınlığını hesaplamak için gerekli yöntemin sağlanmış olacağı

bildirilmiştir. Kaplama kalınlığı yakındaki bölge sakinleri ve sürücüler açısından çok rahatsız edici olan frekanslar (genel olarak yaklaşık 1 kHz aralığında) için ses absorpsiyonunu maksimum hale getirecek şekilde seçilmelidir şeklinde tavsiyede de bulunulmuştur.

Geçirimli betonların şehir ısı adası etkisi üzerinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir. Sreedhar ve Biligiri (2016)'nın yapmış oldukları çalışmada farklı kaplama sistemlerinin termofiziksel özelliklerini incelemek üzere iki adet konvansiyonel yoğun gradasyonlu, bir lastik katkılı süreksiz gradasyonlu ve bir lastik katkılı açık gradasyonlu asfalt kaplamaya ek olarak bir konvansiyonel beton ve bir geçirimli beton karışımını içeren 6 farklı kaplama karışımı üretilmiştir. Sonuçta geçirimli betonların özgül ısı kapasitesinin diğer karışımlardan yüksek olması sayesinde sıcaklığa karşı en az hassas kaplama malzemesi olduğu bulunmuştur. Termal iletkenliklerine bakıldığında da geçirimli beton karışımının en yüksek termal iletkenlik katsayısına sahip olduğu ölçülmüştür. Hem yüzeyde hem de 40 mm derinlikten yapılan ölçümlerde en düşük kaplama sıcaklıkları konvansiyonel beton ve geçirimli beton karışımında gözlenmiş olup çimento betonu grubunun asfalt karışımı grubundan 10-15 derece farklılık gösterdiği belirtilmiştir. Beton karışımların en düşük kaplama sistemi ısısına sahip olduğu ve bu sayede şehir ısı adasını azaltma stratejisinde en iyi alternatifler oldukları çalışmada yer almaktadır. Sonuç olarak özgül ısı kapasitesi, termal iletkenlik, termal yalıtırlık ve beyazlık derecesindeki artışla birlikte maksimum kaplama yüzeyi sıcaklığında düşüş olduğu belirtilmiştir.

2.6. Sıkıştırma ve Yerleştirme Yöntemleri

Deneylerde kullanılan sıkıştırma yöntemleri de geçirimli betonların mekanik özelliklerini ve geçirimliliğini etkileyen önemli parametrelerdendir. Yapılan incelemelerde araştırmacıların birçok yöntem kullandıkları fark edilmiştir. Şişleyerek sıkıştırma, proktor çekiciyle sıkıştırma, marshall çekiciyle sıkıştırma,

yüzey vibrasyonu ile sıkıştırma ve belirli yükseklikten kalıp düşürerek sıkıştırma yöntemleri literatür taraması esnasında karşılaşılan yöntemlerden bazılarıdır.

Ghafoori ve Dutta (1995) tarafından yapılan çalışmada ince agrega içermeyen beton numunelerinin sıkıştırılması hem çekiçle hem de şişleme metodu ile yapılmıştır. Çekiçle sıkıştırma işlemi 305 mm yükseklikten 2,27 kg ağırlıklı bir çekiğin düşürülmesi ile gerçekleştirilirken, şişleme işlemi 12,7 mm kalınlığında bir şiş kullanılarak silindir kalıplarda 3 kademe halinde ve prizma kalıplarda iki kademe halinde her defasında 25 kez şişlenerek gerçekleştirilmiştir. Sonuçta çekiçle sıkıştırılmış karışımların dayanımının ve diğer fiziksel karakteristiklerinin elle şişlenen karışımlardan üstün olduğu belirtilmiştir. Şişleme metodu Kevern ve ark. (2010) tarafından da kullanılmıştır. İlgili çalışmada karışımlar üç kademe halinde yerleştirilmiş olup her katmanda hafifçe 25 kez şişlenmiştir. Ayrıca ek olarak sarsma tablasında her bir tabaka şişlendikten sonra 3-5 sn katmanların uygun bir biçimde birleşmesi için beklenmiştir. Bonicelli ve ark. (2015) tarafından yapılan başka bir çalışmada karışımlar Marshall sıkıştırıcısıyla 5, 10, 15 ve 20 vuruş yapılarak sıkıştırılmıştır. Sonuçta aynı karışımın sıkıştırma enerjisine bağlı olarak farklı karakteristik gösterebileceği belirtilmiştir.

Laboratuvar ölçekli çalışmaların sahadaki uygulamaları ne oranda temsil edebildiği de önemli bir husustur. Putman ve Neptune (2011) yapmış oldukları çalışmada farklı tekniklerle hazırlanan geçirimli beton numunelerinin özelliklerini kıyaslayarak hangi yöntemin yerindeki yerleştirilmiş geçirimli beton kaplama özelliklerini en iyi temsil edeceğini belirlemeye çalışmışlardır. Çalışmada 150x300 mm boyutlarında silindir numunelerin 15,9 mm çapında çelik çubuk, 2,5 kg ağırlığında standart proktor çekici ve 50 mm yükseklikten kalıp düşürülmesi yöntemleri kullanılarak sıkıştırıldığı belirtilmektedir. Sıkıştırma aletlerinin farklı olmasının yanında katman sayısı ve her bir katmandaki tekrarlama sayılarının değişimiyle de en iyi yöntem idealleştirmeye çalışılmıştır. Ayrıca kaplamayla aynı kalınlıkta (150 mm) geçirimli beton plak elemanlarda üretilerek incelenmiştir. Sonuçlar kaplama karot numuneleri ve yerleştirilmiş numunelerin sızma hızı,

yoğunluk ve porozite değerlerine göre kıyaslanmıştır. Sonuçta silindir numunelerde standart proktor çekicinin en az değişkenlik gösterdiği, nihai özellikler bakımından yerindeki kaplama özelliklerine benzer sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Ancak 600 mm kare plak elemanların yoğunluk ve porozite özellikleri bakımından yerindeki kaplama ile daha tutarlı oldukları bulunmuştur.

Geçirimli beton üretmek üzere en iyi koşulları belirlemeyi amaçlayan Chindaprasirt ve ark. (2008)'in yapmış oldukları çalışmada taze haldeki çimento hamuru özellikleri, betonda sıkıştırma ve titreşim hususları ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda, geçirimli betonu sıkıştırırken 10 sn yüzey titreşimi ile 90 kNm/m² titreşim enerjisinin etkili olduğu bulunmuştur.

Sahadaki yerleştirme ve sıkıştırma işlemleri içinse Tennis ve ark. (2004)'ün yapmış olduğu çalışmada geçirimli betonların yerleştirme işlemlerinin konvansiyonel betonlara göre farklılık gösterdiği, vibrasyonlu master kullanımının optimum yoğunluk ve dayanım için önemli olduğu, masterlamanın ardından malzemenin genellikle çelik boru silindirle sıkıştırıldığı belirtilmektedir. Ayrıca plastik kaplama ile kür işleminin, yerleştirmeden hemen sonra başlanarak en az 7 gün sürdürülmesi gerektiği de bildirilmiştir. Şekil 2.2.' de geçirimli betonun çelik silindirle sıkıştırılma aşaması görülmektedir.



Şekil 2.2. Geçirimli betonun çelik silindirle sıkıştırılma aşaması (Tennis ve ark., 2004).

2.7. Geçirimli Betonların Basınç Dayanımları

Yapılan incelemelerde geçirimli betonların basınç dayanımlarının artırılmaya çalışıldığı veya karışımda yapılan değişikliklerin basınç dayanımlarına olan yansımalarının araştırıldığı birçok çalışmaya rastlanmıştır. Geniş uygulama alanlarıyla uyumlu olarak geçirimli beton karışımların 3,5 MPa ile 28 MPa aralığında basınç dayanımı geliştirebildiği belirtilmektedir (Tennis ve ark., 2004).

Çeşitli mineral ve kimyasal katkı malzemeleri kullanılarak geçirimli betonların basınç dayanımlarını arttırmayı amaçlayan birçok çalışma literatürde mevcuttur. Yang ve Jiang (2003)'ün yapmış oldukları çalışmada farklı karışım oranlarında hazırlanan geçirimli beton numunelerine ek olarak yüzey katmanı ve temel katmanından oluşan geçirimli beton kompozit numuneler de üretilmiştir. Silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı eklentisi, basınç ve vibrasyonla katmanların sıkıştırılmasıyla kompozitin basınç dayanımının 50 MPa'a ulaşabileceği

belirtilmiştir. Sonuçta daha küçük boyutlu agrega, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı kullanımı ile organik polimerin geçirimli betonun dayanımını geliştirebildiği bulunmuştur. Ancak polimerin doldurma özelliğinden dolayı su geçirgenliğini düşürebileceği bildirilmiştir.

Chen ve ark. (2013) tarafından hem ilave bağlayıcı malzeme modifikasyonlu geçirimli beton hem de polimer modifikasyonlu geçirimli betonlar üzerinde çalışma yapılmıştır. Çalışmanın sonunda geçirimli betonlarda boyut etkisinin konvansiyonel betonlara göre daha önemli olduğu bulunmuştur. Porozitenin hem ilave bağlayıcı modifikasyonlu geçirimli betonun (SPC) hem de polimer modifikasyonlu geçirimli betonun (PPC) basınç dayanımını ciddi miktarda etkilemesine rağmen, dayanım gelişimi oranı üzerinde küçük etkiye sahip olduğu görülmüştür. Sonuçta hem silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak elde edilen ilave bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli betonla hem de SJ-601 polimer kullanılarak elde edilen polimer modifiyeli geçirimli betonla yüksek dayanımlı (Poroziteye bağlı olarak 28 günlük dayanımı 32-46 MPa) geçirimli beton elde edilebildiği belirtilmiştir.

Yüksek dayanımlı geçirimli beton numuneleri elde etmek üzere Zhong ve Wille (2015)'in yapmış oldukları çalışmada ise optimize edilmiş ultra yüksek performanslı matris ile birlikte dengeli agrega/bağlayıcı oranıyla uygun boyutlu agrega kullanılmasının hidrolik iletkenlikten ödün vermeden potansiyel olarak geçirimli beton uygulamalarını geliştirebileceği ve yaygınlaştırabileceği belirlenmiştir. Sonuçlara göre basınç dayanımının %150 ve elastisite modülünün %100' e kadar hidrolik iletkenlikten ödün verilmeden arttığı gözlenmiştir. Yüksek performanslı geçirimli betonların konvansiyonel geçirimli betona göre daha yüksek elastisite modülü daha yüksek enerji yutma kapasitesi ve basınç altında artmış doğrusal davranış gösterdiği bulunmuştur. Sonuç olarak basınç dayanımı 50 MPa'ı, hidrolik iletkenliği 1 mm/sn' yi aşan ve kabul edilebilir donma-çözülme dayanımlı geçirimli betonların uygun şekilde tasarlandığında elde edilebileceği bildirilmiştir.

Gelişmiş yapısal dayanımlı yeni tip geçirimli beton üretilmesi amaçlanan Liang ve Zhuge (2010)'un yapmış oldukları çalışmanın sonucunda silis dumanı kullanımının geçirimli betonlar üzerinde fazla etki göstermediği, karışımın yüksek porozitesinden dolayı silis dumanının ince partiküllerinin sıkıştırma sonucunda segregasyon ve çökmeye meyilli olduğu belirtilmiştir. Diğer taraftan silis dumanının yayılmasına yardım etmesi açısından süper akışkanlaştırıcı etkisinin geçirimli betonlar için mükemmel olduğu çalışmada yer almaktadır. Yayılma gereci olarak süper akışkanlaştırıcı katkının yüksek dayanımlı geçirimli beton yapımı için gerekli olduğu bulunmuştur. Ayrıca ocak kumu kullanımının geçirimli beton dayanımını yükselteceği çalışmada bildirilmiştir. Sonuç olarak gelişmiş geçirimli beton için optimum agrega ve karışım bileşenleri tasarımı tavsiye edilmiştir.

Agrega gradasyonu tercihleri de geçirimli betonların basınç dayanımını etkilemektedir. Jain ve Chouhan (2011)'in yapmış olduğu çalışmada bütün agrega tiplerinde benzer olarak küçük boyutlu agrega kullanılarak hazırlanan geçirimli betonların genelde daha yüksek basınç dayanımı gösterdiği bulunmuştur.

Geçirimli beton karışımlarına kum eklentisi yapılarak dayanım değerlerinin yükseltilmesini amaçlayan çalışmalara literatürde rastlanmaktadır. Bonicelli ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada kum eklentisinin geçirimli beton karışımları üzerine etkileri de araştırılmıştır. Sonuçlara göre genel olarak karışıma kum ilave edilmesinin mekanik özelliklerin gelişmesine katkıda bulunduğu, buna karşılık geçirimliliği düşürdüğü bildirilmiştir.

Kimyasal ve mineral katkıların haricinde lif katkılı geçirimli betonlar da çalışmalar kapsamında test edilmiştir. Çalışmalar sonucunda geçirimli betonlarda da lif katkısının konvansiyonel betonlarda olduğu gibi basınç dayanımına ciddi etkisinin olmadığı bulunmuştur. Boşluk yapısı özellikleri arasında porozitenin, basınç dayanımı üzerinde maksimum etkiyi ortaya koyduğu belirtilmiştir (Rehder ve ark., 2014).

Atık malzemelerin geçirimli beton karışımlarında kullanıldığı çalışmalar da mevcuttur. Koshnaw (2014)'ün yapmış olduğu doktora çalışmasında atık lastiğin geçirimli betonlarda katkı malzemesi olarak kullanılması üzerine yoğunlaşmıştır. Çalışmada atık lastik parçalarının geçirimli betonların basınç dayanımı değerlerini düşürdüğü, en yüksek basınç dayanımı değerinin katkısız geçirimli beton numunelerinde elde edilirken katkılı numuneler arasında en yüksek basınç dayanımı değerinin ince doğranmış lastik (ince lastik kırıntısı) katkılı geçirimli beton numunelerinden elde edildiği gözlenmiştir.

Basınç dayanımı ile birlikte ince agregası içermeyen betonların elastisite modüllerinin de ölçüldüğü Ghafoori ve Dutta (1995) tarafından yapılan çalışmada ince agregası içermeyen betonların elastisite modülü değerlerinin konvansiyonel betonlarınkinden daha az olduğu belirtilmiştir.

2.8. Geçirimli Betonların Eğilme, Kırılma Tokluğu ve Yorulma Dayanımları

Geçirimli betonların eğilme, kırılma tokluğu ve yorulma dayanımları üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Tennis ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada geçirimli betonlarda eğilme dayanımının genelde yaklaşık 1 MPa ile 3,8 MPa aralığında değiştiği, özellikle sıkıştırma derecesi, porozite, agrega/çimento oranı gibi birçok faktörün geçirimli betonların eğilme dayanımı değerlerini etkilediği belirtilmektedir.

Ağır trafik yüküne ve şiddetli mevsimsel sıcaklık değişimine maruz kalan kaplama betonu için kırılma ve yorulma davranışı özellikle önemlidir. Gevrek bir malzeme olarak geçirimli betonun mekanik davranışı kritik biçimde çatlak ilerlemesinden veya kırılma davranışından etkilenmektedir. Tekrarlı trafik ve çevresel yüklere maruz kalan beton kaplamalar sıklıkla yorulma çatlamları altında taşıma gücünü kaybetmektedirler (Chen ve ark., 2013). Bu alanda yapılan çalışmaların incelenmesi gelişmiş geçirimli beton kaplamalar elde etmek için oldukça önemlidir.

Rehder ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada farklı porozitelerde oranlanmış geçirimli betonların kırılma davranışları, boşluk yapısı özelliklerinin ve lif hacmi oranının fonksiyonu olarak ele alınmıştır. Deneysel sonuçlara göre bu çalışmada kullanılan geçirimli betonlarda kırılma tokluğu (K_{1C})' nin lif hacmi oranıyla arttığı bulunmasına rağmen temel olarak kırılma tokluğunun poroziteye bağlı olduğu ve belirli bir porozite için boşluk boyutlarındaki artışın kırılma tokluğunda düşüşe neden olduğu belirtilmiştir. Ayrıca kritik çatlama uzunluğunun da porozite ve boşluk boyutlarına bakılmaksızın lif hacminin artmasıyla büyüdüğü bulunmuştur. Geçirimli betonun artık eğilme kapasitesinin belirli bir lif hacmi oranında porozite ile sabit olduğu artık eğilme kapasitesini arttırmaya yönelik lif katkısının yüksek porozite oranında (boşluk boyutu aynı kaldığı sürece) yüksek bulunduğu gözlenmiştir.

Chen ve ark. (2013)'ün yaptıkları çalışmada ilave bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli beton (SPC) ve polimer modifiyeli geçirimli betonun eğilme dayanımı, kırılma tokluğu ve yorulma ömrü özellikleri de incelenmiştir. 28 günlük polimer modifikasyonlu geçirimli betonun aynı porozite seviyesinde ilave bağlayıcı geçirimli betona göre hem daha yüksek eğilme dayanımına hem de daha yüksek eğilme/basınç dayanımı oranına sahip olduğu bulunmuştur. Çalışmada eğilme dayanımının basınç dayanımına göre poroziteye karşı daha hassas olduğu, çalışma kapsamında üretilen hem yüksek dayanımlı ilave bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli betonun hem de polimer modifikasyonlu geçirimli betonun konvansiyonel geçirimli betona göre yorulma özelliğini geliştirdiği bildirilmiştir. Ayrıca her gerilme seviyesinde polimer modifikasyonlu geçirimli betonun, ilave bağlayıcı malzeme modifiyeli geçirimli betondan daha yüksek kırılma tokluğu ve daha uzun yorulma ömrü gösterdiği, polimer modifikasyonlu geçirimli betonun çatlama ve çatlama ilerlemesine karşı dayanımı geliştirdiği bildirilmiştir.

Koshnaw (2014) tarafından yapılan çalışmada farklı oranlarda ve boyutlardaki lastik parçalarının eğilme dayanımı ve kırılma enerjisi üzerindeki etkisi de incelenmiştir. Yapılan çalışmada net eğilme dayanımının karışıma atık

lastik eklenmesiyle birlikte düştüğü ve en düşük net eğilme dayanımı değerini ince lastik kırıntılı geçirimli betonların verdiği belirtilmiştir. Kırılma enerjisinin atık lastik parçaları ve/veya lastik kırıntıları ile birlikte yükselirken ince doğranmış lastikle (ince lastik kırıntısı) düştüğü gözlenmiştir.

Genel olarak daha küçük boyutlu agregası kullanımı ve mineral katkı eklenmesi gibi mekanik dayanımı geliştirebilecek düzenlemelerin geçirimli betonların eğilme dayanımlarına da olumlu etki ettiği araştırmalar esnasında gözlenmiştir. Ćosić ve ark. (2015)'in yapmış oldukları çalışmada yüksek miktarda küçük boyutlu agregası kullanılması sonucunda daha yoğun beton karışımı ile daha yüksek eğilme dayanımı elde edildiği belirtilmiştir. Marolf ve ark. (2004)'ün yapmış oldukları çalışmada silis dumanı ve kum eklenmesinin her iki durumda da eğilme dayanımını yükselttiği rapor edilmiştir.

2.9. Geçirimli Betonların Aşınma ve Donma Çözülme Dayanımları

Geçirimli beton kaplamaların gerek sert kış koşullarına maruz kalması, gerekse de trafik yüklerine dayanması gerekliliği aşınma ve donma-çözülme özelliklerine büyük önem kazandırmaktadır. Düşük dayanımı ve yüksek boşluklu yapısı ile alakalı birbiriyle komşu agregası partikülleri arasında kısıtlı temas yüzeyi bulunmasından dolayı portland çimentolu geçirimli betonlar, konvansiyonel betonlara göre trafik yükleri altında çatlama ve sökülmeğe karşı daha hassastır (Dong ve ark., 2013). Literatürde bu alanlarda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır.

Gaedicke ve ark., (2014)'ün yapmış oldukları çalışmada karot ve laboratuvarda üretilmiş numuneler üzerinde yüzeysel aşınma (ASTM C 944) ve darbe aşınma metodu (ASTM C 1747) kullanılarak geçirimli betonların aşınma dayanımları incelenmiştir. Darbe etkisiyle aşınma dayanımını ölçen test metodunun farklı agregalarla, ilave bağlayıcı malzemelerle ve çimento hamuru içeriğiyle hazırlanan karışımlarda verimli bir şekilde farklılık göstermesine karşın, yüzeysel aşınma testinin geçirimli betonların aşınma dayanımı kalite kontrolünde

kullanılmak üzere gerekli hassasiyeti gösteremeyebileceği belirtilmiştir. Darbe aşınma metodunda agrega tipinin aynı agrega/çimento hamuru oranında ve eşit porozitede önemli bir role sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca ince çakıl karışımların, kırmataş agrega karışımlarından daha düşük aşınma dayanımına sahip olduğu çalışmada yer almaktadır.

Geçirimli betonlar üzerinde farklı aşınma dayanımı ölçüm yöntemlerinin kıyaslandığı Dong ve ark. (2013) tarafından yapılan çalışmada ise Cantabro testi, yüklenmiş teker aşınma testi (the loaded wheel abrasion test) ve yüzey aşınma (ASTM C 944) testinin portland çimentolu geçirimli betonların aşınma ve sökülme direncini değerlendirme imkanları incelenmiştir. Stiren butadien kauçuk latex ve polipropilen lif geçirimli beton karışımının mukavemet ve aşınma dayanımını arttırmak için eklenmiştir. Portland çimentolu geçirimli betonun özelliklerini geliştirmek için az miktarda doğal kum da karışımlarda kullanılmıştır. Sonuçta daha küçük boyutlu iri agrega kullanımı ve lif ve/veya latex eklenmesinin betonun aşınma dayanımını arttırdığı bulunmuştur. Üç aşınma testinin de portland çimentolu geçirimli beton karışımları arasında farklılık bulunması açısından yeterince etkili olduğu, ancak Cantabro testinde numunelerdeki bütünlüğün bozulmasının aşınmadan ziyade darbe etkisinden kaynaklanmasından dolayı aşınma dayanımını yansıtmayabileceğine değinilmiştir. Testler arasında yüklü teker aşınma testinin en iyi hassasiyete ve yeterli tekrarlanabilirliğe sahip olduğu bulunmuştur. Ayrıca bu aşınma testi için çivili teker ve yüksek teker yükünün aşınma seviyesini arttırmada etkili olduğu belirlenmiştir.

Bu deney metodlarının haricinde Koshnaw (2014) ve Kareem (2014)'ün yapmış oldukları çalışmalarda sürtünme yoluyla aşınma dayanımı testi Böhme diski aşınma dayanımını tespit etmek üzere tercih edilmiştir. Ghafoori ve Dutta (1995)'in yapmış oldukları çalışmada ise ASTM C 779c kapsamında aşınma dayanımı ölçülmüştür. Koshnaw (2014)'ün yapmış olduğu çalışma sonunda lastik katkısının aşınma dayanımını arttırdığı bulunmuştur. Kareem (2014)'ün yapmış olduğu çalışmada geri dönüşümlü agrega miktarının artmasıyla aşınma

dayanımının düştüğü gözlenmiştir. Ghafoori ve Dutta (1995) tarafından yapılan çalışmada ise konvansiyonel betona benzer şekilde ince agregâ içermeyen betonların aşınma derinliğinin zamanla arttığı belirlenmiştir. Ek olarak yoğunlaştırma gayretleri ve çimento/ agregâ oranındaki artışla aşınma dayanımının arttığı bulunmuştur.

Geçirimli betonların donma çözülme dayanımları da saha uygulamaları açısından son derece önemlidir. Sahadaki geçirimli betonun donma çözülme dayanımı donma esnasındaki boşluklardaki doygunluk seviyesine bağlı görülmektedir. Geçirimli betonun geniş boşlukları konvansiyonel betonu donma çözülme ortamında koruyan mikroskobik hava boşluklarından oldukça farklıdır. Geniş ucu açık boşluklar doygun hale geldiğinde, tam manasıyla donma sadece birkaç donma çözülme çevriminde bile ciddi zararlar verebilmektedir. Standart test metodu ASTM C 666'nın ucu açık boşlukları doygun halde tuttuğundan ve donma çözülmenin hızlı olmasından dolayı saha koşullarını iyi bir şekilde temsil etmeyebileceği belirtilmektedir (Tennis ve ark., 2004).

Kevern ve ark. (2010)' un yapmış oldukları çalışmada portland çimentolu geçirimli betonların donma çözülme dayanımı testlerinde uygun test yönteminin belirlenmesi hususunda fikir birliğine varılmadığı belirtilmektedir. Hızlı bozulma için en büyük potansiyeliyle doygun durum, kaplamalar için olası en kötü senaryoyu temsil ettiğinden ASTM C 666A kullanılmıştır. Çalışmada geçirimli betonların donma çözülme dayanımı üzerinde iri agregaların özel rollerini belirlemek için bir dizi test gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak agregâ su emme kapasitesinin geçirimli betonların donma çözülme dayanımları üzerinde en büyük etkiye sahip olduğu bulunmuştur. Kabul edilebilir donma çözülme dayanımına sahip agregaların su emme kapasitesinin ortalama % 0,82 olduğu bildirilmiştir. Ayrıca kabul edilebilir donma çözülme dayanımı gösteren karışımlardaki agregaların yüksek özgül ağırlığa (ort. 2,64) ve aşınma dayanımına (ort. %7,9) sahip olduğu çalışmada yer almaktadır.

Katkı malzemelerinin geçirimli betonların donma çözülme dayanımları üzerindeki etkilerini inceleyen çalışmalar da literatürde bulunmaktadır. Ghafoori ve Dutta (1995)'in yapmış olduğu çalışmada hava sürükleyici katkı malzemesi geçirimli beton karışımlarında kullanılmıştır. Çalışmanın sonucunda hava sürüklenmiş ince agrega içermeyen betonların hava sürüklenmemiş numunelere göre daha yüksek donma çözülme dayanımı gösterdiği bulunmuştur. Zhong ve Wille (2015)'in yaptıkları çalışmada konvansiyonel geçirimli betonlarla yüksek dayanımlı geçirimli betonların durabilitelerini kıyaslamak için donma çözülme testleri de yapılmıştır. Donma çözülme testleri ASTM C 666A-03'e göre gerçekleştirilmiştir. Test sonuçlarına göre yüksek performanslı geçirimli betonun, konvansiyonel geçirimli betona göre ciddi miktarda daha iyi donma çözülme dayanımına sahip olduğu bulunmuştur. Numuneler 300 hızlandırılmış donma çözülme çevrimine dayanabilmiştir ve böylelikle agresif çevre koşullarında kullanılabilme potansiyeli olduğu belirtilmiştir. Yüksek performanslı geçirimli betonun donma çözülme dayanımının yüksek olması yoğun mikro yapı matrisi ve matriste bulunan düşük miktarda donabilir su şeklinde izah edilebileceği bildirilmiştir.

2.10. Geçirimli Betonların Saha Performansları

Geçirimli betonların saha performansları da kullanılabilirliği açısından önemli bir diğer parametredir. Radlińska ve ark. (2012)'nin yapmış oldukları çalışmada Villanova üniversitesi kampüsünde bulunan geçirimli beton kaplı alanın uzun dönem performansı sahadan alınan numuneler üzerinden incelenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre ölçülen porozite, birim hacim ağırlık ve dayanım değerlerindeki ciddi farklılıkların uygulama yöntemi ve malzeme özelliklerinde ki ciddi tutarsızlıkları gösterdiği belirtilmektedir. Uygun olmayan yapım metodlarının arzulanan boşluk dağılımını değiştirdiği ve bu durumun kesitin permeabilitesini ciddi miktarda düşürerek gitgide geçirimsiz bir yüzey elde edilmesine neden olduğu, azalan permeabilitenin de sahanın su toplama verimini düşürdüğü ve

dahası fosfor emilimini azalttığı belirtilmiştir. Donma çözülme çevriminden dolayı oluşan sökülme zemin su iletimi veriminin düşüşünde kilit rol oynadığı vurgulanmıştır. Geçirimli beton alanının aynı miktarda yağışı toplayabilecek şekilde stratejik olarak yerleştirildiğinde, azaltılabileceği gözlemsel olarak ve saha yağış verileri sayesinde tespit edilmiştir. Tek geçişli ağırlıklı silindiri de içeren yeni sıkıştırma yönteminin yüzeye yakın agregaların çökmesini azaltarak daha iyi bir boşluk dağılımına müsaade edeceği, geçirimli betonun donma çözülme karakteristiğine dikkat ederek kullanım amacına uygun karışım tasarımı yapılmasının da poroz betonun uzun dönem durabilitesi ve performansı için kritik olduğu çalışmada yer almaktadır.

Gogo-Abite ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışma kapsamında geçirimli beton kaplamaların saha uygulamalarından alınan numunelerin mekanik özellikleri ve trafik yüklerine maruz kalan geçirimli beton kaplamaların yapısal bütünlüğü düşen ağırlık deflektometre kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçta geçirimli beton kaplama alttemel malzemesi kompozisyonunun ve katmanları sıkıştırma gayretinin defleksiyonu ciddi miktarda etkilediği belirlenmiştir. Yapılan değerlendirmede geçirimsiz beton kaplama kesiminin tüm sensör lokasyonlarında geçirimli beton kaplama kesimlerine göre kaplama erişilebilir boşluk alanları, alttemel malzemeleri ve sıkıştırmadan dolayı en düşük defleksiyon değerleri kaydedilmiştir. Geçirimli beton kaplamadaki defleksiyon miktarı, yük uygulama noktasında alt temel karakteristiğine bağlı olmak üzere geçirimsiz kaplamanın 1,7 ila 4 katı kadar çıkmıştır. Ayrıca kaplama elastisite modülü ve alt zemin reaksiyonlarının geçirimsiz beton kaplama kesimi değerlerinin geçirimli beton kaplama kesimi değerlerinden yüksek olduğunu gösterdiği belirtilmiştir.

Sonuç olarak her ne kadar laboratuvar koşullarında yüksek dayanımlı geçirimli betonlar elde edilebilse de saha uygulamalarında aynı başarının sürdürülebilmesinin oldukça zor olduğu görülmektedir.

2.11. Geçirimli Betonların Sülfat Dayanımı

Agresif kimyasallar konvansiyonel betonlarda olduğu gibi geçirimli betonlar içinde sorundur. Ancak, geçirimli betonların açık yapısı geniş alanlı kullanımlar için geçirimli betonları daha hassas hale getirmektedir. Geçirimli betonlar yüksek sülfat içerikli topraklar ve yer altı sularından izole edilerek kullanılabilir (Tennis ve ark., 2004). Geçirimli betonların durabilitesi ile ilgili olarak Fu ve ark. (2014) tarafından yapılan çalışmada iri agregaların istiflenmesinin büyük boşluklar ürettiğinden ve bu durumda sülfat için yol oluşturup reaksiyonları tetiklediğinden kütle kaybı yüzdesinin doğrudan agrega boyutuyla orantılı olduğu, ayrıca sülfat hücumuna maruz kalan geçirimli betonlarda kütle kaybı yüzdesinin çimento hamurunun su/çimento oranı arttıkça yükseldiği belirtilmiştir.

2.12. Ulusal Tez Merkezinde Yer Alan Çalışmalar

Ülkemizde geçirimli betonlarla alakalı yapılan tez çalışmaları Ulusal Tez Merkezi aracılığıyla araştırılmıştır. Bu kısımda söz konusu çalışmalar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır.

Yağcı (1991), tarafından yapılan yüksek lisans tezi geçirimli üstyapılarla alakalı Ulusal Tez Merkezinde yer alan en eski çalışma olarak görünmektedir. Bu çalışmada su/çimento oranı sabit kalmak şartıyla, farklı büyüklükteki agregaların karışımındaki oranlarının değiştirilmesiyle hazırlanan karışımlar üzerinde boşluk oranı, hidrolik iletkenlik, birim hacim ağırlık, basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerlerinin belirlendiği, sonuçlar kullanılarak hidrolik projelendirme yapıldığı ve geçirimli beton yol hakkında genel bilgiler ve önerilerde bulunulduğu bildirilmiştir.

Ceylan (1999), tarafından yapılan yüksek lisans tezinde iki grup halinde hem su/çimento oranı ve çelik lif dozajı sabit kabul edilip farklı boyutlu agregaların ağırlıkça yüzdeleri değiştirilerek karışımlar hazırlandığı hem de su/çimento oranını sabitleyip çelik lif dozajının değişiminin etkilerinin incelendiğinden bahsedilmiştir. Her iki grubunda birim hacim ağırlık, eğilmede çekme dayanımı değerlerinin tez

kapsamında ölçüldüğü tez bilgilerinde yer almaktadır. Ayrıca çalışmada lifli geçirimli beton üstyapıların tanımı ve uygulama alanlarından bahsedildiği aktarılmaktadır.

Kareem (2014) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde ise farklı oranlarda geri kazanılmış agregaların doğal agregayla yer değiştirmesi sonucu geçirimli betonların işlenebilirlik, mekanik, aşınma, hidrolik iletkenlik ve gözeneklilik özelliklerinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Yapılan deneyler sonucunda geri dönüşümlü agreganın kullanımındaki artışla birlikte permeabilite katsayısında artış meydana gelirken, mekanik dayanımın bu durumdan olumsuz etkilendiği belirtilmiştir.

DIRI (2015) tarafından yapılan yüksek lisans tezinde atık iri plastik parçalarından yararlanılarak sürdürülebilir bir geçirimli beton üretiminin amaçlandığı bildirilmiştir. Çalışma kapsamında farklı oranlarda atık iri plastik parçaları doğal agregayla yer değiştirilmiştir. Üretilen geçirimli betonlar üzerinde basınç, yarmada çekme dayanımı, geçirimsizlik, boşluk içeriği, kuru yoğunluk ve aşınma dayanımı özelliklerini belirlemeye yönelik testler gerçekleştirildiği belirtilmiştir. Sonuç olarak atık plastik malzemenin doğal agregayla yer değiştirmesiyle birlikte aşınma dayanımının ciddi oranda arttığı, buna karşılık mekanik ve geçirgenlik özelliklerinin olumsuz yönde etkilendiği ayrıca, atık plastik malzeme ile doğal agreganın yer değiştirmesi sonucunda kuru yoğunluk ve boşluk içeriği değerlerinin de azaldığı aktarılmaktadır.

2015 yılında onaylanan bir başka çalışmada soğuk bağlama ile üretilen uçucu kül agregasının sürdürülebilir hafif geçirimli beton üretiminde kullanılmasının amaçlandığı belirtilmiştir. Farklı oranlarda doğal agregaya soğuk bağlı uçucu kül agregasıyla yer değiştirilerek geçirimli beton numuneler üretilmiştir. Deneyler sonucunda soğuk bağlı uçucu kül agregasının kullanımının geçirimli betonun mekanik özelliklerini düşürmesine karşın, permeabilite katsayısını ciddi miktarda arttırdığı belirtilmektedir. Ayrıca soğuk bağlı uçucu kül agregası ile tek boyutlu doğal agreganın yer değiştirmesi sonucu ortaya çıkan

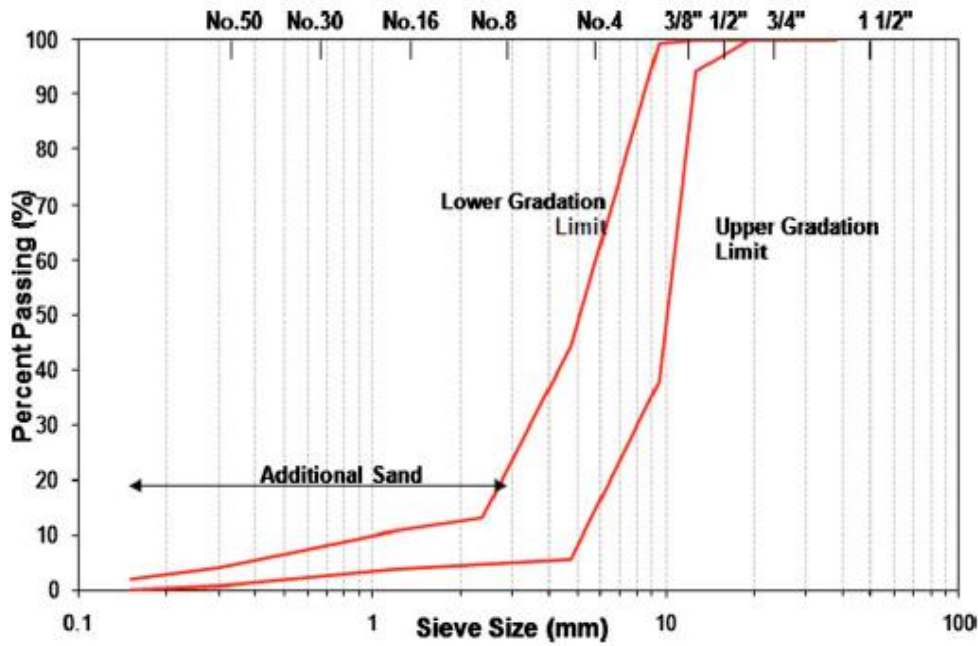
numunelerin kuru yoğunluğunda azalma ve boşluk miktarında artış olduğu bildirilmektedir (Sherwani, 2015).

2.13. Kabul Koşulları

Geçirimli betonların kabul koşullarının oluşturulması, girişimde bulunacaklara yol göstermesi açısından önemlidir. Deneyler sonucunda elde edilen dayanım değerlerinin hangi tür yol kaplamalarında kullanım için uygun olduğu incelenen literatür çalışmaları ışığında bu başlık altında toplanmıştır. Tennis ve ark. (2004) tarafından yapılan çalışmada yer alan bilgilere göre geçirimli betonların genel olarak sertleşmiş halde % 15 ile % 25 arasında boşluk oranına ve daha yüksek olabilmekle birlikte genelde 0,34 cm/s civarında akış hızına sahip olduğu belirtilmektedir. Yüksek boşluk içeriğine rağmen uygun şekilde yerleştirilmiş geçirimli beton kaplamaların 20,5 MPa'ı aşan basınç dayanımı ve 3,5 MPa'dan yüksek eğilme dayanımı değerini sağlayabileceği, bu dayanım değerininse yüksek dingil ağırlıklı çöp kamyonları ve itfaiye kamyonları gibi acil müdahale araçlarını da kapsayan çoğu düşük yoğunluklu kaplama uygulamaları için yeterli olacağı çalışmada yer almaktadır. Nguyen ve ark. (2014)'ün yapmış olduğu çalışmada elde edilen geçirimli betonun yağmursuyunu drene etmek için yeterli permeabilite (1 mm/s) ve otoparklar, yürüyüş yolları ve düşük trafikli yollar gibi genel geçirimli beton uygulamaları bakımından iyi basınç dayanımı (28,6 MPa) sunduğu belirtilmektedir.

Wang ve ark. (2006)'nın yapmış oldukları çalışmada ise soğuk iklim bölgelerindeki portland çimentolu geçirimli betonlar için performans tabanlı karışım tasarım kriteri: Permeabilite değeri minimum 0,1 cm/s, basınç dayanımı değeri minimum 20 MPa ve donma çözülme dayanımı da ASTM C 666A'ya göre 300 çevrim sonunda maksimum % 5 olacak şekilde önerilmiştir. Geçirimli betonlar üzerinde donma çözülmenin olumsuz etkilerini minimize etmek için Ghafoori ve Dutta (1995) tarafından yapılan çalışmada ince agrega içermeyen betonların sürüklenmiş hava içermesi, agrega/ çimento oranının 4:1 veya daha az olması ile

minimum yoğunluk, basınç dayanımı ve sıkıştırma enerjisi değerlerinin sırasıyla 1842 kg/m^3 , $24,13 \text{ MPa}$ ve 132 J/m^3 olması tavsiye edilmiştir. Yine donma çözülme çevrimine maruz kalabilecek geçirimli beton kaplamalarda hava sürükleyici katkı maddesine ek olarak geçirimli beton kaplamanın minimum 150 mm kalınlıktan başlayan (genellikle 300-450 mm ye kadar) drene edebilir kaya (örnek olarak 2,5 cm boyutlu kırmataş) taban üzerine yerleştirilmesi genel olarak donma durumunda önemli miktarda neme rastlanılacak donma çözülme çevrelerinde önerilmektedir, (NRMCA 2004, Tennis ve ark., 2004). Bir başka çalışmadaysa yüksek durabiliteli karışımlar için agreganın 2,5’den büyük özgül ağırlığa, % 2,5’den küçük su emme kapasitesine, %15’den küçük aşınmada kütle kaybına ve Şekil 2.3.’de görülen alt gradasyon limitine yakın granülometriye sahip olmasının gerekebileceği belirtilmiştir (Kevern ve ark., 2010).



Şekil 2.3. Agregada gradasyon limiti (Kevern ve ark., 2010).

Tipik geçirimli beton uygulama tasarımlarında eğilme dayanımı ölçümüne ihtiyaç duyulmamaktadır (Tennis ve ark., 2004). Ancak konvansiyonel beton yol şartnamelerine göre beton kaplamalar genellikle 28 günlük basınç ve eğilme dayanımlarına göre sınıflandırılmışlardır. Ćosić ve ark. (2015) tarafından yapılan çalışmada Hırvat yol kaplama mevzuatına uygun yol işleri genel teknik şartları gereksinimlerini karşılayacak optimum geçirimli beton karışımının belirlenmesi de amaçlanmıştır. Yol İşleri Genel Teknik Şartlarına göre çok ağır trafik yükleri için gerekli basınç dayanımı değerinin C 35/45 ve eğilme dayanımı değerinin 5 MPa; yoğun trafikli yollar için basınç dayanımı değerinin C 30/37 ve eğilme dayanımı değerinin 4,5 MPa; diğer trafik yükleri içinse basınç dayanımı değerinin C25/30 ve eğilme dayanımı değerinin 4,0 MPa olduğu belirtilmiştir (Institut IGH.,2001: Ćosić ve ark., 2015'den).

Son olarak ülkemizde otoyol, devlet ve il yolları ağına giren karayollarından sorumlu devlet kuruluşu Karayolları Genel Müdürlüğü tarafından kılavuz olarak kullanılan Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi incelendiğinde beton dayanım sınıfı olarak minimum C30/37 MPa sınıfının seçilmesi gerektiği, 28 günlük karakteristik eğilme dayanımı değerinin 4,5 MPa (150x150 mm kesitli $L \geq 525$ mm prizma numune (iki noktadan yükleme)) olduğu belirtilmiştir. Karakteristik yarmada çekme dayanımıyla ilgili olarak ilgili şartnamede yer alan Tablo 3.1.'de karakteristik yarmada çekme dayanımı 3,7 MPa olarak verilirken, Yol Kaplama Betonunun Karakteristik Basınç, Eğilme ve Yarmada Çekme Dayanımlarının yer aldığı Tablo 3.6.'da yarmada çekme dayanımı değeri 3,3 MPa olarak görülmektedir. Yarmada çekme dayanımı uygunluk kriterlerinin yer aldığı Tablo 3.12.'de de yarmada çekme dayanımı sınıfı S 3.3 olarak görülmekte olup, dipnotlar kısmında beton dayanım sınıfının C 30/37 olması durumunda yarmada çekme dayanımı sınıfının S 3.3 olacağı belirtilmiştir. (Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi). Çizelge 2.1.' de sınır değerler toplu halde görülmektedir.

Çizelge 2.1. Çeşitli kaplama türleri için gerekli dayanım değerleri

Kullanım Yeri	Diğer trafik yoğunlukları	Çok ağır trafik yüklerine maruz yollar	Yoğun trafikli yollar	Otoparklar, düşük hacimli yollar vs.	Soğuk iklim bölgelerindeki geçirimli betonlar	Beton yollar
Kaynak	Hırvatistan Yol İşleri Tek. Şart. (2001)	Hırvatistan Yol İşleri Tek. Şart. (2001)	Hırvatistan Yol İşleri Tek. Şart. (2001)	Nguyen ve ark. (2014)	Wang ve ark. (2006)	Beton Yol Kapl. Tek. Şart. (2016)
Basınç Dayanımı (MPa)	25/30	35/45	30/37	28,6	≥ 20	30/37
Eğilme Dayanımı (MPa)	4	5	4,5	-	-	4,5
Silindir Yarma Dayanımı (MPa)	-	-	-	-	-	3,3
Permeabilite (mm/s)	-	-	-	1	≥ 1	-
Donma Çözülme Dayanımı	-	-	-	-	$\leq \%5$	-



3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çimento

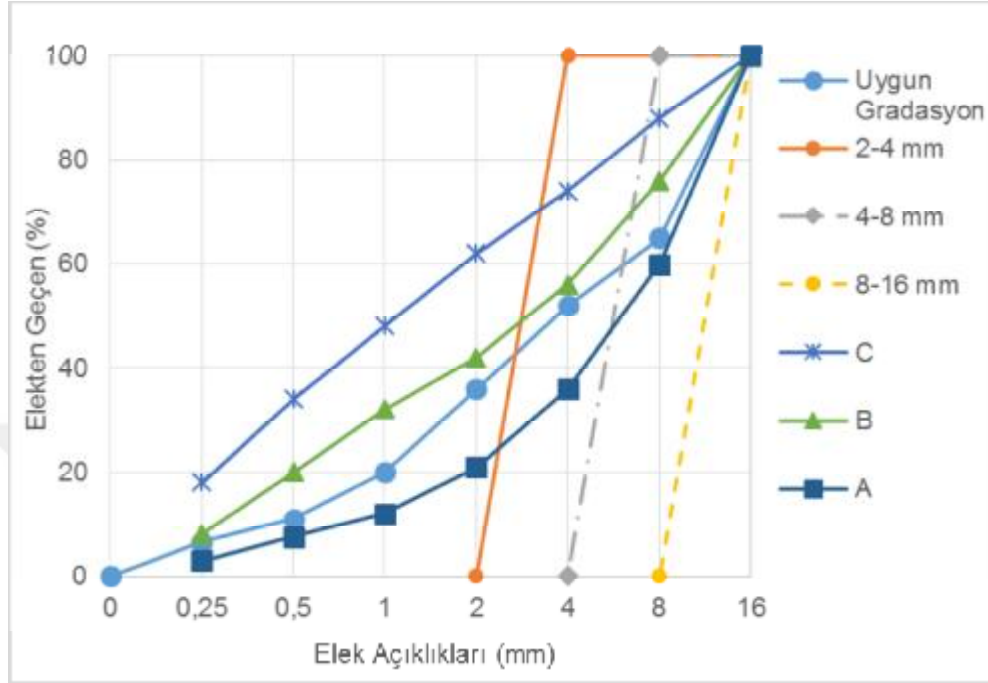
Özgül ağırlığı $3,15 \text{ gr/cm}^3$ ve özgül yüzeyi $3880 \text{ cm}^2/\text{gr}$ olan TS EN 197-1'i standardı uyumlu Kahramanmaraş Çimento üretimi Standart Tip I Portland Çimento (CEM I 42,5 R) çalışmalarda kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1.'de gösterilmiştir. İlgili değerler Kahramanmaraş Çimentonun internet sitesinden alınmıştır.

Çizelge 3.1. Çimento fiziksel özellikleri ve kimyasal analizi

Fiziksel Özellikleri ve Kimyasal Analiz	
MgO	% 0,85
SO ₃	% 2,48
Kızdırma kaybı	% 2
Hacim genişlemesi	1,3 mm
Priz başlangıcı	200 dk
Priz sonu	240 dk
Cl'	0,0092
Çözünmeyen kalıntı	% 0,4
Blaine özgül yüzey alanı	$3880 \text{ cm}^2/\text{gr}$

3.1.2. Agrega

Bu çalışmada geçirimli betonlar 2-4, 4-8, 8-16 mm boyutlarında tek tip kireçtaşı esaslı kırma taş agregalar kullanılarak üretilmiştir. Konvansiyonel beton içinse uygun granülometri eğrisi, TS 802 (1985)'de TS 706'ya atıf yapılarak verilen maksimum agregata tane büyüklüğü 16 mm olan agregalara ait granülometri eğrisinde A ve B eğrileri arasında kalacak şekilde seçilmiştir. 2-4, 4-8 ve 8-16 mm boyutlarındaki agregata gruplarının özgül kütle değerleri sırasıyla: 2.61, 2.69 ve 2.69 dur. Agregata granülometri eğrileri Şekil 3.1.'de görülmektedir.



Şekil 3.1. Agregat granülometri eğrileri

Agregalar Oyak Beton A.Ş.'nin Adana Sarıçam Hazır Beton Tesislerinden temin edilmiştir. Saha koşullarında bir defa büyük elekler kullanılarak elenen agregaların söz konusu yöntemin verimli olmaması ve agregaların çok tozlu olmasından dolayı laboratuvar'a getirildikten sonra yıkama, kurutma ve eleme işlemlerinin ardından kullanılmıştır. Şekil 3.2.'de saha koşullarında agregaların eleme işlemleri, Şekil 3.3.'de agregat yıkama işlemleri, Şekil 3.4.'de agregat kurutma işlemleri ve Şekil 3.5.'de ise kurutma işleminden sonra (a): 8-16 mm, (b): 4-8 mm ve (c): 2-4 mm boyutlu agregaların görüntüleri yer almaktadır.



Şekil 3.2. Saha koşullarında agrega eleme işlemi



Şekil 3.3. Agrega yıkama işlemi



Şekil 3.4. Agregat kurutma işlemi



(a)

Şekil 3.5. Devamı



(b)



(c)

Şekil 3.5.Kurutma işleminden sonra (a): 8-16 mm, (b): 4-8 mm ve (c): 2-4 mm boyutlu agregaların görüntüleri

3.1.3. Mineral Katkı

Geçirimli beton numunelerinin mekanik dayanımı ve durabilitesini geliştirmek üzere karışımlara silis dumanı eklenmiştir. BASF yapı kimyasallarından temin edilen silis dumanının fiziksel özellikleri ve kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2.' de görülmektedir.

Çizelge 3.2. Silis dumanı kimyasal ve fiziksel özellikleri

Nitelik	Değer
SiO ₂ (%)	91,97
Cl (%)	0,06
Fe ₂ O ₃ (%)	1,32
Al ₂ O ₃ (%)	0,62
Na ₂ O (%)	0,49
K ₂ O (%)	1,49
MgO (%)	1,25
CaO (%)	0,31
SO ₃ (%)	0,35
H ₂ O (%)	0,22
Kızdırma Kaybı (%)	1,33
Aktivite İndeksi (%)	131,5
Özgül Yüzey (m ² /g)	21,08
Hacimsel Yoğunluk (kg/m ³)	605,33

3.1.4. Kimyasal Katkı

Geçirimli beton numunelerinde işlenebilirliği arttırırken su/çimento oranını düşük tutmak amacıyla karışımlarda BASF MGLENİUM 51 süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılmıştır. Katkı malzemesinin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.3.' de görülmektedir.

Çizelge 3.3. Süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi kimyasal ve fiziksel özellikleri

Nitelik	Değer
Yoğunluk (gr/cm ³)	1,084
pH	6
Katı Madde (%)	35,64
Klor Miktarı (%)	0,0527
Alkali Miktarı (%)	1,19

3.2. Karışım Oranları

Bu çalışma kapsamında 3 farklı agrega gradasyonu ve 3 farklı ağırlıkça agrega/bağlayıcı oranında toplam 9 adet geçirimli beton ve çimento hamurunun bağlayıcılık kapasitesini tahmin etmek üzere 1 adet TS 706'ya göre uygun gradasyonda konvansiyonel beton karışımı imal edilmiştir. Geçirimli betonlarda agregalar 2-4 mm, 4-8 mm ve 8-16 mm aralıklarında olup; söz konusu agregalarda 3,0; 2,5 ve 2,0 ağırlıkça agrega/bağlayıcı oranının geçirimli betonların mekanik ve geçirimlilik özellikleri üzerindeki etkileri incelenmiştir. Çimento, süper akışkanlaştırıcı ve silis dumanı miktarı bütün karışımlarda eşittir. Bazı karışımlarda ne kadar dikkat edilse de ön deneyler esnasında doğru su miktarı belirlenemediğinden segregasyon gözlenmiştir. Bu yüzden su miktarı aynı agrega grupları içerisinde eşit olmakla birlikte, diğer agrega gruplarıyla farklılık göstermektedir. Segregasyon problemi yaşanmadan doğru su miktarını belirlemek için 15 cm boyunda 10,6 cm çapında PVC boruların hacmi göz önünde bulundurularak deneme karışımları hazırlanmıştır. Hazırlanan her bir numunenin su miktarı bir önceki numunenin su miktarından 1 m³' te 5 kg fazla olacak şekilde ayarlanmıştır. Kalıplara yerleştirilen numunelerin alt yüzeyleri 24 saat sonunda kontrol edilerek en az tıkanıklık ve homojen karışımın gözlemlendiği su miktarı o agrega çapı için diğer karışımlarda da kullanılacak su miktarı olarak belirlenmiştir. Şekil 3.6.' da su/çimento oranını belirlemek üzere yapılan ön deney görseli bulunmaktadır.



Şekil 3.6. Su miktarını belirlemek üzere yapılan ön deney

Karışımlarda çimento ağırlığının %10' u kadar silis dumanı kullanılmıştır. Silis dumanının etkili bir şekilde dağılmasını sağlamak üzere süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesinin çok iyi sonuç verdiği bilinmektedir (Lian ve Zhuge, 2010). Bu yüzden karışımlarda süper akışkanlaştırıcı katkı malzemesi de kullanılmıştır. Bağlayıcı ağırlığı hesaplanırken çimento, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı ve su ağırlığının toplamı esas alınmıştır. Agreg ağırlığı, agreg a/bağlayıcı oranının 3; 2,5 ve 2 olması durumuna göre bağlayıcı ağırlığı esas alınarak belirlenmiştir.

Su miktarının gerekenden fazla olması durumunda segregasyona karşı hassas olan geçirimli betonların çimento hamuru dipte birikerek, segregasyon oluşmaktadır. Su miktarı gereğinden fazla olan eğilme kırışi numunesi Şekil 3.7.' de görülmektedir.



Şekil 3.7. Su miktarının gereğinden fazla olması durumu

Çizelge 3.4.'te karışım isimlendirmeleri, Çizelge 3.5.'de 2-4 mm agregalı geçirimli betonların karışım oranları, Çizelge 3.6.'da 4-8 mm agregalı geçirimli betonların karışım oranları, Çizelge 3.7.'de 8-16 mm agregalı geçirimli betonların karışım oranları ve Çizelge 3.8.' de uygun gradasyonlu beton karışım oranları görülmektedir.

Çizelge 3.4. Karışım isimlendirmeleri

Karışım adı:	Açıklama
K 1-3	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan, 2-4 mm agregalı karışım.
K 1-2,5	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan, 2-4 mm agregalı karışım.
K 1-2	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan, 2-4 mm agregalı karışım.
K 2-3	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan, 4-8 mm agregalı karışım.
K 2-2,5	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan, 4-8 mm agregalı karışım.
K 2-2	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan, 4-8 mm agregalı karışım.
K 3-3	Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan, 8-16 mm agregalı karışım.
K 3-2,5	Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan, 8-16 mm agregalı karışım.
K 3-2	Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan, 8-16 mm agregalı karışım.

Çizelge 3.5. 2-4 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları

Kuru Yüzey Doygun Hal	K 1-3	K 1-2,5	K 1-2
Su (kg/m ³)	114,2	114,2	114,2
Su/Çimento	0,25	0,25	0,25
Agrega yoğunluğu (gr/cm ³)	2,61	2,61	2,61
1 m ³ de ki agrega miktarı (kg)	1864,08	1550,88	1237,68
Silis dumanı (kg/m ³)	44,87	44,87	44,87
Çimento (kg/m ³)	448,72	448,72	448,72
Süper akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	9,97	9,97	9,97
Çimento/Agrega	0,24	0,29	0,36
Agrega/Bağlayıcı	3,0	2,5	2,0
Süper a./Bağlayıcı (%)	1,61	1,61	1,61

Çizelge 3.6. 4-8 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları

Kuru Yüzey Doygun Hal	K 2-3	K 2-2,5	K 2-2
Su (kg/m ³)	100	100	100
Su/Çimento	0,22	0,22	0,22
Agrega yoğunluğu (gr/cm ³)	2,69	2,69	2,69
Agrega (kg/m ³)	1824,91	1510,18	1216,97
Silis dumanı (kg/m ³)	44,87	44,87	44,87
Çimento (kg/m ³)	448,72	448,72	448,72
Süper akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	9,97	9,97	9,97
Çimento/Agrega	0,25	0,30	0,37
Agrega/Bağlayıcı	3,0	2,5	2,0
Süper a./Bağlayıcı (%)	1,65	1,65	1,65

Çizelge 3.7. 8-16 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton karışım oranları

Kuru Yüzey Doygun Hal	K 3-3	K 3-2,5	K 3-2
Su (kg/m ³)	95	95	95
Su/Çimento	0,21	0,21	0,21
Agrega yoğunluğu (gr/cm ³)	2,69	2,69	2,69
Agrega (kg/m ³)	1811,46	1502,11	1219,66
Silis dumanı (kg/m ³)	44,87	44,87	44,87
Çimento (kg/m ³)	448,72	448,72	448,72
Süper akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	9,97	9,97	9,97
Çimento/Agrega	0,25	0,30	0,37
Agrega/Bağlayıcı	3,0	2,5	2,0
Süper a./Bağlayıcı (%)	1,67	1,67	1,67

Çizelge 3.8. Uygun gradasyonlu beton karışım oranları

Kuru Yüzey Doygun Hal	Uygun Gradasyon
Su (kg/m ³)	115
Su/Çimento	0,26
Agrega yoğunluğu (gr/cm ³)	2,62
Agrega (kg/m ³)	1868,31
Silis dumanı (kg/m ³)	44,87
Çimento (kg/m ³)	448,72
Süper akışkanlaştırıcı (kg/m ³)	9,97
Çimento/Agrega	0,24
Agrega/Bağlayıcı	3,02
Süper a./Bağlayıcı (%)	1,61

3.3. Numunelerin Hazırlanması ve Kür İşlemi

Geçirimli beton deneyleri için 2-4, 4-8 ve 8-16 mm elek aralıklarındaki agregalarla yapılan 9 farklı karışıma ek olarak uygun granülometrilik konvansiyonel beton üretmek için 1 adet karışım hazırlanması planlanmıştır. Devirmeli betoniye kullanılarak geçirimli beton bileşenlerinin karıştırılması sağlanmıştır. Karıştırılan numuneler tavaya dökülerek homojen hale gelene kadar karıştırılıp ardından da kalıplara yerleştirilmiştir. Putman ve Neptune (2011) tarafından yapılan çalışmada laboratuvar koşullarında, saha koşullarındaki geçirimli beton kaplamaya yakın yoğunluk ve porozite değerlerinin standart proktor çekiciyle sıkıştırılan silindir

numunelerden elde edildiği bildirilmiştir. Bu yüzden geçirimli beton numuneler standart proktor çekici kullanılarak her bir katman yüzeyinde proktor çekici düşüşü olmayan yer kalmamak üzere sıkıştırılmıştır. Basınç dayanımını ölçmek için kullanılan silindir numuneler standart proktor çekiciyle üç katman halinde, küp numuneler 2 katman halinde, kiriş numuneler 2 katman halinde, permeabilite numuneleri 2 katman halinde sıkıştırılıp yüzeyleri mala ile sıkıca düzeltilmiştir. Konvansiyonel beton numuneleri ise sarsma tablası kullanılarak kalıplara yerleştirilmiştir. 2-4 mm agregalar kullanılarak üretilen geçirimli betonlar 24 saat sonunda kalıptan çıkartılırken, iri agregalı karışımlarda 48 saat sonrasında kalıp sökümü işlemi gerçekleştirilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler kür havuzuna yerleştirilerek deney gününe kadar bekletilmiştir. Deneylerde kullanılan devirmeli betoniye Şekil 3.8.' de görülmektedir.



Şekil 3.8. Deneylerde kullanılan devirmeli betoniye

Basınç dayanımı için 150x150x150 mm küp ve 150x300 mm silindir numune, silindir yarma deneyi için 150x300 mm silindir numune, eğilme dayanımı testi için 100x100x500 mm kiriş numune, permeabilite deneyi için 106x150 mm

silindir numune ve aşınma deneyi için 71x71x71 mm' lik küp numuneler kullanılmıştır. Her deney, 3 numune kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.9.'da bu tez kapsamında teste tabi tutulan numunelerin bir arada bulunduğu görsel yer almaktadır.



Şekil 3.9. Bu tez kapsamında teste tabi tutulan numuneler

3.4. Test Yöntemi

3.4.1. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı testleri 150x300 mm silindir numune ve 150x150x150 mm küp numune üzerinde genel olarak TS12390-3 (2003) standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Silindir numunelerin üst yüzeyine kükürt başlık yapılmıştır. Deneylerde yük kontrollü 3000 kN kapasiteli basınç deneyi cihazı

kullanılmıştır. Şekil 3.10.'da silindir numuneye ait basınç deneyi görseli ve Şekil 3.11.' de küp numuneye ait basınç deneyi görseli yer almaktadır.



Şekil 3.10. 150x300 mm boyutlu silindir numune basınç dayanımı deneyi



Şekil 3.11. 150x150x150 mm boyutlu küp numune basınç dayanımı deneyi

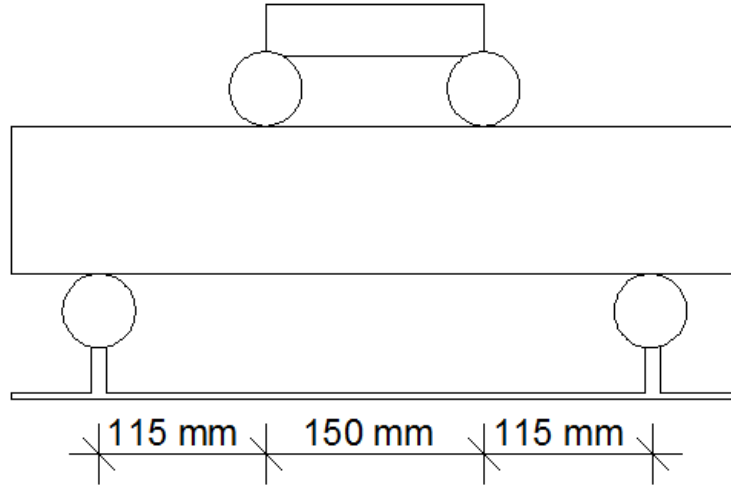
3.4.2 Eğilme Dayanımı

Eğilme dayanımı testleri 100x100x500 mm kiriş numune üzerinde genel olarak TS EN 12390-5 (2002) standardı dikkate alınarak iki noktadan yükleme metoduyla gerçekleştirilmiştir. Test sonunda eğilme dayanımı değeri ilgili standartta yer alan formülün aşağıdaki şekilde düzenlenmesiyle hesaplanmıştır.

$$f_{ct} = M/W = [(F/2) \times 115] / [(d_1 \times (d_2)^2) / 6] \quad (3.1.)$$

Formüldeki M, W, F, d_1 ve d_2 sırasıyla; Moment, mukavemet momenti, maksimum yük, numunenin en kesit boyutlarıdır.

Söz konusu deneyde mesnetler ile yükleme başlıkları arasındaki mesafe 115 mm' dir. Şekil 3.12.'de deney düzeneğinin şematik çizimi görülmekte olup, Şekil 3.13.' te deney düzeneği görülmektedir.



Şekil 3.12. Eğilme dayanımı deneyi şematik çizimi



Şekil 3.13. Geçirimli beton eğilme dayanımı deneyi

3.4.3 Silindir Yarma Dayanımı

Silindir yarma dayanımı deneyleri 150x300 mm boyutlarında silindir numuneler kullanılarak genel olarak TS EN 12390-6 (2002) standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Test sonunda yarmada çekme dayanımı değerleri ilgili standartta yer alan aşağıdaki formülden hesaplanmıştır. Şekil 3.14.'te silindir yarma dayanımı deneyi görülmektedir.

$$f_{ct} = 2F / \pi DL \quad (3.2.)$$

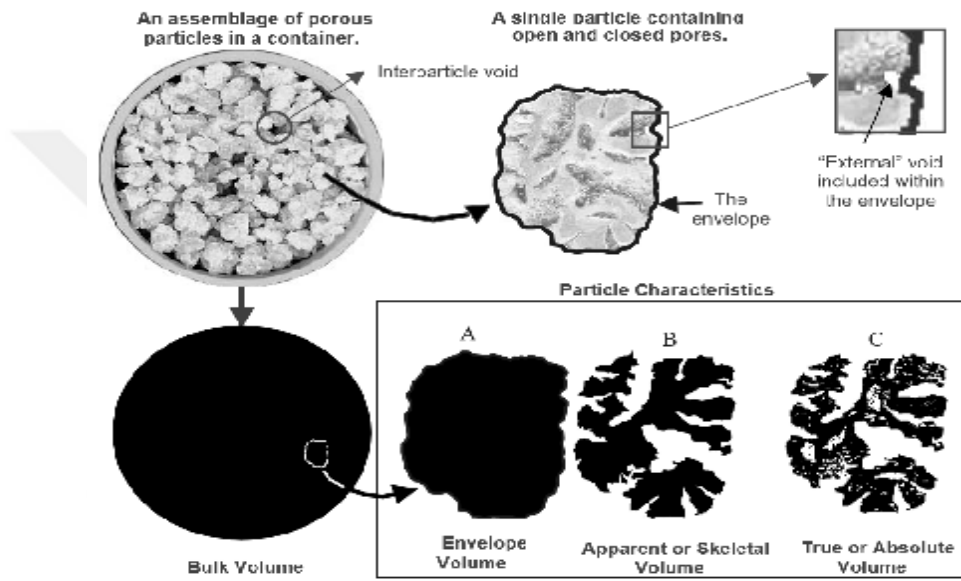
Formüldeki F, L ve D sırasıyla maksimum yük, uzunluk ve silindirin çapıdır.



Şekil 3.14. Silindir yarma dayanımı deneyi

3.4.4. Yoğunluk ve Porozite

Literatürde birçok yoğunluk ve porozite ölçüm yöntemi olduğu görülmektedir. Yoğunluğu bulmak için öncelikle hacim değeri belirlenmelidir. Boşluk miktarı ve türüne göre hacim değerlerinde değişim gözlenmektedir. Şekil 3.15.'de farklı hacim türleri görülmektedir.



Şekil 3.15. Farklı hacim türleri (Webb, 2001).

ASTM C 1754 (2012) standardı sertleşmiş geçirimli beton numunelerin boşluk miktarı ve yoğunluk değerlerini belirlemek üzere hazırlanmıştır. Söz konusu standartta geçirimli beton numunelerinin boyutları ölçülerek hacim değerleri ve sonrasında yoğunluk değerleri belirlenmektedir. Webb (2001) tarafından yapılan çalışmada hacim ve yoğunluk tanımlarında ne tür boşlukların hesaba dahil edilip edilmediği tablolar halinde gösterilmiştir. Hacim tanımları tablosunda yer alan materyalin fiziksel boyutlarının ölçümü ile hesaplanan geometrik hacim tanımında tüm boşluk türlerinin hesaba dahil edildiği görülmektedir. Ayrıca, ASTM D 3766'ya dayandırılarak tüm boşluk türlerinin hesaba dahil edildiği bir başka hacim

türünün ise yığın hacim (bulk volume) olduğu tabloda yer almaktadır. Tek parça bir numunenin yığın hacminin (bulk volume) boyutsal ölçümler yapılarak veya içine daldırıldığı birtakım araçların yer değiştirmesiyle hesaplanabileceği belirtilmiştir.

ASTM C 1754 (2012) standardında hacim değerlerine boşluk hacimleri de dahil edildiğinden bu çalışmada da boşluk hacimlerinin hesaba dahil edilebileceği farklı hacim ve yoğunluk ölçümü yöntemleri araştırılmıştır. Çalışma kapsamında numunelerin yoğunluk değerlerini tespit etmek amacıyla TS 699 (1987)' de esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan deney numunelerinde hacimsel kütle tayini yöntemi, Shea ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada yer alan Houghton ve Wilson (1989)' un çalışmasından türetilen yoğunluk belirleme yöntemi, parafinle kaplayarak yoğunluk değeri belirleme yöntemi, film tabakasıyla kaplı numunelerin su dolu haznede meydana getirdiği hacim değişikliği kullanılarak yoğunluk belirleme yöntemi ve permeabilite deney numuneleri üzerinde gerçekleştirilen yoğunluk ölçüm yöntemi olmak üzere toplamda 5 farklı yoğunluk belirleme yöntemi çalışma kapsamında kullanılmıştır. Şekil 3.16.'da iri agregalar kullanılarak elde edilen örnek geçirimli beton yüzeyi görülmektedir.



Şekil 3.16. İri agregalar kullanılarak elde edilen örnek geçirimli beton yüzeyi

Porozitenin dayanım üzerindeki etkisi, sıkıştırma yönteminin sonuçlar üzerinde etkili olması ve numune boyutlarının farklı olmasından dolayı her bir numune türü için ayrı ayrı yoğunluk deneyi yapılmasına karar verilmiştir. Beton kesme makinesi ile numunelerden düzgünce parçalar kesilerek deneyler gerçekleştirilmiştir. Her deney yönteminde ilk olarak numuneler etüve konularak değişmez ağırlığa gelene kadar kurutulmuştur.

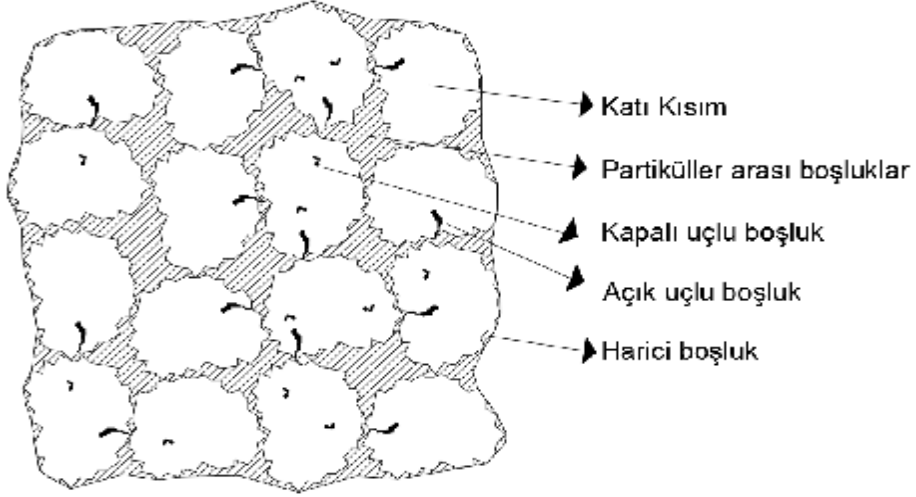
İlk test TS 699 (1987)' de esasları anlatılan yöntemle göre gerçekleştirilmiştir. Hacim kütlesi deneyinin tanımında “tabii yapı taşlarının boşlukları ile birlikte birim hacim kütlesi tayin edilir” şeklinde açıklama bulunmaktadır. Suyu doygun hale getirilen numuneler önce Arşimet terazisinde tartılarak su içindeki ağırlıkları ölçülmüştür. Ardından numunelerin üzerindeki su damlaları sünger yardımıyla alınarak doygun numune ağırlığı tartılmış daha sonra da etüve kaldırılarak değişmez ağırlığa gelinceye kadar bekletilerek etüv kurusu ağırlıkları hesaplanmıştır. Numunelerin yoğunluk değerleri ilgili standartta yer alan aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmıştır.

$$d_h = G_k / (G_{dh} - G_{ds}) \quad (3.3.)$$

Formüldeki notasyonlar sırasıyla; d_h : geçirimli betonun hacim kütlesi (gr/cm^3), G_k : değişmez kütleyle kadar kurutulmuş deney numunesinin kütlesi (gr), G_{dh} : doygun haldeki deney numunesinin havadaki kütlesi (gr), G_{ds} : doygun haldeki deney numunesinin su içindeki kütlesidir (gr).

Numuneleri poroz yapılarından dolayı doygun halde tutmak zor olduğundan farklı yoğunluk ölçüm yöntemleri de araştırılmıştır. Shea ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada Houghton ve Wilson (1989)' un çalışmasından türetildiği belirtilen yoğunluk ölçüm yönteminde numunelerin havada tartıldığı, ayrı ayrı ya polietilen filmle sargılandığı ya da su geçirmez spreyle kullanılarak geçirimsiz hale getirildiği, sonrasında birkez de suda tartılarak yoğunluklarının

belirlendiği belirtilmektedir. Bu çalışma kapsamında da numuneler streç filmle kaplanarak boşluklarına su dolması engellenmeye çalışılmıştır. Streç filmle kaplı geçirimli beton numune kesitine ait şematik çizim Şekil 3.17.'de yer almaktadır. Şekil 3.18.'de kaplanmış deney numunelerine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.17. Geçirimli beton kesiti



Şekil 3.18. Kaplanmış deney numunesi

Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemde numunenin yoğunluğu aşağıdaki formül kullanılarak hesaplanmaktadır (Shea ve ark., 2010).

$$\rho = W_{\text{numune}} / (W_{\text{numune}} - (W_{\text{k.suda}} - W_{\text{kaplama}})) \quad (3.4.)$$

Bağıntıda bahsi geçen notasyonlar sırasıyla; ρ : yoğunluk (gr/cm^3), W_{numune} : numunenin etüv kuru ağırlığı (gr), $W_{\text{k.suda}}$: kaplanmış numunenin su içindeki ağırlığı (gr), W_{kaplama} : kaplama malzemesinin su içindeki ağırlığıdır (gr).

İçi su dolu bir hazneye kaplanmış numunenin daldırılması yönteminde ise numuneler bir ip yardımıyla su dolu bir hazneye daldırılarak taşıdığı suyun hacmi belirlenip, daha sonra aşağıdaki bağıntı sayesinde yoğunluk değerleri hesaplanmıştır.

$$V = V_{\text{taşan}} - V_{\text{kaplama}} \quad (3.5.)$$

Bu bağıntıdaki notasyonlar sırasıyla; $V_{\text{taşan}}$: taşan su hacmi (cm^3), V_{kaplama} : kaplama malzemesinin hacmi (cm^3), W_{numune} : numunenin etüv kuru ağırlığıdır (gr).

Şekil 3.19.' da taşan su hacminden yoğunluğu belirleme yöntemine ait bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.19. Su taşıma yöntemi

Numune içerisine su girişi olmaması amacıyla parafinle kaplama yöntemi de test edilmiştir. Parafine daldırarak ısıya dayanıklı katı malzemelerin yığın yoğunluğunun (bulk density) ve hacminin bulunmasını düzenleyen ASTM C 914 (2004) standardından türetilen bir yöntemle etüvden çıkartılan numuneler tartıldıktan sonra erimiş parafinle bir fırça yardımıyla tamamen içerisine su girmeyecek şekilde kaplanmıştır. Kaplanan numuneler önce havada sonra suda tartılmıştır. ASTM C 914 (2004) standardında yer alan aşağıdaki formül yardımıyla numunelerin yoğunlukları hesaplanmıştır. Parafinle kaplanmış geçirimli beton numune Şekil 3.20.'de görülmektedir.

$$V_1 = P - S$$

$$V_2 = (P - W) / K$$

$$V = V_1 - V_2$$

$$B = W / V$$

(3.6.)

Formüldeki notasyonlar sırasıyla; V_1 : parafinli numune hacmi (cm^3), V_2 : parafin hacmi (cm^3), V : numune hacmi (cm^3), B : numune yoğunluğu (gr/cm^3), P : parafinli numune ağırlığı (gr), S : su içerisindeki parafinli numune ağırlığı (gr), W : etüvden çıkan numune ağırlığıdır (gr), K : parafin yoğunluğu (gr/cm^3).



Şekil 3.20. Parafınle kaplı geçirimli beton numune

Numunelere ait porozite değerleri ise aşağıdaki formül yardımıyla bulunmuştur (Montes ve ark., 2005; Shen ve ark., 2012'den).

$$P_1 = \left(1 - \frac{(W_d - W_s)}{(\rho_w \times V_t)}\right) \times 100 \quad (3.7.)$$

Formülde kullanılan notasyonlar sırasıyla; V_t : hacim (cm^3), W_d : kuru ağırlık (gr), W_s : sudaki ağırlık (gr) ve ρ_w : su yoğunluğu (gr/cm^3)'dur.

PVC kalıplar içerisinde bulunan numunelere ait porozite değerlerinin Neithalath ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada esasları anlatılan ölçüm yöntemiyle de belirlenmesi amaçlanmıştır. (Deo ve ark. (2010) tarafından yapılan çalışmada söz konusu yöntemle hacimsel porozitenin belirlendiği belirtilmiştir.) Neithalath ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada 95x150 mm boyutlu silindirik numuneler 24 saat su içerisinde bekletilerek sudan çıkartılan numunelerin kuru yüzey doygun numune hale gelmesi sağlanmıştır. Ardından numuneler latex membranla kaplanarak alt yüzeyi paslanmaz çelik bir tabaka ile sızdırmaz hale getirilmiştir. Ardından levha, latex membran ve numune toplam ağırlığı (M_1)

belirlenmiştir. Deney numuneleri tamamen dolana kadar su eklenerek tüm bağlantılı boşluklar su ile doldurulmuştur. Su ile doldurulmuş sistemin ağırlığı (M_2) tespit edilmiştir. Ağırlıklar arasındaki fark ($\Delta M = M_2 - M_1$) hacim değerine dönüştürülmüş, toplam poroziteyi göstermesi açısından toplam numune hacminin yüzdesi olarak ifade edilmiştir. Bu çalışmada ise numuneler permeabilite deneyi için PVC kalıp içerisinde olduğundan latex membran yerine PVC kalıp, paslanmaz çelik levha yerine de cam parça kullanılıp, işlem adımları tek tek uygulanmıştır. Neithalath ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmada yer alan Formül (3.8.)’de porozite değerinin nasıl hesaplandığı görülmektedir. Şekil 3.21.’de porozite değerinin tespiti için yapılan bir deney görseli bulunmaktadır.

$$V = \Delta M$$

$$\text{Porozite} = (V/V_n) \times 100$$

(3.8.)

Formülde kullanılan notasyonlar sırasıyla; V: hacim (cm^3), V_n : numune hacmi (cm^3), M_1 : kalıp, numune ve cam parçadan oluşan sistemin ağırlığı (gr) ve M_2 : su ile dolu sistemin ağırlığı (gr).



Şekil 3.21. Hacimsel porozite deneyi

3.4.5. Aşınma Dayanımı

Aşınma dayanımı testleri DIN 52108 (2002), standardı dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Numuneler 71x71x71 mm boyutlarında küplerden oluşmaktadır. Şekil 3.22.'de aşınma deneyine ait bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.22. Aşınma deneyi

Numuneler etüvde değişmez ağırlığa gelinceye kadar kurutulup kuru haldeki ağırlıkları tartıldıktan sonra 20 gr zımpara tozu sürtünme şeridine serilip 22 tur sonunda makine otomatik olarak duracak şekilde ayarlanarak deney başlatılmıştır. 22 tur sonunda numune çıkarılıp düşey eksen etrafında 90 derece döndürülüp, zımpara tozu ve sürtünmeden dolayı kopan parçalar temizlendikten sonra işlem tekrarlanmıştır. Bu döngü toplamda 16 tur yani 352 devir olana kadar sürdürülmüştür. Deney sonunda çıkarılan numunelerin kalınlıkları ölçülüp, ağırlıkları tespit edilmiştir. İlgili standartta yer alan Formül (3.9.) yardımıyla ortalama kalınlık kaybı ve numune hacim kaybı değeri belirlenirken, Formül (3.10.) kullanılarak yüzde cinsinden ağırlık kaybı değerleri bulunmuştur.

1, 2, 3, 4 ve 5 numaralı deney düzeneği kısımları sırasıyla; su haznesi, numune, çıkış suyu haznesi, boru ek parçaları ve vanadır. Permeabilite değerleri Darcy kanunundan yararlanılarak Özyayın (2005)'te yer alan aşağıdaki formüller kullanılarak belirlenmiştir. Formül (3.11.) düşen seviyeli permeabilite deneyine ve Formül (3.12.) sabit seviyeli permeabilite deneyine aittir. Şekil 3.24.'te permeabilite deney düzeneği görülmektedir.

$$t=t_2-t_1$$

$$k=[(axL)/(Axt)]\ln(h_1/h_2) \quad (3.11.)$$

Formüldeki notasyonlar sırasıyla k: permeabilite katsayısı (mm/sn), a: boru kesit alanı (mm²), L: numune uzunluğu (mm), A: numune alanı (mm²) ve t: su seviyesinin h₁'den h₂'ye düşmesi için gereken süredir (sn).

$$k=Q/Ait \quad (3.12.)$$

Formüldeki notasyonlar sırasıyla k: permeabilite katsayısı (mm/sn), A: numune alanı (mm²), i: hidrolik eğim ($\Delta h/L$) ve t: deney süresidir (sn).



Şekil 3.24. Permeabilite deney düzeneği

Söz konusu deney düzeneğinin numuneden sonraki kısımları çıkartılarak düşen seviyeli permeabilite değeri bir kez daha ölçülmüştür. Şekil 3.25.' de deney düzeneğine ait görsel bulunmaktadır.



Şekil 3.25. Düşen seviyeli permeabilite deney düzeneği (2.Yöntem)



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez kapsamında mineral ve kimyasal katkılı geçirimli betonların yoğunluk, porozite, basınç, eğilme, silindir yarma, aşınma dayanımları ile birlikte permeabilite özellikleri incelenmiştir. Aynı agregalar ve bağlayıcı malzemeler kullanılarak üretilen konvansiyonel betonlar üzerinde de 28 günlük standart basınç, eğilme ve silindir yarma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu bölümde söz konusu deneylerin sonuçları verilecektir.

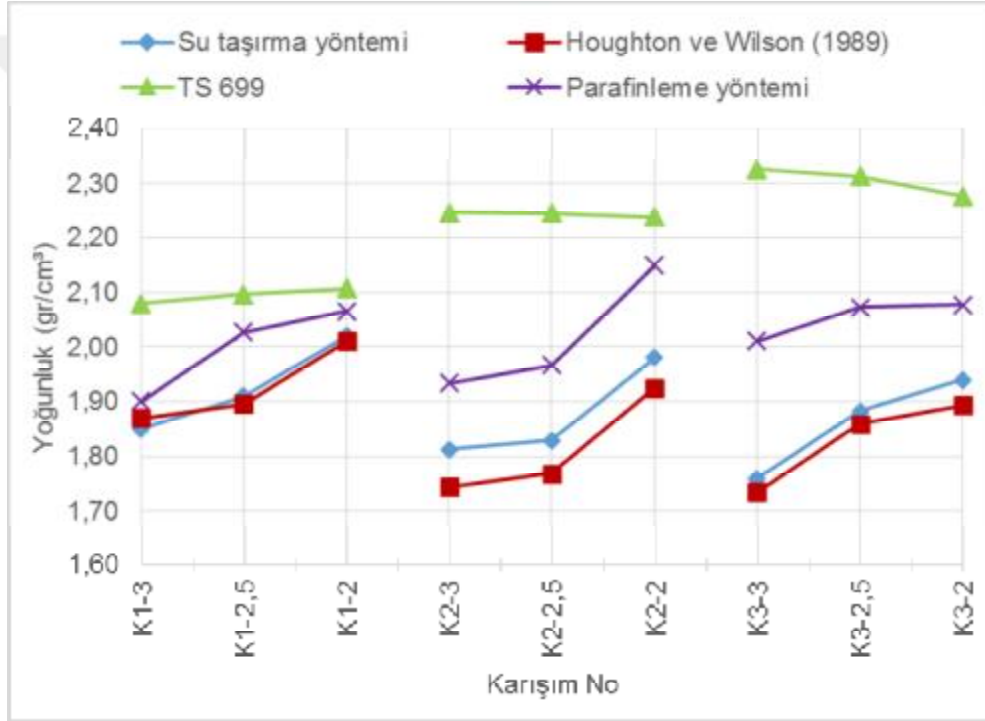
4.1. Yoğunluk

Porozite ve yoğunluk değerlerini tespit etmek üzere tüm deney elemanlarını temsil edecek sayıda numune, beton kesme makinesi yardımıyla deney elemanlarından temin edilmiştir. Bu bölümde deney elemanı türü ve uygulanan test yöntemleri sonucunda elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır. Streç filmle kaplı numunelerin su dolu hazneye daldırılmasıyla taşıdığı su hacminden numune hacminin belirlenmesini esas alan su taşıma yöntemi, bu çalışma kapsamında türetilen bir yöntem olduğundan kıyaslamalarda referans ölçüm yöntemi olarak kullanılmıştır. Çizelge 4.1.'de silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri

Karışım:	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,85	1,87	2,08	1,90
K1-2,5	1,91	1,90	2,10	2,03
K1-2	2,02	2,01	2,11	2,07
K2-3	1,81	1,74	2,25	1,93
K2-2,5	1,83	1,77	2,25	1,97
K2-2	1,98	1,92	2,24	2,15
K3-3	1,76	1,73	2,33	2,01
K3-2,5	1,88	1,86	2,31	2,07
K3-2	1,94	1,89	2,28	2,08

Çizelge 4.1. incelendiğinde her karışım türünde en yüksek ortalama yoğunluk değerleri TS 699’ da esasları anlatılan düzgün geometrili olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerinin belirlenmesine ait yöntemden elde edilmiştir. Genel olarak Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yoğunluk ölçüm yöntemiyle su taşıma yöntemine yakın yoğunluk değerleri elde edildiği görülmüştür. Şekil 4.1.’de silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri grafik üzerinde gösterilmektedir.



Şekil 4.1. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri

Şekil 4.1.’de Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemi, su taşıma yöntemi ve parafinleme yönteminde agrega/bağlayıcı oranının düşmesiyle ortalama yoğunluk değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. Ancak, düzgün geometrili olmayan cisimler için yoğunluk belirleme

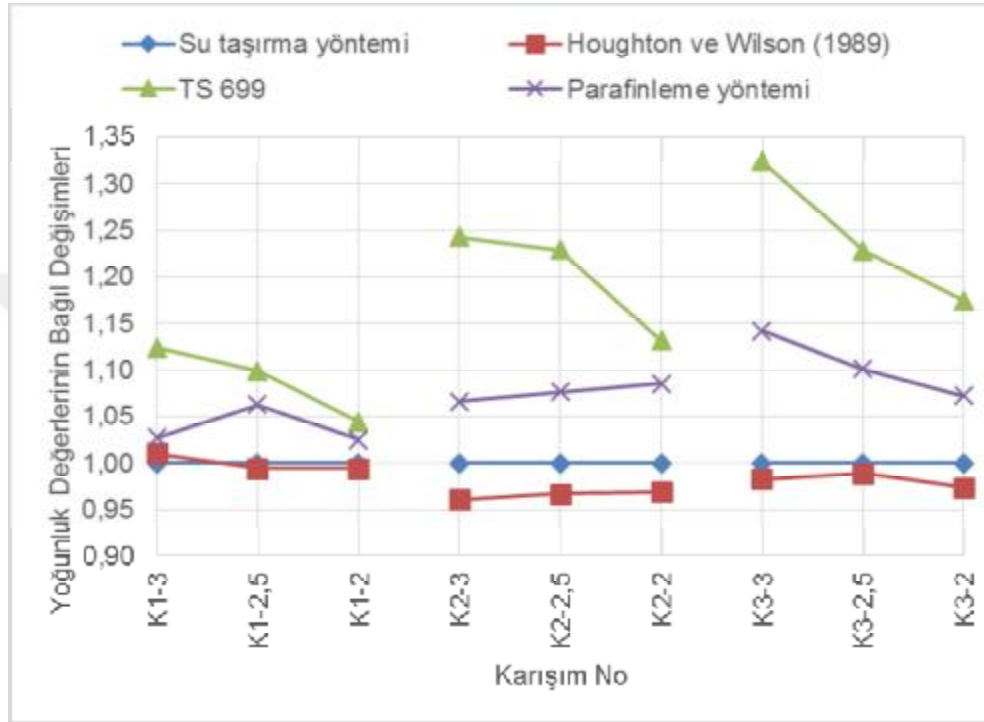
yönteminin oldukça farklı eğilim gösterdiği görülmektedir. Çizelge 4.2.'de silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.2. Silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

Karışım:	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	1,011	1,124	1,027
K1-2,5	1,000	0,995	1,099	1,063
K1-2	1,000	0,995	1,045	1,025
K2-3	1,000	0,961	1,243	1,066
K2-2,5	1,000	0,967	1,230	1,077
K2-2	1,000	0,970	1,131	1,086
K3-3	1,000	0,983	1,324	1,142
K3-2,5	1,000	0,989	1,229	1,101
K3-2	1,000	0,974	1,175	1,072
Ortalama	1,000	0,983	1,178	1,073

Çizelge 4.2.'de görüldüğü üzere su taşıma yöntemine göre ortalama en farklı yoğunluk değerleri düzgün geometrilili olmayan cisimlere ait yoğunluk belirleme yönteminden elde edilmiştir. Farklı deney yöntemleri ile elde edilen yoğunluk değerleri su taşıma yöntemine göre oranlandığında, Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntem ile elde edilen yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerine göre ortalama %1,7 daha düşük olduğu, TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrilili olmayan cisimlere ait yoğunluk belirleme yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinden ortalama %17,8 daha yüksek olduğu, parafinleme yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinin ise su taşıma yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinden ortalama %7,3 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Şekil 4.2.'de Silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak

bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.2. Silindir numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri

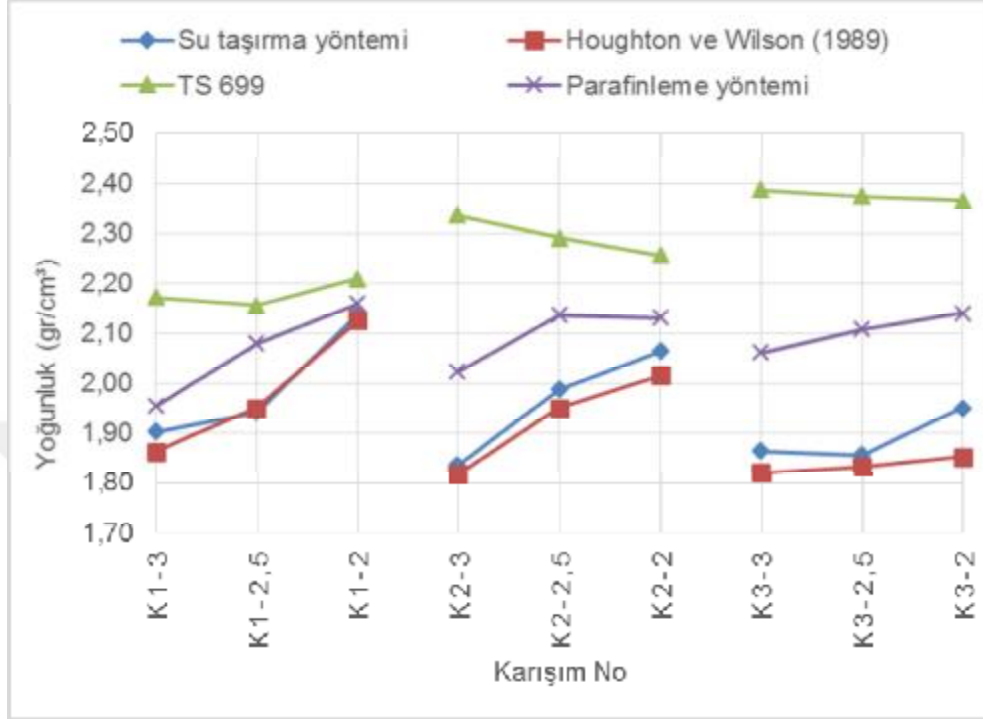
Şekil 4.2.'de görüldüğü üzere bu çalışmada geliştirilen su dolu hazneye filmle kaplı numuneleri daldırma yöntemi ile Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemin birbirine oldukça yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Aynı agrega türünde TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk belirleme yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça su taşıma yöntemine daha yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Çizelge 4.3.'te küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı

deney yöntemleri kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.3. Küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerleri

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,90	1,86	2,17	1,95
K1-2,5	1,94	1,95	2,16	2,08
K1-2	2,14	2,13	2,21	2,16
K2-3	1,84	1,82	2,33	2,02
K2-2,5	1,99	1,95	2,29	2,14
K2-2	2,07	2,02	2,26	2,13
K3-3	1,86	1,82	2,39	2,06
K3-2,5	1,86	1,83	2,37	2,11
K3-2	1,95	1,85	2,37	2,14

Çizelge 4.3.'te görüldüğü üzere genel olarak su taşıma yöntemi ile Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemden elde edilen yoğunluk değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları belirlenmiştir. En yüksek ortalama yoğunluk değerleri her karışım türünde TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan deney numunelerinin yoğunluk belirleme yöntemlerinden elde edilirken, en düşük ortalama yoğunluk değerleri Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemden bulunmuştur. Düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlere ait yoğunluk belirleme yöntemi hariç genel olarak diğer yoğunluk belirleme yöntemlerinde aynı agrega türlerinde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça yoğunluk değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.3.'te küp numunelere ait ortalama yoğunluk değerlerinin grafik üzerinde gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.3. Küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde yapılan yoğunluk deneyi sonuçları

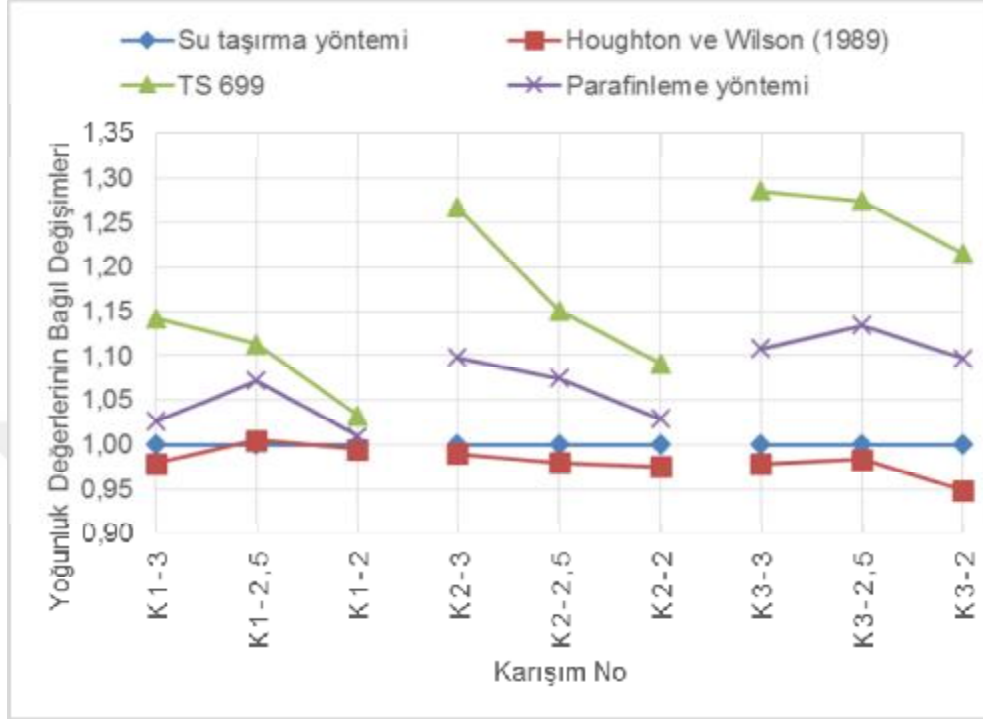
Şekil 4.3. incelendiğinde ince agregalı karışımlarda tüm deney yöntemlerinde genel olarak agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama yoğunluk değerlerinin arttığı görülmektedir. İri agregalı karışımlarda streç filmle kaplanarak test edilen iki yöntemde uyumlu sonuçlar elde edilirken, diğer iki yöntemde sonuçlar farklılaşmıştır. Düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik deney yöntemiyle 4-8 mm ve 8-16 mm agregalı karışımlardan elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça genel olarak ortalama yoğunluk değerlerinin azaldığı gözlenmiştir.

Çizelge 4.4.'te küp numunelerden elde edilen parçalara ait deney yöntemi sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.4. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	0,979	1,142	1,026
K1-2,5	1,000	1,005	1,113	1,072
K1-2	1,000	0,995	1,033	1,009
K2-3	1,000	0,989	1,266	1,098
K2-2,5	1,000	0,980	1,151	1,075
K2-2	1,000	0,976	1,092	1,029
K3-3	1,000	0,978	1,285	1,108
K3-2,5	1,000	0,984	1,274	1,134
K3-2	1,000	0,949	1,215	1,097
Ortalama	1,000	0,982	1,175	1,072

Çizelge 4.4.'te yer alan sonuçlar incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen ölçüm yöntemiyle tespit edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinden %1,8 daha düşük olduğu, düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yöntemi kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerinden %17,5 daha yüksek olduğu, parafinleme yönteminden belirlenen ortalama yoğunluk değerininse su taşıma yöntemi kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerinden % 7,2 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Parafinleme yöntemi ve TS 699'da esasları anlatılan yöntemle belirlenen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerlerine göre oranları incelendiğinde aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça oransal farkın da arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.4.'te küp numunelerden elde edilen parçalar üzerinde farklı yöntemler kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri görülmektedir.



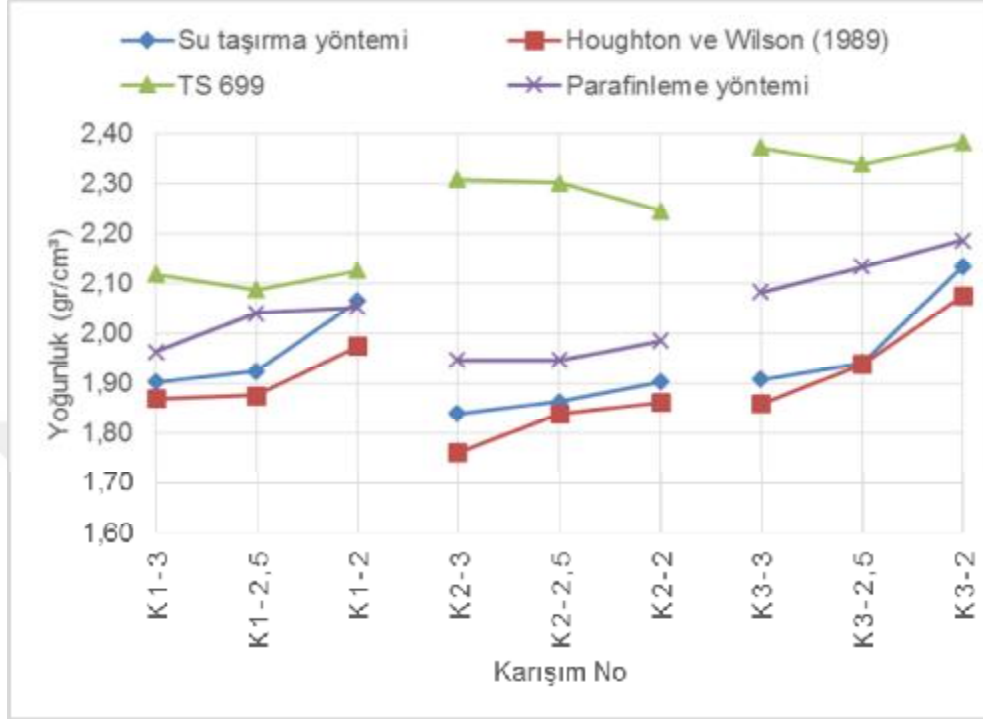
Şekil 4.4. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranlarının değişimleri

Şekil 4.4.'te görüldüğü üzere su taşıma yöntemine göre en farklı sonuçlar düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yönteminden bulunmuştur. Parafinleme yöntemi ve düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirleme yönteminde aynı agrega grubu içerisinde su taşıma yöntemine göre en yakın ortalama yoğunluk değerleri agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlardan elde edilmiştir. Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle elde edilen yoğunluk değerlerinin genel olarak su taşıma yöntemine oldukça yakın sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Çizelge 4.5.'de eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.5. Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,90	1,87	2,12	1,96
K1-2,5	1,93	1,88	2,09	2,04
K1-2	2,07	1,97	2,13	2,05
K2-3	1,84	1,76	2,31	1,95
K2-2,5	1,86	1,84	2,30	1,95
K2-2	1,90	1,86	2,25	1,99
K3-3	1,91	1,86	2,37	2,08
K3-2,5	1,94	1,94	2,34	2,13
K3-2	2,13	2,08	2,38	2,19

Sonuçlar incelendiğinde tüm karışım türlerinde en yüksek ortalama yoğunluk değerleri K 3-2 karışım türünde elde edilmiştir. Çimento hamurunun numune dibinde birikmesinden dolayı tüm deney yöntemlerinde en yüksek ortalama yoğunluk değerlerinin K 3-2 karışım türünden elde edildiği düşünülmektedir. Su taşıma yöntemi, parafinleme yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntem kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin genel olarak aynı agrega türünde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça yükseldiği görülmektedir. En yüksek ortalama yoğunluk değerleri düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yönteminden elde edilmiştir. En düşük ortalama yoğunluk değerleri ise genel olarak Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntem kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.5.'te eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin deney yöntemlerine ve karışım türlerine göre değişimleri grafik üzerinde gösterilmektedir.



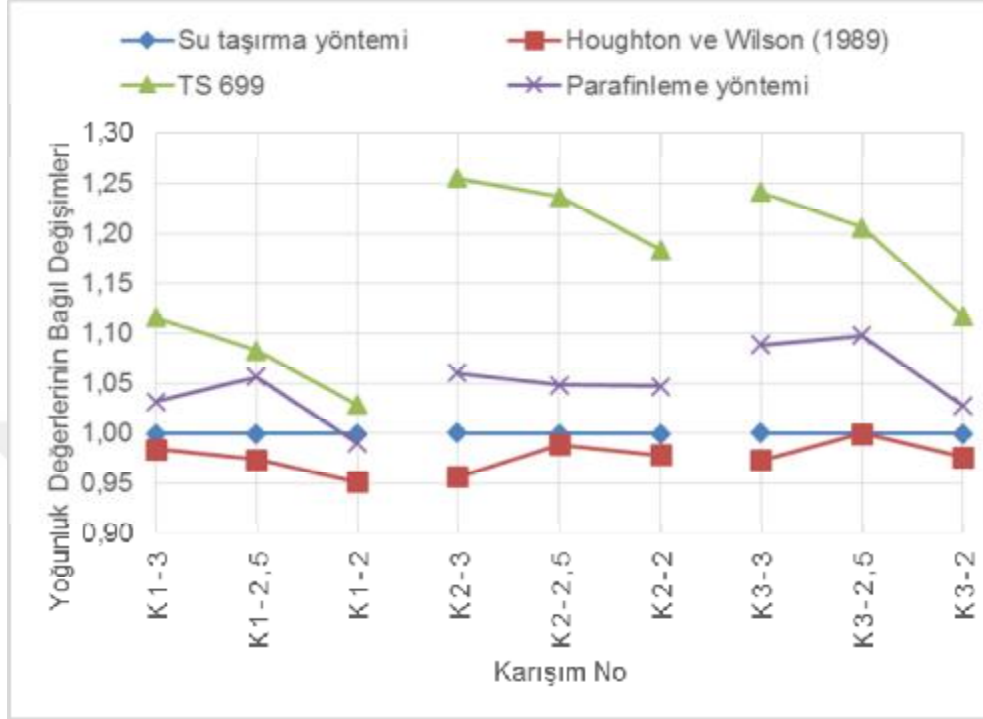
Şekil 4.5. Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri

Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçaların ortalama yoğunluk değerleri genel olarak ince agregalı karışımlarda iri agregalı karışımlara göre birbirine daha yakın bulunmuştur. Parafinleme yöntemi ile ölçüm yapıldığında iri agregalı karışımlarda ortalama yoğunluk değerlerinin film tabakasıyla kaplı iki yöntemden daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. TS 699’da esasları anlatılan ölçüm yöntemiyle ortalama yoğunluk değerleri belirlendiğinde ise K 3-2 karışımı hariç önceki numunelere ait grafiklerde olduğu gibi iri agregalarda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama yoğunluk değerlerinin de azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 4.6.’da eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.6. Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	0,984	1,116	1,032
K1-2,5	1,000	0,974	1,083	1,057
K1-2	1,000	0,952	1,029	0,990
K2-3	1,000	0,957	1,255	1,060
K2-2,5	1,000	0,989	1,237	1,048
K2-2	1,000	0,979	1,184	1,047
K3-3	1,000	0,974	1,241	1,089
K3-2,5	1,000	1,000	1,206	1,098
K3-2	1,000	0,977	1,117	1,028
Ortalama	1,000	0,976	1,163	1,050

Yoğunluk belirleme yöntemlerinin su taşıma yöntemine göre oranları incelendiğinde su taşıma yöntemine göre en farklı sonuçların TS 699’da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarının belirlenmesine yönelik yöntemden elde edildiği görülmektedir. Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle su taşıma yöntemine göre ortalama %2,4 daha düşük yoğunluk değeri elde edildiği, TS 699’da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerinin belirlenmesine yönelik yöntemle belirlenen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre ortalama %16,30 daha yüksek olduğu, parafinleme yöntemi ile belirlenen yoğunluk değerlerinin ise su taşıma yöntemi ile bulunan yoğunluk değerlerinden ortalama %5,0 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Şekil 4.6.’da su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre diğer yoğunluk belirleme yöntemlerinden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin oransal değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.6. Eğilme kirişi numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

Eğilme kirişlerinden elde edilen numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda su taşıma yöntemine en yakın sonuçlar Houghton ve Wilson (1989)'tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Şekil 4.6. incelendiğinde aynı agrega türünde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrili olmayan cisimlerin yoğunluk belirleme yönteminden elde edilen yoğunluk değeri sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerine yaklaştığı görülmektedir. Aynı agrega türünde düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirleme yöntemi ve parafinleme yönteminden bulunan ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile belirlenen ortalama yoğunluk değerlerine en yakın sonuçları agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda verdiği tespit edilmiştir.

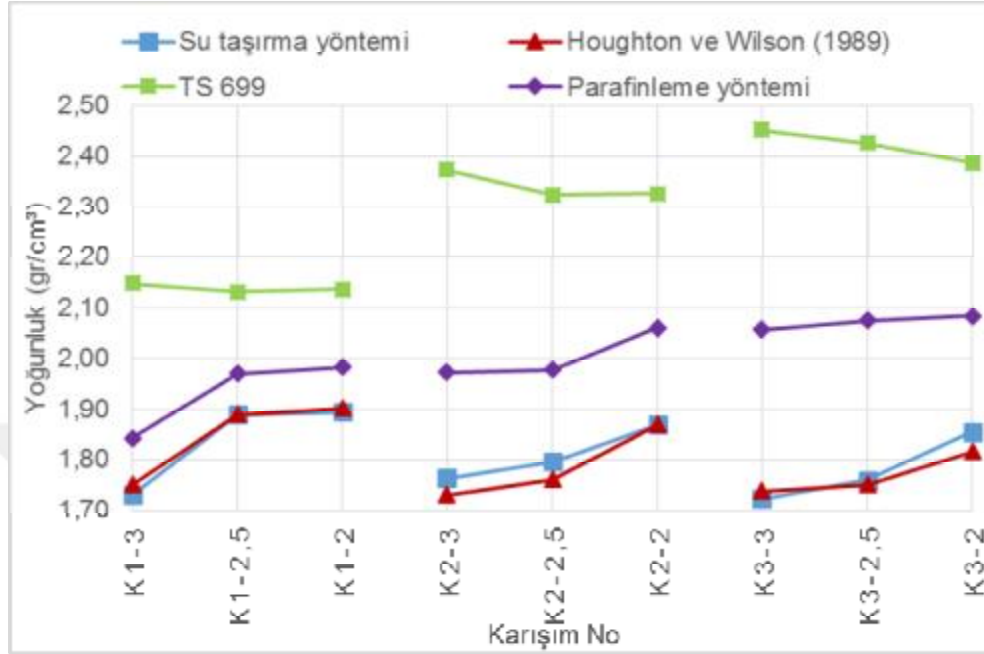
Çizelge 4.7.'de aşınma numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.7. Aşınma numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,73	1,75	2,15	1,84
K1-2,5	1,89	1,89	2,13	1,97
K1-2	1,89	1,90	2,14	1,98
K2-3	1,76	1,73	2,37	1,97
K2-2,5	1,80	1,76	2,32	1,98
K2-2	1,87	1,87	2,33	2,06
K3-3	1,72	1,74	2,45	2,06
K3-2,5	1,76	1,75	2,43	2,07
K3-2	1,86	1,82	2,39	2,08

Aşınma numunelerine ait yoğunluk değerleri 4 farklı yoğunluk ölçüm yöntemiyle ayrı ayrı tespit edilmiştir. En yüksek yoğunluk değerleri düzgün geometrik şekli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik TS 699'da esasları anlatılan yöntemden elde edilmiştir. TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk belirleme yöntemi hariç diğer yöntemlerde aynı agrega türünde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça genel olarak yoğunluk değerlerinin arttığı bulunmuştur. Su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemi kullanılarak elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları Çizelge 4.7.'den görülmektedir.

Aşınma numunelerine ait sonuçlar incelendiğinde diğer elemanlardaki eğilimlere benzer yoğunluk değişimleri görülmektedir. Parafinle kaplanarak teste tabi tutulan numunelerde, streç filmle sargılanarak test edilen deney yöntemlerinden daha yüksek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Şekil 4.7.'de aşınma numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin deney yöntemleri ve karışım türlerine göre değişimleri yer almaktadır.



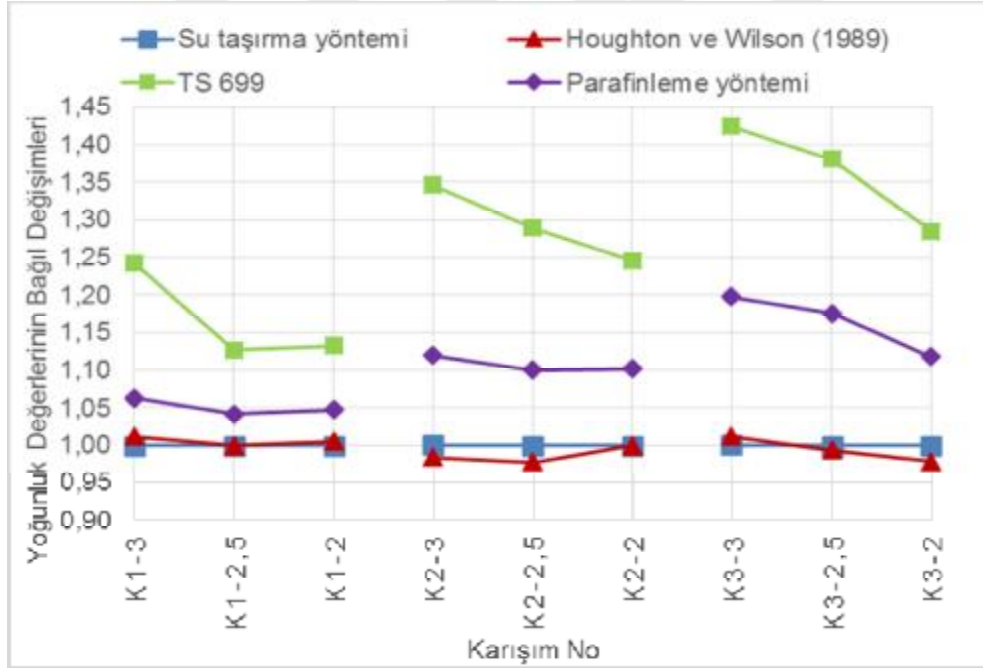
Şekil 4.7. Aşınma numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri

Çizelge 4.8.'de aşınma numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk deneyleri sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.8. Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemlerinden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden bulunan ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	1,012	1,243	1,064
K1-2,5	1,000	1,000	1,127	1,042
K1-2	1,000	1,005	1,132	1,048
K2-3	1,000	0,983	1,347	1,119
K2-2,5	1,000	0,978	1,289	1,100
K2-2	1,000	1,000	1,246	1,102
K3-3	1,000	1,012	1,424	1,198
K3-2,5	1,000	0,994	1,381	1,176
K3-2	1,000	0,978	1,285	1,118
Ortalama:	1,000	0,996	1,275	1,107

Ortalama yoğunluk değeri oranları incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle su taşıma yönteminden % 0,4 daha düşük yoğunluk değerleri elde edildiği, düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yöntemi ile su taşıma yöntemine göre %27,5 daha yüksek yoğunluk değerleri bulunduğu, parafinleme yöntemiyle su taşıma yönteminden %10,7 daha yüksek yoğunluk değerleri elde edildiği belirlenmiştir. Parafinleme yöntemi ve TS 699'da esasları anlatılan yöntemle belirlenen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerlerine göre oranları incelendiğinde aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça oransal farkın da arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.8.'de aşınma numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk deneyleri sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.8. Aşınma numuneleri üzerinde yapılan yoğunluk deneyleri sonuçlarının su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri

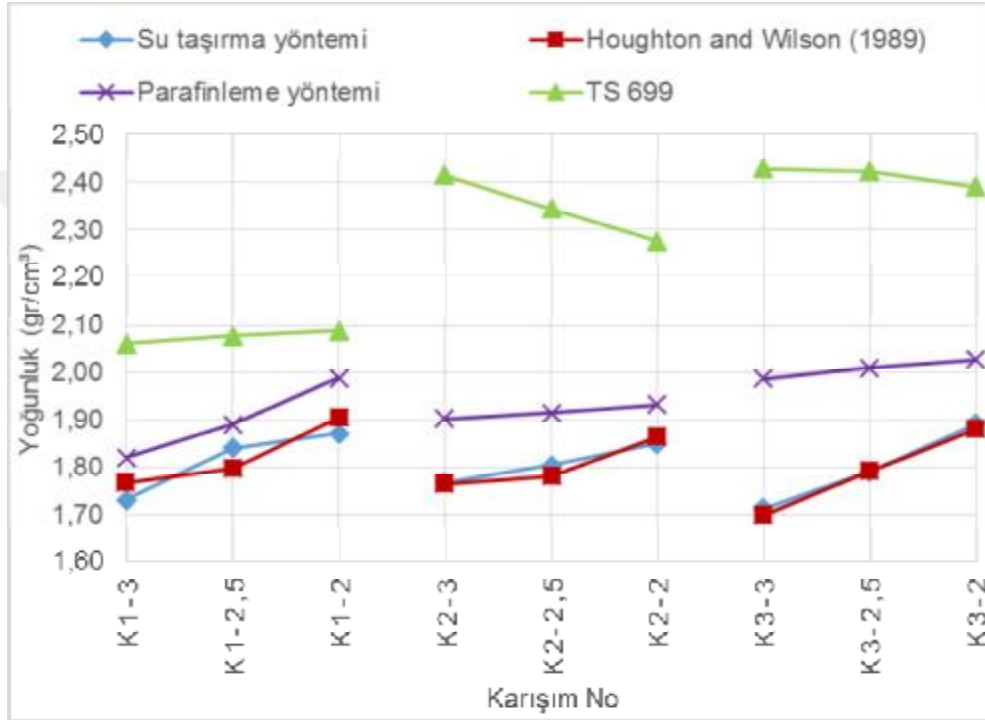
Şekil 4.8. incelendiğinde iri agrega türlerinde TS 699’da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirleme yöntemi ile su taşıma yöntemine göre en yakın ortalama yoğunluk değerlerinin agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlardan elde edildiği görülmektedir. Çizelge 4.9.’da permeabilite numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.9. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak bulunan ortalama yoğunluk değerleri

	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,73	1,77	2,06	1,82
K1-2,5	1,84	1,80	2,08	1,89
K1-2	1,87	1,90	2,09	1,99
K2-3	1,77	1,76	2,41	1,90
K2-2,5	1,80	1,78	2,35	1,91
K2-2	1,85	1,86	2,28	1,93
K3-3	1,71	1,70	2,43	1,98
K3-2,5	1,79	1,79	2,42	2,01
K3-2	1,89	1,88	2,39	2,03

Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalar üzerinde yapılan yoğunluk deneyleri sonuçları incelendiğinde su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemin birbirlerine oldukça yakın sonuçlar verdikleri görülmektedir. Permeabilite deney numuneleri üzerinde yapılan testlerde diğer numunelerdeki testler gibi yine en yüksek yoğunluk değerleri TS 699 standardına uygun deney yönteminden elde edilmiştir. En düşük ortalama yoğunluk değerleri genel olarak Houghton ve Wilson (1989)’dan türetilen yöntemde gözlenirken, su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin bu değerlere oldukça yakın sonuçlar verdiği bulunmuştur. Numunelerin parafinle kaplanarak teste tabi tutulduğu yöntemde ise streç filmle kaplama yöntemlerinden daha yüksek yoğunluk değerleri elde edildiği

bulunurken iri agregalarda agrega/bağlayıcı oranının azalması ve agrega boyutunun artmasıyla yoğunluk değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.9.'da permeabilite deney numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin grafiksel gösterimi yer almaktadır.



Şekil 4.9. Permeabilite deney numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama yoğunluk değerleri

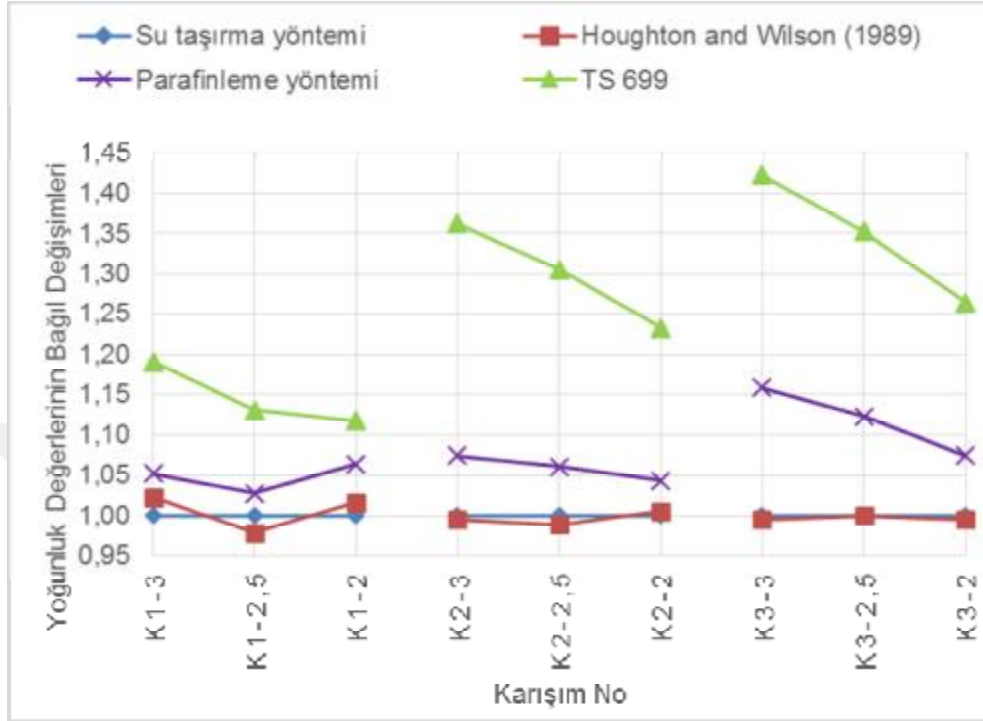
Şekil 4.9. incelendiğinde TS 699'da esasları anlatılan yöntemle belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin iri agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı değeri azaldıkça azaldığı görülmektedir. İri agregalı karışımlarda su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle elde edilen ortalama yoğunluk değeri değişimlerinin neredeyse üst üste çakıştığı gözlenmektedir. Çizelge 4.10.'da Permeabilite deney numunelerinden alınan

parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.10. Permeabilite deney numunelerinden alınan parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	1,023	1,191	1,052
K1-2,5	1,000	0,978	1,130	1,027
K1-2	1,000	1,016	1,118	1,064
K2-3	1,000	0,994	1,362	1,073
K2-2,5	1,000	0,989	1,306	1,061
K2-2	1,000	1,005	1,232	1,043
K3-3	1,000	0,994	1,421	1,158
K3-2,5	1,000	1,000	1,352	1,123
K3-2	1,000	0,995	1,265	1,074
Ortalama	1,000	0,999	1,264	1,075

Çizelge 4.10. incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yoğunluk ölçüm yöntemiyle elde edilen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle elde edilen yoğunluk değerlerine göre ortalama %0,1 daha az olduğu, düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen değerlerden ortalama %26,4 daha yüksek olduğu, parafinleme yöntemi ile elde edilen yoğunluk değerlerinin ise su taşıma yönteminden elde edilen değerlere göre ortalama %7,5 daha yüksek olduğu belirlenmiştir. TS 699’da esasları anlatılan yöntemle belirlenen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerlerine göre oranları incelendiğinde aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça oransal farkın da arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.10.’da Permeabilite deneyi numunelerinden alınan parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre bulunan ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.10. Permeabilite deney numunelerinden alınan parçalara ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre bulunan ortalama yoğunluk değerlerine göre değişimleri

Şekil 4.10. incelendiğinde diğer numune türlerinde de olduğu gibi genel olarak iri agregalarda parafinleme yöntemi ve TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerini belirleme yöntemi kullanılarak su taşıma yöntemine göre en yakın ortalama yoğunluk değerleri agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda elde edilmiştir. Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle belirlenen ortalama yoğunluk değerlerinin de su taşıma yöntemine oldukça yakın sonuçlar verdiği Şekil 4.10.'da grafiksel olarak görülmektedir.

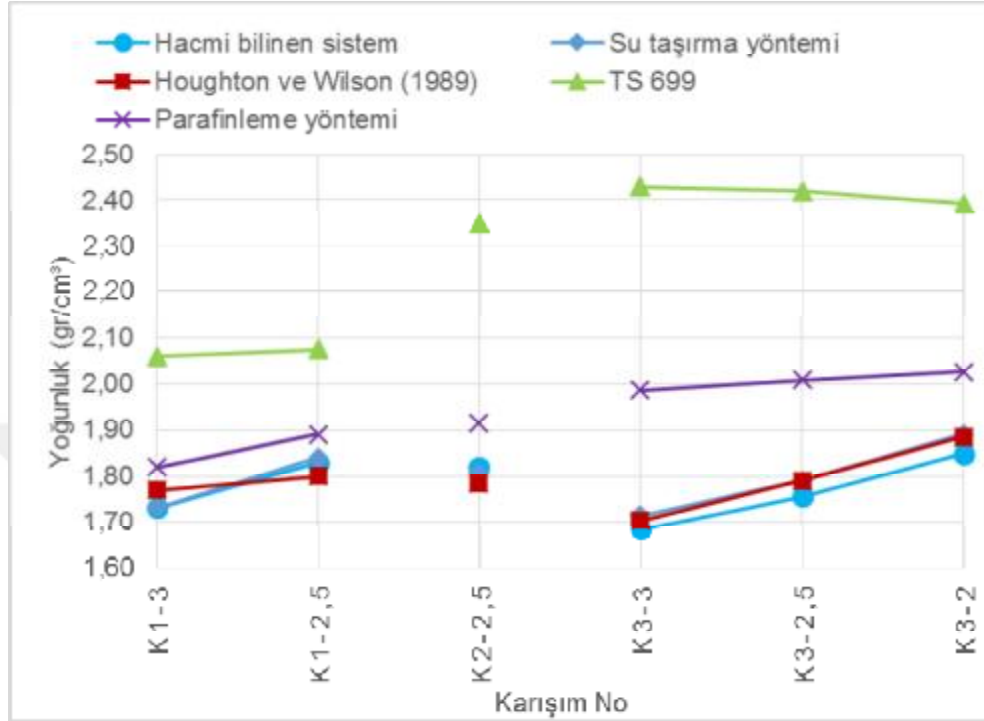
Permeabilite deney numunelerinin bazıları su taşıma yöntemi, Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemi, TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekli olmayan cisimlerin yoğunluğunu

belirleme yöntemi ve parafinle kaplayarak yoğunluk belirleme yönteminde kullanılmıştır. Kalan deney numuneleri de numunelerin hacimsel porozitesi ve geometrik hacim değerlerini belirlemek üzere ayrıca test edilmiştir. Hacmi bilinen PVC boru içerisinde olan permeabilite deney numuneleri etüve konularak değişmez ağırlığa erişene kadar kurutulmuştur. Etüv kurusu ağırlık PVC boru içerisindeki hacme bölünerek yoğunluk değerleri elde edilmiştir. Çizelge 4.11.'de PVC boru içerisindeki permeabilite deney numunelerine ait yoğunluk değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.11. PVC boru içerisindeki permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerleri

	Hacmi bilinen sistem	Houghton ve Wilson (1989)	Su taşıma yöntemi	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,73	1,77	1,73	2,06	1,82
K1-2,5	1,83	1,80	1,84	2,08	1,89
K2-2,5	1,82	1,78	1,80	2,35	1,91
K3-3	1,68	1,70	1,71	2,43	1,98
K3-2,5	1,75	1,79	1,79	2,42	2,01
K3-2	1,85	1,88	1,89	2,39	2,03

Çizelge 4.11. incelendiğinde hacmi bilinen bir kalıp içerisindeki geçirimli beton ortalama yoğunluk değerlerinin Houghton ve Wilson (1989) tarafından türetilen yöntem ve su taşıma yönteminden elde edilen sonuçlara oldukça yakın olduğu görülmektedir. Söz konusu üç deney yönteminde en yüksek ortalama yoğunluk değeri K 3-2 karışım türüne ait numunelerden elde edilmiştir. Şekil 4.11.' de permeabilite deney numuneleri üzerinde farklı yoğunluk ölçüm yöntemleri kullanılarak elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri görülmektedir.



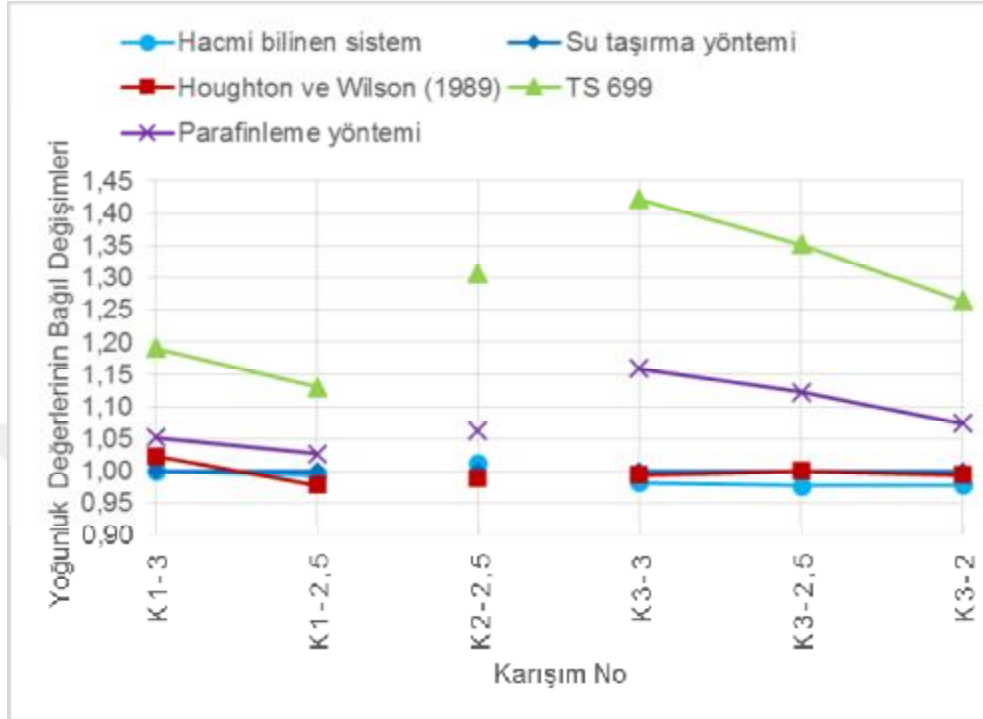
Şekil 4.11. Permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

Sonuçlar incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yoğunluk ölçüm yöntemi, su taşıma yöntemi ve hacmi bilinen deney numunelerinin ortalama yoğunluk değerleri birbirlerine oldukça yakinken bu üç yöntemde göre en farklı yoğunluk değerleri TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik yöntemden elde edilmiştir. Çizelge 4.12.'de permeabilite deney numunelerinden farklı yöntemlerle elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerleri ortalamalarına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.12. Permeabilite deney numunelerinden farklı yöntemlerle elde edilen ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemiyle belirlenen yoğunluk değerleri ortalamalarına göre oranları

	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	Hacmi bilinen sistem	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	1,023	1,000	1,191	1,052
K1-2,5	1,000	0,978	0,995	1,130	1,027
K2-2,5	1,000	0,989	1,011	1,306	1,061
K3-3	1,000	0,994	0,982	1,421	1,158
K3-2,5	1,000	1,000	0,978	1,352	1,123
K3-2	1,000	0,995	0,979	1,265	1,074
Ortalama	1,000	0,997	0,991	1,277	1,083

Çizelge 4.12. incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen ölçüm yönteminden su taşıma yöntemine göre ortalama %0,3 daha düşük yoğunluk değerleri elde edildiği, geometrik boyutlar yardımıyla belirlenen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre ortalama %0,9 daha düşük olduğu, su taşıma yöntemi ile bulunan yoğunluk değerlerine göre TS 699'da esasları anlatılan yöntemle belirlenen yoğunluk değerlerinin ortalama %27,7 daha yüksek olduğu, parafinleme yöntemi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemine göre ortalama %8,3 daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemlerinin poroz bir numunenin geometrik hacim değerini belirlemede oldukça iyi alternatifler oldukları anlaşılmaktadır. Şekil 4.12.'de permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile belirlenen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları bulunmaktadır.



Şekil 4.12. Permeabilite deney numunelerine ait ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yöntemi ile belirlenen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranları

Çizelge 4.13.'te numune türlerinden bağımsız olarak deney yöntemlerinin ortalama yoğunluk değerleri su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranlanmıştır. Sadece permeabilite deney numunelerinde PVC kalıplar içerisinde numuneler bulunduğundan Çizelge 4.13.'te hacmi belli numunelerin ortalama yoğunluk değerlerine yer verilmemiştir.

Çizelge 4.13. Farklı deney yöntemlerine göre ortalama yoğunluk değerlerinin su taşıma yönteminden elde edilen ortalama yoğunluk değerlerine göre oranlanması

Karışım	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	1,001	1,161	1,040
K1-2,5	1,000	0,991	1,110	1,053
K1-2	1,000	0,992	1,069	1,026
Ortalama 1	1,000	0,995	1,114	1,039
K2-3	1,000	0,977	1,294	1,083
K2-2,5	1,000	0,981	1,240	1,072
K2-2	1,000	0,986	1,175	1,061
Ortalama 2	1,000	0,981	1,236	1,072
K3-3	1,000	0,988	1,336	1,137
K3-2,5	1,000	0,993	1,286	1,126
K3-2	1,000	0,974	1,209	1,077
Ortalama 3	1,000	0,985	1,277	1,113
Genel Ortalama	1,000	0,987	1,209	1,075

Çizelge 4.13.'e göre ortalamalar incelenecek olursa ince agregalarda su taşıma yöntemine en yakın sonuçlar sırasıyla Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntem, parafinleme yöntemi ve düzgün geometrisi olmayan cisimlerin yoğunluğunu belirleme yöntemi şeklinde sıralanmaktadır. Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen ölçüm yöntemi hariç diğer yöntemlerde agrega boyutları büyüdükçe genel olarak su taşıma yöntemiyle aradaki ölçüm farkı da artmaktadır. İnce agregalı karışımlara göre 4-8 mm agregalar kullanılarak üretilen karışımlarda ortalama oran artışı sırasıyla esasları TS 699'da yer alan düzgün geometrili olmayan cisimler için yoğunluk ölçüm yönteminde %10,95; parafinleme yönteminde %3,17 olarak gözlenmiştir. 8-16 mm agregalı karışımlarda ise ince agregalı karışım ortalamasına göre fark daha da artarak düzgün geometrili olmayan cisimler için yoğunluk ölçüm yönteminde %14,63; parafinleme yönteminde ise %7,12 olarak bulunmuştur.

Hacmi bilinen numuneye ait yoğunluk değerinin geometrik hacim veya yığın hacim (bulk volume) değeri olduğu Webb (2001) tarafından yapılan

çalışmada yer alan hacim tanımları tablosundan anlaşılmaktadır. Parafinleme yöntemi ile TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk ölçümü yönteminden elde edilen yoğunluk değerlerinin diğer yöntemlerden oldukça farklı sonuçlar verdiği görülmüştür. ASTM C 914 (2004) standardında parafinle kaplama yöntemi aracılığıyla numuneye ait yığın yoğunluğun (bulk density) belirlendiği belirtilmektedir. Yoğunluk hesabı yapılırken parafinin hacmi çıkartıldığında parafinin doldurmuş olduğu numune içindeki boşluklar da çıkarılmış olduğundan bu yöntemle elde edilen yoğunluk değerinin diğer iki yöntemle elde edilen yoğunluk değerlerinden farklı olduğu anlaşılmaktadır.

TS 699 (1987)'de yer alan düzgün geometrik şekilli olmayan deney numunelerinde hacimsel kütle tayini yönteminde ise numuneler boşluklu yapıda olduğundan numuneleri tam doygun halde tutmak mümkün olmamaktadır. İri agregalı karışımlar büyük boşluklara sahip olduklarından doygun ağırlıkları ince agregalı karışımlara göre daha düşük bulunmuştur. Bu yüzden formülde yerine yazıldığında iri agregalı karışımlara ait yoğunluk değerleri ince agregalı karışımlardan daha yüksek bulunmuştur. Ayrıca iri agregalı karışımlarda genel olarak agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça yoğunluk değerinin de azaldığı gözlenmiştir.

Sonraki bölümlerde geometrik hacim değerleri ile oldukça yakın sonuçlar veren ve bu çalışma kapsamında türetilen su taşıma yöntemi kullanılarak elde edilen yoğunluk değerleri, numunelerin yoğunluk değerleri olarak kullanılmıştır.

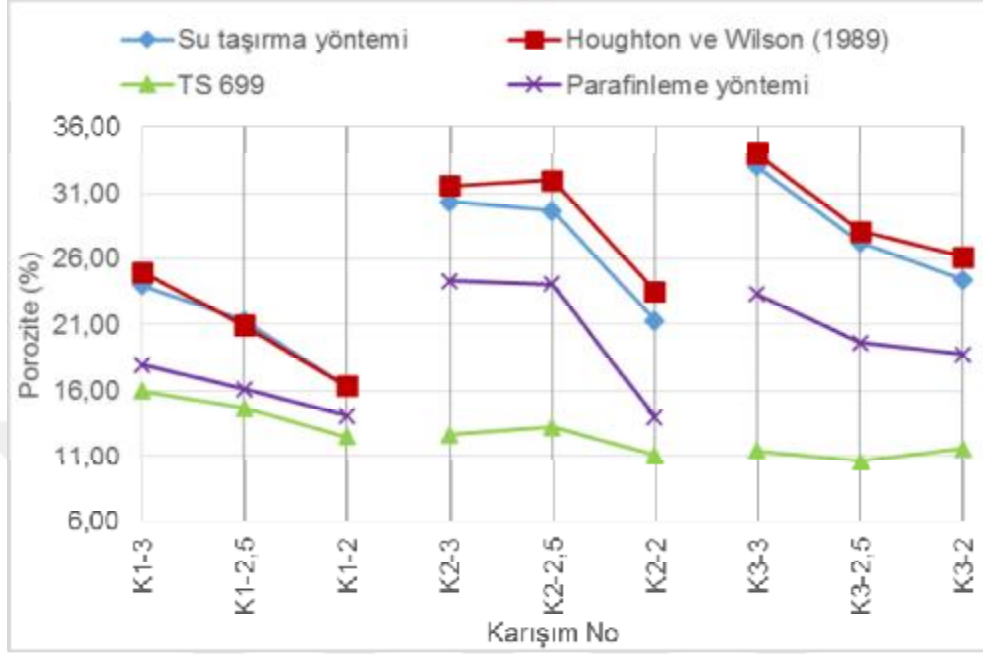
4.2. Porozite

Yoğunluk ölçüm yöntemlerinden bulunan hacim değerleri kullanılarak (3.7.) numaralı formül yardımıyla porozite değerleri hesaplanmıştır. Çizelge ve şekillerde verilen porozite değerleri ilgili karışım ve numune türüne ait deney elemanlarından elde edilen sonuçların ortalamalarıdır. Çizelge 4.14.'te silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.14. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri

	Su taşıma yöntemi (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	TS 699 (%)	Parafinleme yöntemi (%)
K1-3	24,00	25,00	16,00	18,00
K1-2,5	21,30	20,99	14,71	16,16
K1-2	16,37	16,38	12,50	14,10
K2-3	30,38	31,57	12,66	24,33
K2-2,5	29,67	32,02	13,24	24,09
K2-2	21,33	23,55	11,09	14,01
K3-3	33,06	33,99	11,46	23,30
K3-2,5	27,26	28,14	10,62	19,66
K3-2	24,42	26,19	11,59	18,77

Çizelge 4.14. incelendiğinde her karışım türünde en yüksek ortalama porozite değerleri genel olarak Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanmıştır. Genel olarak Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntem ve su taşıma yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmüştür. Şekil 4.13.'te silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri görülmektedir.



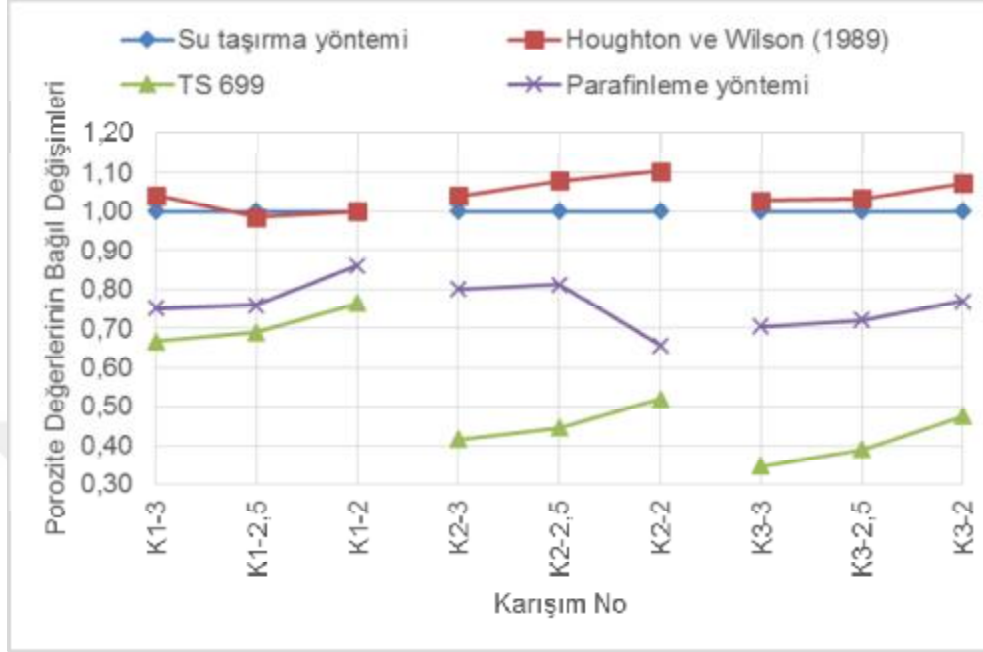
Şekil 4.13. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

Şekil 4.13.'e göre tüm ölçüm yöntemlerinde ince agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama porozite değerlerinin de azaldığı görülmektedir. Su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin 2-4 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen geçirimli betonlarda %16,37 ile %24, 4-8 mm boyutlu agregalarda %21,33 ile %30,38 ve 8-16 mm boyutlu agregalarda %24,42 ile %33,06 aralığında oldukları bulunmuştur. Tüm agrega boyutlarında ve agrega/bağlayıcı oranlarında en düşük ortalama porozite değerleri TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk değerlerinin belirlendiği yöntemle bulunan hacim değerleri kullanıldığında elde edilmiştir. Çizelge 4.15.'de farklı yöntemlerle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.15. Silindir numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

Porozite	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	1,042	0,667	0,750
K1-2,5	1,000	0,985	0,691	0,759
K1-2	1,000	1,001	0,764	0,862
K2-3	1,000	1,039	0,417	0,801
K2-2,5	1,000	1,079	0,446	0,812
K2-2	1,000	1,104	0,520	0,657
K3-3	1,000	1,028	0,347	0,705
K3-2,5	1,000	1,032	0,390	0,721
K3-2	1,000	1,072	0,475	0,769
Ortalama	1,000	1,043	0,524	0,759

Çizelge 4.15.'de görüldüğü üzere su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerine göre ortalama en farklı sonuçlar TS 699'da esasları anlatılan yöntemle hesaplanan hacim değerleri kullanıldığında elde edilmiştir. Su taşıma yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerlerine göre Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerinin ortalama %4,3 daha yüksek olduğu, TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirleme yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerlerinin ortalama %47,6 daha düşük olduğu, parafinleme yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerlerinin ise ortalama %24,1 daha düşük olduğu bulunmuştur. TS 699'da esasları anlatılan yöntem ve su taşıma yönteminden bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri oranlandığında aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça porozite değerleri arasındaki farkın da arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.14.'te Çizelge 4.15.'de görülen oranların grafiğe aktarılmış hali yer almaktadır.



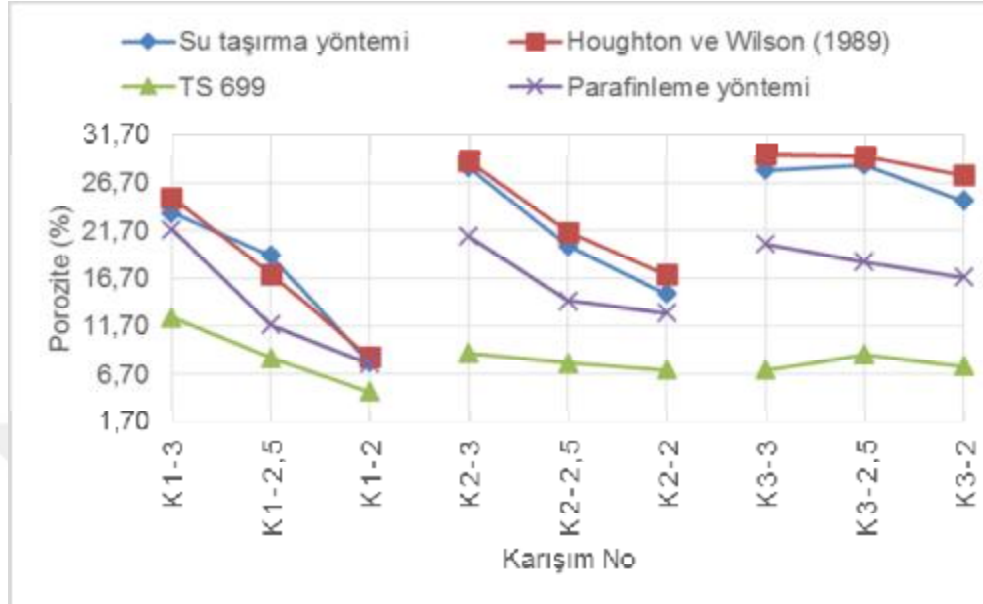
Şekil 4.14. Farklı yöntemlerle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

Şekil 4.14.'e göre numunelerin streç filmle kaplandığı yöntemlerden bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Aynı agrega türünde düzgün geometrik şekli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçüm yöntemi ve su taşıma yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça birbirlerine yaklaştıkları tespit edilmiştir. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri Çizelge 4.16.'da yer almaktadır.

Çizelge 4.16. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri

	Su taşıma yöntemi (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	TS 699 (%)	Parafinleme yöntemi (%)
K1-3	23,63	25,23	12,64	21,89
K1-2,5	19,13	17,16	8,44	11,91
K1-2	8,01	8,52	4,93	7,86
K2-3	28,27	28,99	8,86	21,14
K2-2,5	20,11	21,61	7,93	14,38
K2-2	15,07	17,10	7,16	13,07
K3-3	28,06	29,72	7,17	20,29
K3-2,5	28,60	29,53	8,79	18,46
K3-2	24,91	27,57	7,56	16,84

Çizelge 4.16.'da görüldüğü üzere Houghton ve Wilson (1989)'a ait çalışmadan türetilen yöntem ve su taşıma yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları belirlenmiştir. En yüksek ortalama porozite değerleri her karışım türünde genel olarak Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemle bulunan hacim değerleri kullanılarak elde edilirken, en düşük ortalama porozite değerleri ise TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçüm yönteminden yararlanılarak bulunmuştur. Su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite değerlerinin 2-4 mm agregalı karışımlarda %8,01 ile %23,63 aralığında, 4-8 mm agregalı karışımlarda %15,07 ile %28,27 aralığında ve 8-16 mm agregalı karışımlarda %24,91 ile %28,60 aralığında olduğu bulunmuştur. Genel olarak K1-2 karışımına ait küp numunelerde ortalama porozite değerlerinin geçirimli betonlara göre oldukça düşük olduğu ve aynı agrega boyutunda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama porozite değerlerinin de azaldığı gözlenmektedir. Şekil 4.15.'de küp numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri görülmektedir.



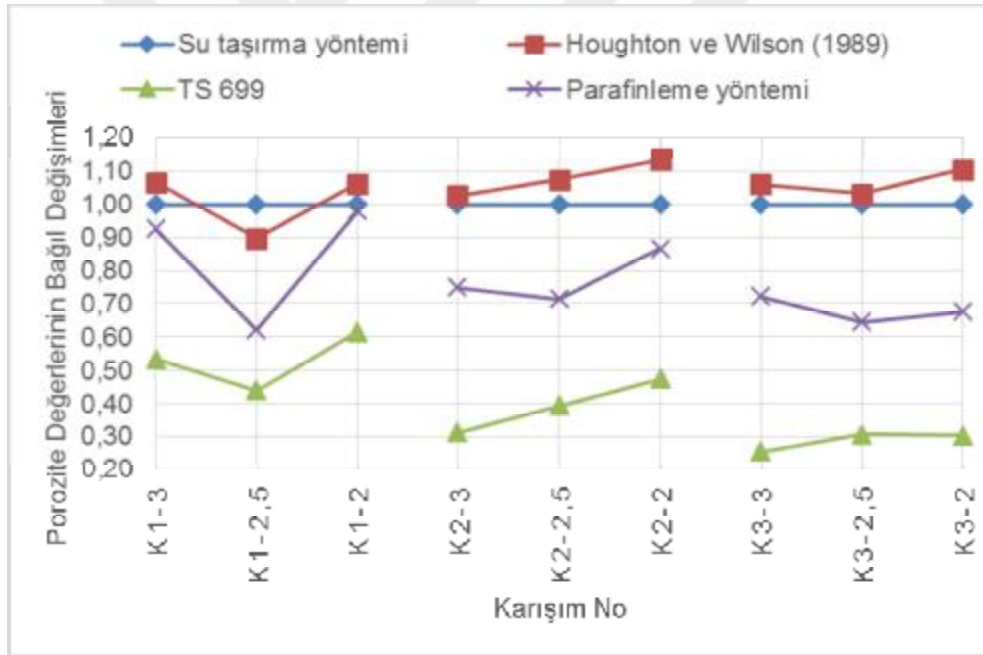
Şekil 4.15. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerleri

Çizelge 4.17.'de farklı yöntemlerle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.17. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	1,068	0,535	0,926
K1-2,5	1,000	0,897	0,441	0,623
K1-2	1,000	1,064	0,615	0,981
K2-3	1,000	1,025	0,313	0,748
K2-2,5	1,000	1,075	0,394	0,715
K2-2	1,000	1,135	0,475	0,867
K3-3	1,000	1,059	0,256	0,723
K3-2,5	1,000	1,033	0,307	0,645
K3-2	1,000	1,107	0,303	0,676
Ortalama	1,000	1,051	0,405	0,767

Çizelge 4.17.'de yer alan sonuçlar incelendiğinde su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerine göre hacim değerleri Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemle hesaplandığında porozite değerlerinin ortalama %5,1 daha yüksek olduğu, TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçümü yöntemiyle hesaplandığında porozite değerlerinin ortalama %59,5 daha düşük olduğu, parafinleme yöntemiyle hesaplandığında ise porozite değerlerinin ortalama % 23,3 daha düşük olduğu bulunmuştur. Şekil 4.16.'da küp numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozitelerin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozitelere göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.16. Küp numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre değişimleri

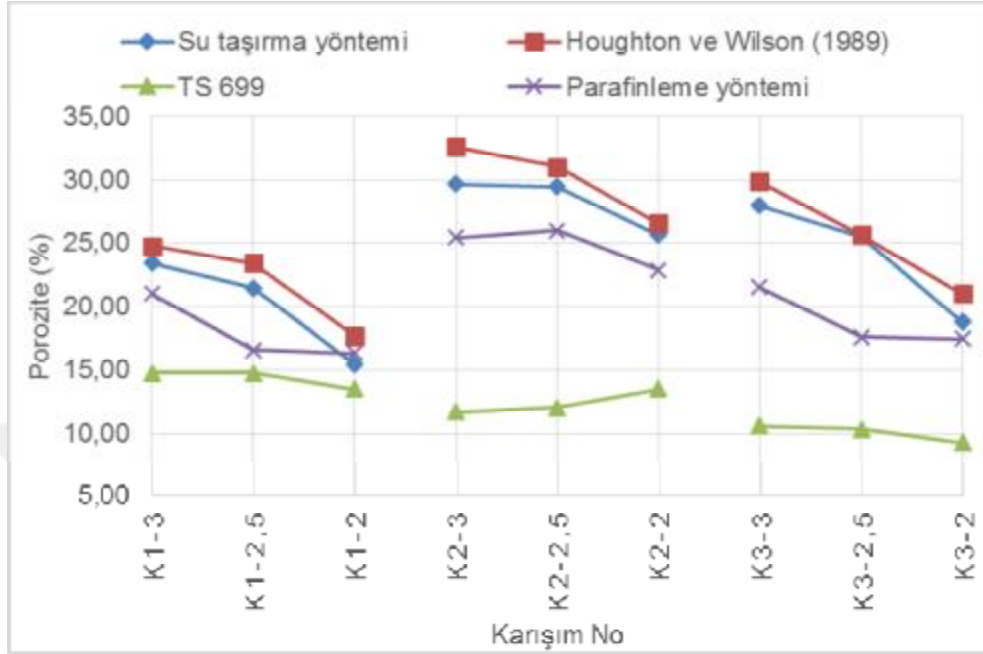
En düşük ortalama porozite değerlerinin düzgün şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçüm yönteminden yararlanılarak elde edildiği Şekil 4.16.' dan

anlaşılmaktadır. Genel olarak parafinleme yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, hacim değerleri TS 699’da esasları anlatılan ölçüm yöntemiyle belirlenen ortalama porozite değerlerinden neredeyse bir kat fazla olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.18.’de hacim değerleri farklı deney yöntemlerinden elde edilen kırı ş numunelere ait parçaların ortalama porozite değerleri bulunmaktadır.

Çizelge 4.18. Hacim değerleri farklı deney yöntemlerinden elde edilen kırı ş numunelere ait parçaların ortalama porozite değerleri

	Su taşı rma yöntemi (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	TS 699 (%)	Parafinleme yöntemi (%)
K1-3	23,42	24,79	14,80	21,00
K1-2,5	21,45	23,42	14,81	16,62
K1-2	15,49	17,72	13,54	16,36
K2-3	29,63	32,58	11,63	25,46
K2-2,5	29,48	31,08	12,08	25,99
K2-2	25,65	26,56	13,50	22,90
K3-3	27,98	29,86	10,56	21,50
K3-2,5	25,55	25,64	10,32	17,63
K3-2	18,76	21,00	9,29	17,46

Sonuç lar incelendiğinde su taşı rma yöntemi, parafinleme yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989)’un çalış masından türetilen yöntemden yararlanılarak belirlenen ortalama porozite değerlerinin aynı agrega türünde agrega/bağ layıcı oranı azaldıkça genel olarak azaldığı görü lmektedir. En yüksek ortalama porozite değerleri Houghton ve Wilson (1989)’un çalış masından türetilen yöntemle bulunan hacim değerleri kullanılarak, en düşük ortalama porozite değerleri ise TS 699’da esasları anlatılan ölçüm yöntemiyle belirlenen hacim değerlerinden yararlanılarak elde edilmiştir. Ş ekil 4.17.’de kırı ş numunelerden elde edilen parçalara ait hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karış ım türlerine göre değ iş imleri yer almaktadır.



Şekil 4.17. Kiriş numunelerden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

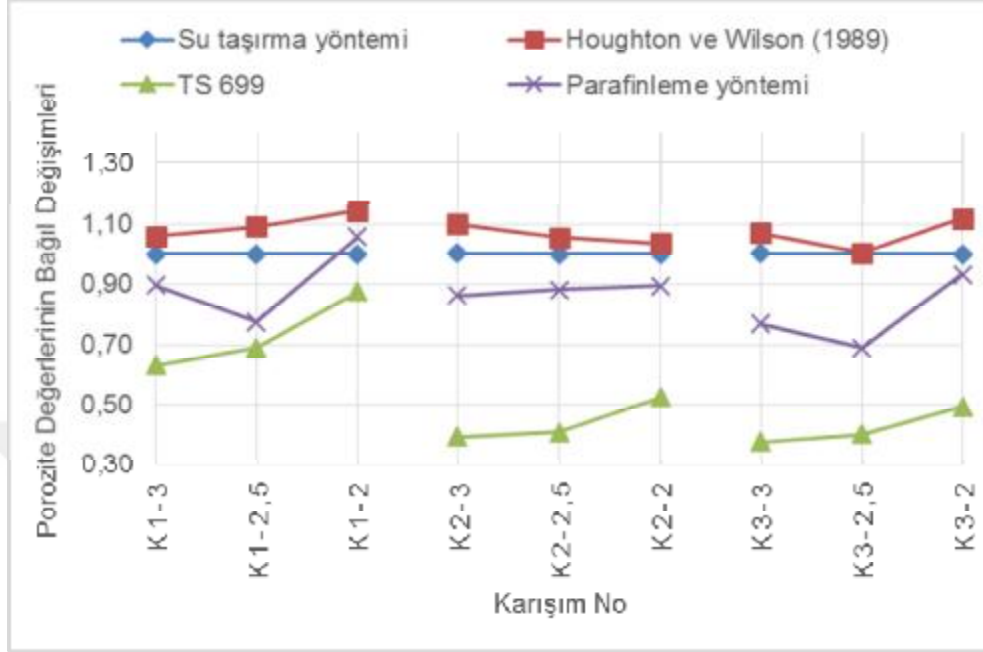
Şekil 4.17. incelendiğinde Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntem ve su taşıma yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin aynı agrega türü içerisinde farklı numunelerden alınan diğer örneklerle benzer şekilde değişim gösterdiği görülmektedir. Ancak, diğer karışımlarda genel olarak görülen agrega boyutu arttıkça aynı agrega/bağlayıcı oranında porozite değerlerinin de artması eğilimi kiriş numunelerine ait parçalarda gözlenmemiştir. Bu duruma iri agregalı eğilme kirişi numunelerinde segregasyon eğilimi gözlenmesinin neden olmuş olabileceği düşünülmektedir. Silindir ve küp numunelere ait parçalar üzerinde yapılan deneylerde hacim değerleri su taşıma yöntemine göre belirlendiğinde ince agregalı karışımlarda porozite değerlerinin ortalama %15,49 ile %23,42 4-8 mm agregalı karışımlarda bu oranın %25,65 ile %29,63 8-16 mm agregalı karışımlarda ise %18,76 ile %27,98 aralığında olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.19.'da kiriş

numunelerden elde edilen parçalara ait porozite değerleri ortalamalarının su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.19. Kiriş numunelerden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin, hacim değerleri su taşıma yöntemine göre belirlenen ortalama porozite değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	1,058	0,632	0,897
K1-2,5	1,000	1,092	0,690	0,775
K1-2	1,000	1,144	0,874	1,056
K2-3	1,000	1,100	0,393	0,859
K2-2,5	1,000	1,054	0,410	0,882
K2-2	1,000	1,035	0,526	0,893
K3-3	1,000	1,067	0,377	0,768
K3-2,5	1,000	1,004	0,404	0,690
K3-2	1,000	1,119	0,495	0,931
Ortalama	1,000	1,075	0,534	0,861

Çizelge 4.19. incelendiğinde su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin %7,5 daha yüksek olduğu, TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk belirleme yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite değerlerinin % 46,6 daha düşük olduğu, parafinleme yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite yüzdelерinin ise %13,9 daha düşük olduğu bulunmuştur. Şekil 4.18.'de Çizelge 4.19.'daki verilerin grafiksel gösterimi yer almaktadır.



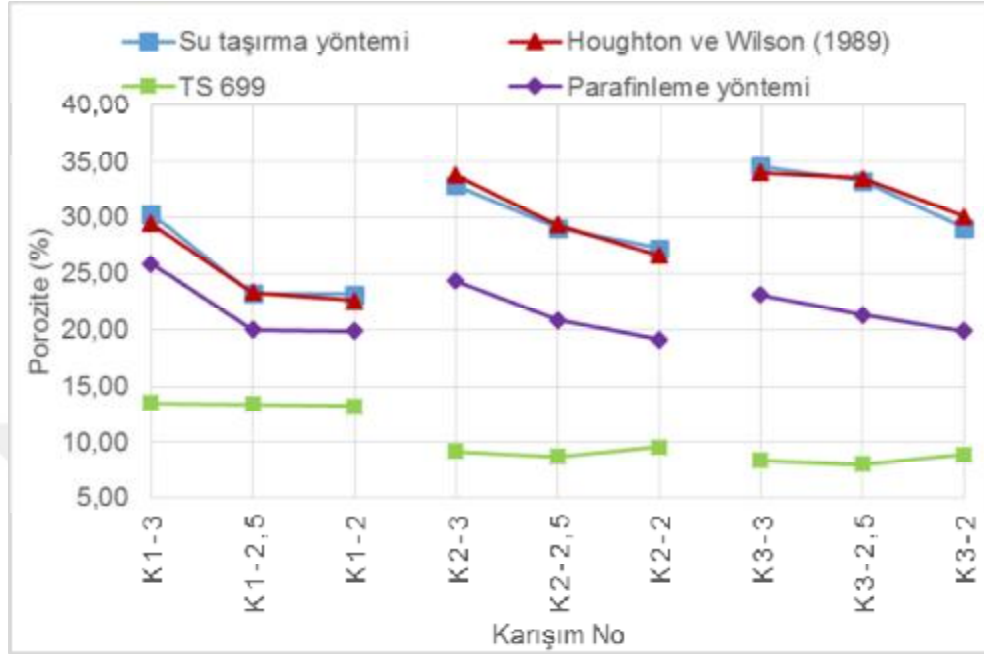
Şekil 4.18. Kiriş numune parçalarına ait farklı ölçüm yöntemlerinden elde edilen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

Şekil 4.18. incelendiğinde hacim değerleri su taşıma yöntemiyle bulunduğu hesaplanan porozite değerlerine en yakın sonuçların Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen ölçüm yönteminden yararlanılarak elde edilen porozite değerlerine ait olduğu gözlenmiştir. Hacim değerleri su taşıma yöntemiyle bulunduğu elde edilen porozite değerlerine en aykırı porozite sonuçları TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrili olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik yöntemden elde edilen hacim değerleri kullanıldığında elde edilmiştir. Çizelge 4.20.'de aşınma numunelerine ait farklı deney yöntemlerinden bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.20. Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemleri kullanılarak elde edilen hacim değerlerine göre hesaplanan ortalama porozite değerleri

	Su Taşıırma Yöntemi (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	TS 699 (%)	Parafınleme Yöntemi (%)
K1-3	30,35	29,48	13,50	25,85
K1-2,5	23,21	23,34	13,38	20,03
K1-2	23,14	22,59	13,20	19,88
K2-3	32,91	33,76	9,11	24,29
K2-2,5	29,05	29,35	8,68	20,85
K2-2	27,26	26,61	9,53	19,17
K3-3	34,60	34,04	8,28	23,02
K3-2,5	33,32	33,53	8,04	21,33
K3-2	29,10	30,09	8,88	19,89

Su taşıırma yöntemi ile Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen ölçüm yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinde genel olarak diğer numune türlerinde de gözlenen aynı agrega türü içerisinde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça porozite değerinin düşmesi ve aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça porozite değerinin artması eğilimi belirgin bir şekilde gözlenmektedir. Diğer numunelerde de olduğu gibi en düşük ortalama porozite değerleri düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçüm yöntemiyle elde edilen hacim değerleri kullanıldığında hesaplanmıştır. Şekil 4.19.'da aşınma numunelerinin farklı ölçüm yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite yüzdelerinin karışım türlerine göre değişimleri görülmektedir.



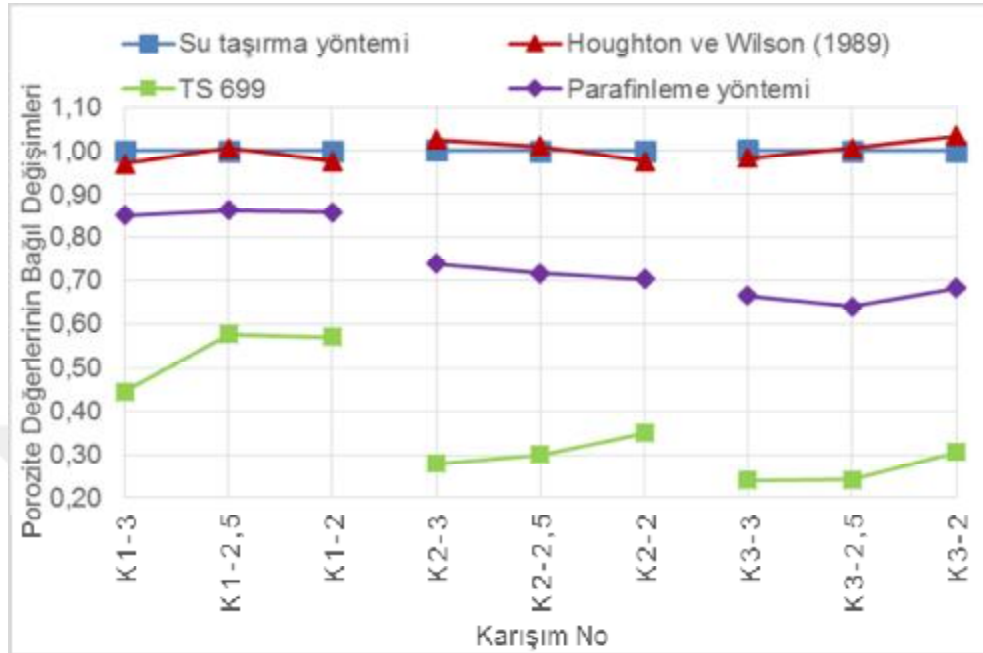
Şekil 4.19. Aşınma numunelerine ait farklı ölçüm yöntemleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

Su taşıma yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite değerlerinin ince agregalı karışımlarda %23,14 ile %30,35 4-8 mm agregalı karışımlarda %27,26 ile %32,91 8-16 mm agregalı karışımlarda ise %29,10 ile %34,60 aralığında olduğu bulunmuştur. Şekil 4.19.'da su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin her karışım türünde birbirleriyle oldukça uyumlu oldukları görülmektedir. Çizelge 4.21.'de aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemlerinden bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.21. Aşınma numuneleri üzerinde farklı deney yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	0,971	0,445	0,852
K1-2,5	1,000	1,006	0,576	0,863
K1-2	1,000	0,976	0,570	0,859
K2-3	1,000	1,026	0,277	0,738
K2-2,5	1,000	1,010	0,299	0,718
K2-2	1,000	0,976	0,350	0,703
K3-3	1,000	0,984	0,239	0,665
K3-2,5	1,000	1,006	0,241	0,640
K3-2	1,000	1,034	0,305	0,684
Ortalama	1,000	0,999	0,367	0,747

Çizelge 4.21.'de yer alan oranlar incelendiğinde su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen ölçüm yönteminden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerinin ortalama %0,1 daha düşük olduğu, TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluk ölçümü yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan porozite değerlerinin ortalama %63,3 daha düşük olduğu, parafinleme yönteminden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerinin ise ortalama %25,3 daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Şekil 4.20.'de Çizelge 4.21.'de yer alan aşınma numunelerine ait ortalama porozite değerlerinin oranları grafik üzerinde gösterilmektedir.



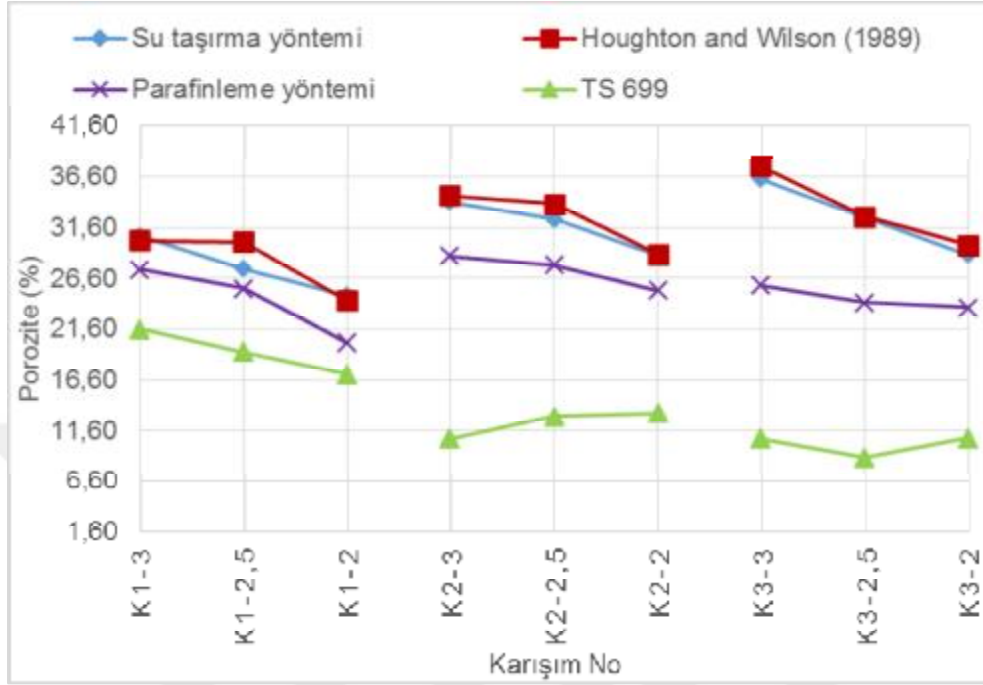
Şekil 4.20. Aşınma numunelerine ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak elde edilen ortalama porozite değerlerine göre oranları

Şekil 4.20.'de su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen deney yöntemiyle elde edilen hacim değerleri kullanıldığında bulunan porozite değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. En düşük ortalama porozite değerleri TS 699'da esaslarından bahsedilen düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik deney yönteminden yararlanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.22.'de permeabilite numunelerine ait parçalar üzerinde farklı deney yöntemleriyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.22. Permeabilite numunelerine ait parçalar üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri

	Su taşıma yöntemi (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	TS 699 (%)	Parafinleme yöntemi (%)
K1-3	30,80	30,35	21,57	27,54
K1-2,5	27,59	30,21	19,37	25,62
K1-2	24,95	24,43	17,18	20,25
K2-3	34,15	34,78	10,74	28,84
K2-2,5	32,43	33,94	12,98	27,94
K2-2	28,87	29,01	13,33	25,46
K3-3	36,39	37,57	10,74	25,92
K3-2,5	32,63	32,68	8,96	24,23
K3-2	28,95	29,88	10,85	23,73

Çizelge 4.22. incelendiğinde su taşıma yöntemi ve Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan ortalama porozite değerlerinin birbirlerine oldukça yakın oldukları görülmektedir. Permeabilite deney numuneleri üzerinde yapılan testlerde diğer numunelerdeki testler gibi yine en düşük ortalama porozite değerleri TS 699 standardına uygun deney yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak elde edilmiştir. En yüksek ortalama porozite değerleri ise genel olarak Houghton ve Wilson (1989) tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanmıştır. Su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin ince agregalı karışımlarda %24,95 ile %30,80; 4-8 mm agregalı karışımlarda %28,87 ile %34,15 ve 8-16 mm agregalı karışımlarda %28,95 ile %36,39 aralığında değiştiği belirlenmiştir. Şekil 4.21.'de permeabilite numunelerine ait parçalar üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri yer almaktadır.



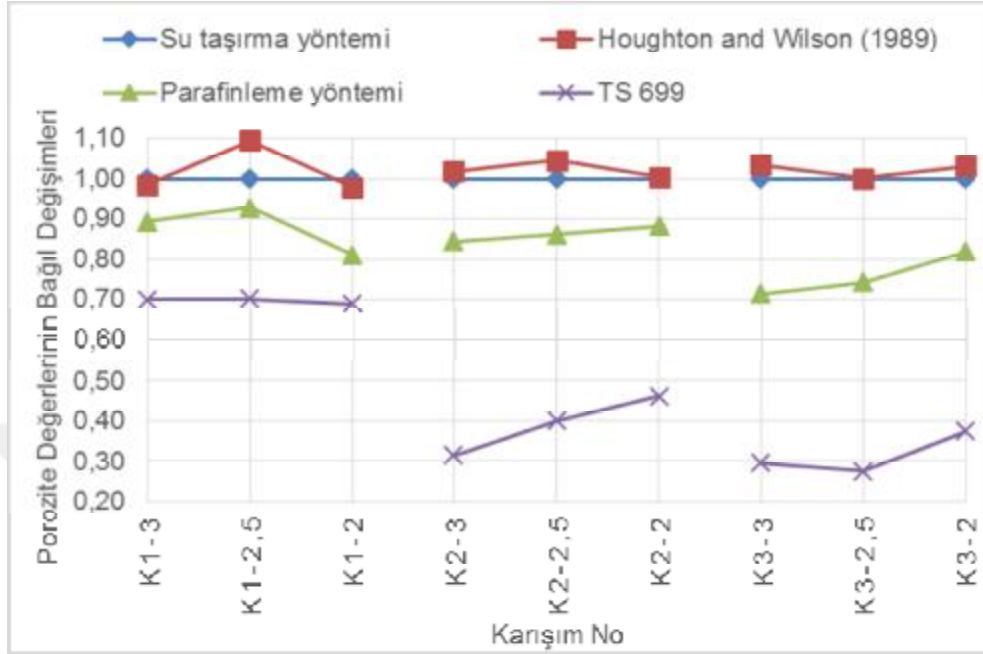
Şekil 4.21. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

Şekil 4.21.'de yer alan değerlere göre genel olarak numunelerin streç filmle kaplandığı deney yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinde aynı agrega türünde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça azalma olduğu, aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça genel olarak artış olduğu gözlenmiştir. Parafinleme yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin ise aynı agrega türünde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça düştüğü görülmektedir. TS 699'da esasları anlatılan düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirleme yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin, diğer yöntemler kullanılarak hesaplanan porozite değerlerinin değişimlerine benzer eğilim göstermediği Şekil 4.21.'de görülmektedir. Çizelge 4.23.'te ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.23. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

Porozite	Su taşıma yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	TS 699	Parafinleme yöntemi
K1-3	1,000	0,985	0,700	0,894
K1-2,5	1,000	1,095	0,702	0,929
K1-2	1,000	0,979	0,689	0,812
K2-3	1,000	1,018	0,314	0,845
K2-2,5	1,000	1,047	0,400	0,862
K2-2	1,000	1,005	0,462	0,882
K3-3	1,000	1,032	0,295	0,712
K3-2,5	1,000	1,002	0,275	0,743
K3-2	1,000	1,032	0,375	0,820
Ortalama	1,000	1,022	0,468	0,833

Su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre Houghton ve Wilson (1989)'tarafından yapılan çalışmadan türetilen yöntemle hacim değerleri belirlendiğinde ortalama porozite değerlerinin %2,2 arttığı, parafinle kaplama yöntemiyle hacim değerleri belirlendiğinde ortalama porozite değerlerinin %16,7 azaldığı ve düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarını belirlemeye yönelik yöntem kullanılarak hacim değerleri belirlendiğinde ise ortalama porozite değerlerinin %53,2 azaldığı tespit edilmiştir. Şekil 4.22.'de permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait farklı deney yöntemlerinden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre değişimleri yer almaktadır.



Şekil 4.22. Permeabilite numunelerinden elde edilen parçalara ait ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre değişimleri

Şekil 4.22. incelendiğinde su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine en yakın değerlerin diğer numune türlerinde de olduğu gibi Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemle belirlenen hacim değerleri kullanılarak elde edildiği görülmektedir. İri agregalı karışımlarda hem parafinleme yönteminden hem de TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk ölçüm yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinde agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımların agrega/bağlayıcı oranı 3 ve 2,5 olan karışımlara göre su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine daha yakın sonuçlar verdiği görülmektedir.

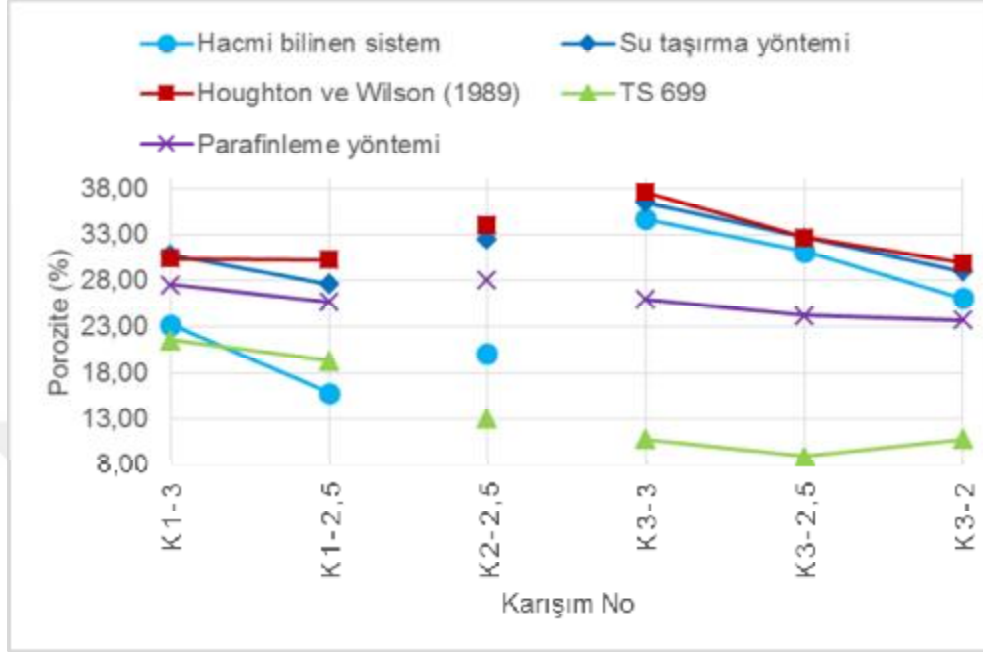
Neithalath ve ark. (2006) tarafından yapılan çalışmadan yola çıkılarak hacmi bilinen bir kalıp içerisindeki geçirimli betonun su ile doldurularak porozite yüzdesinin belirlenmesi de çalışma kapsamında incelenmiştir. Çizelge 4.24.'te

permeabilite numunelerine ait hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri yer almaktadır.

Çizelge 4.24. Permeabilite numunelerine ait ortalama hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri

	Hacmi bilinen sistem (%)	Houghton ve Wilson (1989) (%)	Su taşıma yöntemi (%)	TS 699 (%)	Parafinleme yöntemi (%)
K1-3	23,22	30,35	30,80	21,57	27,54
K1-2,5	15,88	30,21	27,59	19,37	25,62
K2-2,5	20,09	33,94	32,43	12,98	27,94
K3-3	34,68	37,57	36,39	10,74	25,92
K3-2,5	31,13	32,68	32,63	8,96	24,23
K3-2	26,08	29,88	28,95	10,85	23,73

Çizelge 4.24.'te görüldüğü üzere hacimsel porozite ölçümü ile bulunan porozite değerlerinin ince agregalı karışımlarda TS 699'da esasları anlatılan yoğunluk ölçümü yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine yakın olduğu, agrega boyutu arttığındaysa numunelerin streç filmle kaplandığı yöntemler kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine yaklaştığı tespit edilmiştir. Şekil 4.23.'te permeabilite numunelerine ait hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri bulunmaktadır.



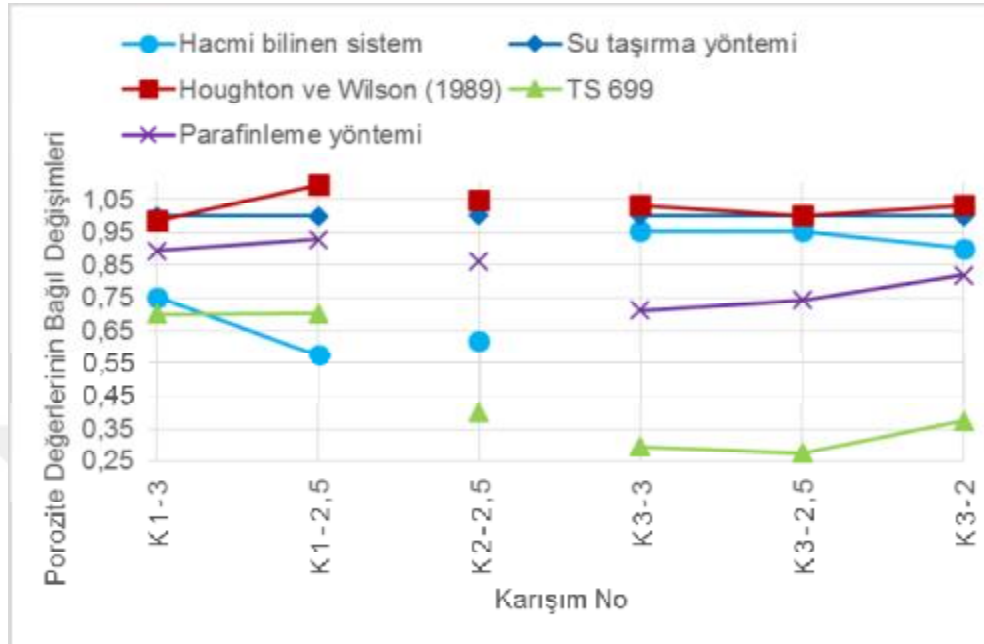
Şekil 4.23. Permeabilite numunelerine ait hacimsel porozite değerleri ve farklı yöntemlerle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinin karışım türlerine göre değişimleri

Şekil 4.23. incelendiğinde hacmi bilinen bir geçirimli beton numunesine su doldurulması ile elde edilen porozite değerlerinin ince agregalı karışımlarda su taşıma yöntemiyle ve Houghton ve Wilson (1989)'un çalışmasından türetilen yöntemden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerinden oldukça farklı olduğu ancak iri agregalarda farkın ciddi oranda azaldığı gözlenmiştir. Çizelge 4.25.'de permeabilite deney numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.25. Permeabilite deney numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin, su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

	Su Taşıma Yöntemi	Houghton ve Wilson (1989)	Hacmi bilinen sistem	TS 699	Parafinleme Yöntemi
K1-3	1,000	0,985	0,754	0,700	0,894
K1-2,5	1,000	1,095	0,576	0,702	0,929
K2-2,5	1,000	1,047	0,619	0,400	0,862
K3-3	1,000	1,032	0,953	0,295	0,712
K3-2,5	1,000	1,002	0,954	0,275	0,743
K3-2	1,000	1,032	0,901	0,375	0,820
Ortalama	1,000	1,032	0,793	0,458	0,826

Hacimsel porozite değerlerinin, su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak elde edilen ortalama porozite değerlerinin sırasıyla; K 1-3 karışımında %75,4'ü, K1-2,5 karışımında %57,6'sı ve K2-2,5 karışımında ise %61,9'u kadar olduğu bulunmuştur. Ancak 8-16 mm agregalarda elde edilen hacimsel porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak elde edilen porozite değerlerine ciddi oranda yaklaştığı gözlenmiştir. Hacimsel porozite ve streç filmle kaplama yöntemleriyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında hesaplanan porozite değerlerinin agregat boyutu arttıkça birbirlerine yaklaştığı gözlenmiştir. Ortalama olarak hacimsel porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesap edilen ortalama porozite değerlerinin %79,3'ü kadar olduğu bulunmuştur. Şekil 4.24.'te permeabilite numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yönteminden yararlanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları görülmektedir.



Şekil 4.24. Permeabilite numuneleri üzerinde farklı ölçüm yöntemleriyle bulunan ortalama porozite değerlerinin su taşıma yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerlerine göre oranları

Farklı yöntemlerden bulunan hacim değerleri kullanılarak hesaplanan porozite değerlerinin değişimi de bu çalışma kapsamında incelenmiştir. Her numune ve karışım türünde genel olarak en küçük porozite değerlerinin TS 699’da esasları anlatılan yoğunluk ölçüm yöntemiyle bulunan hacim değerleri kullanıldığında, en yüksek porozite değerlerinin ise genel olarak Houghton ve Wilson (1989)’un çalışmasından türetilen ölçüm yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanıldığında hesaplandığı görülmüştür. Her karışımda genel olarak en yüksek yoğunluk değerini veren ölçüm yöntemi kullanıldığında en düşük porozite değeri elde edilmesi veya genel olarak en düşük yoğunluk değeri elde edilen ölçüm yöntemi kullanıldığında en yüksek porozite değerlerinin elde edilmesi kullanılan porozite formülü ile alakalıdır. Bundan sonraki bölümlerde su taşıma

yöntemiyle belirlenen hacim değerleri kullanılarak hesaplanan ortalama porozite değerleri numunelerin porozite değeri olarak kullanılmıştır.

4.3. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı proje gereksinimlerinin ötesinde betonların sınıflandırılmasında da kullanılan önemli bir parametredir. Bu çalışmada geçirimli betonun konvansiyonel betona göre düşük basınç dayanımı mineral ve kimyasal katkı malzemeleri kullanılarak arttırılmaya çalışılmıştır. Çalışmada karışımlara ait basınç dayanımı deneyleri hem küp hem de silindir numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Elastisite modülü değerlerinin belirlenmesi amacıyla silindir numunelerden komparatör yardımıyla ölçüm alınması da test edilmiştir. Ancak, yüzey pürüzlülüğünden dolayı numunelere komparatörün tutturulması aşamasında oldukça zorlanıldığından yeterli hassasiyette ölçümler yapılamamıştır. Bu yüzden çalışmada geçirimli betonlara ait elastisite modülü değerlerine yer verilmemiştir. Şekil 4.25.'de komparatör takılmış geçirimli beton numune görülmektedir.



Şekil 4.25. Geçirimli beton silindir numune basınç deneyi

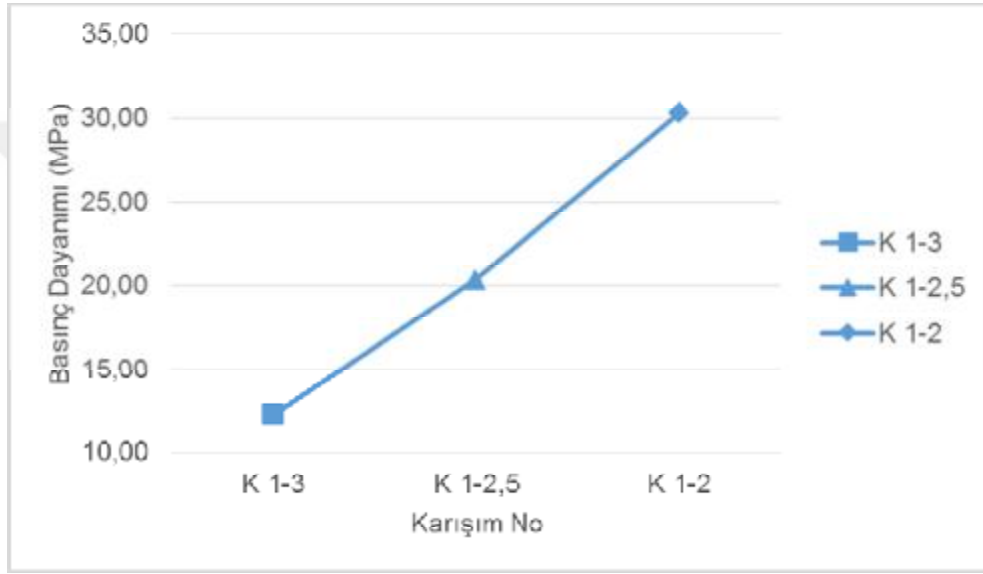
Çizelge 4.26.' da silindir numunelere ait 7 günlük basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.26. 7 günlük silindir numune basınç dayanımı değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,76	33,06	8,91	8,99	0,52
			9,55		
			8,52		
K 3-2,5	1,88	27,26	11,02	11,56	0,87
			11,09		
			12,56		
K 3-2	1,94	24,42	10,87	11,19	1,12
			10,26		
			12,44		
K 2-3	1,81	30,38	8,17	9,33	1,62
			8,65		
			11,18		
K 2-2,5	1,83	29,67	8,84	10,55	2,39
			13,28		
			9,53		
K 2-2	1,98	21,33	15,93	16,07	1,15
			15,00		
			17,28		
K 1-3	1,85	24,00	12,95	12,30	0,64
			11,68		
			12,27		
K 1-2,5	1,91	21,30	17,90	20,33	2,11
			21,44		
			21,65		
K 1-2	2,02	16,37	30,60	30,28	1,46
			31,57		
			28,69		

Çizelge 4.26. incelendiğinde hem agreg a boyutunun hem de agreg a/bağlayıcı oranının basınç dayanımını etkilediği görülmektedir. Genel olarak agreg a boyutları ve aynı agreg a türünde agreg a/bağlayıcı oranı arttıkça basınç dayanımı değeri azalmıştır. 7 gün sonunda yapılan basınç dayanımı

deneylerinde en yüksek değer ortalama 30,28 MPa olarak K 1-2 karışım tipinde görülmüştür. En düşük basınç dayanımı değeri ise agrega boyutu ve agrega/bağlayıcı oranı en yüksek olan K 3-3 karışım tipinde ortalama 8,99 MPa olarak ölçülmüştür. Şekil 4.26.' da 2-4 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin değişimi görülmektedir.



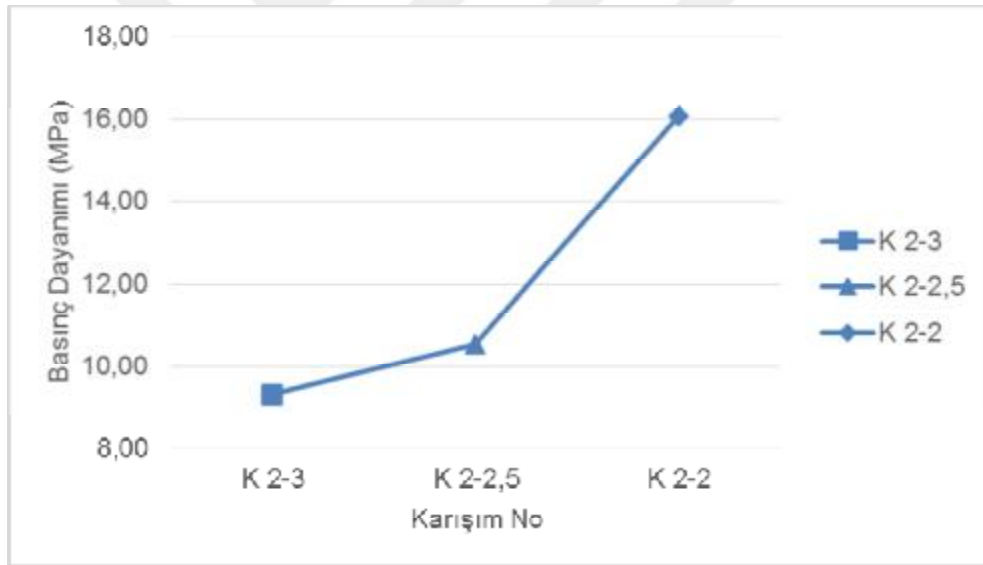
Şekil 4.26. 2-4 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.26. incelendiğinde aynı agrega boyutunda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama basınç dayanımı değerinin lineere yakın artış gösterdiği anlaşılmaktadır. 2-4 mm boyutlu agregalar kullanılarak elde edilen en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 30,28 MPa ile agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımda, en düşük basınç dayanımı ise ortalama 12,30 MPa ile agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımda elde edilmiştir. Çizelge 4.27.'de 2-4 mm agregalı karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.27. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,67	0,41

Çizelge 4.27.'den anlaşılabacağı üzere agrega/bağlayıcı oranının 2'den 2,5'a yükselmesiyle ortalama basınç dayanımında yaklaşık %33'lük bir azalma meydana gelirken, agrega/bağlayıcı oranının 2'den 3'e yükselmesi sonucunda azalma miktarı yaklaşık %59'a yükselmiştir. Şekil 4.27.'te 4-8 mm agregalı karışımlara ait 7 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerlerinin değişimi yer almaktadır.



Şekil 4.27. 4-8 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

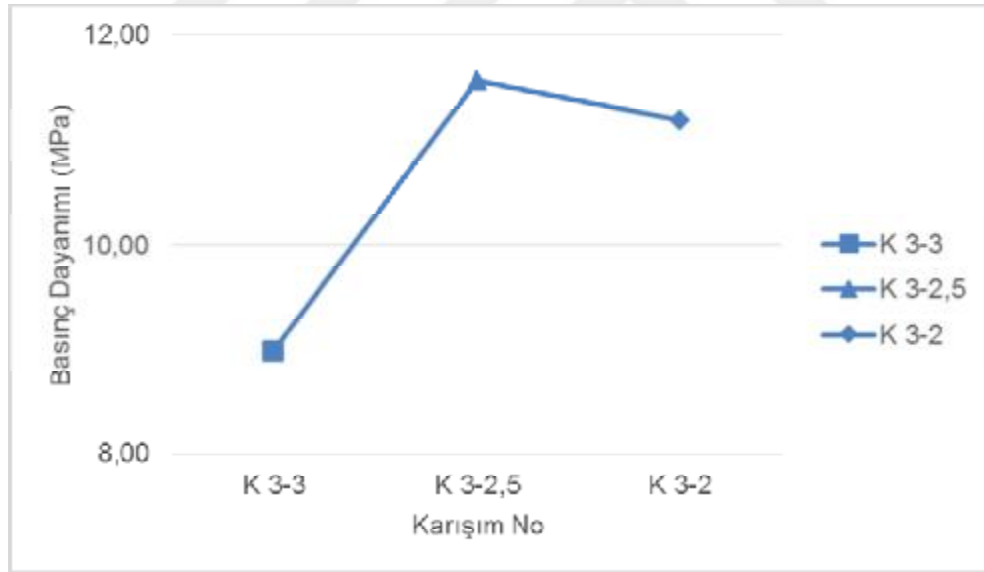
Şekil 4.27. incelendiğinde 4-8 mm agrega kullanılarak elde edilen silindir numunelerde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama basınç dayanımında artış meydana geldiği görülmektedir. Çizelge 4.28.'de 4-8 mm agregalı karışımların

ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.

Çizelge 4.28. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,66	0,58

Çizelge 4.28.' e göre agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5' a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımında yaklaşık %34, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımında yaklaşık %42 azalma gözlenmiştir. Şekil 4.28.'de 8-16 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.28. 8-16 mm agregalı 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

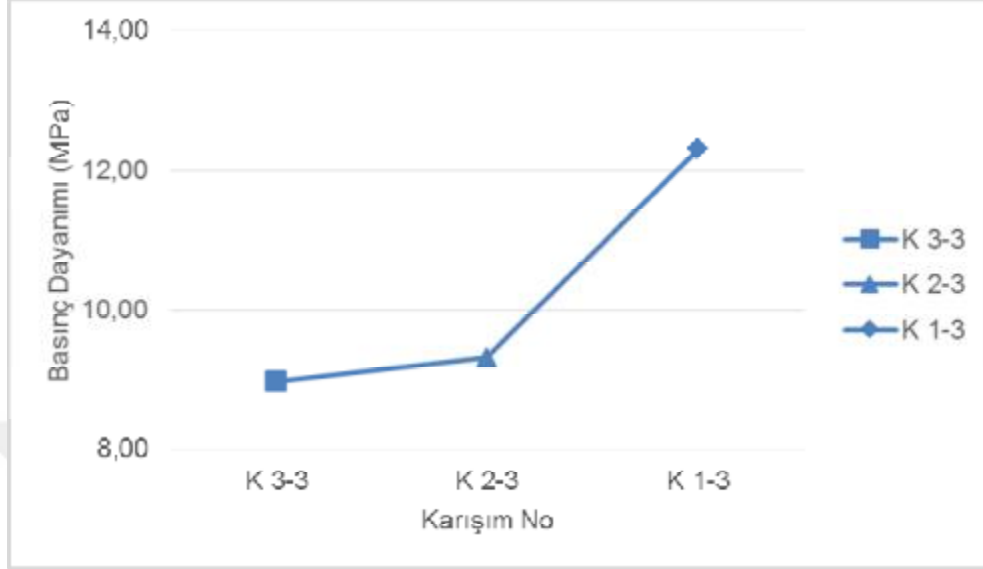
Yedi gün sonunda 8-16 mm boyutlu agregalar kullanılarak elde edilen en yüksek basınç dayanımı değeri ortalama 11,56 MPa ile agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımda, en düşük basınç dayanımı değeri ise ortalama 8,99 MPa ile agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımda elde edilmiştir. Çizelge 4.29.'da 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.29. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	1,03	0,80

Çizelge 4.29.'da yer alan oranlar göz önünde bulundurulduğunda 8-16 mm agregalar kullanılarak elde edilen karışımlara ait basınç dayanımı oranlarının daha ince agregalı karışımlardan farklı olduğu gözlenmiştir. En yüksek 7 günlük silindir numune basınç dayanımı agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımdan elde edilmiştir. Çizelge 4.29.'a göre agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'e yükseldiğinde ortalama basınç dayanımında yaklaşık %3 artış gözlenirken, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımında yaklaşık %20 azalma meydana gelmiştir.

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda agrega boyutu azaldıkça aynı agrega/bağlayıcı oranında ortalama basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Agregas/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlar arasında en yüksek ortalama basınç dayanımı K 1-3 karışımında 12,30 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 3-3 karışımında 8,99 MPa olarak bulunmuştur. Şekil 4.29.'da agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımların agrega boyutlarına göre ortalama basınç dayanımlarının değişimi görülmektedir.



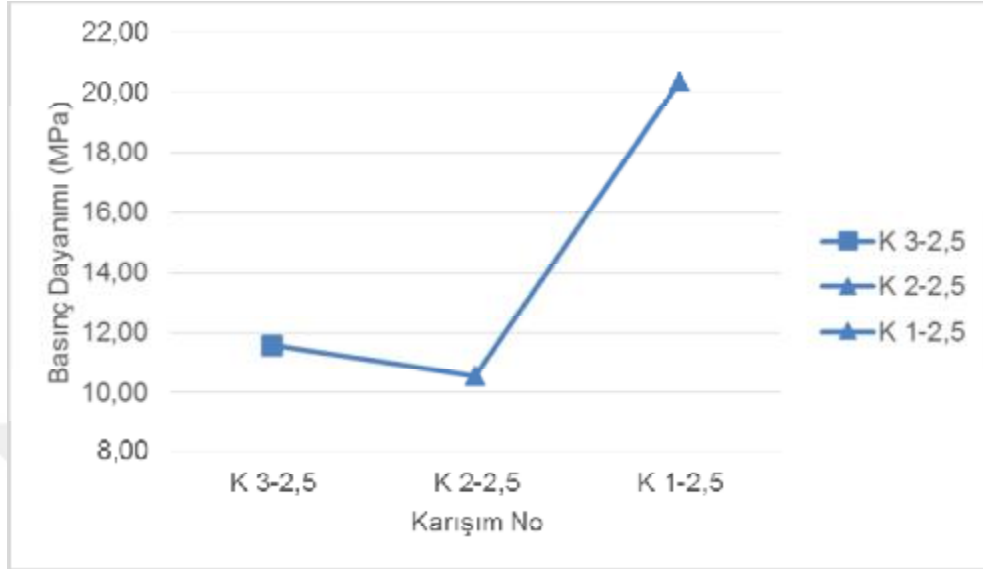
Şekil 4.29. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.30.'da agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.30. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,76	0,73

Çizelge 4.30.'a göre 2-4 mm agrega boyutu yerine 4-8 mm boyutlu agrega kullanıldığında basınç dayanımında yaklaşık %24, 2-4 mm yerine 8-16 mm boyutlu agrega kullanıldığında ise basınç dayanımında yaklaşık %27 azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.30.'da agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



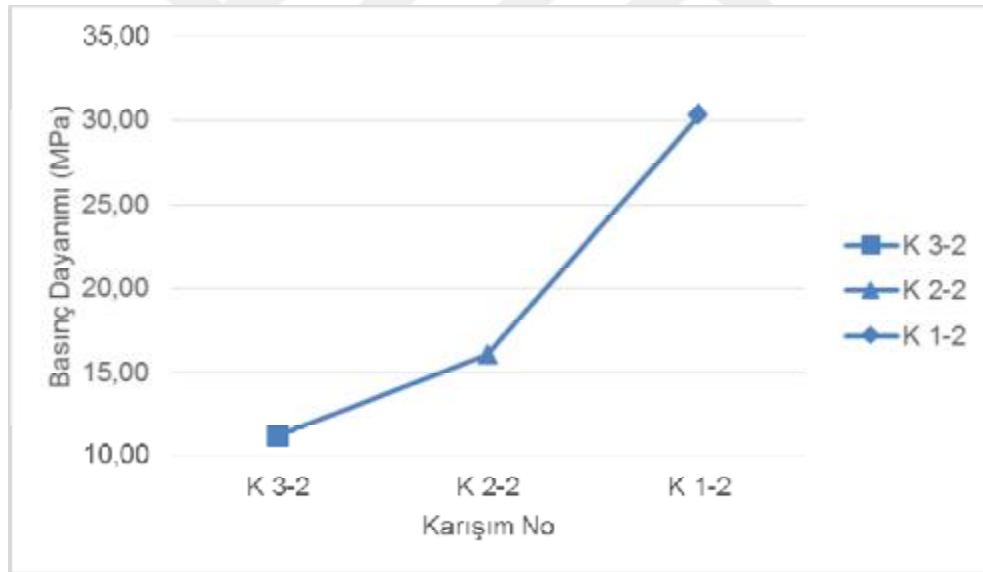
Şekil 4.30. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımların agregabağlayıcı oranına göre ortalama basınç dayanımı değerleri incelendiğinde 8-16 mm agregabağlayıcı oranına göre ortalama basınç dayanımının 4-8 mm agregabağlayıcı oranına göre ortalama basınç dayanımından daha yüksek olduğu belirlenmiştir. 2-4 mm agregabağlayıcı oranına göre ortalama basınç dayanımı değerinin ise diğer karışımlara göre oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. 2,5 agregabağlayıcı oranına sahip karışımlarda en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri K 1-2,5 karışımında 20,33 MPa en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 2-2,5 karışımında 10,55 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.31.'de agregabağlayıcı oranı 2,5 olan silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.31. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Basınç dayanım oranları	1,00	0,52	0,57

Çizelge 4.31.'de yer alan değerler incelendiğinde agrega boyutu büyüdükçe basınç dayanımının yükselmesi eğilimi agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda tam olarak gözlenememiştir. Agrega boyutu 2-4 mm'den, 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %48, agrega boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %43 azalmıştır. Şekil 4.31.'de agrega/bağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



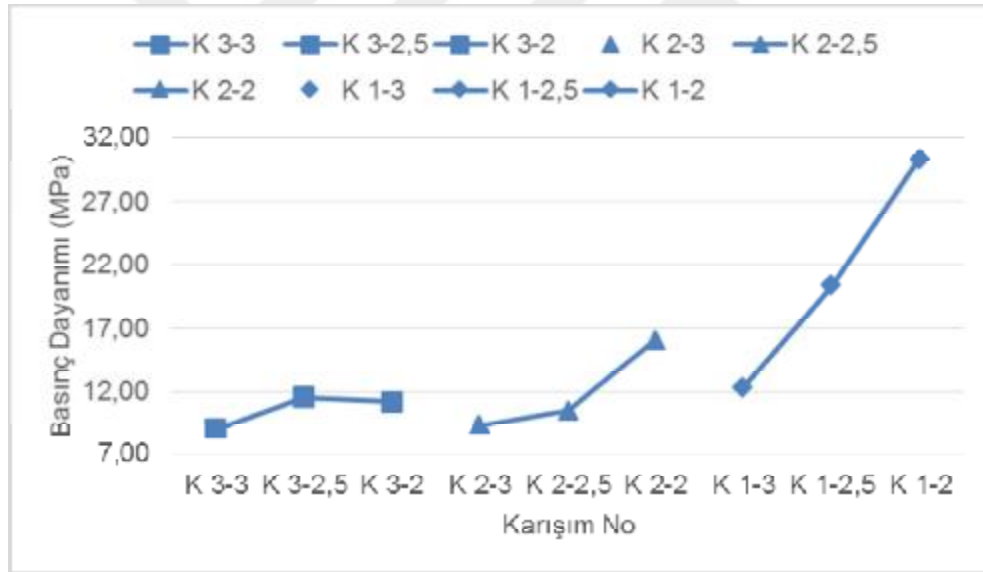
Şekil 4.31. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlar arasındaki 7 günlük basınç dayanımı değişimleri incelendiğinde agrega boyutları azaldıkça ortalama basınç dayanımlarının yükseldiği gözlenmiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı

değeri 2-4 mm boyutlu agregalar kullanılarak üretilen K 1-2 karışımında 30,28 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 3-2 karışımında 11,19 MPa olarak bulunmuştur. Şekil 4.32.' de tüm karışımlara ait 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri bir arada yer almaktadır. Çizelge 4.32.' de agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.

Çizelge 4.32. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Basınç dayanım oranları	1,00	0,53	0,37



Şekil 4.32. Tüm karışımlara ait 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.33.'te ise tüm karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.33. 7 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

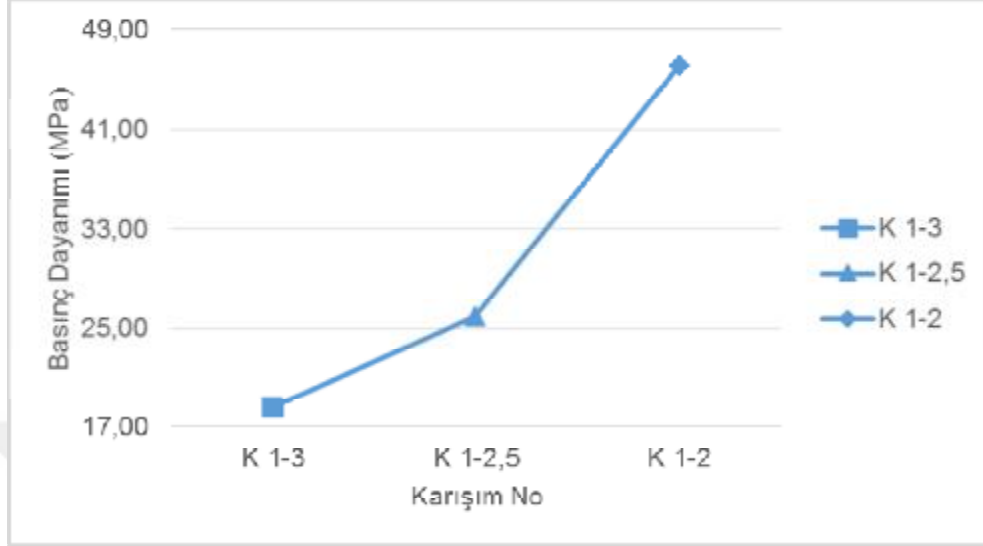
	Basınç dayanım oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,67
K 1-3	0,41
K 2-2	0,53
K 2-2,5	0,35
K 2-3	0,31
K 3-2	0,37
K 3-2,5	0,38
K 3-3	0,30

Şekil 4.32.' de görüldüğü üzere genel olarak agrega boyutu ve agrega/bağlayıcı oranı arttıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Sadece 8-16 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranının artmasıyla basınç dayanımında sürekli düşüş gerçekleşmemiştir. Çizelge 4.33.' deki verilere göre en düşük ortalama basınç dayanımı değerine sahip K 3-3 karışımında, K 1-2 karışımının yaklaşık %30'u kadar ortalama basınç dayanımı değeri elde edilmiştir. Çizelge 4.34.' te küp numunelere ait 7 günlük basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.34. 7 günlük küp numune basınç dayanımı değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,86	28,06	13,58	14,10	0,70
			14,89		
			13,83		
K 3-2,5	1,86	28,60	15,36	16,90	1,54
			16,90		
			18,43		
K 3-2	1,95	24,91	15,27	16,21	1,49
			17,93		
			15,42		
K 2-3	1,84	28,27	16,12	15,53	0,53
			15,08		
			15,39		
K 2-2,5	1,99	20,11	24,57	23,63	1,27
			22,19		
			24,14		
K 2-2	2,07	15,07	25,11	24,21	1,01
			23,11		
			24,41		
K 1-3	1,90	23,63	18,98	18,62	2,44
			20,87		
			16,02		
K 1-2,5	1,94	19,13	26,27	25,94	0,67
			25,17		
			26,38		
K 1-2	2,14	8,01	46,00	46,06	0,36
			46,44		
			45,73		

Çizelge 4.34. incelendiğinde en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinin 46,06 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımının ise 14,10 MPa olarak elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.33.'te 2-4 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.33. 2-4 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

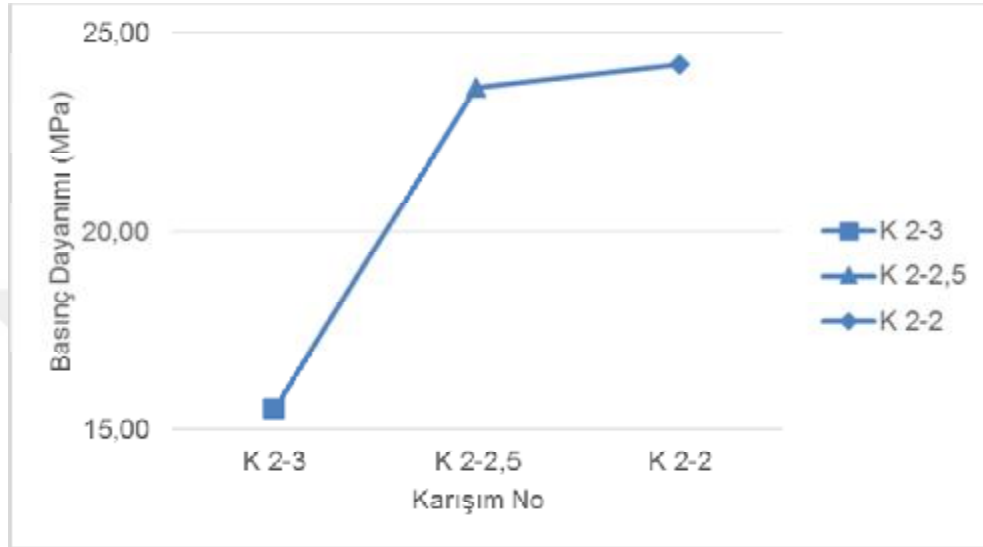
Şekil 4.33.'ten görüldüğü üzere agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça küp numuneye ait basınç dayanımı değerlerinde artış meydana gelmiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 46,06 MPa ile K 1-2 karışımında, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 18,62 MPa olarak K 1-3 karışımında elde edilmiştir. Çizelge 4.35.'te 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerleri K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranlanmıştır.

Çizelge 4.35. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,56	0,40

Çizelge 4.35.'de yer alan değerlere göre 2-4 mm agregalı karışımlarda basınç dayanımı değeri agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde yaklaşık % 44, 2'den 3'e yükseldiğinde ise yaklaşık % 60 azalmıştır. Şekil 4.34'te 4-8 mm

agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.



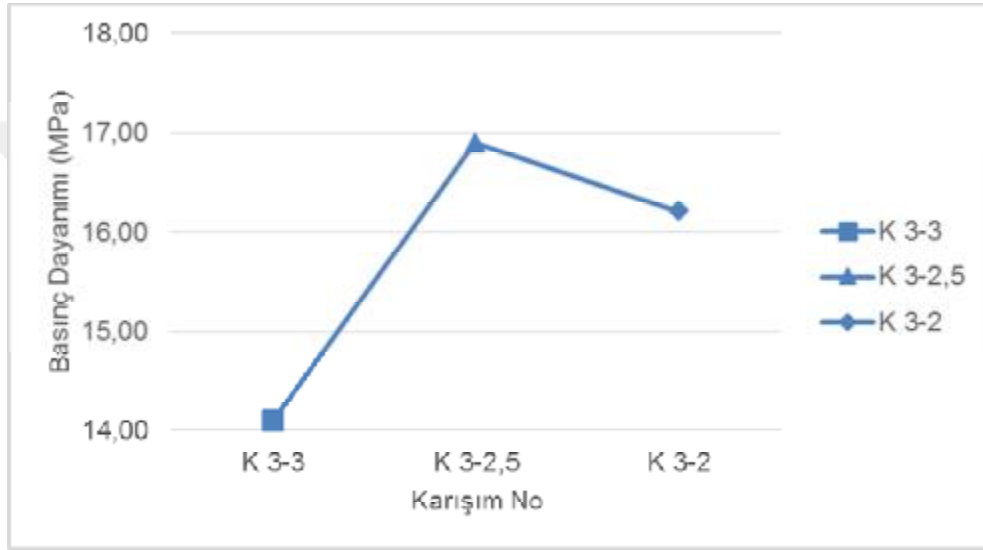
Şekil 4.34. 4-8 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

4-8 mm agregalı karışımlarda en yüksek 7 günlük küp numune basınç dayanımı K 2-2 karışımına ait numunelerden elde edilmiştir. 4-8 mm agregalı karışımlardan elde edilen en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 24,21 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 15,53 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.36.'da 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.36. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Basma dayanım oranları	1,00	0,98	0,64

4-8 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde basınç dayanımında belirgin bir farklılık gözlenmezken, 2'den 3'e yükseldiğinde basınç dayanımı yaklaşık % 36 azalmıştır. Şekil 4.35.'de 8-16 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



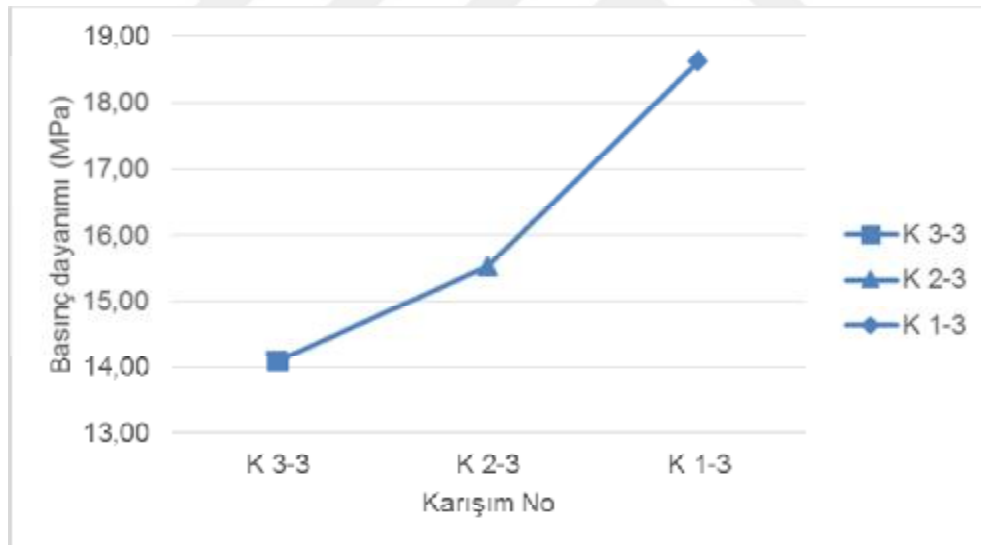
Şekil 4.35. 8-16 mm agregalı 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Şekil 4.35.'de görüldüğü üzere en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri diğer karışımların aksine agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan küp numunelerden elde edilmiştir. 8-16 mm agregalı geçirimli beton karışımlarında en yüksek ortalama basınç dayanımı 16,90 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı 14,10 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.37.'de 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.

Çizelge 4.37. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	1,04	0,87

Çizelge 4.37. incelendiğinde değerlerin oldukça birbirine yakın olduğu gözlenmektedir. Agregabağlayıcı oranı arttıkça ortalama basınç dayanımında düşüş yaşanması eğilimi 8-16 mm agregalı küp numunelerde gözlenmemiştir. Agregabağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımında yaklaşık %4'lük artış meydana gelirken, agregabağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %13 azalmıştır. Şekil 4.36.'da agregabağlayıcı oranı 3 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.



Şekil 4.36 Agregabağlayıcı oranı 3 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

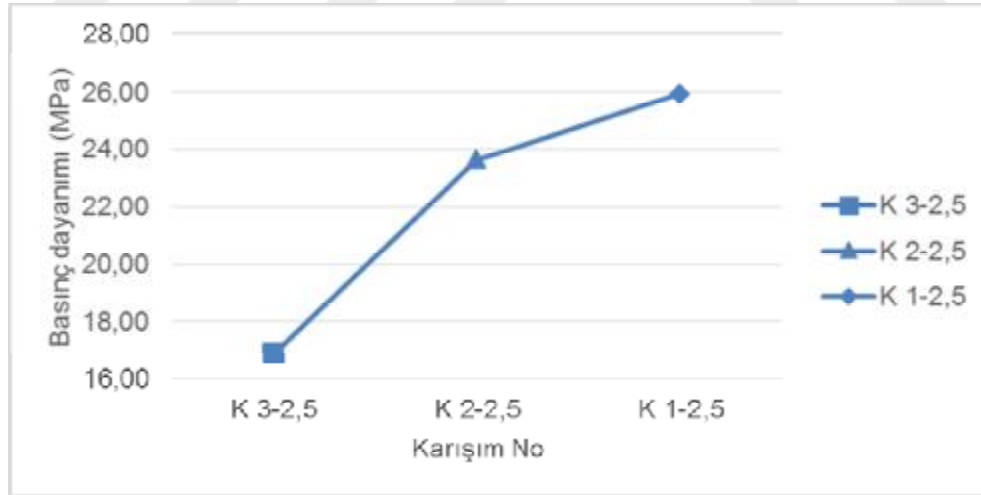
Agregabağlayıcı oranı 3 olan numunelerde agregaba boyutu büyüdükçe ortalama basınç dayanımının azaldığı görülmektedir. En yüksek ortalama basınç dayanımı 18,62 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı ise 14,10 MPa olarak

bulunmuştur. Çizelge 4.38.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.38. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,83	0,76

Aynı agrega/bağlayıcı oranında en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri en ince agrega boyutunda elde edilmiştir. Agrega boyutu arttıkça ortalama basınç dayanımı değeri azalmıştır. Agrega boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı yaklaşık %17, agrega boyutu 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı yaklaşık %24 azalmıştır. Şekil 4.37.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



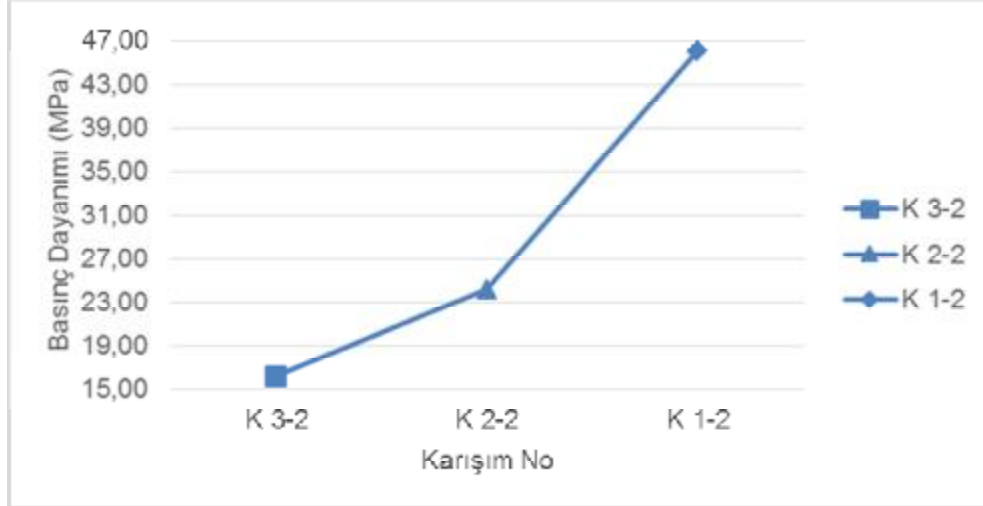
Şekil 4.37. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 7 günlük küp numunelerde en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 25,94 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 16,90 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.39.'da agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.39. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Basınç dayanım oranları	1,00	0,91	0,65

Çizelge 4.39.'da yer alan basınç dayanımı oranları incelendiğinde agrega boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değerinin yaklaşık %9 azaldığı, agrega boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımının yaklaşık %35 azaldığı görülmektedir. Şekil 4.38.'de agrega/bağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük küp numunelerin ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



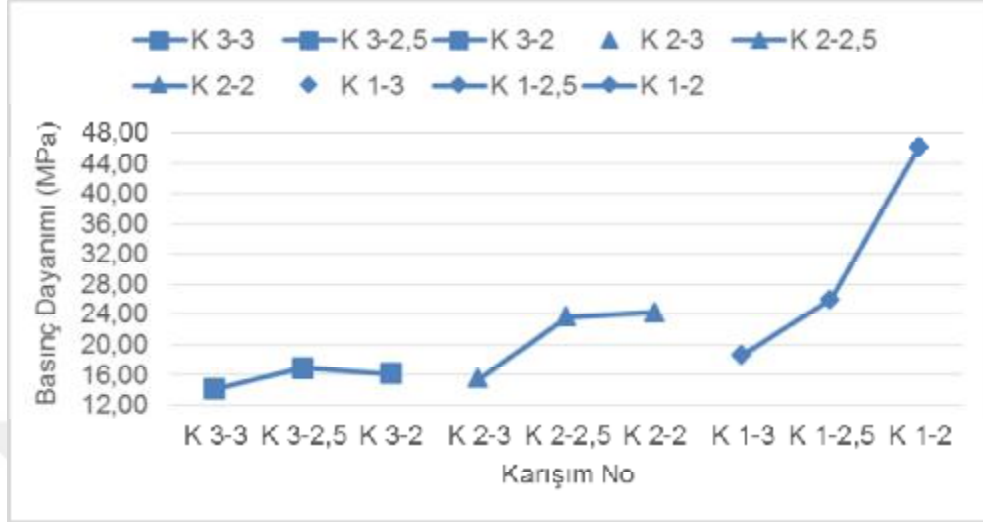
Şekil 4.38. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan küp numunelerde en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 46,06 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri 16,21 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.40.'da agreg/bağlayıcı oranı 2 olan karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.40. Agreg/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Basınç dayanım oranları	1,00	0,53	0,35

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan numunelerde agreg boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama basınç dayanımında yaklaşık %47, agreg boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımında yaklaşık %65 azalma meydana gelmiştir. Agreg/bağlayıcı oranı azaldıkça en yüksek ve en düşük ortalama basınç dayanımı değerleri arasındaki fark yükselmiştir. Agreg/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda en yüksek ortalama basınç dayanımı ile en düşük ortalama basınç dayanımı arasında yaklaşık % 24 fark varken, sırasıyla agreg/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda bu fark yaklaşık %35 ve agreg/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda bu fark yaklaşık %65 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.39'da tüm 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bir arada verilmiştir.



Şekil 4.39. 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Silindir numunelerde olduğu gibi küp numunelerde de genel olarak agrega boyutu ve aynı agrega boyutunda agrega/bağlayıcı oranı arttıkça ortalama basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri K 1-2 karışım tipinde 46,06 MPa olarak, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 3-3 karışım tipinde 14,10 MPa olarak ölçülmüştür. 7 günlük değerler sonucunda iri agregalı karışımlarda 2,5 ve 2 agrega/bağlayıcı oranları arasında birbirine oldukça yakın basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. Ancak ince agrega boyutlarındaki aynı agrega/bağlayıcı oranları arasındaki farkın daha yüksek olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.41.'de 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.41. 7 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	Basınç dayanım oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,56
K 1-3	0,40
K 2-2	0,53
K 2-2,5	0,51
K 2-3	0,34
K 3-2	0,35
K 3-2,5	0,37
K 3-3	0,31

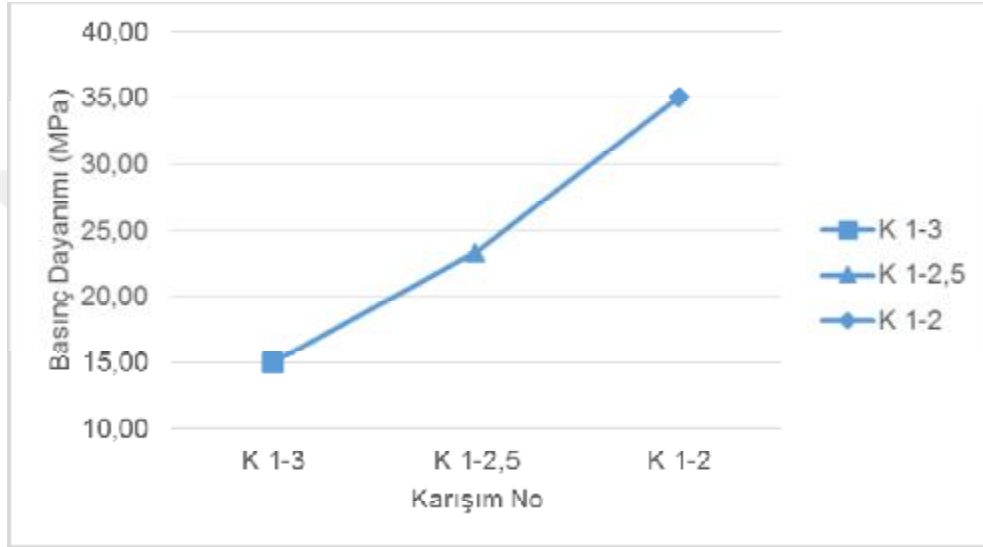
Küp numunelerin ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına göre oranlandığında en düşük ortalama basınç dayanımının en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinin %31'i kadar olduğu görülmektedir. 4-8 mm agregalı karışımlarda ise en düşük ortalama basınç dayanımı değerinin en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinin %34'ü kadar olduğu bulunmuştur. Aynı agregat türüne sahip karışımlar arasında agregat/bağlayıcı oranı azaldıkça 3. karışım hariç basınç dayanımı değerlerinde artış gözlenmiştir. İri agregalı karışımlarda ince agregalı karışımlara göre agregat/bağlayıcı oranının basınç dayanımı üzerindeki etkisi daha az gözlenmiştir. Çizelge 4.42.' de 28 günlük silindir numunelere ait basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.42. 28 günlük silindir numune basınç dayanımı değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,76	33,06	9,61	10,49	0,85
			10,55		
			11,30		
K 3-2,5	1,88	27,26	12,62	13,10	0,88
			12,56		
			14,12		
K 3-2	1,94	24,42	11,81	12,63	2,07
			11,11		
			14,98		
K 2-3	1,81	30,38	11,51	11,85	0,76
			12,73		
			11,32		
K 2-2,5	1,83	29,67	14,41	15,45	1,50
			14,76		
			17,17		
K 2-2	1,98	21,33	23,12	23,52	0,90
			22,90		
			24,55		
K 1-3	1,85	24,00	13,87	15,00	1,22
			16,29		
			14,85		
K 1-2,5	1,91	21,30	24,07	23,33	0,74
			22,60		
			23,32		
K 1-2	2,02	16,37	34,54	35,02	0,45
			35,44		
			35,08		

28 gün sonunda yapılan deneylerde konvansiyonel betonlarda olduğu gibi numune yaşı ilerledikçe basınç dayanımında artış olduğu bulunmuştur. Agrega türü ve agregabağlayıcı oranı farklılıklarına bakılmaksızın 7 günlük silindir numunelere ait basınç dayanımı değerlerinin 28 günlük silindir numune basınç dayanımı değerlerinin ortalama % 81'i kadar olduğu belirlenmiştir. En yüksek basınç dayanımı yine K 1-2 karışımına ait numunelerde gözlenmiştir. 28 günlük

silindir numunelere ait basınç dayanımı değerleri agrega/bağlayıcı oranları ve agrega boyutlarına göre ayrı ayrı incelenerek değişkenlerin basınç dayanımlarına etkisi daha net görülebilecektir. Şekil 4.40.'da 2-4 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



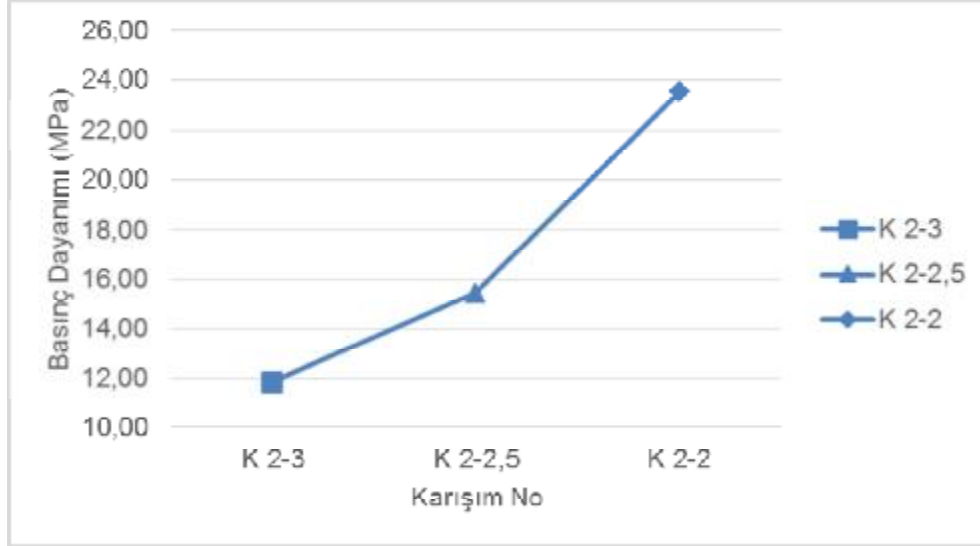
Şekil 4.40. 2-4 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

2-4 mm agregalar kullanılarak üretilen geçirimli betonların 28 günlük basınç dayanımlarının agrega/bağlayıcı oranına göre değişimi incelendiğinde lineere yakın bir değişim meydana geldiği görülmektedir. 2-4 mm agregalar kullanılarak elde edilen en yüksek ortalama basınç dayanım değeri 35,02 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 15,00 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.43.'te 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.43. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,67	0,43

2-4 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %33, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %57 azalmıştır. Şekil 4.41.'de 4-8 mm agregalı karışımlara ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerlerinin değişimi bulunmaktadır.



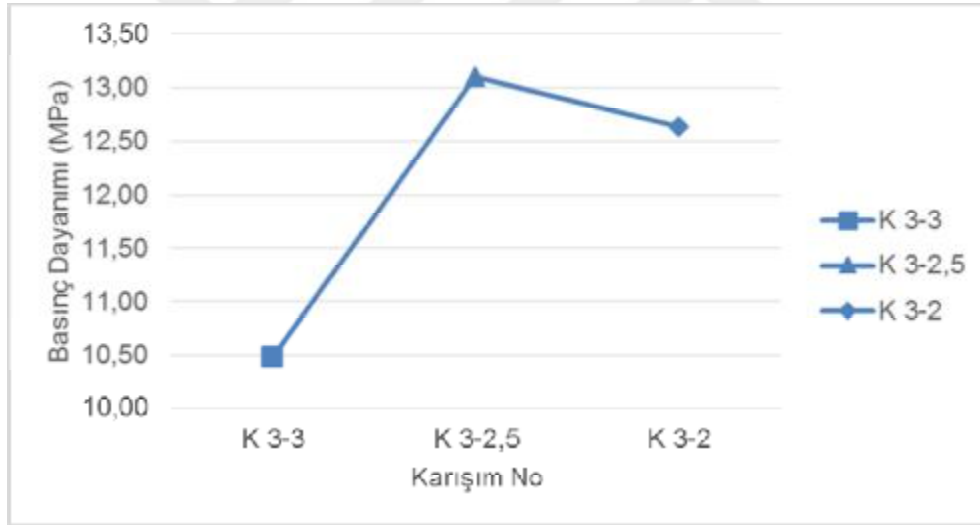
Şekil 4.41. 4-8 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

4-8 mm agregalı geçirimli beton karışımlarında da agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama basınç dayanımında doğrusala yakın artış gerçekleşmiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 23,52 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 11,85 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.44.'te 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.44. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,66	0,50

K 2-2 karışımına göre 4-8 mm agregalı karışımların basınç dayanımları incelendiğinde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'e yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %34, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %50 azalmıştır. Özellikle agrega/bağlayıcı oranı 2 ve 2,5 olan karışımlar arasındaki değişim oranları 2-4 mm agregalı karışımlardakine benzemektedir. Şekil 4.42.'de 8-16 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.



Şekil 4.42. 8-16 mm agregalı 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

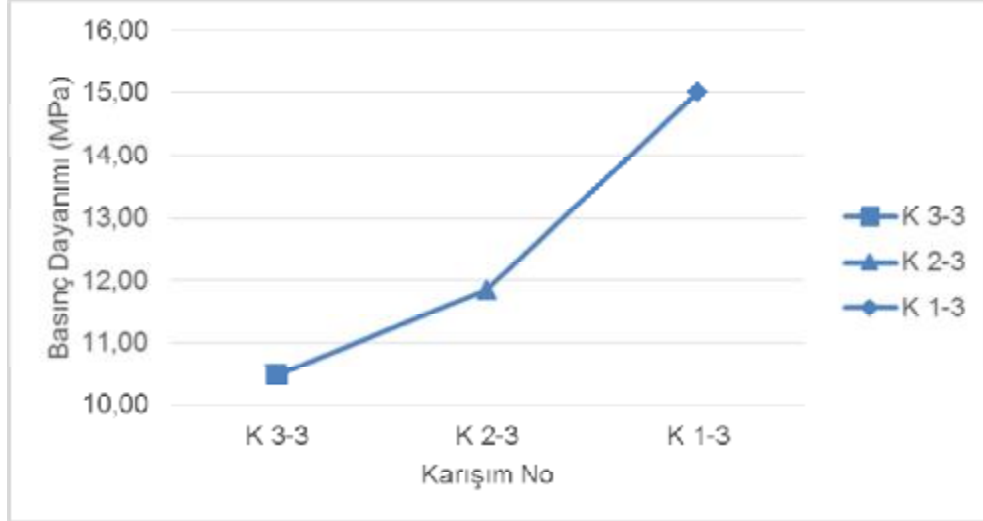
8-16 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama basınç dayanımında sürekli artış gerçekleşmemiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan K 3-2,5 karışımına ait numunelerden elde edilmiştir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 13,10

MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 10,49 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.45.'de 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.45. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	1,04	0,83

8-16 mm agregalı geçirimli betonlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %4 artarken, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %17 azalmıştır. Şekil 4.43.'te agrega/bağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



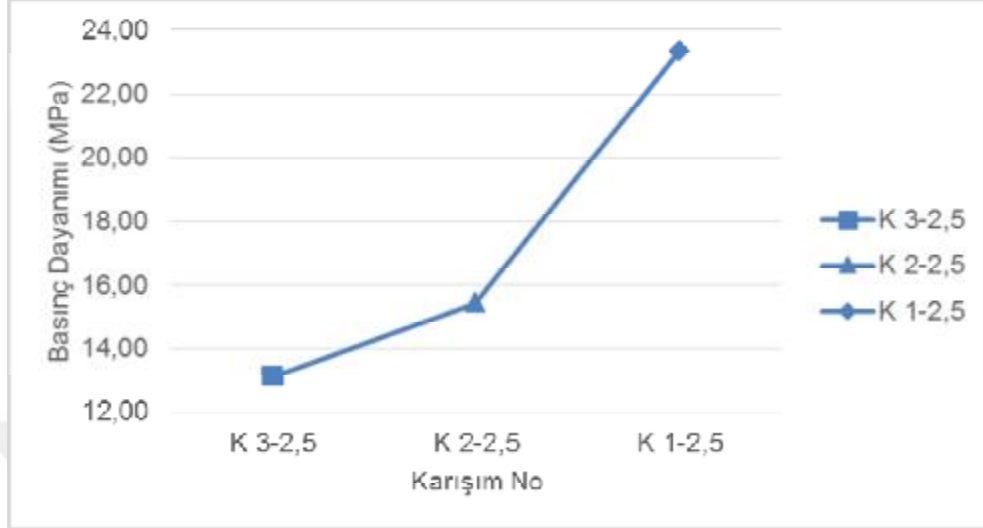
Şekil 4.43. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan silindir numunelerde agreganın boyutu azaldıkça ortalama basınç dayanımının düzenli olarak arttığı görülmüştür. Agregabağlayıcı oranı 3 olan silindir numunelerde en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 15,00 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 10,49 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.46.'da agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.46. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,79	0,70

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda agreganın boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değeri yaklaşık %21 azalırken, agreganın boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değerinin yaklaşık %30 azaldığı gözlenmiştir. Şekil 4.44'te agregabağlayıcı oranı 2,5 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.44. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 2-4 mm agregalı karışımda 23,33 MPa olarak, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 3-2,5 karışımında 13,10 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.47.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

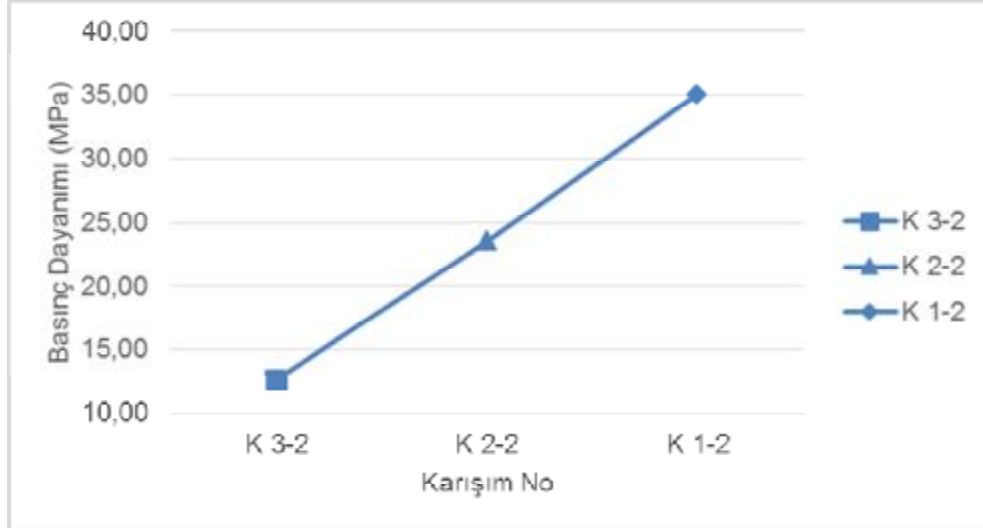
Çizelge 4.47. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Basma dayanım oranları	1,00	0,66	0,56

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda agrega boyutu büyüdükçe ortalama basınç dayanımı değerlerinin azaldığı gözlenmiştir. 2-4 mm agregalı karışıma göre ortalama basınç dayanımı değerleri oranlandığında sırasıyla; 4-8 mm

agregalı karışımda %66, 8-16 mm agregalı karışımda ise %56 seviyesinde olduğu belirlenmiştir.

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı sonuçları incelendiğinde agreganın boyutu büyüdükçe doğrusala yakın biçimde ortalama basınç dayanımı değerlerinin azaldığı görülmektedir. Agreganın/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlar için en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 35,02 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 12,63 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 4.45.'de agreganın/bağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



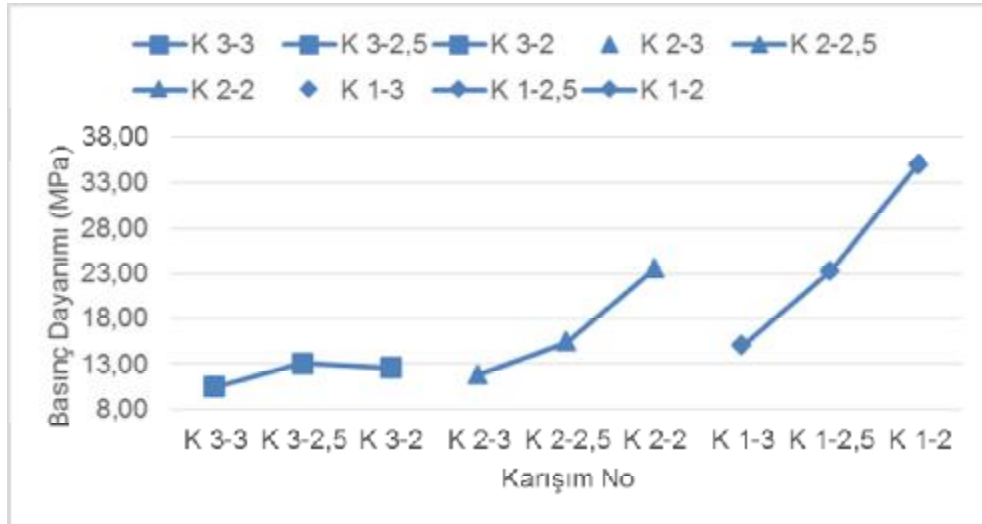
Şekil 4.45. Agreganın/bağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.48.'de agreganın/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.48. Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Basınç dayanım oranları	1,00	0,67	0,36

Basınç dayanımı oranları incelendiğinde agrega boyutu büyüdükçe basınç dayanımının azaldığı gözlenmiştir. Ortalama basınç dayanımının 2-4 mm agrega boyutu, 4-8 mm'ye yükseldiğinde yaklaşık %33, 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise yaklaşık %64 azaldığı belirlenmiştir. Agregabağlayıcı oranı azaldıkça en yüksek ve en düşük ortalama basınç dayanımları arasındaki farkın büyüdüğü gözlenmektedir. En büyük ve en düşük ortalama basınç dayanımları arasındaki fark agrega/bağlayıcı oranı 3 olduğunda yaklaşık %30, agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olduğunda yaklaşık %44 ve agrega/bağlayıcı oranı 2 olduğunda yaklaşık %64 olarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.46.'da tüm agrega boyutları ve agrega/bağlayıcı oranlarına ait 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.



Şekil 4.46. 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.49.'da tüm karışım türlerine ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.

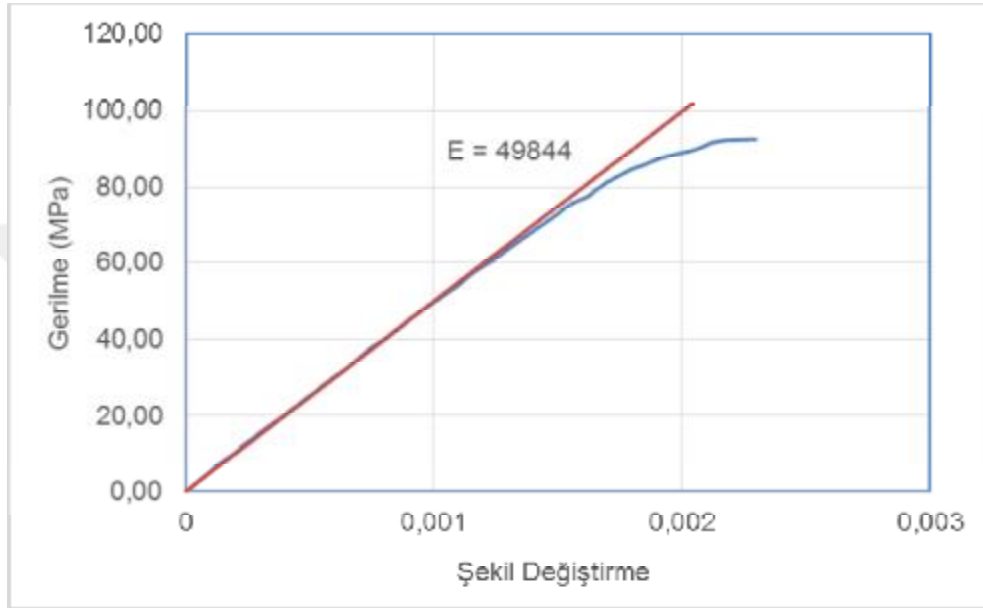
Çizelge 4.49. Geçirimli beton karışımlarına ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	Basınç dayanım oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,67
K 1-3	0,43
K 2-2	0,67
K 2-2,5	0,44
K 2-3	0,34
K 3-2	0,36
K 3-2,5	0,37
K 3-3	0,30

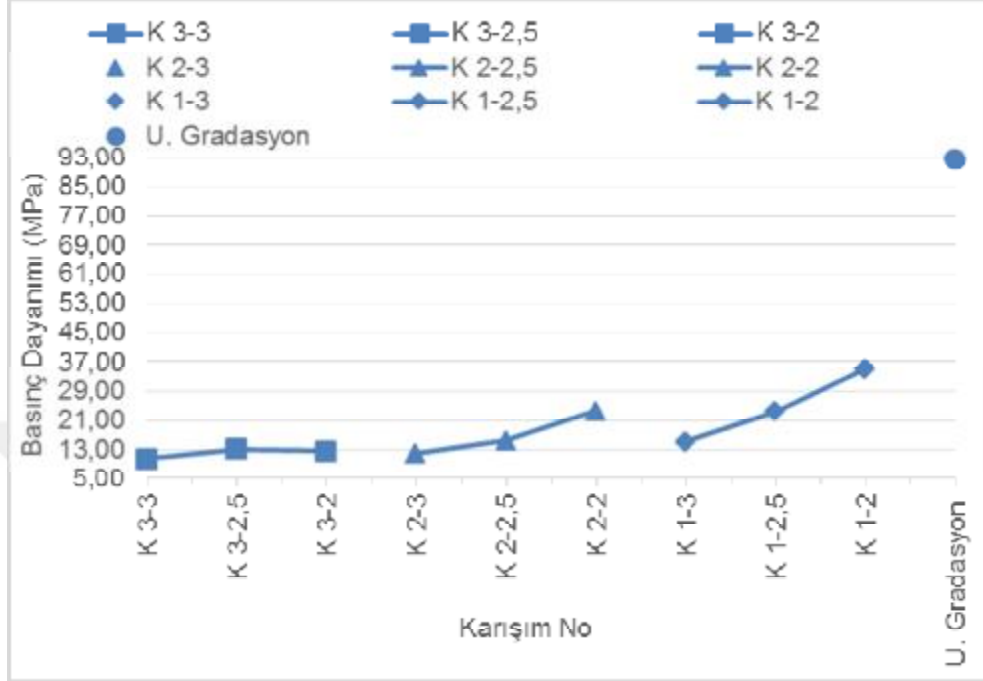
Çizelge 4.49. incelendiğinde en düşük ortalama basınç dayanımı değerinin en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinden yaklaşık %70 daha az olduğu görülmektedir. Ayrıca agrega boyutu küçüldükçe aynı agrega boyutu içerisinde ortalama basınç dayanımı değerleri arasındaki farkta genel olarak artış olduğu gözlenmektedir. Çizelge 4.50.'de uygun gradasyonlu konvansiyonel betona ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değeri yer almaktadır. Şekil 4.47.'de konvansiyonel betona ait gerilme şekil değiştirme eğrisi bulunmaktadır. Şekil 4.48.'de tüm karışımlara ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerleri bir arada verilmiştir.

Çizelge 4.50. Uygun gradasyonlu konvansiyonel betona ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değeri

Karışım	Basınç Dayanımı (MPa)
Konvansiyonel Beton Basınç Dayanımı	92,52



Şekil 4.47. Konvansiyonel betona ait gerilme, şekil değiştirme grafiği



Şekil 4.48. Tüm karışımlara ait 28 günlük silindir numune ortalama basınç dayanımı değerleri

Uygun gradasyonlu konvansiyonel betona ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değeri 92,52 MPa ve Secant elastisite modülü belirleme yöntemiyle elde edilen elastisite modülü değeri 49844 MPa olarak bulunmuştur. Söz konusu değerlerin geçirimli betonlara göre oldukça yüksek olduğu Şekil 4.48.'den de görülmektedir.

28 günlük silindir numune basınç dayanımları incelendiğinde agrega gradasyonunun ne kadar önemli olduğu anlaşılmaktadır. Uygun gradasyonlu karışımın basınç dayanımı değerine en yakın sonuç K 1-2 karışımından elde edilmiştir. Kıyaslama yapıldığında K 1-2'ye ait ortalama basınç dayanımı değerinin uygun gradasyonlu konvansiyonel beton basınç dayanımının yaklaşık %38'i, en düşük ortalama basınç dayanımı elde edilen K 3-3 karışımına ait değer ise uygun gradasyonlu konvansiyonel beton basınç dayanımının yaklaşık %11'i kadar olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.51.'de uygun gradasyonlu konvansiyonel

betona göre geçirimli beton karışımlarının ortalama basınç dayanımı değerleri oranlanmıştır.

Çizelge 4.51. 28 günlük silindir numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin konvansiyonel beton ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

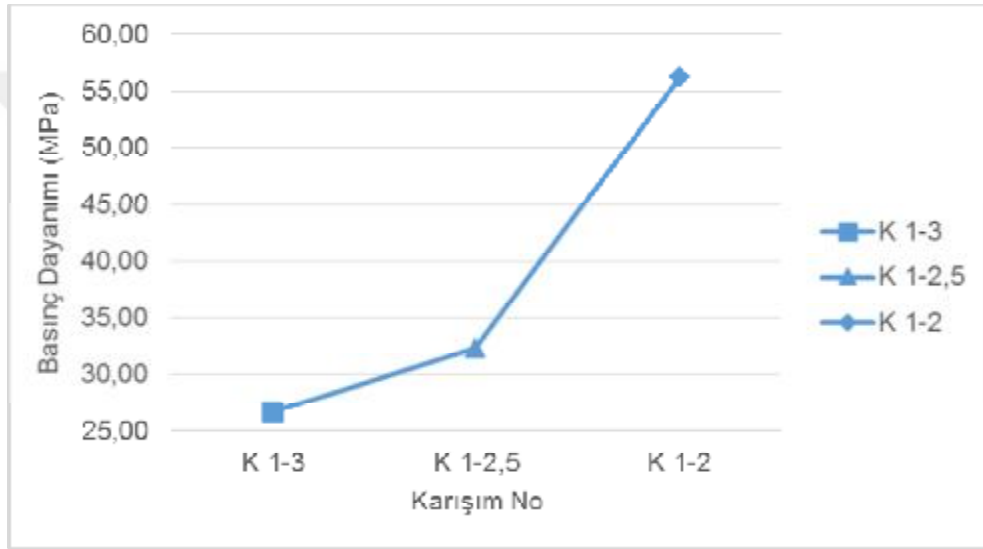
	Basınç dayanım oranları
Konvansiyonel Beton	1,00
K 1-2	0,38
K 1-2,5	0,25
K 1-3	0,16
K 2-2	0,25
K 2-2,5	0,17
K 2-3	0,13
K 3-2	0,14
K 3-2,5	0,14
K 3-3	0,11

Küp numunelerde de silindir numunelerde olduğu gibi 28 gün sonunda basınç dayanımında artış olduğu gözlenmiştir. Küp numunelerin 7 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri ile 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri kıyaslandığında agrega türüne ve agrega/bağlayıcı oranına bakılmaksızın 7 günlük ortalama küp numune basınç dayanımı değerinin 28 günlük ortalama küp numune basınç dayanımı değerinin yaklaşık % 79'u kadar olduğu bulunmuştur. Çizelge 4.52.' de küp numunelere ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.52. 28 günlük küp numune basınç dayanım değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,86	28,06	14,90	15,13	0,21
			15,29		
			15,21		
K 3-2,5	1,86	28,60	21,99	20,27	1,52
			19,74		
			19,09		
K 3-2	1,95	24,91	18,55	20,00	1,65
			21,80		
			19,65		
K 2-3	1,84	28,27	18,03	19,05	1,02
			20,06		
			19,06		
K 2-2,5	1,99	20,11	26,38	26,96	0,64
			27,65		
			26,84		
K 2-2	2,07	15,07	37,32	38,48	1,86
			40,63		
			37,50		
K 1-3	1,90	23,63	27,84	26,66	1,74
			27,48		
			24,67		
K 1-2,5	1,94	19,13	32,21	32,28	0,81
			31,51		
			33,13		
K 1-2	2,14	8,01	54,49	56,18	1,81
			55,96		
			58,09		

En yüksek basınç dayanımı değerlerinin elde edildiği K 1-2' ye ait küp numunelerde ortalama basınç dayanımının 28 gün sonunda 56,18 MPa seviyesine yükseldiği bulunmuştur. En düşük basınç dayanımı değeri ise yine en büyük agrega boyutu ve agrega/bağlayıcı oranına sahip K 3-3'e ait numunelerde ortalama 15,13 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 4.49.'da 2-4 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır.



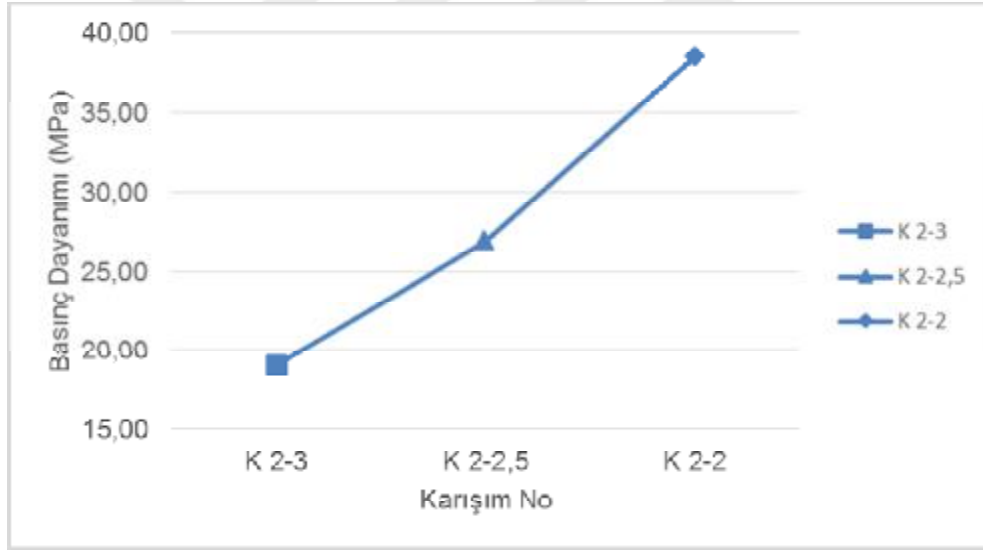
Şekil 4.49. 2-4 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

2-4 mm agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton küp numunelerde en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 56,18 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 26,66 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.3.28.'de 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.53. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,57	0,47

Çizelge 4.53. incelendiğinde agrega/bağlayıcı oranının 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değerinin yaklaşık %43 azaldığı, agrega/bağlayıcı oranının 2'den 3'e yükselmesiyle birlikte ise ortalama basınç dayanımı değerinin yaklaşık %53 azaldığı görülmektedir. Şekil 4.50.'de 4-8 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



Şekil 4.50. 4-8 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

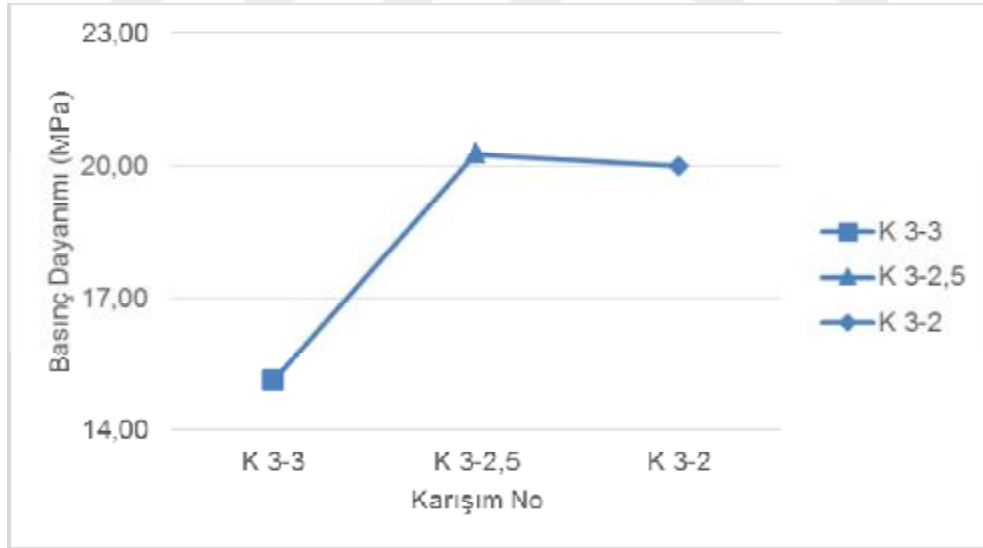
4-8 mm agregalı geçirimli beton küp numunelerinde agrega/bağlayıcı oranının azalmasıyla birlikte ortalama basınç dayanımı değerinde lineere yakın artış gerçekleştiği görülmektedir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 38,48 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 19,05 MPa olarak elde

edilmiştir. Çizelge 4.54.'te 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.

Çizelge 4.54. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Basınç dayanım oranları	1,00	0,70	0,50

4-8 mm agregalı geçirimli beton küp numunelerinde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama basınç dayanımı değerinde yaklaşık %30, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımı değerinde yaklaşık %50 düşüş gerçekleşmiştir. Şekil 4.51.'de 8-16 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



Şekil 4.51. 8-16 mm agregalı 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

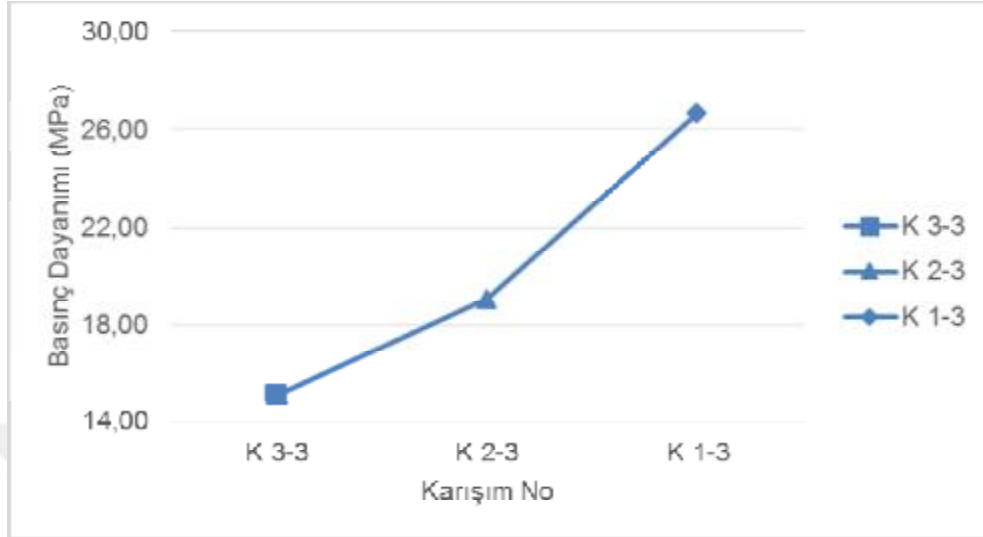
Şekil 4.51. incelendiğinde 8-16 mm agregalı karışımlarla üretilen küp numunelerde en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinin agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan küp numunelerden elde edildiği görülmektedir. En yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 20,27 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 15,13 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.55.'de 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.55. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Basınç dayanım oranları	1,00	1,01	0,76

8-16 mm agregalı geçirimli beton küp numunelerde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'e yükseldiğinde ortalama basınç dayanımında yaklaşık %1 artış, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama basınç dayanımında yaklaşık %24 azalma gerçekleşmiştir. 8-16 mm agregalı karışımlarda en yüksek ortalama basınç dayanımı değerinin agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda elde edilmesiyle 7 günlük, 28 günlük silindir numuneler ve 7 günlük küp numunelerde de karşılaşılmıştır. Bu durumun karışımın optimum kıvamıyla ilgili olduğu düşünülmektedir.

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 26,66 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 15,13 MPa olarak bulunmuştur Şekil 4.52.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri görülmektedir.



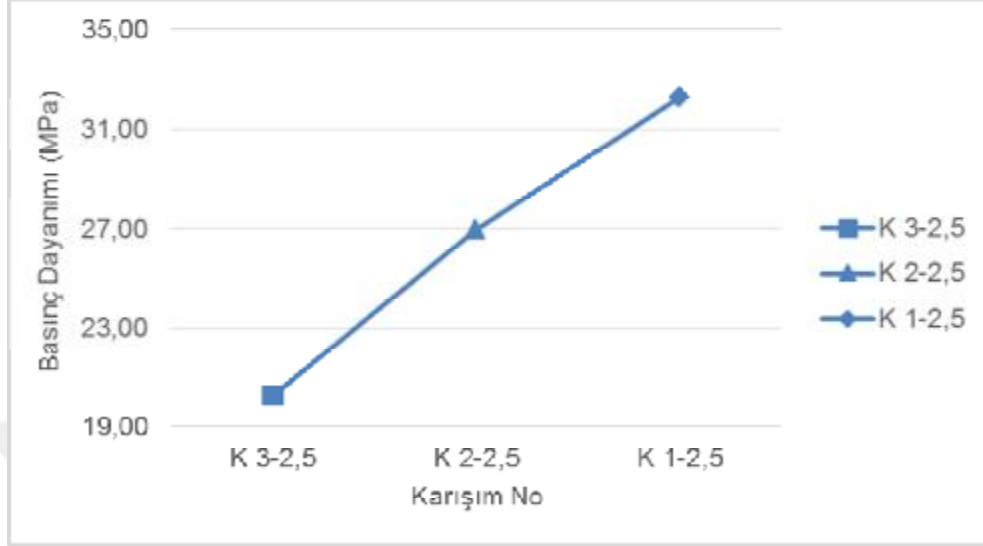
Şekil 4.52. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.56.'da agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.56. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Basma dayanım oranları	1,00	0,71	0,57

Çizelge 4.56. incelendiğinde agrega boyutunun artmasıyla basınç dayanımının düştüğü görülmektedir. K 2-3 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerinin K 1-3'e göre yaklaşık %29, K 3-3'e ait ortalama basınç dayanımı değerinin ise K 1-3'e göre yaklaşık %43 daha düşük olduğu bulunmuştur. Şekil 4.53.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 28 günlük geçirimli beton küp numunelerine ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin agrega boyutuna göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.53. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

2,5 agrega/bağlayıcı oranına sahip geçirimli beton küp numunelerinde en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 32,28 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 20,27 MPa olarak bulunmuştur. Agrega boyutu arttıkça ortalama basınç dayanımı değerinin düştüğü Şekil 4.53.'den görülmektedir. Çizelge 4.57.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

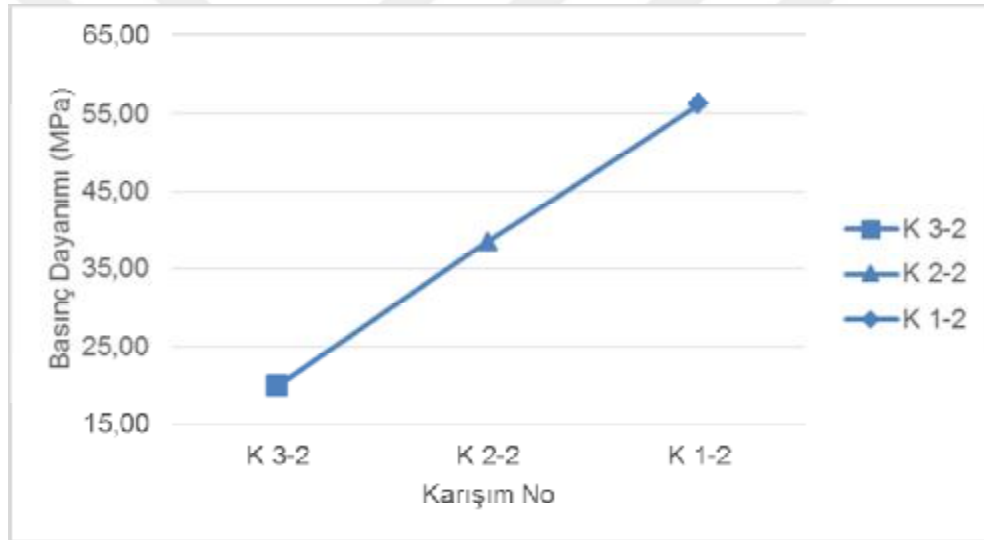
Çizelge 4.57. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Basmaç dayanım oranları	1,00	0,84	0,63

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan K 2-2,5 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değeri K 1-2,5 karışımına göre yaklaşık %16, K 3-2,5 karışımına ait

ortalama basınç dayanımı değerininse K 1-2,5 karışımına göre yaklaşık %37 daha düşük olduğu bulunmuştur.

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımların ortalama basınç dayanımı değerlerinin agreg a boyutunun artmasıyla lineere yakın bir şekilde azaldığı gözlenmiştir. Aynı agreg a/bağlayıcı oranında en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri 56,18 MPa, en düşük ortalama basınç dayanımı değeri ise 20,00 MPa olarak elde edilmiştir. Şekil 4.54.'te agreg a/bağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri bulunmaktadır.



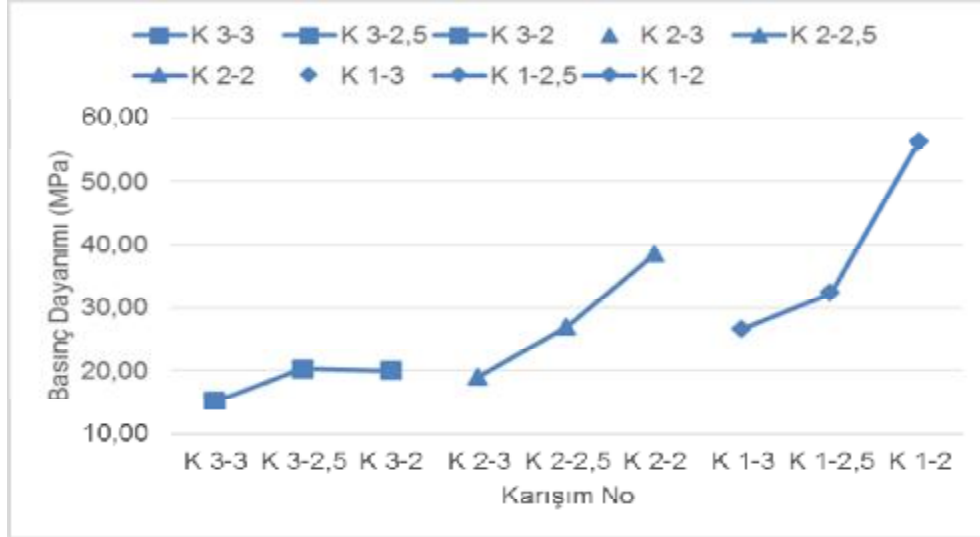
Şekil 4.54. Agreg a/bağlayıcı oranı 2 olan 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri

Çizelge 4.58.'de agreg a/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.58. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Basınç dayanım oranları	1,00	0,68	0,36

Çizelge 4.58.'de agrega boyutu büyüdükçe ortalama basınç dayanımı değerlerinin de azaldığı görülmektedir. K 2-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerinin K1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerinden yaklaşık %32, K 3-2'ye ait ortalama basınç dayanımı değerinin ise K 1-2'ye ait ortalama basınç dayanımı değerinden yaklaşık %64 daha düşük çıktığı belirlenmiştir. En yüksek ve en düşük ortalama basınç dayanımları arasındaki farklar kıyaslandığında en yüksek ortalama basınç dayanımı farkı agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlardan elde edilmiştir. Şekil 4.55.'de tüm 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerleri yer almaktadır. Çizelge 4.59.'da küp numunelere ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.



Şekil 4.55. 28 günlük küp numunelere ait ortalama basınç dayanımı değerlerinin değişimleri

Çizelge 4.59. Küp numunelere ait 28 günlük ortalama basınç dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama basınç dayanımı değerine göre oranları

	Basınç dayanım oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,57
K 1-3	0,47
K 2-2	0,68
K 2-2,5	0,48
K 2-3	0,34
K 3-2	0,36
K 3-2,5	0,36
K 3-3	0,27

Sonuç olarak hem 7 günlük hem de 28 günlük değerlerde agrega boyutunun ve aynı agrega boyutundaki agrega/bağlayıcı oranının azalmasıyla birlikte basınç dayanımının da genel olarak arttığı görülmektedir. Ancak, çalışmada aynı agrega boyutunda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça basınç dayanımının artması eğilimine aykırı olan sonuçlar da elde edilmiştir. K 3-2 karışımına ait numunelerde ortalama basınç dayanımı değeri K 3-2,5 karışımı numunelerinden düşük bulunmuştur. Bu duruma 8-16 mm agregalı agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışıma ait numunelerde su miktarının gereğinden fazla olmasının yol açmış olabileceği düşünülmektedir. 7 ve 28 günlük değerler sonucunda genel olarak agrega boyutu arttıkça agrega/bağlayıcı oranları değişiminin ortalama basınç dayanımına etkilerinin azaldığı tespit edilmiştir. Çizelge 4.60.' da literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri görülmektedir. Çizelgede bağlayıcı olarak mineral katkılar ve çimento esas alınırken, oranlamalar yararlanılan kaynağa göre verilmiştir.

Çizelge 4.60. Literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri

Yazar Yıl	Agrega Tipi Boyutu (mm)	Bağlayıcı Dozaj (kg/m ³)	Numune Boyutu (mm)	Porozite (%) Yoğunluk (kg/m ³)	Dayanım (MPa)
Yang ve Jiang 2003	Çakıl 3 – 5 -	0,06 S.D., 1,00 B. -	100x200x60 (prizma) Yük. alanı (120x60)	- 2155	57,20
Chen ve ark. 2013	Granit (0,40), ≥ 4,75, (0,60), ≥ 9,5	0,14 U.K., 0,06 S.D., 0,80 Ç. 440	150x150x150	15,2 -	46,70
Bu çalışma	Kırmataş agrega 2 – 4	0,10 S.D., 1,00 Ç. 448,72	150x150x150	8,01 2140	56,18
S.D.: Silis dumanı; Ç: Çimento; B: Bağlayıcı, U.K.: Uçucu kül, -. Mevcut değil					

Çizelge 4.61.’ de literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri görülmektedir.

Çizelge 4.61. Literatürdeki bazı silis dumanı katkılı geçirimli betonlara ait basınç dayanımı değerleri

Yazar Yıl	Agrega Tipi Boyutu (mm)	Bağlayıcı Dozaj	Numune Boyutu (mm)	Porozite (%) Yoğunluk (kg/m³)	Dayanım (MPa)
Lian ve Zhuge 2010	Dolomit agregası ve ocak kumu 4,75 - 9,5 %18 kum	0,07 S.D., Ç. -	- (silindir)	3,5 2325	46,2
Fu ve ark. 2014	Çakıl 4,8-6,4	0,10 S.D., 1,00 Ç. 404	- (silindir)	- -	21,98
Zhong ve Wille 2015	%99 SiO ₂ içerikli yıkılmış agrega 1,19	0,25 S.D., 0,25 S.T., 1,00 Ç. -	(silindir)	19,8 -	65,8
Bu çalışma	Kırmataş agrega 2 – 4	0,10 S.D., 1,00 Ç. 448,72	150x300 (silindir)	16,37 2020	35,02
S.D.: Silis dumanı; Ç.: Çimento; S.T.: Silis tozu, -: Mevcut değil					

Literatürdeki silis dumanı katkılı geçirimli betonlarda elde edilen basınç dayanımı değerleri ile bu çalışmada elde edilen değerler arasındaki farkın genel olarak kullanılan agregası türü, kalıplara yerleştirildikten sonra uygulanan işlemler, agregası gradasyonu, numune boyutları ve çeşitli katkı malzemeleri farklılıklarından

kaynaklandığı düşünülmektedir. Geçirimli betonlar 3,5-28 MPa aralığında basınç dayanımı geliştirebilen beton türleridir (Tennis ve ark., 2004). K 1-2'ye ait numunelerde geçirimli betonlara göre oldukça yüksek basınç dayanımı değerleri elde edilmiştir. K 1-2' ye ait küp numunelerin kırılma şekli de tıpkı yüksek dayanımlı konvansiyonel betonlarda olduğu gibi parçalanarak gerçekleşmiştir. Şekil 4.56.'da K 1-2'ye ait küp numunenin kırıldıktan sonraki şekli görülmektedir.



Şekil 4.56. K 1-2 karışımına ait küp numunenin deney sonundaki görüntüsü

4.4. Eğilme Dayanımı

Geçirimli betonların eğilme dayanımlarının bilinmesi yol üst kaplaması olarak kullanılma potansiyellerinin araştırılması açısından önemlidir. Bu amaçla geçirimli betonların eğilme dayanımı değerleri belirlenmeye çalışılmıştır. Geçirimli betonlara ait eğilme dayanımı sonuçları Çizelge 4.62.'de verilmiştir.

Çizelge 4.62. Eğilme dayanımı değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,91	27,98	2,62	2,34	0,31
			2,37		
			2,01		
K 3-2,5	1,94	25,55	3,20	3,11	0,10
			3,01		
			3,12		
K 3-2	2,13	18,76	4,80	5,13	0,78
			4,58		
			6,02		
K 2-3	1,84	29,63	3,34	3,04	0,29
			3,03		
			2,76		
K 2-2,5	1,86	29,48	3,19	3,15	0,11
			3,23		
			3,02		
K 2-2	1,90	25,65	3,95	3,83	0,16
			3,65		
			3,90		
K 1-3	1,90	23,42	4,92	4,73	0,35
			4,93		
			4,33		
K 1-2,5	1,93	21,45	5,09	5,01	0,10
			4,89		
			5,04		
K 1-2	2,07	15,49	5,35	5,12	0,31
			5,23		
			4,77		

Sonuçlar incelendiğinde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça aynı agrega büyüklüğünde ortalama eğilme dayanımı değerlerinin yükseldiği gözlenmiştir. Ayrıca, ince agregalı geçirimli beton kiriş numunelerinin iri agregalı karışımlara nazaran daha yüksek eğilme dayanımı değerlerine sahip oldukları bulunmuştur.

Ancak deneyler esnasında bazı istisnalarla da karşılaşmıştır. Çizelge 4.62.' de görüldüğü üzere en yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri 5,13 MPa olarak K 3-2 karışımına ait numunelerden elde edilmiştir. K 3-2'ye ait eğilme kirişlerinden bu kadar yüksek ortalama eğilme dayanımı elde edilmesinin sebebi numunenin alt kısımlarında çimento hamurunun birikmesinden kaynaklanmıştır. Özellikle iri agregalarla üretilen geçirimli betonlarda su miktarının fazla olması durumunda çimento hamurunun süzülerek alt kısımda toplanmasından dolayı segregasyon riskinin oldukça fazla olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.57.'de K 3-2'ye ait eğilme kirişi numunesinden beton kesme makinesi yardımıyla alınan bir parçanın kesit görünümü bulunmaktadır.



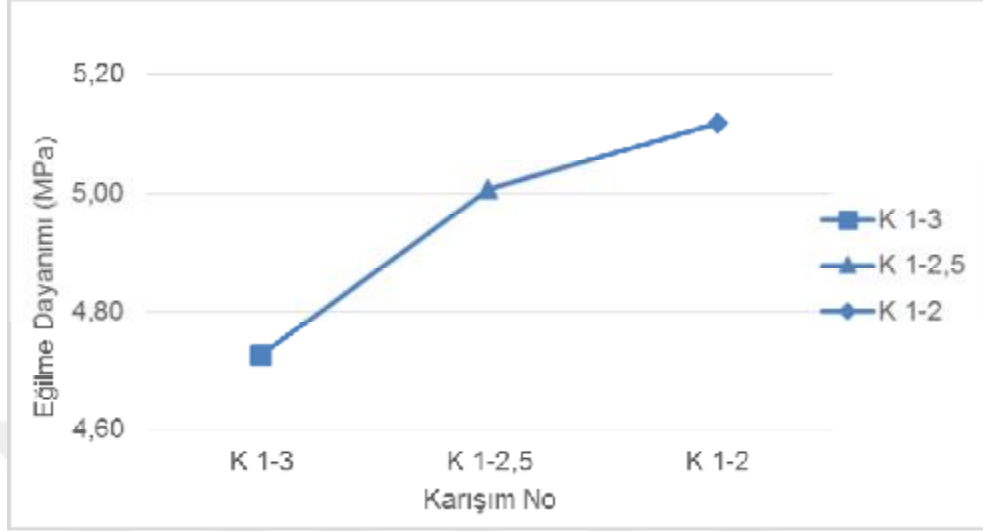
Şekil 4.57. K 3-2'ye ait eğilme kirişi numunesinden beton kesme makinesi yardımıyla alınan bir parçanın kesit görünümü

Segregasyon gibi özel durumları saymazsak en yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri beklenildiği gibi K 1-2 karışımına ait eğilme kirişlerinde 5,12 MPa olarak elde edilmiştir. 4-8 mm agregalı karışımlar arasında da en yüksek ortalama eğilme dayanımı agrega/bağlayıcı oranı 2 olan K 2-2 karışımına ait eğilme kirişlerinde 3,83 MPa olarak ölçülmüştür. En düşük ortalama eğilme dayanımı değeri ise K 3-3 karışımına ait eğilme kirişlerinde 2,34 MPa olarak bulunmuştur. Kırılma, yükleme noktaları arasından gerçekleşmiştir. Şekil 4.58.' de test sonrasında kiriş numunelerin kırılma şeklini gösteren bir görsel bulunmaktadır.



Şekil 4.58. Kiriş numunelerin test sonrası görünümü

Şekil 4.59.'da 2-4 mm boyutlu agregalarla üretilen geçirimli betonlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri yer almaktadır.



Şekil 4.59. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

2-4 mm agregalı karışımlar üzerinde yapılan eğilme dayanımı testlerinde agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça ortalama eğilme dayanımı değerinin arttığı gözlenmiştir. En yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri 5,12 MPa, en düşük ortalama eğilme dayanımı değeri ise 4,73 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.63.'te 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.63. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Eğilme dayanımı oranları	1,00	0,98	0,92

Çizelge 4.63. incelendiğinde ortalama eğilme dayanımı değerinin agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde yaklaşık %2, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise yaklaşık %8 azaldığı görülmektedir. Şekil 4.60.'da 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin değişimi bulunmaktadır.



Şekil 4.60. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

4-8 mm agregalı geçirimli beton karışımlarında en yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri 3,83 MPa, en düşük ortalama eğilme dayanımı değeri ise 3,04 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.64.'te 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.64. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Eğilme dayanımı oranları	1,00	0,82	0,79

Çizelge 4.64.'te yer alan oranlar incelendiğinde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama eğilme dayanımı değeri yaklaşık %18, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama eğilme dayanımı değeri yaklaşık %21 azalmıştır. Agregası/bağlayıcı oranı 2,5 ve 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri birbirlerine oldukça yakın bulunmuştur. Şekil 4.61.'de 8-16 mm agregalı geçirimli beton karışımlarına ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin değişimi yer almaktadır.



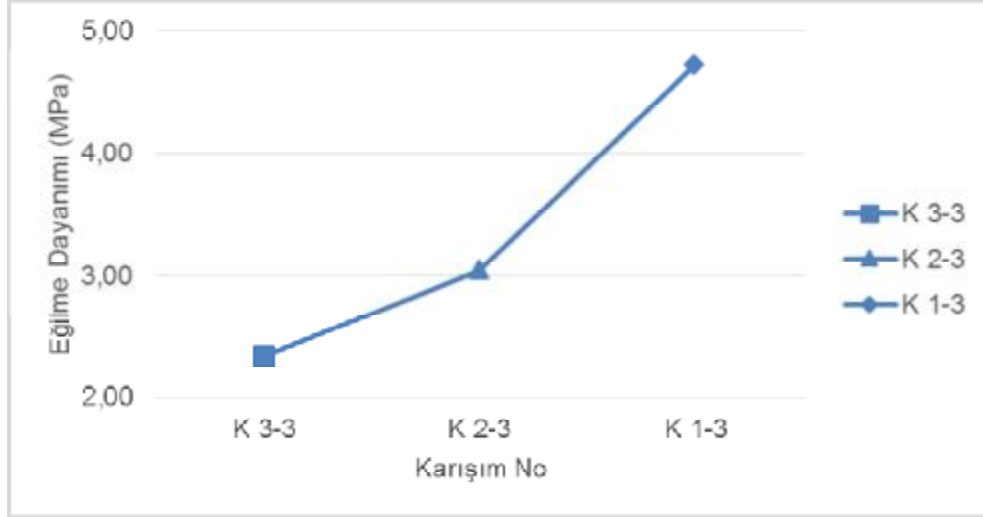
Şekil 4.61. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinde artış gerçekleşmiştir. En yüksek eğilme dayanımı değeri ortalama 5,13 MPa, en düşük eğilme dayanımı değeri ise ortalama 2,34 MPa olarak elde edilmiştir. 5,13 MPa ortalama eğilme dayanımı değeri, en yüksek basınç dayanımı değerlerine sahip K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerinden daha yüksek bulunmuştur. Ancak, K 3-2'ye ait ortalama eğilme dayanımı değerinin yüksek çıkması numune dibinde biriken çimento hamurundan kaynaklanmaktadır. Çizelge 4.65.'te 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin K 3-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.65. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Eğilme dayanımı oranları	1,00	0,61	0,46

8-16 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama eğilme dayanımı değeri yaklaşık %39, agrega/bağlayıcı değeri 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama eğilme dayanımı değeri yaklaşık %54 azalmıştır. Agregabağlayıcı değerindeki artışla eğilme dayanımında meydana gelen azalma oranı diğer agrega türlerinden daha büyük olmuştur. Ancak, söz konusu büyük fark K 3-2'ye ait eğilme kırışlarında tabanda çimento hamuru birikmesiyle yüksek eğilme dayanımı değerleri elde edilmesinden kaynaklanmıştır. Şekil 4.62.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin agrega boyutlarına göre değişimleri görülmektedir.



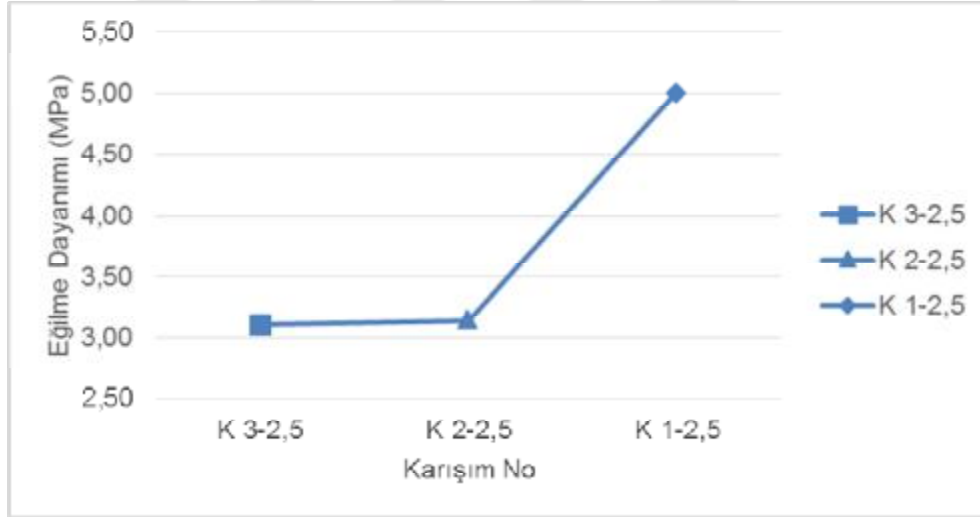
Şekil 4.62. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

Agrega boyutu arttıkça ortalama eğilme dayanımı değerlerinde azalma meydana gelmiştir. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlar arasında en yüksek eğilme dayanımı değeri ortalama 4,73 MPa, en düşük eğilme dayanımı değeri ise ortalama 2,34 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.66.'da agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.66. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Eğilme dayanımı oranları	1,00	0,64	0,49

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda K 1-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerinin K 2-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerinden yaklaşık %36, K 3-3 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerinden ise yaklaşık %51 daha yüksek olduğu bulunmuştur. Şekil 4.63.'te agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan geçirimli betonlarda agrega boyutuna göre ortalama eğilme dayanımlarının değişimi görülmektedir.



Şekil 4.63. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

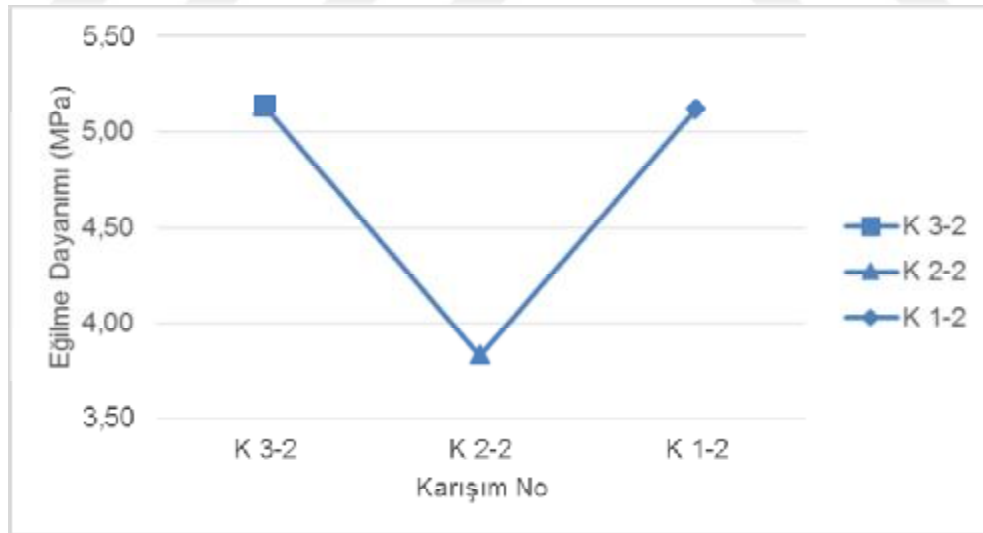
Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımları incelendiğinde diğer karışımlarda olduğu gibi agrega boyutu küçüldükçe eğilme dayanımı ortalamalarının yükseldiği görülmektedir. En yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri 5,01 MPa, en düşük ortalama eğilme dayanımı

değeri ise 3,11 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.67.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama eğilme dayanımı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.67. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Eğilme dayanım oranları	1,00	0,63	0,62

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda agrega büyüklüğü 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama eğilme dayanımı değerinin yaklaşık %37, 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama eğilme dayanımı değerinin yaklaşık %38 azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.64.'te agrega/bağlayıcı oranı 2 olan geçirimli beton karışımlarına ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin agrega boyutuna göre değişimi görülmektedir.



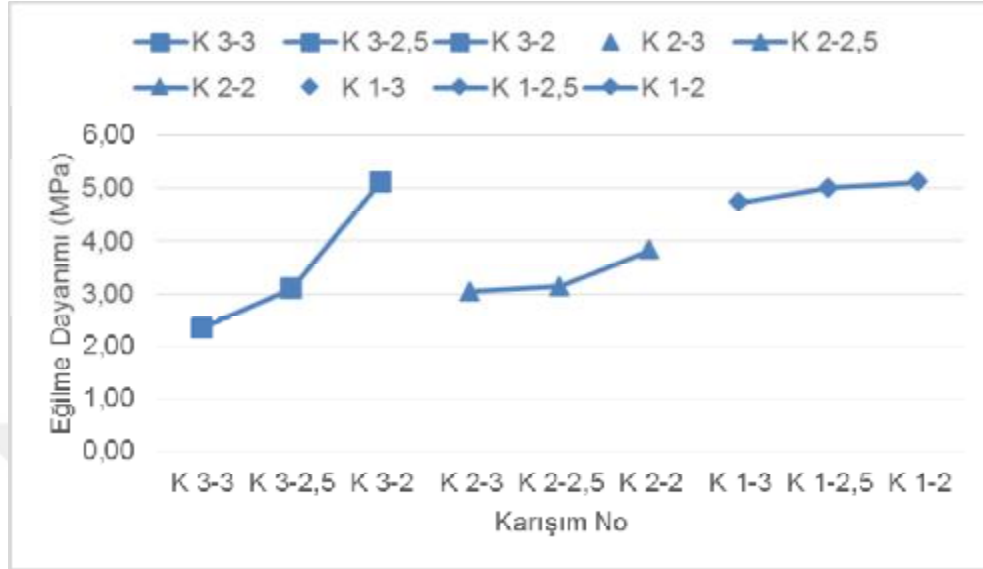
Şekil 4.64. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin değişimleri incelendiğinde beklenenin aksine en yüksek ortalama eğilme dayanımı değeri K 3-2 karışımında 5,13 MPa olarak bulunmuştur. Diğer karışımların eğilme dayanımı değerleri ise K 1-2 karışımında ortalama 5,12 MPa ve en düşük ortalama eğilme dayanımı değeri ise K 2-2 karışımında 3,83 MPa olarak elde edilmiştir. Normal şartlarda en düşük ortalama eğilme dayanımı değerinin agrega boyutu en büyük karışım olan K 3-2’de gerçekleşmesi beklenmektedir. Ancak, söz konusu eğilme kirişi alt kısmında çimento hamuru birikmesinden dolayı ortalama eğilme dayanımı değeri bu denli yüksek bulunmuştur. Çizelge 4.68.’de agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.68. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Eğilme dayanımı oranları	1,00	0,75	1,00

Çizelge 4.68.’de agrega boyutu 2-4 mm’den 4-8 mm’ye yükseldiğinde ortalama eğilme dayanımı değerinin yaklaşık %25 azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.65.’de geçirimli beton karışımlarına göre ortalama eğilme dayanımı değerlerinin değişimi yer almaktadır. Çizelge 4.69.’da ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları bulunmaktadır.



Şekil 4.65. Geçirimli beton karışımlarına ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

Çizelge 4.69. Ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	Eğilme dayanım oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,98
K 1-3	0,92
K 2-2	0,75
K 2-2,5	0,62
K 2-3	0,59
K 3-2	1,00
K 3-2,5	0,61
K 3-3	0,46

Literatürde geçirimli betonlar üzerinde farklı karışım oranları ve test yöntemleri kullanılarak eğilme dayanımı deneyleri yapıldığı görülmektedir. Çizelge 4.70.' de literatürdeki bazı çalışmalarda yer alan geçirimli betonlara ait eğilme dayanımı değerleri görülmektedir. Çizelgede bağlayıcı olarak mineral katkıları ve çimento esas alınırken, oranlamalar yararlanılan kaynağa göre verilmiştir.

Çizelge 4.70. Çalışmalardan derlenen bazı eğilme dayanımı değerleri

Yazar Yıl	Agrega Tipi Boyutu (mm)	Bağlayıcı Dozaj	Numune Boyutu (mm ³) Deney tipi	Porozite (%) Yoğunluk (kg/m ³)	Dayanım (MPa)
Yang ve Jiang 2003	Çakıl ve Kum 3 – 5, 5 – 10 <2,5	0,06 S.D., 1,00 B. -	100x300x60 3 noktadan yükleme	- 2250	8,50
Chen ve ark. 2013	Granit (0,40), ≥ 4,75, (0,60), ≥ 9,5	0,14 U.K., 0,06 S.D., 0,80 Ç. 440 kg	150x150x550 3 noktadan yükleme	15,20 -	6,10
Bu çalışma	Kırmataş agrega 2 – 4	0,10 S.D., 1,00 Ç. 448,72 kg	100x100x500 4 noktadan yükleme	15,49 2070	5,12
Ćosić ve ark. 2015	Dolomit agregası ve kum 0,60 4-8, 0,30 8-16 0,10 0-2	1,00 Ç. 300 kg	100x100x400 -	21,29 2095	4,90
Fu ve ark. 2014	Çakıl 2,4-4,8	1,00 Ç. 525 kg	- 3 noktadan yükleme	≈6 ≈2150	≈4,70
Ç: Çimento, S.D.: Silis dumanı, U.K.: Uçucu kül, B: Bağlayıcı, -: Mevcut değil					

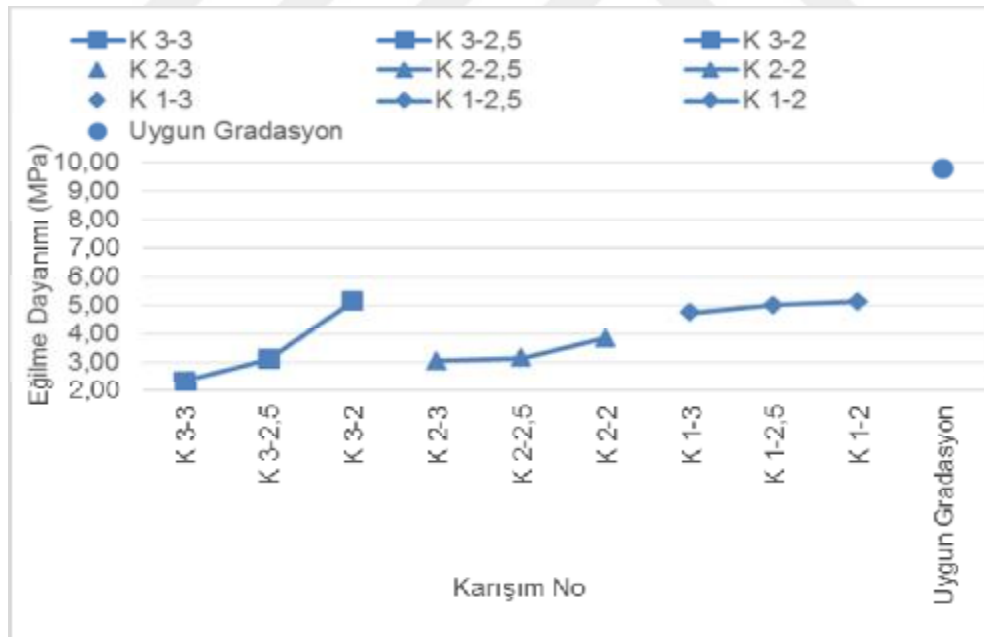
Sonuçları değerlendirirken; agregası boyutu, agregası türü, agregası gradasyonu, kür koşulları, numune boyutları ve 4 nokta eğilme testi ile 3 nokta eğilme testi kullanılarak elde edilecek dayanım farkı göz önünde bulundurulmalıdır. Geçirimli betonlarda eğilme dayanımı değeri genel olarak

yaklaşık 1 ile 3,8 MPa aralığında değişim göstermektedir (Tennis ve ark., 2004). K 1-2 karışımının 5,12 MPa ortalama eğilme dayanımı değeri geleneksel geçirimli betonlara göre oldukça başarılı bulunmuştur. Çizelge 4.71.'de çimento hamurunun dayanımını tahmin etmek üzere hazırlanan konvansiyonel betonlara ait ortalama eğilme dayanımı değeri gösterilmektedir.

Çizelge 4.71. Konvansiyonel betona ait ortalama eğilme dayanımı değeri

Karışım	Eğilme Dayanımı (MPa)
Konvansiyonel Beton Eğilme Dayanımı	9,76

Şekil 4.66.'da konvansiyonel beton ve geçirimli betonların ortalama eğilme dayanımı değerleri yer almaktadır. Çizelge 4.72.' de ise konvansiyonel betona göre tüm geçirimli beton eğilme dayanımı değerlerinin oranları bulunmaktadır.



Şekil 4.66. Konvansiyonel beton ve geçirimli betonlara ait ortalama eğilme dayanımı değerleri

Çizelge 4.72. Geçirimli beton ortalama eğilme dayanımı değerlerinin, konvansiyonel betona ait ortalama eğilme dayanımına göre oranları

	Eğilme dayanımı oranları
Konvansiyonel beton	1,00
K 1-2	0,52
K 1-2,5	0,51
K 1-3	0,48
K 2-2	0,39
K 2-2,5	0,32
K 2-3	0,31
K 3-2	0,53
K 3-2,5	0,32
K 3-3	0,24

Çizelge 4.72. incelendiğinde konvansiyonel betonun en yüksek ortalama eğilme dayanımına sahip K 1-2 karışımının neredeyse 2 katı kadar ve en düşük ortalama eğilme dayanımına sahip K 3-3 karışımının neredeyse 4 katı kadar ortalama eğilme dayanımına sahip olduğu belirlenmiştir. Sonuçlar incelendiğinde uygun gradasyonlu ve boşluksuz betonun boşluklu betona ve iyi derecelendirilmemiş beton karışımlarına göre ne kadar üstün olduğu anlaşılmaktadır.

4.5. Silindir Yarma Dayanımı

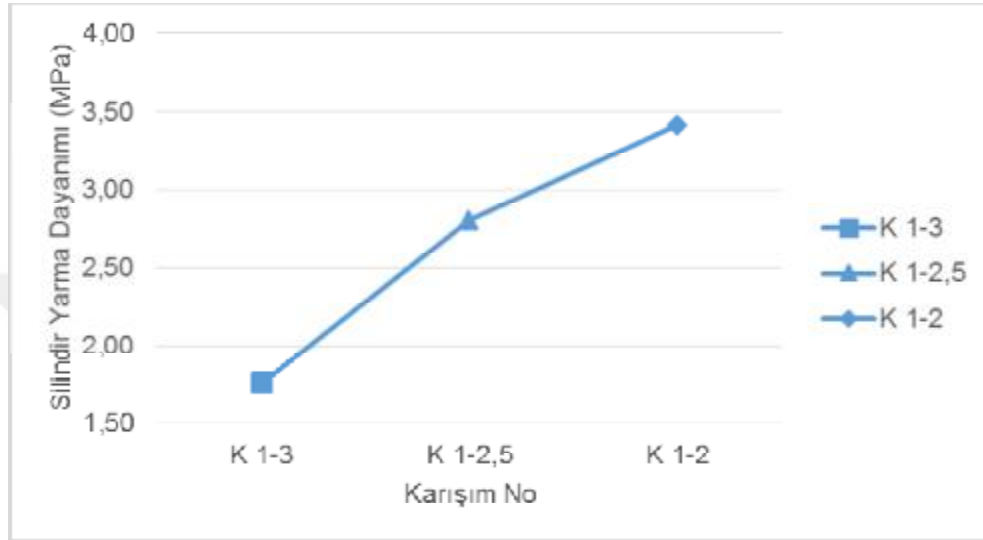
Silindir yarma dayanımı testlerinde basınç dayanımı ve eğilme dayanımı testlerinde olduğu gibi agrega boyutu azaldıkça genel olarak ortalama dayanımın arttığı gözlenmiştir. Ayrıca, aynı agrega grubu içerisinde agrega/ bağlayıcı oranı düştükçe ortalama dayanımın yükseldiği belirlenmiştir. Deneyde 15x30 cm boyutunda silindir numuneler kullanılmıştır. Silindir yarma deneyi sonuçları Çizelge 4.73.' te verilmiştir.

Çizelge 4.73. Silindir yarma dayanımı değerleri

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Gerilme (MPa)	Ortalama Gerilme (MPa)	Standart Sapma
K 3-3	1,76	33,06	1,58	1,53	0,07
			1,45		
			1,57		
K 3-2,5	1,88	27,26	1,54	1,60	0,06
			1,60		
			1,67		
K 3-2	1,94	24,42	2,16	1,87	0,26
			1,75		
			1,69		
K 2-3	1,81	30,38	1,55	1,57	0,02
			1,57		
			1,60		
K 2-2,5	1,83	29,67	1,66	1,60	0,06
			1,60		
			1,54		
K 2-2	1,98	21,33	2,05	2,02	0,08
			2,08		
			1,94		
K 1-3	1,85	24,00	1,81	1,76	0,14
			1,60		
			1,86		
K 1-2,5	1,91	21,30	2,94	2,81	0,19
			2,59		
			2,88		
K 1-2	2,02	16,37	3,72	3,42	0,27
			3,27		
			3,25		

Deneyler sonucunda en yüksek silindir yarma dayanımı K 1-2 karışımına ait numunelerde ortalama 3,42 MPa olarak elde edilmiştir. En düşük silindir yarma dayanımıysa K 3-3 karışımına ait numunelerin ortalamasından 1,53 MPa olarak bulunmuştur. Şekil 4.67.'de 2-4 mm agregalar kullanılarak üretilen geçirimli

betonlara ait ortalama silindir yarma dayanımlarının agrega/bağlayıcı oranına göre değişimleri yer almaktadır.



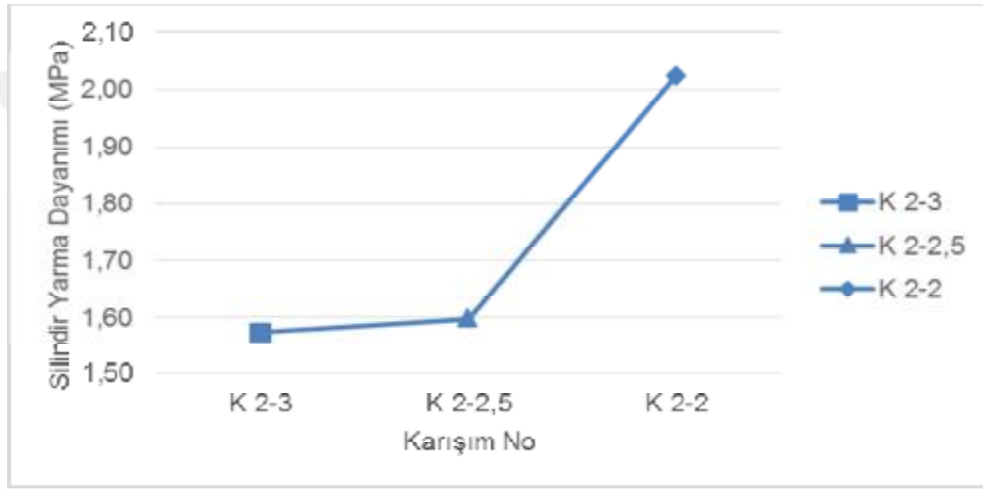
Şekil 4.67. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranının azalmasıyla 2-4 mm agregalı geçirimli betonların ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinde artış olduğu gözlenmiştir. En yüksek ortalama silindir yarma dayanımı 3,42 MPa, en düşük ortalama silindir yarma dayanımı değeri ise 1,76 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.74.'te 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.74. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Silindir yarma dayanım oranları	1,00	0,82	0,51

Agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde 2-4 mm agregalı karışımların silindir yarma dayanımında yaklaşık %18, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise silindir yarma dayanımında yaklaşık %49 azalma meydana gelmiştir. Şekil 4.68.'de 4-8 mm agregalı geçirimli beton karışımlarına ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin agrega/bağlayıcı oranlarına göre değişimleri görülmektedir.



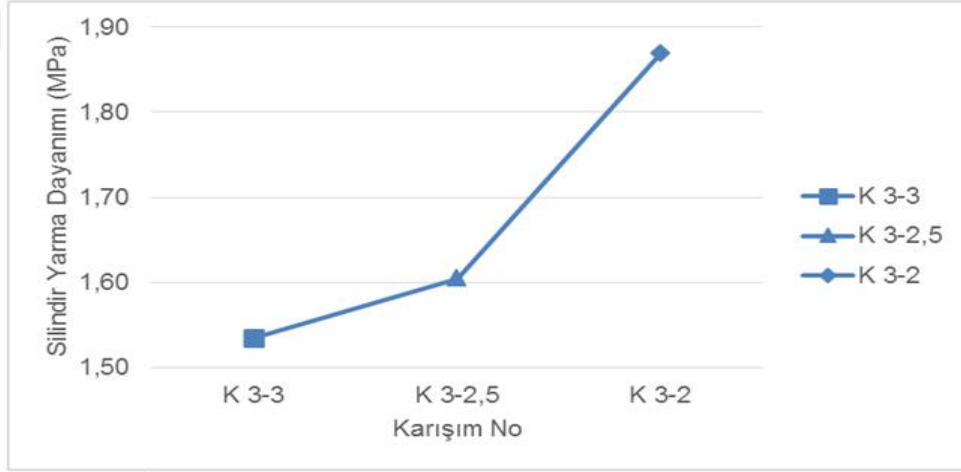
Şekil 4.68. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

4-8 mm agregalı karışımlarda en yüksek ortalama silindir yarma dayanımı 2,02 MPa, en düşük ortalama silindir yarma dayanımı 1,57 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.75.'de 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.75. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Silindir yarma dayanım oranları	1,00	0,79	0,78

4-8 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama silindir yarma dayanımı değeri yaklaşık %21 oranında azalırken agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise yaklaşık %22 oranında azalma gerçekleşmiştir. 2,5 ile 3 agrega/bağlayıcı oranlarında ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin birbirine yakın olduğu bulunmuştur. Şekil 4.69.'da 8-16 mm agregalı geçirimli beton karışımlarına ait ortalama silindir yarma dayanımlarının agrega/bağlayıcı oranına göre değişimleri bulunmaktadır.



Şekil 4.69. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

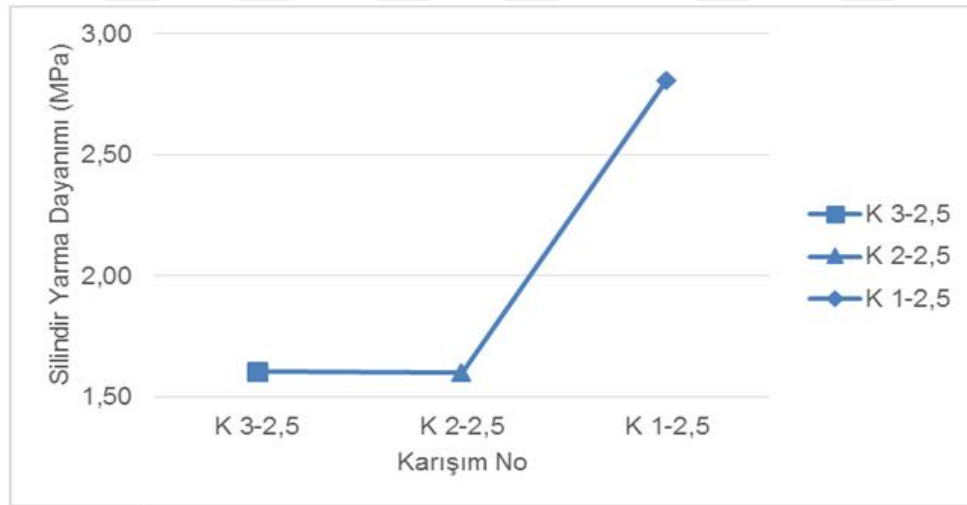
8-16 mm agregalı karışımlara ait silindir numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda en yüksek silindir yarma dayanımının ortalama 1,87 MPa, en düşük silindir yarma dayanımının ise ortalama 1,53 MPa olduğu bulunmuştur. En yüksek ve en düşük ortalama silindir yarma dayanımı sonuçlarının diğer agrega boyutlarına göre birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Çizelge 4.76.'da 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları yer almaktadır.

karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.77. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Silindir yarma dayanım oranları	1,00	0,89	0,87

Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda agregaba boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama silindir yarma dayanımı değerinin yaklaşık %11, agregaba boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama silindir yarma dayanımı değerinin yaklaşık %13 azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.71.'de agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin agregaba boyutlarına göre değişimleri yer almaktadır.



Şekil 4.71. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

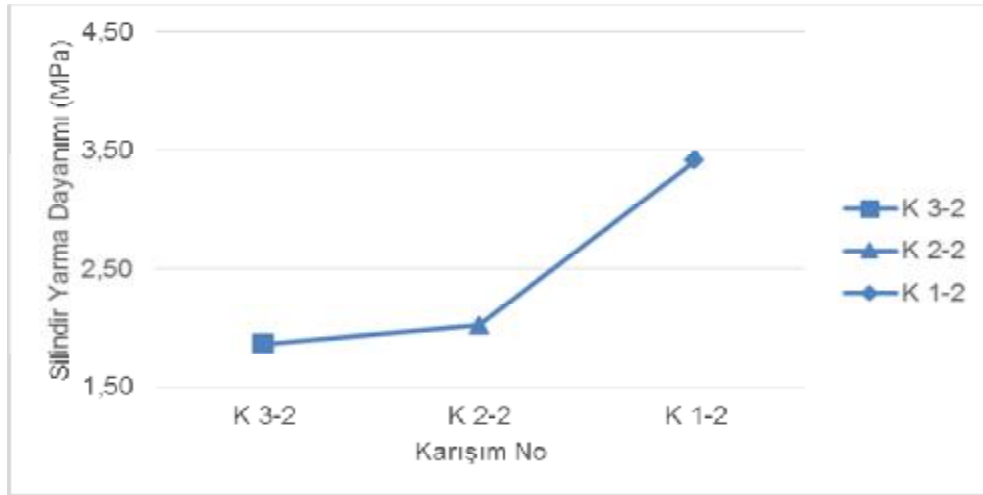
Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan geçirimli betonlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinde 4-8 mm ve 8-16 mm agregalı ortalama silindir yarma

dayanımlarının birbirine oldukça yakın olduğu bulunmuştur. En yüksek ortalama silindir yarma dayanımı değeri K 1-2,5 karışımında 2,81 MPa, en düşük ortalama silindir yarma dayanımı ise 1,60 MPa olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.78.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.78. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Silindir yarma dayanım oranları	1,00	0,57	0,57

İri agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranları 2,5 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin K 1-2,5 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımı değerinin yaklaşık %57'si kadar olduğu bulunmuştur. Şekil 4.72'de agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımlarının agrega boyutlarına göre değişimleri yer almaktadır.



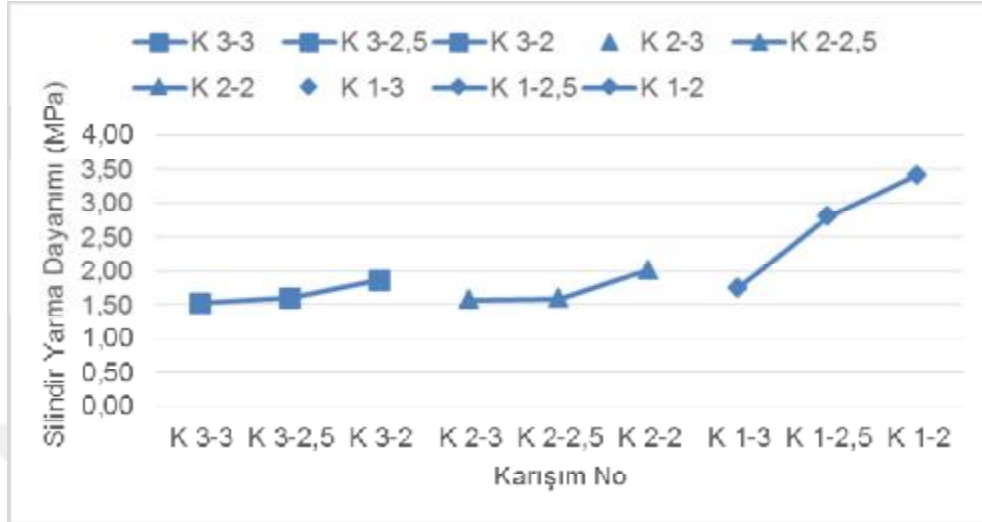
Şekil 4.72. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda da 4-8 mm ve 8-16 mm agregaya boyutlu karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımlarının birbirlerine yakın olduğu belirlenmiştir. En yüksek silindir yarma dayanımı ortalaması K 1-2 karışımında 3,42 MPa, en düşük silindir yarma dayanımı ortalaması ise K 3-2 karışımında 1,87 MPa olarak bulunmuştur. Çizelge 4.79.'da agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.79. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Silindir yarma dayanımı oranları	1,00	0,59	0,55

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlardan K 2-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımı değeri K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımı değerinin yaklaşık %59'u, K 3-2 karışımına ait silindir yarma dayanımının ise K 1-2 karışımına ait ortalama değerin yaklaşık %55'i kadar olduğu belirlenmiştir. Silindir yarma dayanımı değerlerinde her agregabağlayıcı oranında 4-8 mm ve 8-16 mm boyutlu agregalara ait değerlerin birbirlerine yakın olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.73.'de tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin değişimi görülmektedir. Çizelge 4.80.'de ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımı değerine göre oranları bulunmaktadır.



Şekil 4.73. Geçirimli betonlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

Çizelge 4.80. Ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımına göre oranları

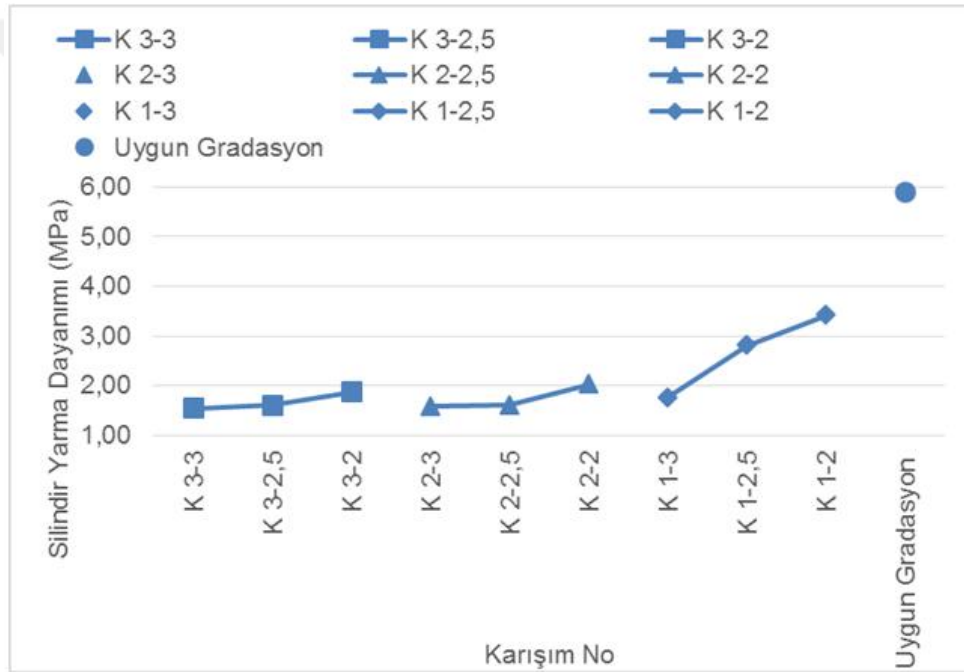
	Silindir yarma dayanımı oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	0,82
K 1-3	0,51
K 2-2	0,59
K 2-2,5	0,47
K 2-3	0,46
K 3-2	0,55
K 3-2,5	0,47
K 3-3	0,45

Uygun gradasyonlu karışımlar üzerinde de silindir yarma dayanımını belirlemek üzere testler gerçekleştirilmiştir. Çizelge 4.81.'de konvansiyonel betona ait ortalama silindir yarma dayanımı değeri görülmektedir. Şekil 4.74.'te çalışma kapsamında üretilen tüm karışımlara ait silindir yarma dayanımı değerleri bir arada yer almaktadır.

Çizelge 4.81. Konvansiyonel beton ortalama silindir yarma dayanımı değeri

Karışım	Silindir Yarma Dayanımı (MPa)
Konvansiyonel Beton S. Yarma Dayanımı	5,91

Konvansiyonel betona ait ortalama silindir yarma dayanımı değerinin geçirimli betonlara göre oldukça yüksek olduğu bulunmuştur. 5,91 MPa silindir yarma dayanımı değeri konvansiyonel betonlar için de oldukça yüksektir.



Şekil 4.74. Tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerleri

Çizelge 4.82.'de tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin uygun gradasyonlu betona ait silindir yarma dayanımına göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.82. Tüm karışımlara ait ortalama silindir yarma dayanımı değerlerinin, konvansiyonel beton ortalama silindir yarma dayanımı değerine göre oranları

	Silindir yarma dayanımı oranları
Konvansiyonel beton	1,00
K 1-2	0,58
K 1-2,5	0,48
K 1-3	0,30
K 2-2	0,34
K 2-2,5	0,27
K 2-3	0,27
K 3-2	0,32
K 3-2,5	0,27
K 3-3	0,26

Çizelge 4.82. incelendiğinde en yüksek ortalama silindir yarma dayanımı değerine sahip olan K 1-2 karışımına ait ortalama silindir yarma dayanımı değerinin uygun gradasyonlu karışımın yaklaşık %58'i kadar olduğu, en düşük ortalama silindir yarma dayanımı değerine sahip K 3-3 karışımına ait silindir yarma dayanımı değerininse uygun gradasyonlu karışımın yaklaşık %26'sı kadar olduğu bulunmuştur.

Sonuçta uygun gradasyonlu boşluksuz beton çekme dayanımının geçirimli betonlara göre oldukça üstün olduğu anlaşılmaktadır. Çizelge 4.83.' te literatürdeki bazı çalışmalarda yer alan geçirimli betonlara ait silindir yarma dayanımı değerleri görülmektedir. Çizelgede bağlayıcı olarak mineral katkılar, çimento ve latex katkı esas alınırken, oranlamalar yararlanılan kaynağa göre verilmiştir.

Çizelge 4.83. Çalışmalardan derlenen bazı silindir yarma dayanımı değerleri

Yazar Yıl	Agrega Tipi Boyutu (mm)	Bağlayıcı Dozaj	Numune Boyutu (mm)	Porozite (%) Yoğunluk (kg/m ³)	Dayanım (MPa)
Shu ve ark. 2011	Kireçtaşı 1,00 İri agr. No.8 (ASTM C33), 0,069 İnce agr.	1,00 Ç., 0,10 L. 360	150x63,5	≈7 (Eff.) -	≈3,80
Koshnaw 2014	Doğal agreg 12,5-10,0 mm	1,00 Ç. 450	100x200	20,5 2130	2,10
Bu çalışma	Kırmataş agreg 2 – 4 mm	0,10 S.D, 1,00 Ç. 448,72 kg	150x300	16,37 2020	3,42
Torres ve ark. 2015	Kireçtaşı agreg 6,35 mm	1,00 Ç. 355	100x200	18,90 -	3,09
Fu ve ark. 2014	Çakıl 2,4-4,8 mm	1,00 Ç. 525 kg	-	≈6 ≈2150	≈4,00
Ç.: Çimento, L.: Latex, Agr.: Agreg, S.D.: Silis dumanı, Eff.:Efeaktif hava boşluğu					

Literatürdeki çalışmalarla bu çalışmadan elde edilen silindir yarma dayanımı değerlerindeki farklılıkların genel olarak numune boyutlarından, agreg

türü ve gradasyonundan ve kullanılan katkı malzemesi farklılıklarından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

4.6. Aşınma Dayanımı

Geçirimli betonların aşınma dayanımı değerleri Böhme diski kullanılarak tespit edilmiştir. DIN 52108 (2002), standardındaki yöntem takip edilerek gerçekleştirilen deneylerde en yüksek aşınma dayanımı 2-4 mm agregasıyla imal edilen ve agregası/bağlayıcı oranı 2 olan geçirimli beton numunelerinde elde edilmiştir. Geçirimli betonlar yüzeylerinde de boşluklar içerdiklerinden aşınma yüzey alanını doğru olarak belirlemek kolay olmamaktadır. Aşağıda verilen değerler ince taneli agregalar kullanılarak üretilen numunelerin daha az boşluk alanı içereceği kabulü yapılarak belirlenmiştir. Deney sonuçları Çizelge 4.84.' te görülmektedir.

Çizelge 4.84. Aşınma dayanımı sonuçları

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Δl (cm)	Ağırlık kaybı (%)	Hacim kaybı ΔV (cm ³)
K 3-3	1,72	34,60	0,25	2,94	11,05
K 3-2,5	1,76	33,32	0,23	3,01	10,39
K 3-2	1,86	29,10	0,23	2,83	10,32
K 2-3	1,76	32,91	0,29	3,71	13,53
K 2-2,5	1,80	29,05	0,24	3,15	11,18
K 2-2	1,87	27,26	0,21	2,83	9,97
K 1-3	1,73	30,35	0,31	4,27	15,28
K 1-2,5	1,89	23,21	0,15	2,07	7,67
K 1-2	1,89	23,14	0,14	1,96	6,90

Şekil 4.75.' de 2-4 mm agregalı geçirimli beton numunelerine ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin değişimi görülmektedir.



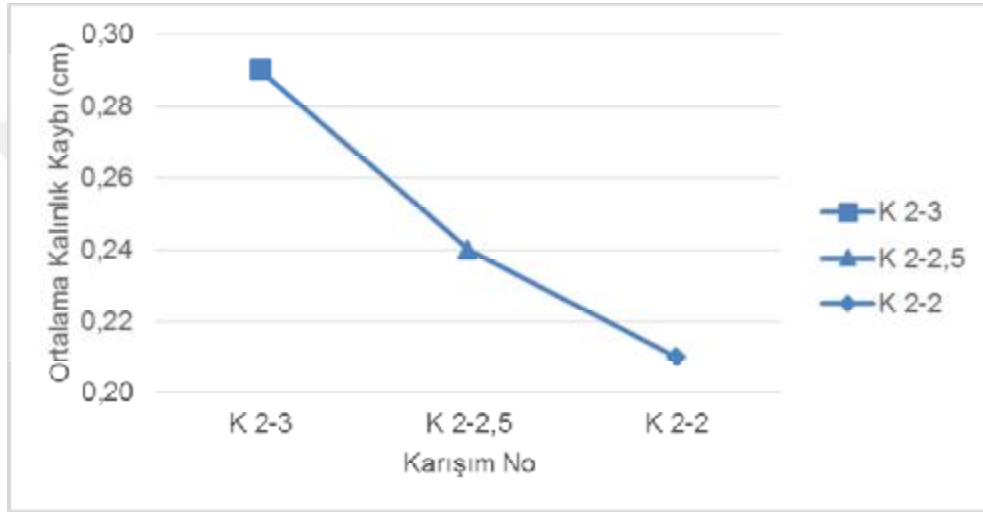
Şekil 4.75. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

Şekil 4.75.'de agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça 2-4 mm agregalı karışımlarda ortalama kalınlık kaybı değerinin ciddi miktarda azaldığı görülmektedir. En yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri K 1-3 karışımında 0,31 cm iken, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise K 1-2 karışımında 0,14 cm olarak bulunmuştur. Çizelge 4.85.'de 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.85. 2-4 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Ortalama kalınlık kaybı oranları (ΔI)	1,00	1,07	2,21

2-4 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %7, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %121 artış olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.76.'da 4-8 mm agregalı geçirimli betonlara ait aşınma numunelerinin ortalama kalınlık kaybı değişimi bulunmaktadır.



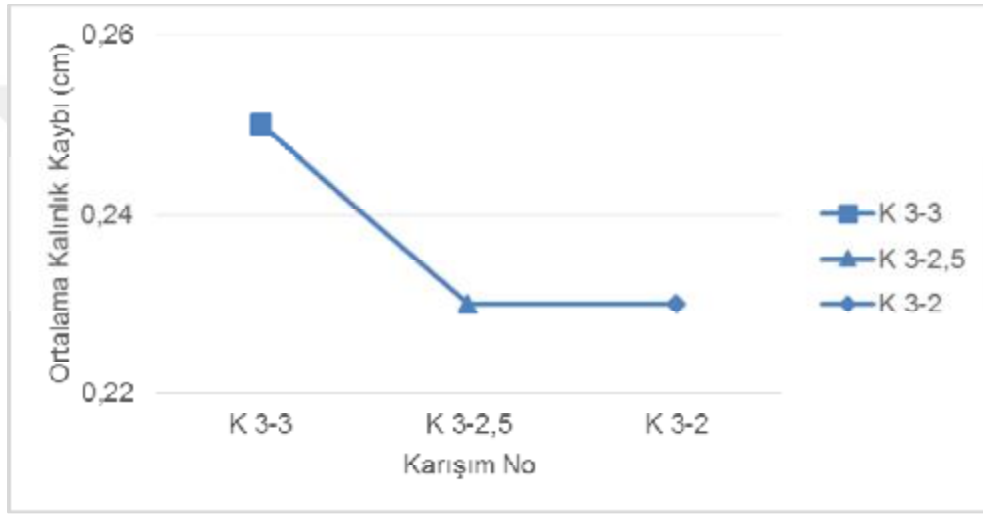
Şekil 4.76. 4-8 mm agregalı karışımlara ait aşınma numunelerinin ortalama kalınlık kaybı değerleri

4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça lineere yakın bir şekilde azalmıştır. En yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri 0,29 cm, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise 0,21 cm olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.86.'da 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.86. 4-8 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 2-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 2-2	K 2-2,5	K 2-3
Ortalama kalınlık kaybı oranları (ΔI)	1,00	1,14	1,38

4-8 mm agregalı karışımlara ait aşınma numunelerinde agregabağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %14, agregabağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %38 artış olduğu gözlenmiştir. Şekil 4.77.'de 8-16 mm agregalı geçirimli beton aşınma numunelerine ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin değişimi bulunmaktadır.



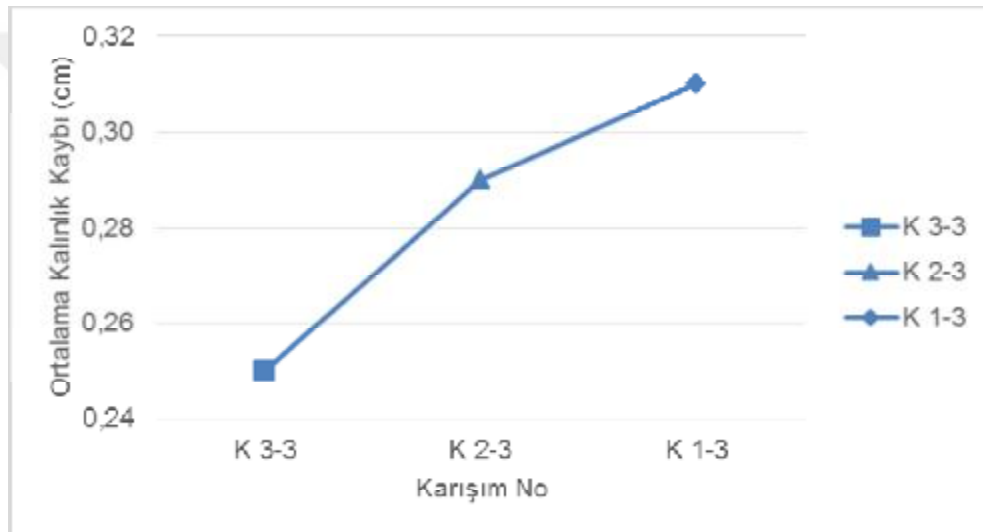
Şekil 4.77. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

8-16 mm agregalı aşınma numuneleri üzerinde yapılan deneylerde en yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri K 3-3 karışımında 0,25 cm, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise K 3-2,5 ve K 3-2 karışımlarında 0,23 cm olarak belirlenmiştir. Çizelge 4.87.'de 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları görülmektedir.

Çizelge 4.87. 8-16 mm agregalı karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 3-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 3-2	K 3-2,5	K 3-3
Ortalama kalınlık kaybı oranları (ΔI)	1,00	1,00	1,09

8-16 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde diğer agrega boyutlarındaki karışımların aksine ortalama kalınlık kaybı değerinde azalma meydana gelmezken, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde ise ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %9 artış gerçekleşmiştir. Şekil 4.78.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin agrega boyutlarına göre değişimi bulunmaktadır.



Şekil 4.78. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

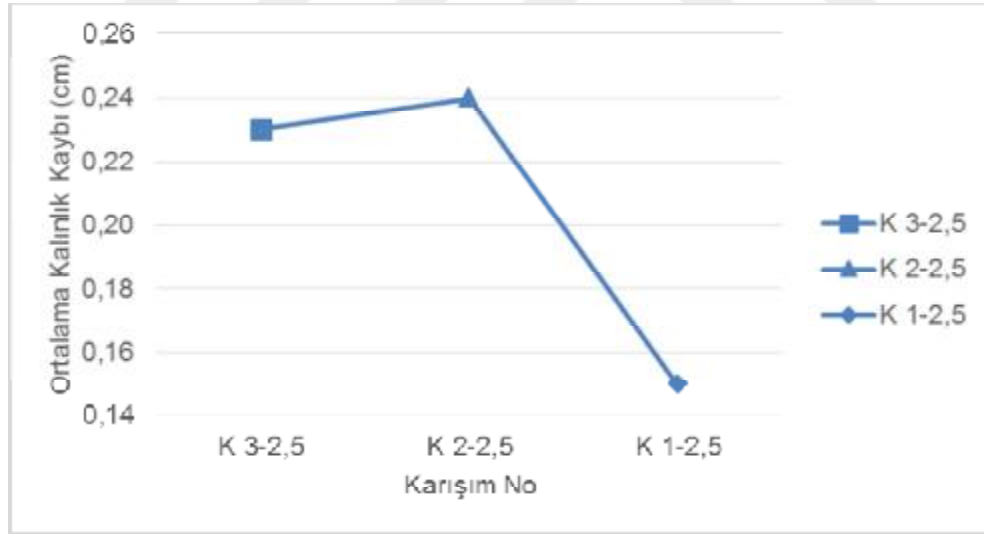
Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda agrega boyutu büyüdükçe ortalama kalınlık kaybı değerinde azalma meydana gelmiştir. Bu durum diğer deneylerde gözlenen genelde ince agregalı karışımlarda daha yüksek dayanım elde edilmesi eğilimine aykırı olarak gerçekleşmiştir. En yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri 0,31 cm ile 2-4 mm agregalı karışımda, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise 0,25 cm ile 8-16 mm agregalı karışımda gözlenmiştir. Çizelge 4.88.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı

değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.88. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-3 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Ortalama kalınlık kaybı oranları (ΔI)	1,00	0,94	0,81

Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda agregaba boyutu 2-4 mm'den, 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama kalınlık kaybı değerinin yaklaşık %6, agregaba boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama kalınlık kaybı değerinin yaklaşık %19 azaldığı belirlenmiştir. Şekil 4.79.'da agregabağlayıcı oranı 2,5 olan geçirimli beton aşınma numunelerine ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin agregaba boyutuna göre değişimleri görülmektedir.



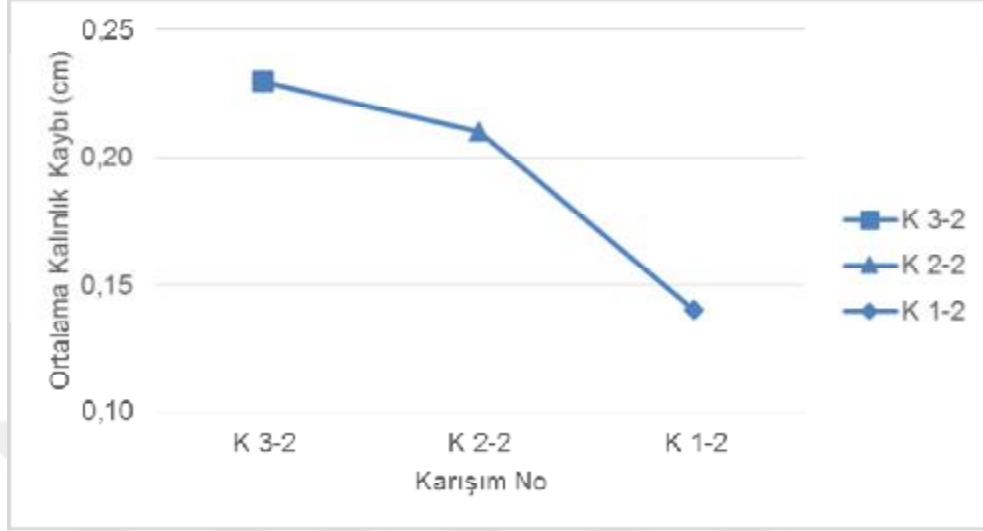
Şekil 4.79. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan geçirimli beton aşınma numunelerine ait ortalama kalınlık kaybı değerleri incelendiğinde en yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri 0,24 cm ile 4-8 mm agregalı karışımlarda, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise 0,15 cm ile 2-4 mm agregalı karışımlarda bulunmuştur. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda, agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda gözlenen ortalama kalınlık kaybı değerlerindeki değişim gözlenmemiştir. Çizelge 4.89.'da agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.89. Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2,5 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
Ortalama kalınlık kaybı oranları (Δ)	1,00	1,60	1,53

Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda agregaba boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm'ye yükseldiğinde ortalama kalınlık kaybında %60, agregaba boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde ise ortalama kalınlık kaybı değerinde yaklaşık %53 artış gözlenmiştir. En yüksek aşınma dayanımı K 1-2,5 karışımında, en düşük aşınma dayanımı K 2-2,5 karışımında elde edilmiştir. Şekil 4.80.'de agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin değişimi görülmektedir.



Şekil 4.80. Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

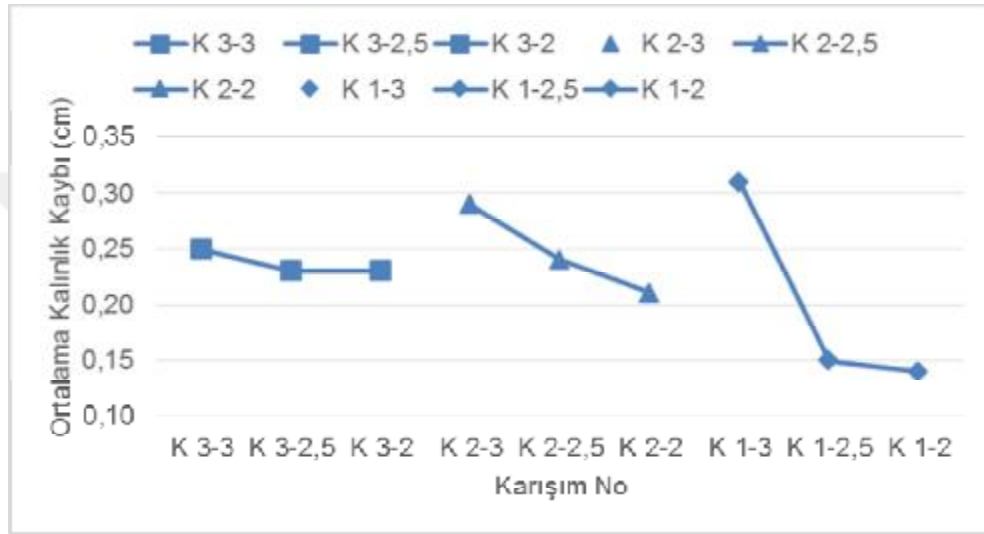
Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin değişimi incelendiğinde agregabağlayıcı oranı 3 ve 2,5 olan karışımlardan oldukça farklı olduğu gözlenmiştir. En yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri K 3-2 karışımında 0,23 cm, en düşük ortalama kalınlık kaybı değeri K 1-2 karışımında 0,14 cm olarak bulunmuştur. Çizelge 4.90.'da agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

Çizelge 4.90. Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Ortalama kalınlık kaybı oranları (ΔI)	1,00	1,50	1,64

Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda agregaba boyutu 4-8 mm olan karışımlarda ortalama kalınlık kaybının K 1-2 karışımına göre %50, 8-16 mm agregaba boyutlu karışımlara ait ortalama kalınlık kaybının ise K 1-2 karışımına göre

yaklaşık %64 fazla olduğu bulunmuştur. Şekil 4.81.'de tüm karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin karışımlara göre değişimleri yer almaktadır. Çizelge 4.91.'de de ortalama kalınlık kaybı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları bulunmaktadır.

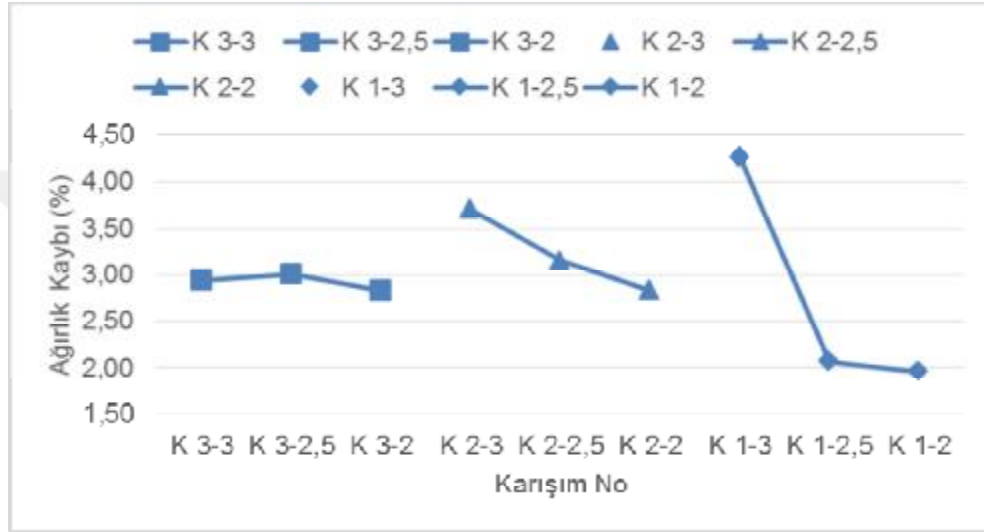


Şekil 4.81. Tüm karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerleri

Çizelge 4.91. Tüm karışımlara ait ortalama kalınlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama kalınlık kaybı değerine göre oranları

	Ortalama kalınlık kaybı oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	1,07
K 1-3	2,21
K 2-2	1,50
K 2-2,5	1,71
K 2-3	2,07
K 3-2	1,64
K 3-2,5	1,64
K 3-3	1,79

Şekil 4.82.'de aşınma numunelerine ait yüzde cinsinden ağırlık kaybı değerlerinin karışımlara göre değişimleri görülmektedir. Çizelge 4.92.'de ağırlık kaybı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ağırlık kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.

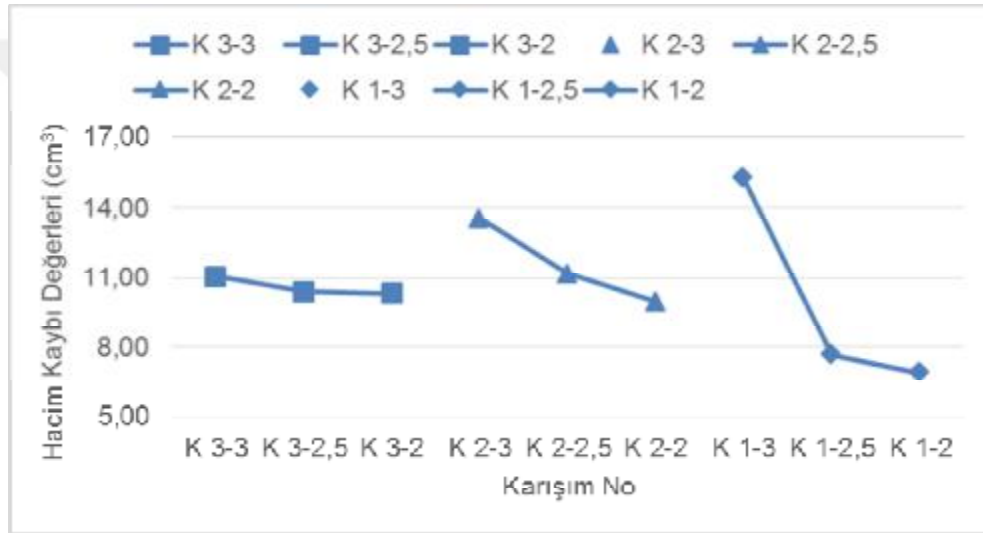


Şekil 4.82. Aşınma numunelerine ait yüzde cinsinden ortalama ağırlık kaybı değerleri

Çizelge 4.92. Ortalama ağırlık kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama ağırlık kaybı değerine göre oranları

	Ortalama ağırlık kaybı oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	1,06
K 1-3	2,18
K 2-2	1,44
K 2-2,5	1,61
K 2-3	1,89
K 3-2	1,44
K 3-2,5	1,54
K 3-3	1,50

Ağırlık kaybı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ağırlık kaybı değerine göre oranları incelendiğinde ortalama kalınlık kaybı değerlerinden farklı olduğu görülmektedir. Ancak, Şekil 4.82.'de yer alan grafik incelendiğinde ağırlık kaybı değişimlerinin ortalama kalınlık kaybı değişimine oldukça benzer eğilimde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 4.83.'de tüm karışımlara ait hacim kaybı değerlerinin değişimi bulunmaktadır. Çizelge 4.93.'te hacim kaybı değerlerinin K 1-2 karışımına ait ortalama hacim kaybı değerine göre oranları yer almaktadır.



Şekil 4.83. Aşınma numunelerine ait ortalama hacim kaybı değerleri

Çizelge 4.93. Ortalama hacim kaybı değerlerinin, K 1-2 karışımına ait ortalama hacim kaybı değerine göre oranları

	Ortalama hacim kaybı oranları
K 1-2	1,00
K 1-2,5	1,11
K 1-3	2,21
K 2-2	1,44
K 2-2,5	1,62
K 2-3	1,96
K 3-2	1,50
K 3-2,5	1,51
K 3-3	1,60

Hacim kaybı değerlerine ait Şekil 4.83.'te ki grafik incelendiğinde ağırlık kaybı ve ortalama kalınlık kaybı grafiklerine genel olarak benzediği görülmektedir. Hacim kaybı değerlerinin K 1-2'ye göre oranları incelendiğinde ise ağırlık kaybı ve ortalama kalınlık kaybı değerlerinden farklı olduğu bulunmuştur. Ortalama kalınlık kaybı formülünde aşınma alanının da bilinmesi gerekmektedir. Ancak geçirimli betonlar boşluklu yapıda olduklarından aşınma yüzeyinin tam olarak bilinmesi zor olmaktadır. Aşınma dayanımı belirlenirken bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Ghafoori ve Sukandar (1995)'in beton blokların aşınma dayanımı üzerinde yapmış oldukları çalışmada beton kaplama blokları aşınma dayanımının matrisin agregası/çimento oranından ciddi biçimde etkilendiği; çimento miktarındaki artışın bağlayıcı yönünden zengin ve yoğun bir blok yüzeyi ortaya çıkartarak, yüzey kalitesini ve aşınma dayanımını arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca, agregası/çimento oranındaki değişimin basınç veya yarmada çekme dayanımına göre aşınma dayanımı üzerinde daha büyük bir etki oluşturduğu; test koşullarının da aşınma dayanımını etkilediği belirtilmiştir (Ghafoori ve Sukandar, 1995: Aslantaş, 2004'den).

Shackel (1994) tarafından yapılan çalışmada ise beton blok kaplamaların aşınma dayanımlarının karışımdaki çimento miktarı arttıkça arttığı; su/çimento oranındaki artışla aşınma dayanımının azaldığı; kırmataş agregalı karışımların nehir çakılı kullanılarak yapılan karışımlardan daha fazla aşınma gösterme eğiliminde oldukları belirtilmiştir (Shackel, 1994: Aslantaş, 2004'den).

Bu çalışmada genel olarak agregası/bağlayıcı oranı azaldıkça aşınma dayanımının arttığı görülmüştür. Ancak her agregası/bağlayıcı oranında agregası boyutu azaldıkça aşınma dayanımının artması eğilimi gözlenememiş hatta agregası/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda en yüksek aşınma değerinin 2-4 mm agregalı karışımlarda olduğu belirlenmiştir. Bu durumun kıvam, agregası özellikleri ve çimento hamuru kalınlığı ile alakalı olabileceği tahmin edilmektedir. Çizelge

4.94.' te bu çalışmadan elde edilen en düşük aşınma değeri sonucu ile literatürdeki sonuçlar kıyaslanmıştır.

Çizelge 4.94. Böhme diski kullanılarak gerçekleştirilen bazı aşınma deneyi sonuçları

Yazar Yıl	Agrega Tipi Boyutu (mm)	Bağlayıcı Dozaj Tür	Numune Boyutu (mm)	Aşınma ΔV	Aşınma ΔI (mm)
Tekmen 2006	Kireçtaşı agrega 0,33 0-5 mm, 0,08 5-10 mm, 0,41 10-20 mm	1,00 Ç. 300 K. B.	71±1,5 mm ayrıntıları olan küp numune	8,50 (cm ³ /50cm ²)	-
Kareem 2014	Doğal agrega 9,5-12,5 mm	1,00 Ç, 420 G. B.	70x70x100	-	1,23
Koshnaw 2014	Doğal agrega 12,5-10,0 mm	1,00 Ç. 450 G. B.	70x70x100	-	0,91
Bu çalışma	Kırmataş agrega 2 – 4 mm	0,10 S.D., 1,00 Ç. 448,72 kg G. B.	71±1,5 mm ayrıntıları olan küp numune	6,90 (cm ³)	1,40
Aslantaş & 2004	Kırmataş ve kum	1,00 Ç. 300 K. B.		21,8 (cm ³)	-
Ç.:Çimento, S.D.:Silis dumanı, G.B.:Geçirimli beton, K.B.:Konvansiyonel beton					

Literatürdeki sonuçlarla aradaki farkın numune boyutlarının farklı olmasından, karışım oranları ve malzeme farklılıklarından, uygulama farklılıklarından, yüzey alanı farklılıklarından ve agrega türlerinin farklılığından kaynaklanabileceği düşünülmektedir.

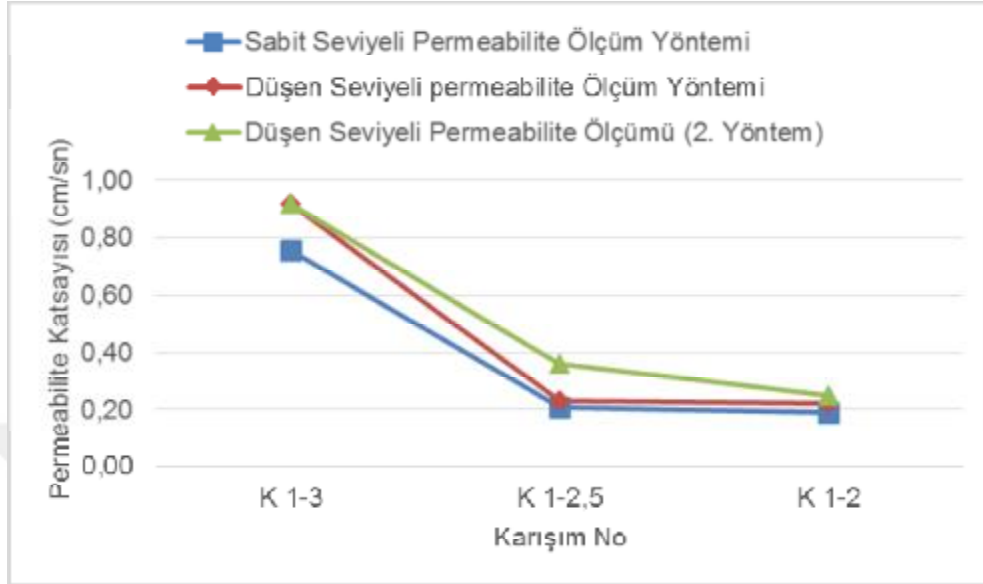
4.7. Permeabilite Deneyi

Geçirimli betonların kullanım amacı göz önünde bulundurulduğunda önemli özelliklerinden biri de permeabilite katsayısıdır. Permeabilite katsayısı ölçümü için geçirimli beton imalatı esnasında 10,6 cm çapında 15 cm yüksekliğinde PVC borulara geçirimli beton karışımları doldurularak deney numuneleri hazırlanmıştır. Permeabilite katsayıları hem düşen seviyeli hem de sabit seviyeli permeabilite ölçüm yöntemleri kullanılarak bulunmuştur. Çizelge 4.95.' de yoğunluk, porozite ve permeabilite katsayıları görülmektedir. Söz konusu değerler permeabilite deneyine tabi tutulan numunelere aittir.

Çizelge 4.95. Farklı yöntemlerle elde edilen permeabilite katsayıları

Karışım Adı	Yoğunluk (gr/cm ³)	Porozite (%)	Permeabilite (S. seviyeli) (cm/sn)	Permeabilite (D. seviyeli) (cm/sn)	Permeabilite (D. Seviyeli) (2. Yöntem) (cm/sn)
K 3-3	1,71	36,39	1,85	3,20	-
K 3-2,5	1,79	32,63	1,80	3,07	-
K 3-2	1,89	28,95	1,34	1,93	-
K 2-3	1,77	34,15	1,63	2,33	-
K 2-2,5	1,80	32,43	1,39	1,98	-
K 2-2	1,85	28,87	1,13	1,28	-
K 1-3	1,73	30,80	0,76	0,92	0,92
K 1-2,5	1,84	27,59	0,21	0,23	0,36
K 1-2	1,87	24,95	0,19	0,22	0,25

Şekil 4.84.'te 2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının ölçüm yöntemlerine göre değişimi görülmektedir.



Şekil 4.84. 2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları

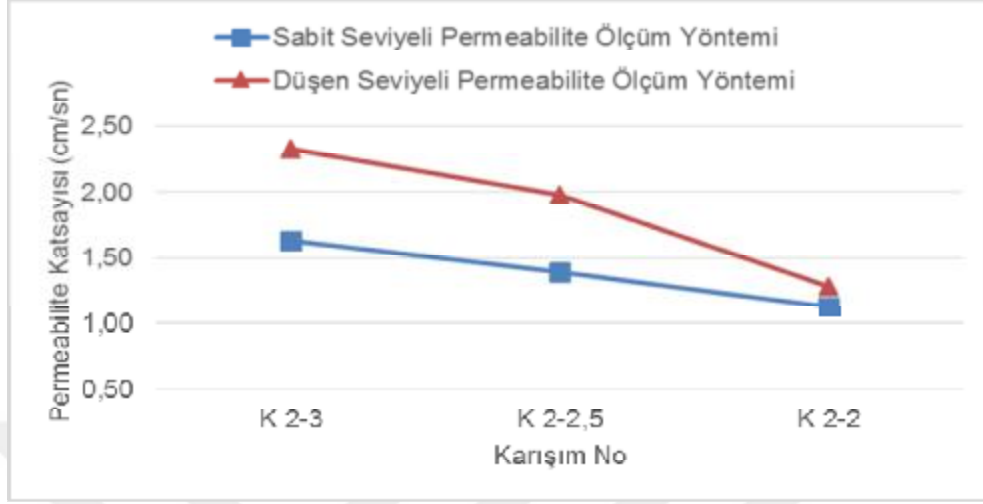
2-4 mm agregalı karışımlarda agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça permeabilite katsayısının da azaldığı gözlenmiştir. Ölçüm yöntemlerine göre de elde edilen permeabilite katsayılarında farklılık gerçekleşmiştir. En yüksek permeabilite katsayıları genel olarak düşen seviyeli permeabilite ölçümü (2. Yöntem)'den, en düşük permeabilite katsayıları ise sabit seviyeli ölçüm yönteminden elde edilmiştir. Çizelge 4.96.'da 2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemlere ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

Çizelge 4.96. 2-4 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemlere ait sonuçların kıyaslanması

	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,05	4,18
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümü (2. Yöntem)	1,00	1,44	3,68
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,11	4,00
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre	K 1-2	K 1-2,5	K 1-3
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümü (2. Yöntem)	1,14	1,57	1,00
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,86	0,91	0,83

Düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemi kullanılarak yapılan deneylerde permeabilite katsayısının agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde yaklaşık %5, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde yaklaşık %318 arttığı görülmüştür. Düşen seviyeli (2.) permeabilite ölçüm yöntemi esas alınarak yapılan deneylerde permeabilitenin agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde yaklaşık %44, 2'den 3'e yükseldiğinde yaklaşık %268 arttığı bulunmuştur. Sabit seviyeli ölçüm yönteminde ise permeabilite artış oranları sırasıyla yaklaşık %11 ve %300 olarak tespit edilmiştir.

Düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemine göre diğer ölçüm yöntemleri ile bulunan sonuçlar oranlandığında, (2.) düşen seviyeli ölçüm yönteminin agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımdan yaklaşık %14, agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımdan yaklaşık %57 daha büyük sonuç verdiği bulunmuştur. Buna karşılık agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımda permeabilite katsayılarının birbirine eşit olduğu belirlenmiştir. Düşen seviyeli ölçüm yöntemine göre sabit seviyeli ölçüm yöntemi oranlandığında ise sırasıyla agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda yaklaşık %14, agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda yaklaşık %9 ve agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda ise yaklaşık %17 daha düşük permeabilite katsayıları elde edilmiştir. Şekil 4.85.'de 4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının karışımlara göre değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.85. 4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları

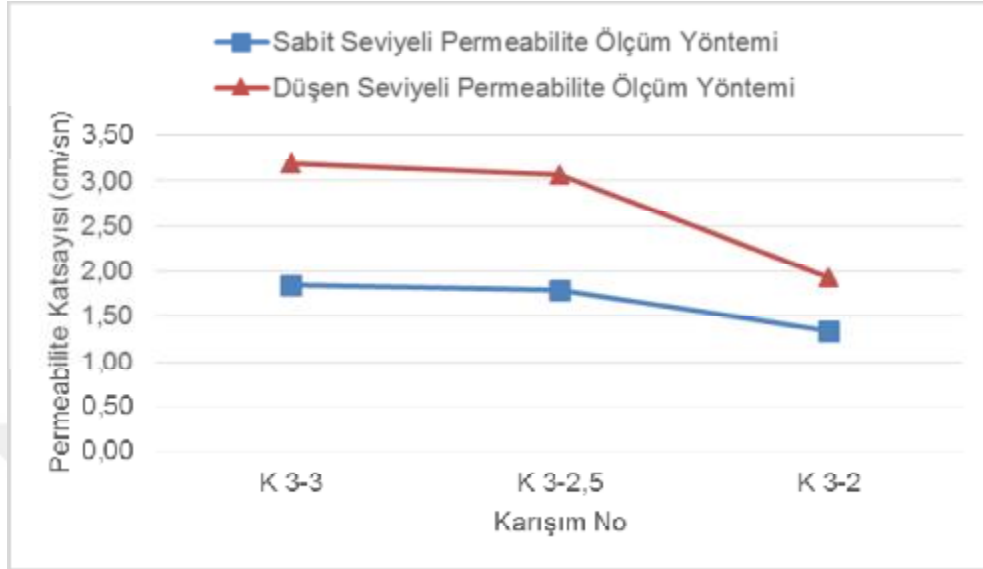
4-8 mm agregalı karışımlarda düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemiyle elde edilen permeabilite katsayısı değerlerinin sabit seviyeli permeabilite katsayısı değerlerinden daha yüksek olduğu bulunmuştur. Her iki yöntemde de agrega/bağlayıcı oranlarındaki değişimle birlikte permeabilite katsayılarının doğrusala yakın değiştiği gözlenmiştir. Çizelge 4.97.'de 4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 2-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

Çizelge 4.97. 4-8 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 2-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması

	K2-2	K2-2,5	K2-3
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,55	1,82
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,23	1,44
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre Oranlar;	K2-2	K2-2,5	K2-3
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,88	0,70	0,70

Çizelge 4.97.'ye göre düşen seviyeli ölçüm yönteminde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %55, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %82 artış gözlenmiştir. Sabit seviyeli permeabilite ölçümlerinde agrega/bağlayıcı oranı arttıkça permeabilite katsayısında meydana gelen artış düşen seviyeli permeabilite deneyine göre daha düşük oranda gerçekleşmiştir. Sabit seviyeli permeabilite ölçümünde agrega/bağlayıcı oranı 2'den 2,5'a yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %23, agrega/bağlayıcı oranı 2'den 3'e yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %44 artış olduğu tespit edilmiştir. 4-8 mm agregalı karışımlar üzerinde yapılan ölçüm yöntemleri arasında oranlama yapıldığında sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminden düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemine göre 2;2,5 ve 3 agrega/bağlayıcı oranlarında sırasıyla yaklaşık %12, %30 ve %30 daha az permeabilite katsayısı elde edildiği belirlenmiştir.

8-16 mm agregalı geçirimli beton karışımlarına ait permeabilite katsayıları incelendiğinde düşen seviyeli permeabilite ölçüm yönteminde, sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminden daha yüksek permeabilite katsayıları elde edildiği görülmektedir. Şekil 4.86.'da 8-16 mm agrega boyutlu geçirimli betonlara ait permeabilite katsayılarının değişimi görülmektedir.



Şekil 4.86. 8-16 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayıları

Çizelge 4.98.'de 8-16 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının K 3-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

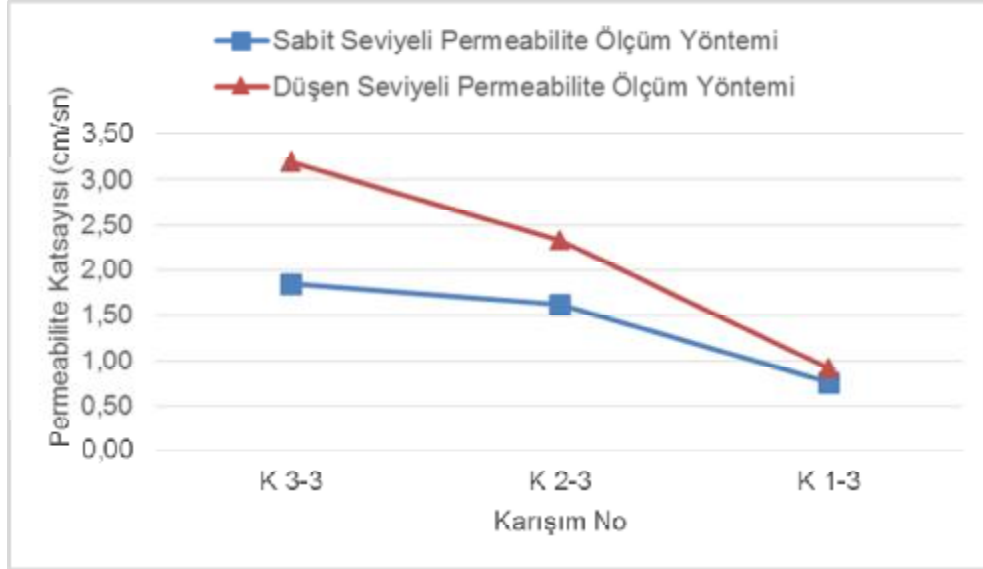
Çizelge 4.98. 8-16 mm agregalı karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 3-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması

	K3-2	K3-2,5	K3-3
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,59	1,66
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	1,34	1,38
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre Oranlar;	K3-2	K3-2,5	K3-3
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,69	0,59	0,58

8-16 mm agregalı karışımlarda düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemiyle belirlenen K 3-2,5 ve K 3-3'e ait permeabilite katsayılarının K 3-2 karışımına ait permeabilite katsayısından sırasıyla yaklaşık %59 ve %66 daha

büyük olduğu bulunmuştur. Sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminde ise söz konusu değerlerin K 3-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre sırasıyla yaklaşık %34 ve %38 daha büyük olduğu tespit edilmiştir.

Farklı ölçüm yöntemlerinden elde edilen permeabilite katsayıları kıyaslandığında sabit seviyeli ölçüm yöntemiyle düşen seviyeli ölçüm yöntemine göre agrega/bağlayıcı oranı 2, 2,5 ve 3 olan karışımlarda sırasıyla yaklaşık %31, %41 ve %42 daha az permeabilite katsayısı elde edildiği gözlenmiştir. Şekil 4.87.'de agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının karışımlara göre değişimleri yer almaktadır.



Şekil 4.87. Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları

Agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının değişimi incelendiğinde her iki ölçüm yönteminde de agrega boyutu büyüdükçe permeabilite katsayısının arttığı bulunmuştur. Çizelge 4.99.'da agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının K 1-3 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemle ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

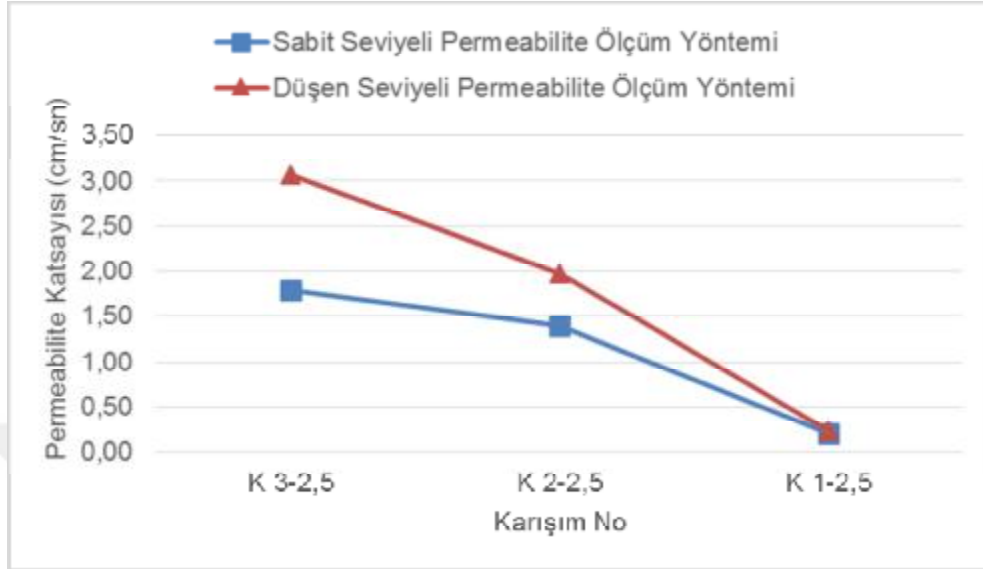
Çizelge 4.99. Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-3 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması

	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	2,53	3,48
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	2,14	2,43
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre Oranlar;	K 1-3	K 2-3	K 3-3
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,83	0,70	0,58

Agregabağlayıcı oranı 3 olan karışımlar üzerinde yapılan düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemine göre agregaba boyutu 2-4 mm'den 4-8 mm' ye yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %153, agregaba boyutu 2-4 mm'den 8-16 mm'ye yükseldiğinde permeabilite katsayısında yaklaşık %248 artış gözlenmiştir. 2-4 mm agregalı karışım üzerinde sabit seviyeli ölçüm yöntemiyle belirlenen permeabilite katsayısına göre agregaba boyutu 4-8 mm olan karışıma ait permeabilite katsayısı yaklaşık %114, agregaba boyutu 8-16 mm olan karışıma ait permeabilite katsayısı yaklaşık %143 daha büyük ölçülmüştür.

K 1-3, K 2-3 ve K 3-3 karışımlarına ait sabit seviyeli permeabilite ölçüm yöntemiyle belirlenen permeabilite katsayıları düşen seviyeli permeabilite ölçümüyle elde edilen değerlerle kıyaslandığında sırasıyla yaklaşık %17, %30 ve %42 oranında daha düşük sonuçlar elde edilmiştir.

Agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımda her iki ölçüm yönteminde de agregaba boyutu azaldıkça permeabilite katsayısı azalmıştır. Şekil 4.88.'de agregabağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları görülmektedir.



Şekil 4.88. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları

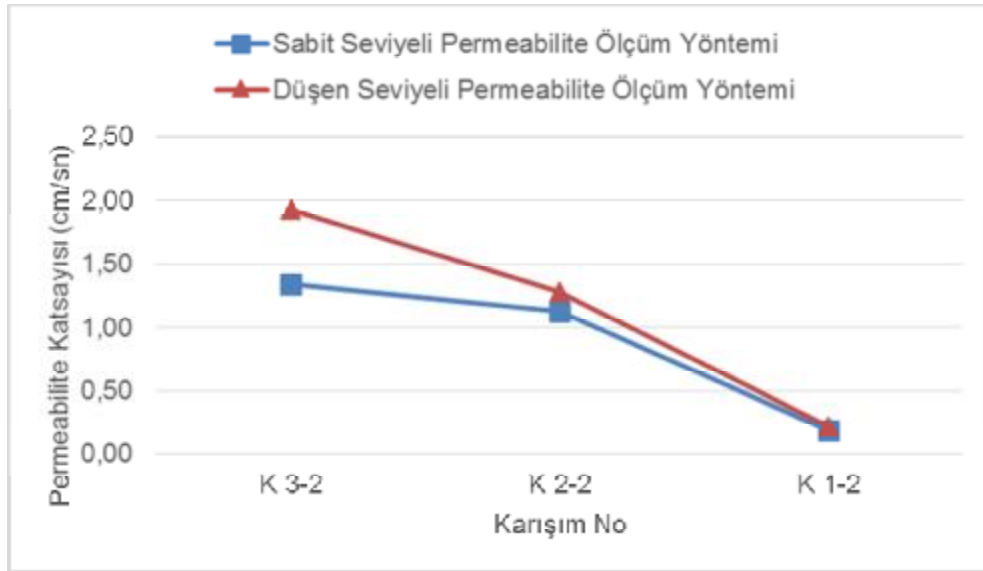
Çizelge 4.100.'de agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

Çizelge 4.100. Agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yönteme ait sonuçların kıyaslanması

	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
D. Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	8,61	13,35
S. Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	6,62	8,57
D. Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre Oranlar;	K 1-2,5	K 2-2,5	K 3-2,5
S. Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,91	0,70	0,59

Düşen seviyeli ölçüm yöntemiyle elde edilen sonuçlara göre K 2-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısının K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısından ortalama yaklaşık 7,6 kat, K 3-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısının ise K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısından ortalama yaklaşık 12,35 kat daha büyük olduğu belirlenmiştir. Sabit seviyeli ölçüm yöntemi kullanıldığında ise K 1-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısından sırasıyla K 2-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısının ortalama yaklaşık 5,62 kat, K 3-2,5 karışımına ait permeabilite katsayısının ortalama yaklaşık 7,57 kat daha büyük olduğu gözlenmiştir.

Farklı ölçüm yöntemlerine göre elde edilen permeabilite katsayıları oranlandığında ise düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemine göre sabit seviyeli ölçüm yönteminden 2-4, 4-8 ve 8-16 mm agrega boyutlu karışımlarında sırasıyla yaklaşık %9, %30 ve %41 daha az permeabilite katsayısı elde edildiği bulunmuştur. Şekil 4.89.'da agrega/bağlayıcı oranı 2 olan geçirimli beton karışımlarına ait permeabilite katsayılarının değişimleri görülmektedir.



Şekil 4.89. Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait permeabilite katsayıları

Agrega/bağlayıcı oranı 2 olan geçirimli betonlar üzerinde yapılan düşen seviyeli permeabilite deneylerinde en yüksek permeabilite katsayısı K 3-2 karışımında 1,93 cm/sn, en düşük permeabilite katsayısı ise K 1-2 karışımında 0,22 cm/sn olarak bulunmuştur. Sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminde ise en yüksek permeabilite katsayısı K 3-2 karışımında 1,34 cm/sn, en düşük permeabilite katsayısı ise K 1-2 karışımında 0,19 cm/sn olarak tespit edilmiştir. Çizelge 4.101.'de Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemle ait sonuçların kıyaslanması yer almaktadır.

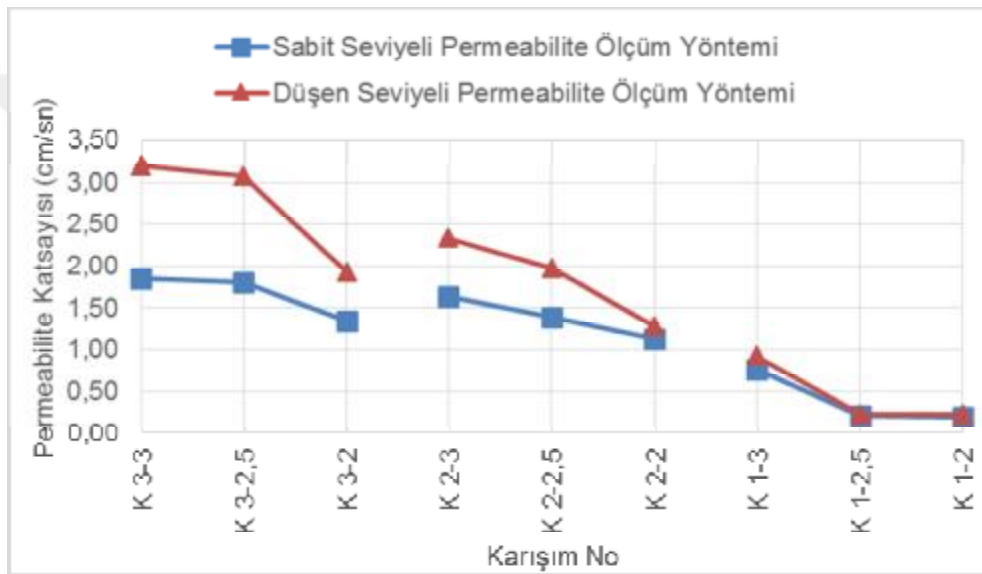
Çizelge 4.101. Agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlara ait permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre oranları ve düşen seviyeli ölçüm yönteminden elde edilen sonuçlara göre diğer yöntemle ait sonuçların kıyaslanması

	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	5,82	8,77
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	1,00	5,95	7,05
Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçümüne Göre Oranlar;	K 1-2	K 2-2	K 3-2
Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm Yöntemi	0,86	0,88	0,69

Çizelge 4.101.'de K 2-2 ve K 3-2 karışımlarına ait düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemiyle belirlenen permeabilite katsayılarının K 1-2 karışımından sırasıyla yaklaşık 4,82 kat ve 7,77 kat daha büyük olduğu tespit edilmiştir. Sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminde ise K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayısına göre diğer karışımların permeabilite katsayılarının sırasıyla yaklaşık 4,95 ve 6,05 kat daha büyük olduğu bulunmuştur.

Ölçüm yöntemleri kıyaslandığında agregabağlayıcı oranı 2 olan karışımlarda da düşen seviyeli permeabilite ölçüm yöntemlerinin, sabit seviyeli permeabilite ölçüm yönteminden daha yüksek permeabilite katsayıları verdiği gözlenmiştir. K 1-2, K 2-2, K 3-2 karışım türlerinde sabit seviyeli permeabilite

ölçüm yöntemine göre düşen seviyeli permeabilite ölçüm yönteminden sırasıyla yaklaşık %14, %12 ve %31 oranında daha düşük permeabilite katsayıları elde edilmiştir. Şekil 4.90.'da tüm karışım türlerine ait permeabilite katsayıları bir arada verilmiştir. Çizelge 4.102.'de ise ölçüm yöntemlerinin kıyaslanması ve iki ölçüm yöntemi için ayrı ayrı belirlenen permeabilite katsayılarının K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları yer almaktadır.

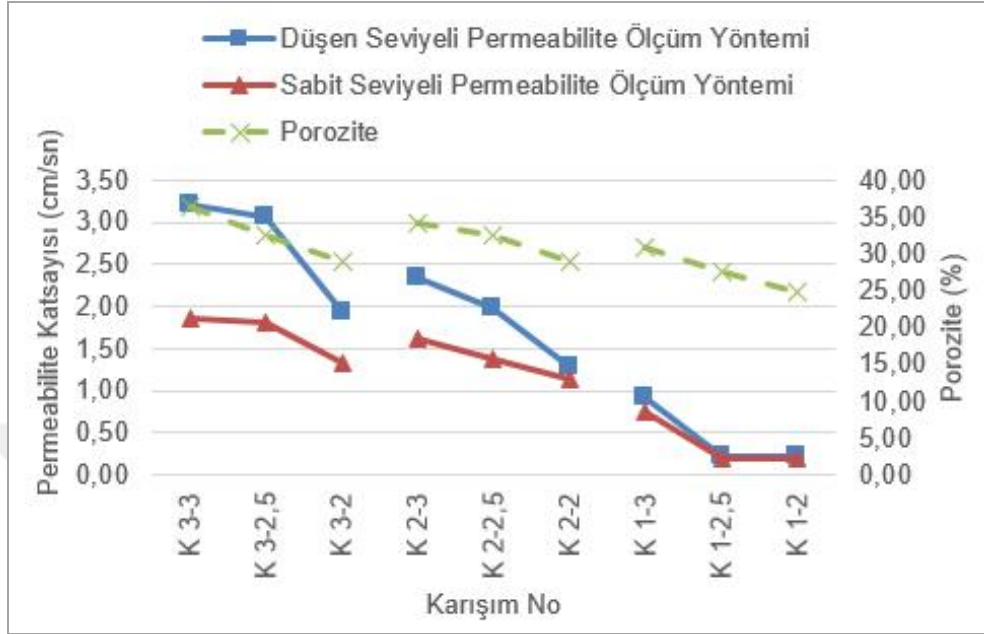


Şekil 4.90. Tüm karışımlara ait sabit ve düşen seviyeli ölçüm yöntemleriyle belirlenen permeabilite katsayıları

Çizelge 4.102. Farklı ölçüm yöntemlerinden elde edilen permeabilite katsayılarının, K 1-2 karışımına ait permeabilite katsayılarına göre oranları ve ölçüm yöntemlerinin kıyaslanması

	Düşen Seviyeli Permeabilite Ölçüm	Sabit Seviyeli Permeabilite Ölçüm	Ölçüm Yöntemlerinin
K 1-2	1,00	1,00	0,86
K 1-2,5	1,05	1,11	0,91
K 1-3	4,18	4,00	0,83
K 2-2	5,82	5,95	0,88
K 2-2,5	9,00	7,32	0,70
K 2-3	10,59	8,58	0,70
K 3-2	8,77	7,05	0,69
K 3-2,5	13,95	9,47	0,59
K 3-3	14,55	9,74	0,58
		Ortalama:	0,75

Sonuçlar incelendiğinde sabit seviyeli permeabilite katsayılarının düşen seviyeli permeabilite katsayılarından daha düşük çıktığı görülmüştür. Sonuçların ortalamaları alınıp birbirleriyle kıyaslandığında sabit seviyeli ölçüm yöntemiyle bulunan permeabilite katsayılarının, düşen seviyeli ölçüm yöntemiyle belirlenen permeabilite katsayılarının yaklaşık %75'i kadar olduğu tespit edilmiştir. Düşen seviyeli permeabilite ölçümü (2.) yöntemle ölçülen değerlerin genel olarak düşen seviyeli ölçüm yönteminden daha yüksek çıktığı görülmüştür. Bu yöntem oldukça pratik olsa da sadece ince agregalı geçirimli betonlarda ölçüm yapılabilmektedir. Permeabilite seviyesi arttıkça haznede su birikmediğinden iri agregalı geçirimli betonlarda ölçüm yapılamamıştır. Genel olarak tüm ölçüm yöntemlerinde agrega/bağlayıcı oranı arttıkça aynı agrega boyutunda permeabilite katsayılarının arttığı gözlenmiştir. Şekil 4.91.'de porozite değişimi ile permeabilite katsayılarının değişimleri bir arada verilmiştir.



Şekil 4.91. Porozite değişimi ile permeabilite katsayılarının değişimi

Şekil 4.91. incelendiğinde permeabilite katsayısının genel olarak porozite arttıkça yükseldiği görülmektedir. Bazı karışımlarda porozite değeri yüksek olmasına rağmen daha düşük permeabilite katsayısı elde edilmiştir. Bu durumun iri agregalı karışımların daha yüksek bağlantılı porozite değerine sahip olabileceği ihtimalinden kaynaklandığı düşünülmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Geçirimli betonların yol kaplama malzemesi olarak kullanılma potansiyelinin araştırılması üzerine yapılan bu çalışmada 3 farklı agrega aralığında 3 farklı agrega/bağlayıcı oranında karışımlar hazırlanıp; yoğunluk, porozite, basınç, eğilme, silindir yarma, aşınma ve permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında çimento hamurunun bağlayıcılığı da aynı malzemelerle aynı miktarda çimento, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı ve benzer su/çimento oranında uygun gradasyonlu bir karışım hazırlanılarak test edilmiştir. Uygun gradasyonlu konvansiyonel beton üzerinde de silindir numune basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve silindir yarma dayanımı tespiti için deneyler yapılmıştır.

Yoğunluk ve porozite değerlerinin geçirimli betonlar için önemli değişkenler olduğu göz önüne alınarak, numune gruplarını temsil edecek şekilde parçalar alınıp üzerlerinde deneyler gerçekleştirilmiştir. Yoğunluk değerlerini tespit etmek için esasları TS 699 (1987)'de yer alan düzgün geometrik şekilli olmayan deney numunelerinde hacimsel kütle yöntemi, ASTM C 914 (2004)'den türetilen parafinleme yöntemi, Houghton ve Wilson (1989)'dan türetilen streç filmle kaplama yöntemi, streç filmle kaplı numuneleri su dolu hazneye daldırma yöntemi ve hacmi bilinen kalıplar içerisindeki numuneler üzerinde yoğunluk deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde genel olarak düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarının belirlenmesine yönelik yöntem ile parafinleme yönteminin birbirlerinden ve diğer yöntemlerden farklı sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Söz konusu farkın parafinleme yönteminde cisim yoğunluğunu bulmak için kaplama sürecinde kullanılan parafinin çıkartılmasıyla aslında parafinin kapladığı numune içerisindeki hacimlerinde çıkartılmış olmasından, düzgün geometrik şekilli olmayan cisimlerin yoğunluklarının belirlenmesi için geliştirilen yöntemde ise numunelerin tam anlamıyla doygün halde tutulamamasından kaynaklandığı belirlenmiştir. Diğer üç yöntemde ise genel olarak birbirlerine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Porozite değerlerinin hesaplanmasında ise her yöntemde

belirlenen hacim değerleri kullanıldığından genel olarak yoğunluğun artmasıyla porozite değerlerinde düşüş olduğu tespit edilmiştir. Hacmi belli numune üzerine su doldurarak hacimsel porozite değeri de tespit edilmeye çalışılmıştır. Hacimsel porozite değerinin ince agregalı karışımlarda, streç filmle kaplı numunelerin kullanıldığı yöntemlerden yararlanılarak hesaplanan porozite değerlerinden farklı olduğu, ancak iri agregalı karışımlarda bu farkın azaldığı belirlenmiştir. Bu durumun iri agregalı karışımlarda ince agregalı karışımlara göre daha fazla bağlantılı boşluk bulunması ihtimalinden kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Aynı agrega boyutlarında genel olarak agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça dayanım değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Ancak genel eğilime aykırı olarak sonuçlar elde edilen karışımlar da mevcuttur. 8-16 mm agregalı karışımlar arasında en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımda değil agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımdan elde edilmiştir. Geçirimli betonlar arasında 28 günlük en yüksek ortalama basınç dayanımı değeri silindir numunelerde 35,02 MPa ve küp numunelerde 56,18 MPa olmak üzere K 1-2 karışımından elde edilmiştir. En düşük 28 günlük ortalama basınç dayanımı değeri ise K 3-3 karışımına ait silindir numunelerde 10,49 MPa, küp numunelerde 15,13 MPa olarak bulunmuştur. Karışımların 7 günlük dayanımları ile 28 günlük dayanımları kıyaslandığında 7 günlük dayanım değerlerinin 28 günlük dayanım değerlerine oranı silindir numunelerde ortalama %81, küp numunelerde ortalama %79 olarak belirlenmiştir.

Geçirimli betonların eğilme dayanımı değerleri de çalışma kapsamında incelenmiştir. Segregasyon sebebiyle bazı numunelerde sonuçların diğer karışımlarda gözlenen eğilime ters olarak geliştiği gözlenmiştir. Numunenin alt kısmında çimento şerbetinin birikmesi ile K 3-2' ye ait eğilme kırışının ortalama eğilme dayanımının diğer geçirimli beton karışımlarından daha yüksek olduğu bulunmuştur. K 3-2' ye ait kırış numunelerinden bağımsız olarak değerlendirme yapıldığında ise diğer dayanım özelliklerinde olduğu gibi K 1-2 karışımına ait

numunelerin ortalama 5,12 MPa eğilme dayanımı değeri ile en yüksek eğilme dayanımı değerine sahip olduğu bulunmuştur. İnce agregalı geçirimli betonlara ait karışımlarda tüm agrega/bağlayıcı oranlarında elde edilen eğilme dayanımı değerlerinin 4 MPa değerinin üzerinde olduğu belirlenmiştir. İnce agregalar kullanılarak yapılan eğilme dayanımı deneylerinde geçirimli betonlar için genel olarak 1 ile 3,8 MPa (Tennis ve ark., 2004) olarak verilen eğilme dayanımı değeri aralığı aşılmıştır. Ortalama en düşük eğilme dayanımı değeri 8-16 mm agregalı, agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımdan 2,34 MPa olarak elde edilmiştir. Aynı agrega/bağlayıcı oranı içinde ortalama eğilme dayanımı değerleri kıyaslandığında agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımlar hariç agrega boyutu küçüldükçe ortalama eğilme dayanımında artış olduğu gözlenmiştir.

Dolaylı çekme dayanımı ölçme yöntemlerinden bir diğeri olan silindir yarma dayanımı deneyinde ise basınç ve eğilme dayanımında olduğu gibi en yüksek dayanım K 1-2 karışımına ait silindir numunelerden elde edilmiştir. 2-4 mm agregalı agrega/bağlayıcı oranı 2 olan karışımların ortalama silindir yarma dayanımı değeri 3,42 MPa olarak bulunmuştur. İri agregalar kullanılarak üretilen geçirimli beton silindir yarma deneylerinde elde edilen en büyük değerlerse sırasıyla 4-8 mm agregalı karışımlarda 2,02 MPa ve 8-16 mm agregalı karışımlarda 1,87 MPa olarak bulunmuştur.

Çalışma kapsamında Böhme aşınma diski kullanılarak karışımların aşınma dayanımları da ölçülmüştür. Deneylerde literatürdeki geçirimli betonlar üzerinde yapılan aşınma değerlerinden daha fazla aşınma olduğu belirlenmiştir. Bu durumun deneyin yapılışı, kullanılan malzemelerin farklılığı ve numune boyutlarından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir. Boşluklu yüzey özelliklerinden dolayı aşınma yüzey alanının belirlenmesi zor olmaktadır. Bu çalışmada yüzey alanı direkt kalıp yüzey alanı olarak alınmadan ince agregalı karışımlar için 50 cm², 4-8 mm agregalı karışımlar için ortalama 47 cm² ve 8-16 mm agregalı karışımlar için 45 cm² olarak kabul edilmiştir. Sonuçlar değerlendirilirken bu durumda göz önünde bulundurulmalıdır. Ancak hacim ve ağırlık kaybı değerlerinin K 1-2

karışımına göre oranlanmasıyla hazırlanan grafiklere bakıldığında ortalama kalınlık kaybı, ağırlık kaybı ve hacim kaybı ilişkilerinde benzer eğilimler olduğu gözlenmiştir. En yüksek ortalama kalınlık kaybı değeri K 1-3 karışımında 0,31 cm olarak bulunmuştur. En düşük ortalama kalınlık kaybı değeri ise K 1-2 karışımında 0,14 cm olarak ölçülmüştür. Genel olarak aynı agrega/bağlayıcı oranında agrega boyutu arttıkça aşınma dayanımının azalması beklenmektedir. Ancak bu eğilime aykırı olarak agrega/bağlayıcı oranı 2,5 olan karışımlarda en yüksek aşınmanın 4-8 mm agregalı karışımlarda olduğu, ayrıca agrega/bağlayıcı oranı 3 olan karışımlarda aşınma miktarında ince agregalardan iri agregalara doğru git gide azalma olduğu tespit edilmiştir.

Son olarakta geçirimli betonun, geçirimlilik özelliklerinin belirlendiği permeabilite deneyleri gerçekleştirilmiştir. Karışımlara ait permeabilite deneyleri incelendiğinde permeabilite değerlerinin aynı agrega türü içerisinde porozite ile doğru orantılı olduğu görülmüştür. Ortalama olarak geçirimli beton numunelerde sabit seviyeli permeabilite katsayılarının, düşen seviyeli permeabilite değerlerinin yaklaşık %75'i kadar olduğu belirlenmiştir. Deney düzeneğinde numuneden sonraki kısımlar çıkartılarak sadece hazne ve numuneden oluşan bir düzenekle testler gerçekleştirildiğinde ise yüksek geçirgenlikli numunelerde numune üzerinde su birikmediğinden sadece 2-4 mm agregalar kullanılarak elde edilen geçirimli beton numunelerinde ölçüm yapılabilmektedir. Permeabilite ölçüm yöntemlerinin sonuçlar üzerinde ciddi farklılıklar ortaya çıkardığı anlaşılmaktadır. Sonuçların kıyaslanmasında test yöntemi ve deney koşulları mutlaka göz önünde bulundurulmalıdır.

Tüm deneyler göz önünde bulundurulduğunda genel olarak agrega boyutu ve agrega/bağlayıcı oranı azaldıkça geçirimli betonlara ait dayanım değerlerinin yükseldiği belirlenmiştir. Ancak bazı karışımlarda bu duruma aykırı örnekler olduğu da gözlenmiştir. Bu durumun optimum karışım ve optimum kıvamla ilgili olduğu düşünülmektedir. Ortalama basınç dayanımı değerleri ve silindir yarma dayanımı değerlerinde agrega boyutu büyüdükçe en büyük ve en küçük dayanım

değerlerinin birbirlerine yaklaştığı tespit edilmiştir. Bu sonuca göre agrega/bağlayıcı oranının dayanım üzerindeki etkisinin agrega boyutu büyüdükçe azaldığı düşünülmektedir. Uygun gradasyonlu üretilen betonlarda 28 günlük silindir numune basınç dayanımı ortalama 92,52 MPa, ortalama eğilme dayanımı 9,76 MPa ve ortalama silindir yarma dayanımı 5,91 MPa olarak bulunmuştur. Değerler göz önünde bulundurulduğunda aynı miktarda bağlayıcılar ve aynı agregalar kullanılarak hazırlanan uygun gradasyonlu betonun konvansiyonel betonlar için bile oldukça yüksek dayanıma sahip olduğu görülmektedir. Sonuçlar geçirimli betonlarla kıyaslandığında boşluk miktarının ve uygun granülometrinin betonun dayanımı üzerindeki etkisi daha iyi anlaşılmaktadır.

Çalışmalar esnasında karşılaşılan problemler ve geliştirilen çözüm yöntemlerinin aktarılması da daha sonra çalışma yapacak araştırmacılar açısından kolaylık sağlayacaktır. Bu çalışma kapsamında karşılaşılan ilk problem iri agregalar kullanılarak elde edilen geçirimli betonların taze haldeyken bütünlüğünü koruyacak kadar dayanım kazanmasının ince agregalı karışımlardan daha uzun zaman almasıdır. Bu yüzden iri agregalar kullanılarak üretilen geçirimli betonların kalıp süreleri, ince agregalı karışımlardan daha uzun tutulmalıdır. Yine bu çalışmada karşılaşılan en büyük ikinci problem iri agregalı karışımların segregasyona yatkın olmasıdır. Geçirimli betonlarda su miktarının doğru belirlenmesi geçirimli betonların üretilme amaçları göz önüne alındığında oldukça önemlidir. Doğru su miktarını belirlemeye yönelik bu çalışmada kullanılan yöntem basit ve etkili bulunmuştur.

Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesine göre beton yol uygulaması için karakteristik dayanım değerleri sırasıyla; C30/37 basınç dayanımı, 4,5 MPa eğilme dayanımı ve 3,3 MPa silindir yarma dayanımı olarak belirtilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde K 1-2 karışımına ait numunelerde bu sınır değerlerin üstüne çıkıldığı görülmektedir. Her ne kadar K 1-2 karışımına ait silindir, küp ve kırış elemanlarla aynı porozite seviyesinde elde edilecek geçirimli beton kaplama türüne ait permeabilite değeri, bu çalışmada ölçülen permeabilite değerinden daha düşük

olacaksa da ihtiyaçları karşılayıp karşılamayacağı saha koşullarında test edilmelidir.

Geçirimli betonların daha geniş uygulama alanları gelişen sökölme direnci ve gelişmiş durabilite performansları sayesinde gerçekleştirilebilecektir (Zhong ve Wille, 2015). Bu amaçla laboratuvar ölçekli birçok yüksek dayanımlı geçirimli beton çalışması yapıldığı literatür taraması aşamasında görülmüştür. Ancak, yüksek dayanımlı geçirimli beton karışımlarının saha koşullarındaki performansı ile ilgili pek fazla bilgi bulunmamaktadır. Laboratuvar ölçekli deneylerin saha koşullarını ne ölçüde yansıtabildiği sahada test edilmelidir.

KAYNAKLAR

- Annual Book of ASTM Standards, 2012. ASTM International, West Conshohocken, PA, V.04.02,1068s.
- Aslantaş, O., 2004. A Study on Abrasion Resistance of Concrete Paving Block. Ortadoğu Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. Ankara, 93 s.
- ASTM C33, Specification for Concrete Aggregates. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C666 / C666M-03, 2003. Standard Test Method for Resistance of Concrete to Rapid Freezing and Thawing. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C779. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Horizontal Concrete Surfaces (Procedure C). ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C914-95, 2004. Standard Test Method for Bulk Density and Volume of Solid Refractories by Wax Immersion. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C944 / C944M-12, 2012. Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1701 / C1701M-09, 2009. Standard Test Method for Infiltration Rate of in Place Pervious Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1747 / C1747M-13, 2013. Standard Test Method for Determining Potential Resistance to Degradation of Pervious Concrete by Impact and Abrasion. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C1754/ C1754M-12, 2012. Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA.

- ASTM D3766. Standard Terminology Relating to Catalysts and Catalysis. ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Barrett, M.E., Irish, L.B., Malina, J.F., and Charbeneau, R.J., 1998. Characterization of Highway Runoff In Austin, Texas, Area. *Journal of Environmental Engineering*, 124(2): 131-137.
- Bonicelli, A., Giustozzi, F., and Crispino, M., 2015. Experimental Study on the Effects of Fine Sand Addition on Differentially Compacted Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 91: 102–110.
- Ceylan, C., 1999. Lifli Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 51 s.
- Chandrappa, A.K., and Biligiri, K.P., 2016. Pervious Concrete as a Sustainable Pavement Material—Research Findings and Future Prospects: A State-of-the-Art Review. *Construction and Building Materials*, 111: 262-274.
- Chen, Y., Wang, K., Wang, X. and Zhou, W., 2013. Strength, Fracture and Fatigue of Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 42: 97-104.
- Chindapasirt, P., Hatanaka, S., Chareerat, T., Mishima, N and Yuasa, Y., 2008. Cement Paste Characteristics and Porous Concrete Properties. *Construction and Building Materials*, 22: 894-901.
- Chopra, M., Wanielista, M., and Mulligan, A.M., 2007. Performance Assessment of Portland Cement Pervious Pavement. *Stormwater Management Academy*, University of Central Florida, Orlando.
- Ćosić, K., Korat, L., Ducman, V., and Netinger, I., 2015. Influence of Aggregate Type and Size on Properties of Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 78: 69-76.
- Deo, O., Sumanasooriya, M., and Neithalath, N., 2010. Permeability Reduction in Pervious Concretes due to Clogging: Experiments and Modeling. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(7): 741-751.
- DIN 52108, 2002. Wear Testing of Inorganic, Nonmetallic Materials Using the Böhme Abrasive Wheel. Berlin, 5 s.

- Dırı, A., 2015. Properties of Pervious Concretes Containing Processed Coarse Rubber Granules. Gaziantep Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 80 s.
- Dong, Q., Wu, H., Huang, B., Shu, X., and Wang, K., 2013. Investigation into Laboratory Abrasion Test Methods for Pervious Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 25(7): 886-892.
- Heat Island Effect. (2017, Temmuz 12). Alınan yer <https://www.epa.gov/heat-islands>.
- Erdoğan, T.Y., 2015. Beton. ODTÜ Yayıncılık, Ankara, 757 s.
- Fu, T. C., Yeih, W., Chang, J.J., and Huang, R., 2014. The Influence of Aggregate Size and Binder Material on the Properties of Pervious Concrete. Advances in Materials Science and Engineering, 17 s.
- Gaedicke, C., Marines, A., and Miankodila, F., 2014. Assessing the Abrasion Resistance of Cores in Virgin and Recycled Aggregate Pervious Concrete. Construction and Building Materials, 68: 701-708.
- Ghafoori, N. and Dutta, S., 1995. Laboratory Investigation of Compacted No-Fines Concrete for Paving Materials. Journal of Materials in Civil Engineering, 7(3): 183-191.
- Gogo- Abite, I., Chopra, M., and Uju, I., 2014. Evaluation of Mechanical Properties and Structural Integrity for Pervious Concrete Pavement Systems. Journal of Materials in Civil Engineering, 26(6): 06014006, 6 s.
- Haselbach, L., Poor, C., and Tilson, J., 2014. Dissolved Zinc and Copper Retention from Stormwater Runoff in Ordinary Portland Cement Pervious Concrete. Construction and Building Materials, 53: 652-657.
- Houghton, B.F., and Wilson, C.J.N., 1989. A Vesicularity Index for Pyroclastic Deposits. Bulletin of Volcanology, 51: 451-462.

- Jain, A.K., and Chouhan, J.S., 2011. Effect of Shape of Aggregate on Compressive Strength and Permeability Properties of Pervious Concrete. International Journal of Advanced Engineering Research and Studies E-ISSN2249-8974, 1(1): 120-126.
- KARAYOLLARI GENEL MÜDÜRLÜĞÜ, 2016. Beton Yol Kaplamaları Teknik Şartnamesi.79 s.
- Kareem, Q., 2014. Use of Recycled Aggregates in the Production of Pervious Concrete. Gaziantep Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 90s.
- Kevern, J. T., Wang, K., and Schaefer, V. R., 2010. Effect of Coarse Aggregate on the Freeze-Thaw Durability of Pervious Concrete. Journal of Materials in Civil Engineering, 22(5): 469-475.
- Kolokotroni, M., Ren, X., Davies, M., and Mavrogianni, A., 2012. London's Urban Heat Island: Impact on Current and Future Energy Consumption in Office Buildings. Energy and Buildings, 47: 302-311.
- Koshnaw, G., 2014. Experimentally Investigating Properties of the Pervious Concrete Containing Waste Rubbers. Gaziantep Üniversitesi. Doktora Tezi, Gaziantep, 126s.
- Kuang, X., Sansalone, J., Ying, G. and Ranieri, V., 2011. Pore-Structure Models of Hydraulic Conductivity for Permeable Pavement. Journal of Hydrology, 399: 148-157.
- Li, H., Kayhanian, M., and Harvey, J. T., 2013. Comparative Field Permeability Measurement of Permeable Pavements Using ASTM C1701 and NCAT Permeameter Methods. Journal of Environmental Management, 118: 144-152.
- Lian, C., and Zhuge, Y., 2010. Optimum Mix Design of Enhanced Permeable Concrete- An Experimental Investigation. Construction and Building Materials, 24: 2664-2671.

- Marolf, A., Neithalath, N., Sell, E., Wegner, K., Weiss, J., and Olek, J., 2004. Influence of Aggregate Size and Gradation on Acoustic Absorption of Enhanced Porosity Concrete. *ACI Materials Journal*, 101: 82-91.
- National Ready Mixed Concrete Association (NRMCA), 2004. Freeze-Thaw Resistance of Pervious Concrete, Silver Spring, Maryland, 17 s.
- Neithalath, N., Weiss, J., and Olek, J., 2006. Characterizing Enhanced Porosity Concrete Using Electrical Impedance to Predict Acoustic and Hydraulic Performance. *Cement and Concrete Research*, 36(11): 2074-2085.
- Nguyen, D. H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., and Baraud, F., 2014. A Modified Method for the Design of Pervious Concrete Mix. *Construction and Building Materials*, 73: 271-282.
- Özaydın, K., 2005. *Zemin Mekaniği*. Birsen Yayınevi, İstanbul, 261 s.
- Patil, V.R., Gupta, A.K., and Desai, D.B., Use Of Pervious Concrete in Construction of Pavement for Improving Their Performance. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, ISSN:2278-1684: 54-56.
- Putman, B. J., and Neptune, A. I., 2011. Comparison of Test Specimen Preparation Techniques for Pervious Concrete Pavements. *Construction and Building Materials*, 25: 3480–3485.
- Qin, Y., Yang, H., Deng, Z., and He, J., 2015. Water Permeability of Pervious Concrete is Dependent on the Applied Pressure and Testing Methods. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2015. 1–6 (Hindawi Publishing Corporation).
- Radlińska, A., Welker, A., Greising, K., Campbell B., and Littlewood, D., 2012. Long-Term Field Performance of Pervious Concrete Pavement. *Advances in Civil Engineering*, Article ID 380795, 9 s.
- Rehder, B., Banh, K., and Neithalath, N., 2014. Fracture Behavior of Pervious Concretes: The Effects of Pore Structure and Fibers. *Engineering Fracture Mechanics*, 118: 1-16.

- Shea, T., Houghton, B.F., Gurioli, L., Cashman, K.V., Hammer, J.E., and Hobden, B.J., 2010. Textural Studies of Vesicles in Volcanic Rocks: An Integrated Methodology. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 190:271-289.
- Shen, S., Burton, M., Jobson, B., and Haselbach, L., 2012. Pervious Concrete with Titanium Dioxide as a Photocatalyst Compound for a Greener Urban Road Environment. *Construction and Building Materials*, 35: 874-883.
- Sherwani, A. F., 2015. Properties of Pervious Concretes Including Spherical Cold-Bonded Artificial Fly Ash Aggregates. Gaziantep Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Gaziantep, 118 s.
- Shu, X., Huang, B., Wu, H., Dong, Q., Burdette, E.G., 2011. Performance Comparison of Laboratory and Field Produced Pervious Concrete Mixtures. *Construction and Building Materials*, 25:3187-3192.
- Sreedhar, S., and Biligiri, K.P., 2016. Comprehensive Laboratory Evaluation of Thermophysical Properties of Pavement Materials: Effects on Urban Heat Island. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 04016026, 12 s.
- Sumanasooriya, M.S., and Neithalath, N., 2011. Pore Structure Features of Pervious Concretes Proportioned for Desired Porosities and Their Performance Prediction. *Cement and Concrete Composites*, 33: 778-787.
- Tekmen, T., 2006. Kireçtaşlarından Üretilen Kilitli Beton Parke Bloklarının Mekanik Özelliklerinin Değerlendirilmesi. Çukurova Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi, Adana, 53 s.
- Tennis, P.D., Leming, M.L., and Akers, D.J., 2004. Pervious Concrete Pavements. EB302.02, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, and National Ready Mixed Concrete Association, Silver Spring, Maryland, USA, 36 s.
- Torres, A., Hu, J. and Ramos, A., 2015. The Effect of the Cementitious Paste Thickness on the Performance of Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 95:850-859.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 27 s.

- TS 699, 1987. Tabii Yapı Taşları- Muayene ve Deney Metotları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706, Beton Agregaları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 802, 1985. Beton Karışımı Hesap Esasları. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12390-3, 2003. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12390-5, 2002. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 5: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 12390-6, 2002. Beton- Sertleşmiş Beton Deneyleri- Bölüm 6: Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Wang, K., Schaefer, V.R., Kevern, J.T., and Suleiman, M.T., 2006. Development of Mix Proportion for Functional and Durable Pervious Concrete. NRMCA Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, Nashville, TN.
- Webb, P.A., 2001. Volume and Density Determinations for Particle Technologists. Micromeritics Instrument Corp., 16 s.
- Yağcı, İ. Ş., 1991. Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi. İstanbul Teknik Üniversitesi. Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, 65 s.
- Yang, J., and Jiang, G., 2003. Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials. Cement and Concrete Research, 33: 381-386.
- Zhong, R., and Wille, K., 2015. Material Design and Characterization of High Performance Pervious Concrete. Construction and Building Materials, 98: 51-60.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Adana’da doğdu. İlköğrenimini Eşref Mursaloğlu İlköğretim Okulu’nda, ve liseyi de Adana Anadolu Lisesi’nde tamamladı. 2012 yılında Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü’nden mezun oldu. 2015 yılında Çukurova Üniversitesi’nde İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’nda yüksek lisans eğitimine başladı, 2017 yılında “Geçirimli Betonların Yol Kaplaması Olarak Kullanımının Araştırılması” isimli tezini tamamlayarak İnşaat Yüksek Mühendisi unvanını aldı.

