



**GEÇİRİMLİ BETONDA BETON ATIKLARININ
GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

Ömer Faruk GÖKÇE

**Yüksek Lisans Tezi
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL
2022**

(Her hakkı saklıdır.)

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI

**GEÇİRİMLİ BETONDA BETON ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI
OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI**

(Research for the Use of Concrete Waste As Recycling Aggregate in Permeable Concrete)

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ömer Faruk GÖKÇE

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Erzurum

Nisan, 2022



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.

ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü

TEZ KABUL VE ONAY TUTANAĞI

GEÇİRİMLİ BETONDA BETON ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI OLARAK
KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Prof. Dr. A. Ferhat BİNGÖL danışmanlığında, Ömer Faruk GÖKÇE tarafından hazırlanan bu
çalışma, 31/03/2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yapı
Malzemeleri Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı:	Doç. Dr. Rıza POLAT <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Danışman:	Prof. Dr. A. Ferhat BİNGÖL <i>Atatürk Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır
Jüri Üyesi:	Dr. Öğr. Üyesi Dilek OKUYUCU <i>Erzurum Teknik Üniversitesi</i>	Aslı ıslak imzalıdır

Enstitü Yönetim

Kurulunun .../.../.... tarih

ve sayılı kararı.

Bu tezin Atatürk Üniversitesi Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliği'nin ilgili
maddelerinde belirtilen şartları yerine getirdiğini onaylarım.

Prof.Dr. Saltuk Buğrahan CEYHUN

Enstitü Müdürü

Aslı ıslak imzalıdır



FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Graduate School of Natural and
Applied Sciences

T.C.
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ REKTÖRLÜĞÜ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU

Yüksek Lisans Tezi olarak *Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL* danışmanlığında sunulan “Geçirimli Betonda Beton Atıklarının Geri Dönüşüm Agregası Olarak Kullanımının Araştırılması” başlıklı çalışmanın tarafımızdan bilimsel etik ilkelere uyularak yazıldığını, yararlanılan eserlerin kaynakçada gösterildiğini, Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından belirlenmiş olan Turnitin Programı benzerlik oranlarının aşılmadığını ve aşağıdaki oranlarda olduğunu beyan ederiz.

Tez Bölümleri	Tezin Benzerlik Oranı (%)	Maksimum Oran (%)
Giriş	0	30
Kuramsal Temeller	3	30
Materyal ve Yöntem	5	35
Bulgular	2	20
Tartışma	2	20
Tezin Geneli	6	25

Not: Yedi kelimeye kadar benzerlikler ile Başlık, Kaynakça, İçindekiler, Teşekkür, Dizin ve Ekler kısımları tarama dışı bırakılabilir. Yukarıdaki azami benzerlik oranları yanında tek bir kaynaktan olan benzerlik oranlarının %5'den büyük olmaması gerekir.

Sunulan bilgilerin doğru olduğunu, aksi halde doğacak hukuki sorumlulukları kabul ettiğimizi beyan ederiz.

Tez Yazarı (Öğrenci)	Tez Danışmanı
Ömer Faruk GÖKÇE	Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL
26.4.2022	26.4.2022
İmza: Aslı ıslak imzalıdır	İmza: Aslı ıslak imzalıdır

* Tez ile ilgili YÖKTEZ’de yayınlamasına ilişkin bir engelleme var ise aşağıdaki alanı doldurunuz.

☐ Tezle ilgili patent başvurusu yapılması / patent alma sürecinin devam etmesi sebebiyle Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 2 (iki) yıl süreyle engellenmiştir.

☐ Enstitü Yönetim Kurulunun/....../.... tarih ve sayılı kararı ile teze erişim 6 (altı) ay süreyle engellenmiştir.

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım süresince hiçbir desteğini esirgemedен yanımda olan aileme, fikirlerinden, bilim insanı kişiliğinden çok şey öğrendiğim değerli hocam Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL'E; çalışmalarım sırasında ümit verdiği ve destek olduğu için Ağrı İbrahim Çeçen Üniversitesi Patnos Meslek Yüksekokulu Müdürü Mustafa VAROL'a; tezimde bana destek olan değerli meslektaşım Abdulhadi KOŞATEPE' ye teşekkür ederim.

Bu çalışmamı değerli aileme ithaf ediyorum.

Ömer Faruk GÖKÇE



ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GEÇİRİMLİ BETONDA BETON ATIKLARININ GERİ DÖNÜŞÜM AGREGASI OLARAK KULLANIMININ ARAŞTIRILMASI

Ömer Faruk GÖKÇE

Danışman: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Amaç: Bu çalışmada yağış sonrası su taşkınlarının önlenmesi ve yağışın kontrollü yer altı sularına kaynak oluşturması hedeflenmiştir. Bu hedefler doğrultusunda, doğal kaynak ihtiyacının azaltılmasına yönelik beton atıklarından elde edilen geri dönüşüm agregaları kullanılarak geçirimli beton üretilmesi amaçlanmıştır.

Yöntem: Bu çalışmada sınıfı C25 olan beton atığından elde edilen agreganın % 0, % 25, % 50, % 75, % 100 oranında normal agregası ile birleşiminden elde edilen geçirimli betonun birim hacim ağırlığı, boşluk oranı, geçirimsizlik değeri ve basınç dayanımı araştırılmıştır.

Bulgular: Yapılan araştırmalarda geri dönüştürülmüş agregası oranı arttıkça, geçirimli betonun yoğunluğu ve basınç dayanımı azalmakta buna karşın boşluk oranı ve geçirimsizlik değeri artmıştır. Bahsedilen özelliklerin ortak olarak iyi özellik sergilediği oranın % 50 geri dönüştürülmüş agregası içeriğinde olduğu görülmüştür.

Sonuç: Sonuç olarak, geri dönüştürülmüş agregalarla yapılan betonun yağış sularının yoğun olduğu yüksek dayanım gerektirmeyen beton uygulamalarında kullanımının uygun görüldüğü tespit edilmiştir. Ancak uygulama alanına göre farklı oranlar tercih edilebilir. Örneğin yüksek dayanım düşük geçirimsizlik beklenen durumda geri dönüştürülmüş agregası oranı daha düşük oranlarda seçilebilir.

Anahtar Kelimeler: Geçirimli beton, geri dönüştürülmüş agregası, boşluk oranı, basınç dayanımı

Nisan 2021, 59 Sayfa

ABSTRACT

MS THESIS

RESEARCH FOR THE USE OF CONCRETE WASTE AS RECYCLING AGGREGATE IN PERMEABLE CONCRETE

Ömer Faruk GÖKÇE

Supervisor: Prof. Dr. Ahmet Ferhat BİNGÖL

Purpose: In this study, we aim to prevent floods after rainfall and to create a source of controlled groundwater from precipitation. In line with these objectives, it is aimed to produce permeable concrete by using recycling aggregates obtained from concrete wastes in order to reduce the need for natural resources.

Method: In this study, experiments with permeable concrete's specialties are investigated. These are; the unit volume weight, void ratio, permeability value, and compressive strength of the permeable concrete obtained from the combination of the aggregate obtained from the concrete waste of class C25 with 0%, 25%, 50%, 75%, 100% normal aggregate were investigated.

Findings: It is shown in this thesis: as the recycled aggregate ratio increases, the density and compressive strength of the permeable concrete decrease, while the void ratio and permeability value increase. It has been observed that the ratio of the mentioned properties exhibiting good properties in common is at 50% recycled aggregate content.

Results: As a result, it has been determined that the concrete made with recycled aggregates is suitable for use in concrete applications that do not require high strength, where precipitation waters are intense. However, different ratios can be preferred according to the application area. For example, in cases where high strength and low permeability are expected, the recycled aggregate ratio can be selected at lower rates

Keywords: Permeable concrete, recycled aggregate, void ratio, compressive strength

April 2021, 59 Pages

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY TUTANAĞI.....	i
ETİK BİLDİRİM VE İNTİHAL BEYAN FORMU	ii
TEŞEKKÜR	iii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
TABLolar DİZİNİ.....	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ	ix
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	xi
GİRİŞ.....	1
KURAMSAL TEMELLER.....	3
Geçirimli Beton Tanımı	3
Geçirimli beton bileşenleri ve kullanım alanları	4
Geçirimli beton avantaj ve dezavantajları.....	5
Karayolu Tanımı ve Kaplama Çeşitleri.....	6
Esnek ve rijit kaplamalı yollar	6
Geçirimli kaplamalı yollar.	8
Geçirimli beton kaplamalı yollar	10
Geçirimli Beton Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler	14
Agregalar.....	14
Su ve kimyasal katkıları	15
Bağlayıcı malzemeler.....	16
Geçirimli Beton Kaplamalarda Kullanılan Malzemelerin Karışım Oranları	16
Geçirimli Beton Kaplamaların Özellikleri	17
Mekanik ve fiziksel özellikler	17
Geçirimli beton kaplamaların avantaj ve dezavantajları.	18
Geçirimli Beton için Kullanılan Agrega Temini.....	19
Geri dönüşüm agregaları ve standartları	19
İnşaat atıklarından agrega geri dönüşümü ve önemi.....	20
Geri dönüştürülmüş agregaların özellikleri.....	21
MATERYAL ve YÖNTEM	23
Deneysel Malzemeler.....	23
Agregalar ve inşaat atıklarından geri dönüştürülmüş agregalar.....	23

Çimento	25
Su ve kimyasal katkıları	26
Oranlara Göre Geçirimli Beton Hazırlama	26
Deneysel Yöntemler	27
Yoğunluk tespiti	27
Boşluk oranı tespiti	28
Geçirimsizlik testi	28
Basınç dayanım testi	28
ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	30
Birim Hacim Ağırlık	30
Boşluk Oranı	31
Basınç Dayanımı	34
Geçirimsizlik	36
SONUÇ	40
KAYNAKLAR	42
ÖZGEÇMİŞ	46

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 1. Geçirimli Beton İçin Karışım Oranları	16
Tablo 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri	25
Tablo 3. Kullanılan Çimentonun Kimyasal İçeriği, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri	25
Tablo 4. Geçirimli Beton İçeriği	26
Tablo 5. Elde Edilen Veriler	30



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Geçirimli betonun şematik modeli	3
Şekil 2. Esnek kaplama tipi	7
Şekil 3. Rijit kaplama tipi.....	7
Şekil 4. (a) Rijit kaplama ve (b) Esnek kaplamalar üzerindeki yüklere göre davranışları.....	8
Şekil 5. Geçirimli asfalt kaplama yolun yağış suyu geçirmesinin şeması	9
Şekil 6. (a) Geçirimsiz asfalt ile (b) geçirimli asfalt arasındaki fark	9
Şekil 7. Geçirimli kaplama türlerinden (a) ızgara tipi beton parke taşları ve (b) geçirimli beton kilit taşları.....	10
Şekil 8. Antik Roma yolunun yapısı	11
Şekil 9. Geçirimli beton tasarımı (a) geçirimli alt zemin (b) az geçirimli alt zemin.....	12
Şekil 10. Geçirimli beton	13
Şekil 11. Beton içerisinde bulunan boşluk-geçirimsizlik hızı arasındaki ilişki.....	13
Şekil 12. Geçirgen kaplama yolların çevresel faydaları.....	14
Şekil 13. Agrega elde edilen ocak görünümü.....	15
Şekil 14. (a) Geçirimli betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasındaki ilişki (b) geçirimli beton içerisinde bulunan boşluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki.....	18
Şekil 15. (a) İnşaat yıkıntısı (b) ve (c) geri dönüşüm agregası (d) agregaların yıkanması (e) geçirimli beton dökümü	24
Şekil 16. Numune ağırlıkları (a) N100G0 (b) N75G25 (c) N50G50 (d) N25G75 (e) N0G100	27
Şekil 17. Basınç dayanım testi	29
Şekil 18. Birim hacim ağırlık değişimi	31
Şekil 19. %50 GDA %50 NA kullanılmış numunenin boşluk görünümü	32
Şekil 20. %50 GDA %50 NA kullanılmış numunenin CSH yapısı ve boşluk görüntüsü	32
Şekil 21. Boşluk oranı değişimi	33
Şekil 22. Birim hacim ağırlık ve boşluk oranı arasındaki ilişki	33
Şekil 23. Örnek olarak %100 geri dönüşüm agregası ile üretilmiş numunenin basınç testi	34
Şekil 24. Basınç dayanım değişimi	35
Şekil 25. Basınç dayanımı ve boşluk oranı arasındaki ilişki.....	35
Şekil 26. (a) % 100 GDA üretilmiş numune (b) % 50 NA % 50 GDA üretilmiş numune	36
Şekil 27. % 50 NA % 50 GDA üretilmiş numunenin geçirimsizliğine etki eden boşluklu yapısının SEM görüntüsü.....	37

Şekil 28. Geçirimlilik değeri değişimi	37
Şekil 29. Geçirimlilik değeri ile boşluk oranı arasındaki ilişki	38
Şekil 30. Birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, geçirimlilik değeri ve boşluk oranı arasındaki ilişki	38



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

°C	Santigrad Derece
a/ç	Agrega/Çimento Oranı
cm	Santimetre
cm ³	Santimetre Küp
gr	Gram
kg	Kilogram
m	Metre
m ³	Metre Küp
mm ³	Milimetre Küp
Mpa	Megapaskal
N	Newton
s/ç	Su/Çimento Oranı
sn	Saniye

Kısaltmalar

ACI	American Concrete İnstitute : American Beton Enstitüsü
A _k	Kuru numunenin ağırlığı
ASTM	American Society for Testing and Materials
B _k	Yüzey kuru-suya doymun numune ağırlığı
C _k	Yüzey kuru-suya doymun numunenin sudaki ağırlığı
EN	European Norm : Avrupa Standardı
GDA	Geri Dönüştürölmüş agrega
TS	Türk Standartı
ρ	Suyun yoğunluğu (gr/cm ³)

GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknoloji insanların sınırsız istek ve ihtiyaçlarına göre şekillenebilmektedir. Bu ihtiyaçların karşılanabilmesi düşünüldüğünde başta ulaşım olmak üzere her sektör için bir yapı söz konusu olmaktadır. Yapı malzemesi olarak da bilindiği üzere en fazla kullanım beton ve türevlerinde olmakla birlikte üretim yöntemlerine ve karışım malzemelerine göre çeşitlenen betonlardan birisi de geçirimli betondur. Geçirimli beton; ince agreganın kullanılmadığı birbirine bağlı boşluklar ihtiva eden betonlar geçirimli (poroz) beton olarak tanımlanmaktadır.

Kentleşmenin hızlanması ile daha fazla beton yapılar kullanılmakta ve bu durum çevresel faktörler başta olmak üzere bir takım problemleri ortaya çıkarmaktadır. Bu problemlerin başında daha önceden aynı oranlarda yağış alan bir bölgede bir problem olmazken geçirimsiz betonların kullanımının artması ile yağış durumunda sel ve su baskınları oluşmaktadır. Bunun yanında beton yapıların oluşturduğu bölgenin sıcaklığı yüksek olmasına neden olmaktadır (Bean et al. 2007). Geçirimli beton, yollarda, otoparklarda, bahçe alanlarında ve trafiğin az olduğu yol uygulamalarında kaplama malzemesi olarak kullanımı sağlanabilir (Elango et al. 2021). Bu ve benzeri sorunlara çözüm bulmak adına geçirimli betonların kullanılması yüzey sularının akışa dönüşmesinin engellenmesi, yeraltı sularına karışacak yüzey sularına filtre görevi görmesi, içerisinde bulunan hava boşlukları sayesinde ortamın sıcaklığını düşürücü etki göstermesi gibi etkilerinden dolayı oldukça önemli olmuştur. Aynı zamanda yollarda kullanılması konforlu ulaşım, yol üzerinde su birikintilerinin drene olması ile su kızaklamanın engellenmesi, gece sürüşlerinde ıslak yolun ışığı yansıtması gibi faydalar sağlamaktadır (Polat 2019).

Geçirimli üstyapılar ile alakalı araştırmalar 1967 yıllarında İngiltere’de, ilk etapta orta yük veya orta yoğunluktaki trafik koşullarında, daha sonra yüksek yük veya yüksek yoğunluktaki trafik şartlarında çalışma durumları üzerine çalışmalar yapılmıştır. Karayolu kaplama çeşitleri esnek, rijit ve üstyapılar ve stabilize yollar olarak sınıflandırılmaktadır. Esnek üstyapılar asfalt kaplama tabakaları, rijit üstyapılar çimento betonu ile yapılan kaplama tabakaları ile oluşturulur. Stabilize yollar ise kum ve çakılın birleşimi yol üzerine serilip sıkıştırılarak oluşturulan yollardır. Ayrıca geçirimli beton malzemelerin ve geçirimli beton kaplamaların mekanik, yapısal ve hidrolojik davranışlarının hesaplamalı modellenmesine yönelik çabalar yapılmıştır. Bu önemli konulardaki en son teknolojinin bu kapsamlı incelemesine dayanarak, gelecekteki araştırmalar için ihtiyaç duyulan alanlar belirlenmiştir

(Othman and Somayeh 2021). Drenaj amacıyla yapılan geçirimli beton kaplamanın sağladığı diğer faydalarla birlikte yoğun bir şekilde kullanılması söz konusu olmuştur. Geçirimli beton kaplama gürültü absorbe etmesi, yol üzerinde su birikintisi oluşturmaması ile sürüş güvenliği sağlaması, daha iyi lastik kavraması oluşturmaması bahsedilen faydalardan bazılarıdır. Diğer taraftan boşlukların tıkanması, yol yüzeyinde sıcaklığın düşük olması don olayının fazla olması, kaplama mukavemetinin düşük olması ve geleneksel betona göre daha fazla agreganın kullanılması dezavantajları arasında gösterilmektedir(Yağcı 1991; Polat 2019).

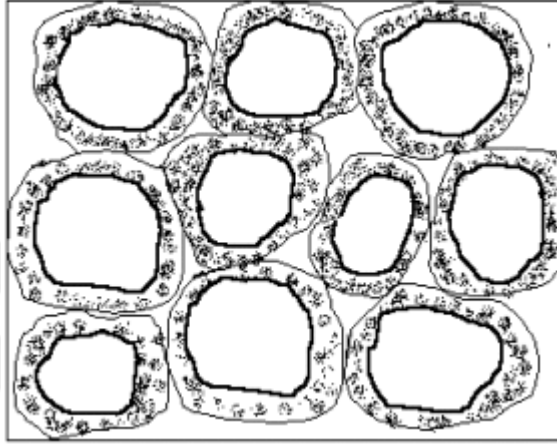
Geçirimli betonun en önemli bileşenlerinden biri olan agregalar sınırsız istekler karşında oldukça sınırlı doğal kaynak olarak görülmektedir. Son yıllarda doğal kaynakların hızla tükenmesine karşı geliştirilen tedbirler arasında en önemli argüman geri dönüşüm olmaktadır. Depolama sahasının artan maliyeti ve agreganın için doğal kaynakların yetersizliği, inşaat alanlarından gelen atıkların agreganın kaynağı olarak kullanılmasını son yıllarda önemli oranda artırmıştır (Bhutta et al. 2013). Doğal kaynak olan ve geçirimli betonda fazlaca kullanılan agreganın ikamesi olarak, çeşitli yöntemlerle daha önceden yapılmış olan yapılardan elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar üzerine çalışmalar yapılmakta ve geçirimli betonun özellikleri araştırılmaktadır. Böylece geri dönüşüm ürünleri ile doğal kaynaklar üzerindeki baskı azaltılmaya çalışılmakta ve çevreye duyarlı üretim yapılabilmektedir.

Bu çalışmada, doğal agreganın ile birlikte geri dönüştürülmüş agregaların belli oranlarda geçirimli betonlarda birlikte kullanılması amacıyla yapılmıştır. Doğal agreganın ve geri dönüştürülmüş agregalarla üretilen betonun yoğunluk, boşluk oranı, geçirimsizlik değeri, basınç dayanımı gibi özellikleri kullanılan agreganın oranına göre incelenmiş ve sonuçlar ortaya konulmuştur.

KURAMSAL TEMELLER

Geçirimli Beton Tanımı

Geçirimli beton için genel anlamda; kaba agregata ve portland çimentosu karışımı içerisine su ve kimyasal katkı katılarak oluşturulan Şekil 1’de görüldüğü gibi birbirleri ile bağlı boşluklu yapıli beton olarak tanımlanabilir (Obla. 2010)



Şekil 1. Geçirimli betonun şematik modeli (Yang and Jiang 2003)

Geçirimli beton incelendiğinde esasen bir kompozit malzeme olarak adlandırılabilir. İçerisinde bulunan iri agregalar beton yapının çerçevesini oluşturmaktadır. Çimento hamuru agregaların bir arada olmasını sağlayan matristen oluşmaktadır. Bu kompozit malzeme içerisinde yani geçirimli beton içerisinde 1mm boyutunun üzerinde birçok boşluk bulunmaktadır. Bu durumun geçirimli betonun mukavemetini düşürücü etki oluşturmasının yanında su geçirimi yönünden hızlı bir akış oluşturabilmektedir.

Geçirimli beton birçok özelliğe sahip olmasına rağmen geçirimli betonun deneyimli bir üretimi ve doğru karışım oranlarına sahip olması gerekmektedir. Doğru karışım oranları, uygun üretimle sıkıştırma ve sertleşme geçirimli betonun özellikleri açısından oldukça önemlidir. Bu durumda dikkat edilecek bazı hususlar yardımıyla geçirimli betonunun mukavemet ve su geçirimsizlik verimi daha etkin olacaktır. Bu hususlar;

- Kullanılacak su/çimento oranı ağırlıkça 0,27-0,3 aralığında olması önerilir
- Geçirimli beton için bağlayıcı/agrega oranı ağırlıkça 0,18 ila 0,22 aralığında olması önerilir
- Geçirimli beton için kullanılacak agregalar iri boyutlarda olmalıdır. Bu agregata boyutları yaklaşık 9.5-19mm boyutlarında değişkenlik gösterebilmektedir. Bunun

yanında geçirimli betonun mukavemetini arttırmak için 2,4mm boyutunun altında çok az miktarda ince agrega kullanılabilir.

- Otopark veya park alanlarında geçirimli beton kullanımı düşünülüyor ise su geçirgen beton eğimi %5'ten daha az olması önerilmektedir.
- US EPA (Amerika Birleşik Devletleri Çevre Koruma Ajansı) tarafından 0,127cm/saat infiltrasyon oranına sahip toprak, geçirimli beton ve asfalt kullanılması önerilmektedir.
- Soğuk ve dondurucu iklimlerde binalar ve geçirimsiz ortamlardan gelen su akışının geçirimli betona deşarjı önlenmesi yine öneriler arasındadır.
- Geçirimli beton için boşluk oranı %12-%20 arasında olacak şekilde üretim önerilmektedir (Öztürk 2017)

Yukarıda bahsedilen bazı öneri ve tavsiyeler ışığında üretilecek geçirimli betonların mukavemet, su geçirimsizlik gibi özelliklerinden optimum faydalar sağlanabileceği çıkarılabilmektedir (Öztürk 2017).

Geçirimli beton bileşenleri ve kullanım alanları

Geçirimli betonun doğası gereği boşluklu bir yapıda olmasını sağlayacak özellikte olabilmesi için dikkatli bir şekilde seçilmiş ve yeterli kullanım oranı tespit edilmiş bileşenlerden oluşmaktadır. Oluşturulan geçirimli beton bileşenlerden biri olan su miktarı, çimento hamurunun agregaların çevresini saracak agregaları bir arada tutabilecek formda olacak şekilde kullanılmalıdır. Bunun için su bileşenine yardımcı olabilecek kimyasal katkıları da kullanılmaktadır. Diğer taraftan geçirimli beton için her ne kadar betonun dayanımını artırıcı etki gösterse de geçirimsizlik değerlerinde azalmalara neden olduğu için ince agrega kullanılmamaktadır (Neptune and Putman 2010; Akakın ve Kılınç 2011).

Geçirimli beton için bileşen malzemeleri ve standartları aşağıdaki gibidir.

Çimento; TS-EN 197-1, TS EN 14216, TS EN 14647, TS EN 15743, TS 21 ve TS 13353 gibi özel olarak adlandırılan standartlara uygun olarak seçilmelidir. Genellikle geçirimli beton karışımında çimento miktarı 110-330 kg/m³ aralığında değişkenlik göstermektedir (THBB 2018)

Su; karışım suyu olarak TS EN 1008 standartına uygun olmalıdır. Ayrıca su/bağlayıcı oranı optimum 0,3-0,35 değerindedir (THBB 2018).

Kimyasal katkı malzemeleri; geçirimli betonun boşluklu yapıda olması için hava sürükleyici, hidratasyon düzenleyici ve akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları TS EN 934-2 standardına uygun olarak ihtiva edebilmektedir (CPG 2013)..

Agregalar; geçirimli beton için iri agregalar seçilmek üzere doğal normal ağırlıklı, hafif agregalar, hava ile soğutmalı yüksek fırın cürufu agregalar ve geri dönüştürülmüş agregalar donma çözölmeye, aşınmaya karşı dirençli olmalı ve geçirimli beton içerisinde kullanım miktarı yaklaşık 1500-1800 kg/m³ olmalıdır. Sonuç olarak TS 706 EN 12620 ve TS EN 13055 standartlarına uygun olmalıdır (Kevern at al. 2008).

Geçirimli betonların kullanım alanları aşağıdaki gibidir;

- Toprak erozyonunun olduğu bölgeler ve rüzgar tarafından taşınan toz gibi tortulara maruz kalan alanlarda,
- Kirletici alanların kullanım ve yükleme alanlarında ve çökebilir atıklar veya atıkların bulunduğu bölgeler
- Yol kaplamalarında,
- Yalıtım uygulamalarında,
- Tarımsal ve sanayi alanlarından gelen araçların kullanmak zorunda olduğu yollarda
- Yakıt gibi çeşitli kimyasalların depolandığı alanlarda,
- Sera altı döşemelerde, bahçe alanları ve çevre düzenlemelerinde,
- Spor alanlarında, havuz kenarlarında,
- Yaya geçitlerinde, parklarda, otoparklarda ve kaldırımlar

gibi alanlarda uygulanabilmektedir (Tennis et al. 2004).

Geçirimli beton avantaj ve dezavantajları

Aşağıda bildirilen avantajlar genel başlıklar halinde verilmiştir. Bu başlıklar altında geniş bir açıdan araştırıldığında geçirimli beton kullanımı birçok yönden fayda sağlamaktadır (Öztürk 2017).

- Doğaya uyumlu zeminler elde edilerek su taşkınları büyük ölçüde önleyebilir, yağmur suyu yönetimiyle taşkınları kontrolü için kullanılabilen,
- Yağış sularının yer altı kaynaklarına ulaşması öncesinde filtre görevi görmek ve yüzeyde bulunan suyun yer altı su kaynaklarına ulaşmasında etkin rol oynar,
- Yollar üzerinde buzlanma oluşumunu, yol üzerindeki yansımaları önleyerek güvenli sürüş, yol sesini azaltarak daha konforlu sürüş sağlar,

- Sulak alanlarda kuraklığın önlenmesinde, şehirlerde ağaçların sulama ihtiyacını azaltır,
- Yine şehirlerde zemin serinliği sağladığı için, soğutmada kullanılan enerji tüketimini azaltır

Aynı durum dezavantajları yönünden incelendiğinde;

- Geçirimli betonun tıkanması söz konusu olduğu için kısa aralıklarla vakum süpürme gerektirmesi,
- Yapımı gerekli şartları yerine getirmiş firmalar tarafından yapılması ve başarılı bir uygulama olması için uygun malzeme kalite kontrolü gerektirir, bu durum malzeme maliyeti normal betonlara göre daha fazla olmasına sebep olmakta,
- Ağır tonajlı ve yoğun trafiğin olduğu bölgelerde kullanılması uygun olmamakta,
- Çok soğuk yani don olayı görülen bölgelerde yüzey sıcaklığını azaltıcı etki gösterdiği için yol kaplamalarında sürüş güvenliği açısından tercih edilmemekte,

gibi durumlar dezavantajlar olarak ifade edilebilmektedir (Öztürk 2017).

Karayolu Tanımı ve Kaplama Çeşitleri

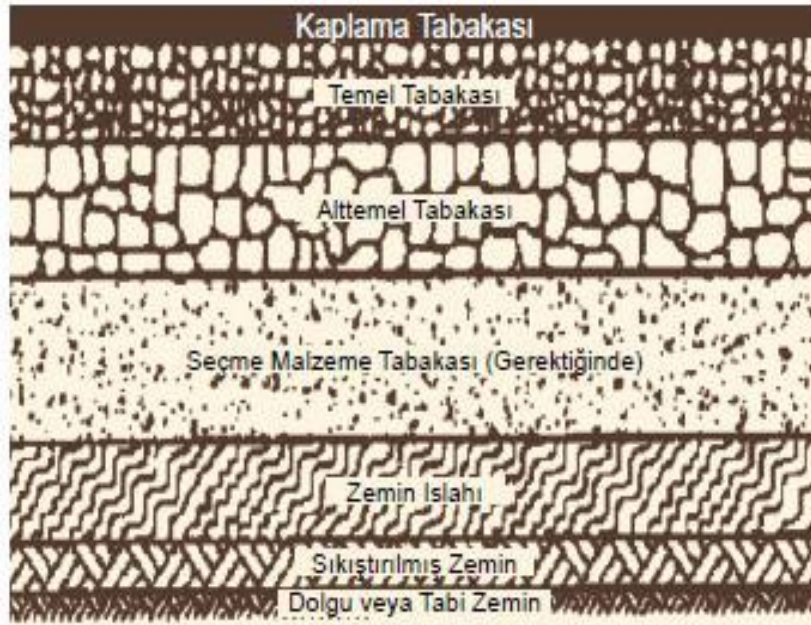
İnsanlık tarihi boyunca karayollarına olan ihtiyaçlarını dağ geçitleri, vadiler ve keçi yolları gibi doğal yolları kullanarak başlamışlardır. Medeniyetlerinin gelişmesi ile birlikte doğal karayollarının yerini daha gelişmiş toprak ve taş yollar, ardından günümüzde kullanılan çeşitli asfalt ve beton yollar almıştır. Bu bağlamda karayolu; arazi kullanım biçiminde çeşitli taşıt ve yayanın belirli standartlara göre özellikleri belirlenmiş güvenli ulaşım için kurallara göre işaretlenmiş bir arazi bölümüdür (Yayla, 2006).

Karayolları çalışmalarının yapıları, şuan bulunan yoğun trafiğe ek olarak gelecekteki ağır ve daha yoğun trafiğe hizmet verecek şekilde hizmete devam edebilmesi için çalışmalara önem verilmektedir. Bu sebeple karayollarının daha güvenli ve uzun süre hizmet verebilmeleri için esnek, rijit ve stabilize kaplama türleri olarak karayolları üstyapı çalışmaları yapılmaktadır (Ağar vd. 1998).

Esnek ve rijit kaplamalı yollar

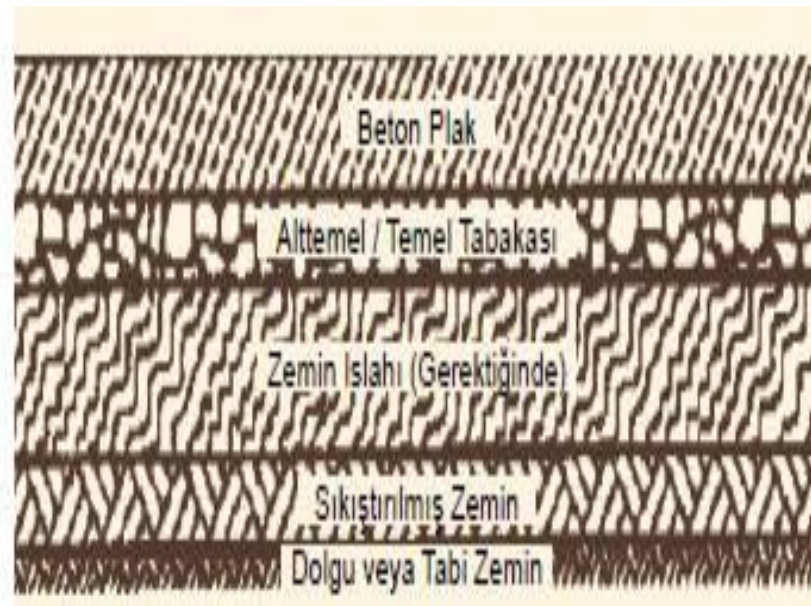
Esnek kaplamalı yollar; karayolu olarak belirlenen arazi bölümü üzerine asfalt örtülerek oluşturulan üstyapı kaplamasına “ esnek üstyapı” denir. Esnek kaplama, üzerinde bulunan yükleri alt temel ve temel tabakalar sayesinde tabanda bulunan zemine dağıtan bir üstyapı kaplamasıdır. Bu tabakanın özelliği, kaplamada kullanılan bitümlü bağlayıcılara, agrega boyutu ve agrega özellikleriyle yakından ilişkilidir (Ilıcalı vd. 2001).

Şekil 2’de görüldüğü üzere esnek kaplama yapılan yolların tabakaları verilmektedir. Esnek kaplama çevresel koşulların yanı sıra, trafik yoğunluğu sürüş güvenliği ve konforu gibi mevcut faktörlere bağlı olarak tasarlanmaktadır.



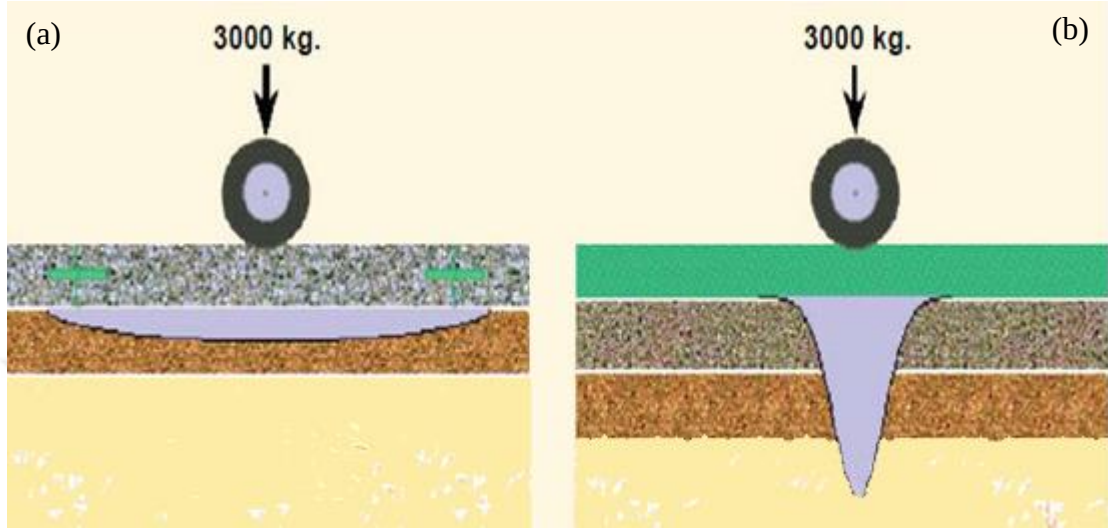
Şekil 2. Esnek kaplama tipi (Toz 2016)

Rijit kaplamalı yollar ise; karayolu olarak belirlenen arazi bölümü üzerine beton örtülerek oluşturulan üstyapı kaplamasına “ rijit üstyapı” denir. Trafik yoğunluğunun yüksek olduğu şehir içi yollarda genellikle kullanılmaktadır (THBB 2003). Şekil 3’de rijit kaplama yapılan yolun bileşenleri verilmektedir.



Şekil 3. Rijit kaplama tipi (Toz 2016)

Kullanılan kaplama tipinin üzerinde bulunan trafik yoğunluğunun oluşturduğu baskıya göre kaplamaların gösterdikleri davranış Şekil 4’de verilmiştir. Esnek üstyapıda yük tam olarak taşınamamakta ve yükün oluşturduğu baskı alt tabana derinlemesine nüfuz etmektedir. Ancak rijit kaplamada kullanılan beton yapı, üzerinde bulunan yükü alt tabana dağıtarak yükün karşılanması daha başarılı bir şekilde sağlanmış olduğu görülmektedir.



Şekil 4. (a) Rijit kaplama ve (b) Esnek kaplamalar üzerindeki yüklere göre davranışları (Toz 2016)

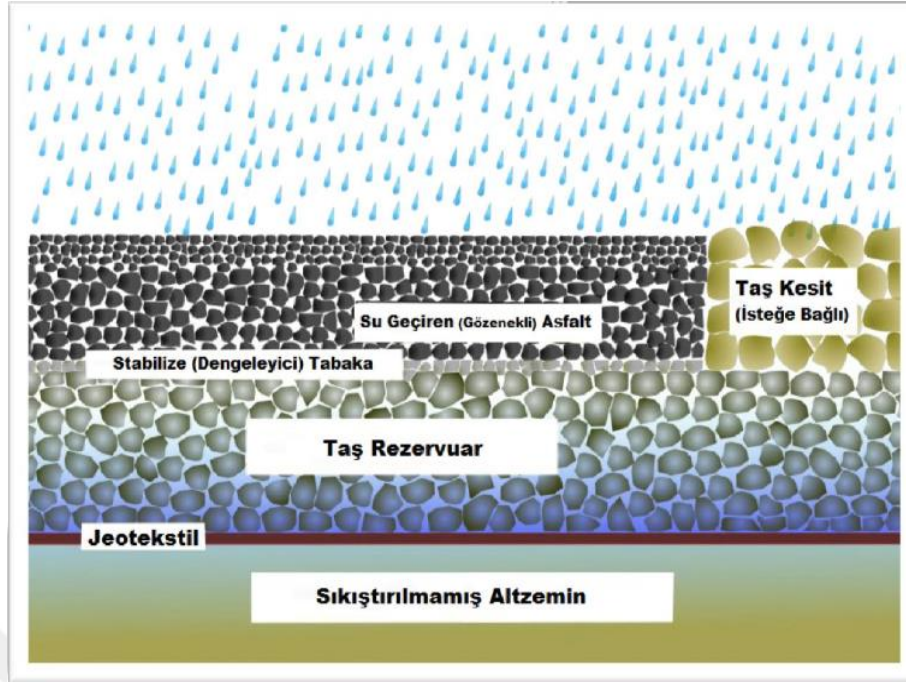
Geçirimli kaplamalı yollar.

Kırsal bölgelerde yaşayan insanların kentlere göç etmesi ile şehirlerde ihtiyaç duyulan geçirimsiz beton yapılar, geçirimsiz kaplamalı yollar ve kullanım alanları neticesinde kentin normal şartlarda aldığı yağış miktarının sel ve su baskınlarına neden olduğu bilinmektedir. Ancak geçirimli beton ve kaplamalar ile yağış sonucu oluşan yüzey suları Şekil 5’de gösterildiği gibi drenaj edilmiş olmaktadır. Ayrıca geçirimli beton ve kaplamalar ile yol üzerinde oluşan su birikintileri Şekil 6’da olduğu gibi engellenerek yol güvenliği sağlanmış olmaktadır. Yine kentlerde kullanılacak geçirimli betonlar ve kaplamalar Şekil 7’de, yağış sularının toprağa geçmesini sağlamaktadır. Bu ve benzeri özelliklerinden dolayı yaygın bir şekilde kullanılma çalışmaları oldukça artmaktadır (Bean et al. 2007).

Geçirimli kaplamalı yollar genel olarak

- Geçirimli beton
- Geçirimli asfalt
- Geçirimli kilit taşlar
- Beton parke taşları

olarak sınıflandırılabilirler (Scholz and Grabowieck, 2007).



Şekil 5. Geçirimli asfalt kaplama yolun yağış suyu geçirimesinin şeması (Öztürk 2007)



Şekil 6. (a) Geçirimsiz asfalt ile (b) geçirimli asfalt arasındaki fark (Öztürk 2007)

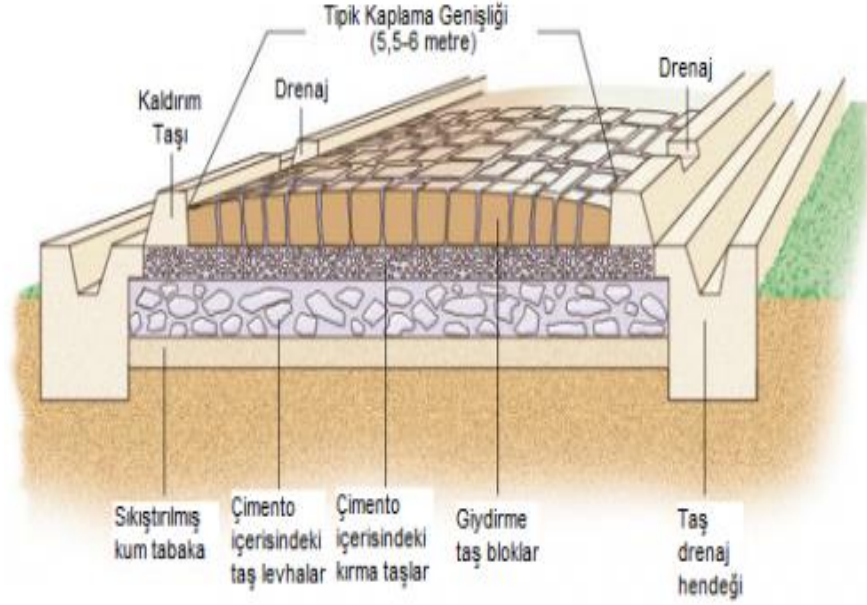


Şekil 7. Geçirimli kaplama türlerinden (a) ızgara tipi beton parke taşları ve (b) geçirimli beton kilit taşları (Öztürk 2007)

Geçirimli beton kaplamalı yollar

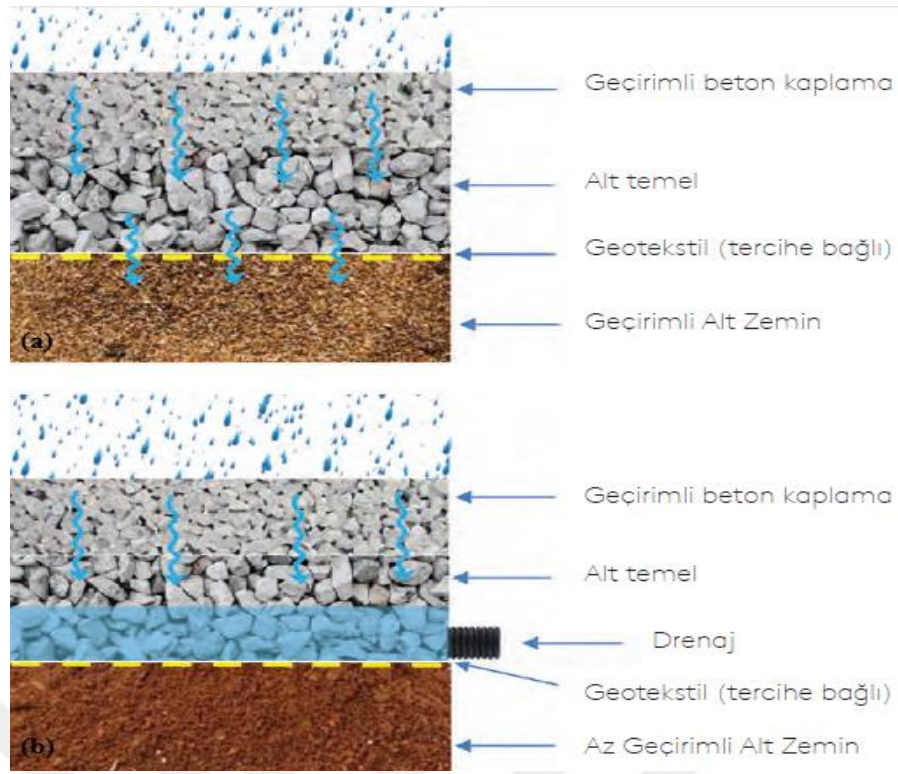
Geçirimli beton, bilinen beton yapılardan farklı olarak boşluklu bir betondan oluşmaktadır. Geçirimli betonda genelde iri agregalar kullanılmakta olup geçirim sağlanması için ince agregalar kullanılmamaktadır. İri agregaların kullanılması ile bilinen betona göre daha çok hava ve daha çok su geçişine izin vermektedir. Geçirimli beton içeriğinde portland çimentosu, su, kimyasal katkıları ve kaba agrega ile oluşan poroz yapıya sahip beton şeklinde ifade edilebilmektedir (Topçu 2019).

İlk çağlarda o dönemin gelişmiş yolları Romalılar tarafından kullanılmakta olup Şekil 8’de, ilk beton yollar 19.yüzyılda Avustralya’da ve Amerika’da kullanıma açılmıştır (Polat 2019). Beton yolların kullanım ömürleri ve sağladıkları avantajlar neticesinde 20.yüzyılda kullanımları yaygınlaşmıştır.



şekil 8. Antik Roma yolunun yapısı (Muyap 2018)

şehirleşmenin artması ile su baskınlarının engellenmesi ve temiz su temininin hayati öneme sahip olduğu son yıllarda geçirimli beton yapıların kullanılması ve yaygınlaştırılması son derece önemlidir. Geçirimli betonun sahip olduğu boşluklu yapı sayesinde yağışların sele dönüşmesinin engellenmesi ve yer altı su kaynaklarına karışan yağmur sularının filtrelenmesi şekil 9’da gösterildiği gibi sağlanmaktadır. Bu faydalara ek olarak geçirimli betonun yapısında bulunan boşluklar araç lastiklerinin çıkardığı gürültüyü absorbe etmesi ve sıcaklığı yapısındaki boşluklarda tutması ile şehirlerin ısıl konforunu arttırması başka bir açıdan fayda sağlamaktadır (Yang and Jiang, 2003; Xie et al. 2019).

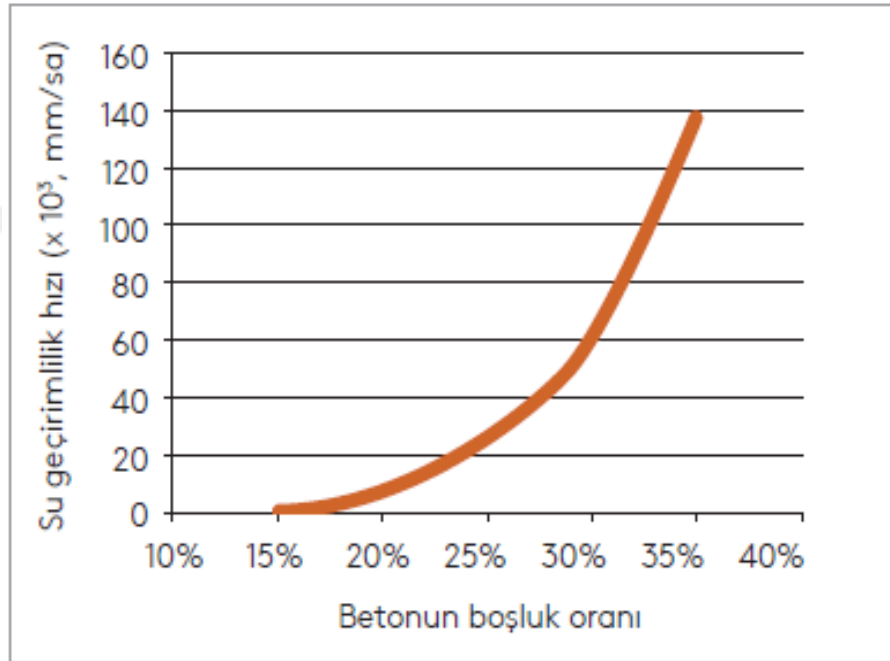


Şekil 9. Geçirimli beton tasarımı (a) geçirimli alt zemin (b) az geçirimli alt zemin (THBB 2018)

Geçirimli betonun yapısında bulunan boşluklar sayesinde üzerine gelen suyun başarılı bir şekilde drene edilmesi Şekil 10’da verilmiştir. Ayrıca geçirimli betonun yapısında bulunan boşluklar ile su geçirimlilik oranı arasında yakın bir ilişki bulunmaktadır. Bildirildiği üzere betonun geçirimli olabilmesi için yapında hava boşluğunun en az % 15 olması gerekmektedir. Şekil 11’de boşluk oranının su geçirimlilik oranı arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 10. Geçirimli beton (THBB 2018)



Şekil 11. Beton içerisinde bulunan boşluk-geçirimlilik hızı arasındaki ilişki (THBB 2018)

Geçirimli beton uygulamaları genel olarak aşağıdaki şekilde sıralanabilmektedir;

- Yollar ve kaldırımlar,
- Yaya geçitleri,
- Bisiklet yolları,
- Bahçeler ve bahçe avluları,
- Otopark alanları
- Çeşitli sosyal alanlar,

➤ Sera alt döşemeleri ve peyzaj çalışmaları

Ayrıca Şekil 12’de geçirimli betonun çevresel etkileri şekil üzerinde kısaca özetlenmiştir.



Şekil 12. Geçirgen kaplama yolların çevresel faydaları (Topçu 2019; Xie et al. 2019)

Geçirimli Beton Kaplamalarda Kullanılan Malzemeler

Agregalar

Agrega; farklı boyutlarda yapay veya doğal kırılmış ve kırılmamış kum, çakıl ve kırma taşların bütünü olarak tanımlanabilir. Beton içerisinde yaklaşık % 75 oranında bulunabilmektedir. Beton agregası Şekil 13’de ise, beton yapımında kullanılan diğer malzemeler ile bütün hale getirilen, yaklaşık 100 mm boyutlarını aşmayan ve organik olmayan kırılmış veya kırılmamış tanelerden oluşan yığın olarak tanımlanabilmektedir (Bhutta et al. 2013; Güçlüer vd. 2017).



Şekil 13. Agregada elde edilen ocak görünümü (Atmaca inşaat taş ocağı)

Geçirimli beton, büyük oranda kaba agregaya içeren bunun yanında çok az ya da hiç ince agregaya içermeyen, birbirine bağlı boşluklara sahip beton tipidir. Ayrıca geçirimli betonun boşluk içermesinden dolayı normal betona göre daha düşük yoğunluğa ve daha düşük termal iletkenliğe sahiptir (Zaetang et al. 2013; Nguyen et al. 2014).

Geçirimli betonun yapısında bulunan agregaya boyutu, kalitesi ve özellikleri beton açısından son derece önemlidir. Geçirimli betonda uzun ve yassı agregalardan kaçınılmanın yanında, ince agregaların neden olacağı boşluk sayısındaki düşüşlerden dolayı geçirimli beton üretilirken kullanılmamalıdır. Bu durumda geçirimli beton için kullanılacak olan agregaların boyutları genellikle 9,5-19 mm arasında seçilmelidir (ACI 522R-10, 2010)

Su ve kimyasal katkıları

Geçirimli beton üretim aşamasında kullanılacak suyun kalitesi temiz içilebilir kalitede olması gerekmektedir. Standartlara belirtilen kalitede ki su ile çimento su/çimento 0,26-0,40 aralığında bulunmalıdır. Çünkü suyun az kullanılması çimento kıvamını ve buna bağlı olarak sıkıştırma problemlerini ortaya çıkaracak, çok kullanılması durumunda ise boşlukların çimento harcı tarafından doldurulması söz konusu olacaktır (ACI 522R-10 2010).

Kimyasal katkıları üretilecek olan beton çeşidi ve hava şartları gibi durumlara göre kullanılmaktadır. Geçirimli betonun uygun hava şartlarında hızlı priz olma özelliğinden dolayı priz geciktirici veya soğuk havalarda hızlı priz durumu istendiğinde priz hızlandırıcı kimyasal

katkılar seçilebilmektedir. Kullanılacak kimyasal veya kimyasalların beton üzerindeki etkileri iyi bilinerek seçilmeli ve eklenmelidir (ASTM C494; ASTM C260 10a).

Bağlayıcı malzemeler

Geçirimli beton üretiminde Portland çimentosu temel bağlayıcı katkı olarak kullanılmaktadır. Bunun yanında tamamlayıcı katkı olarak yüksek fırın cürufu, silis dumanı gibi ek katkı malzemeleri de kullanılabilir (Topçu 2019).

Geçirimli Beton Kaplamalarda Kullanılan Malzemelerin Karışım Oranları

Üretilmek istenen geçirimli betonun kullanım yerine göre agrega-çimento veya su çimento oranı veya bağlayıcı malzeme oranı çok büyük yelpazede değişiklik göstermektedir. Geçirimli betonun üretiminde en çok kullanılan mutlak hacim yöntemi başta olmak üzere artık çimento hamuru teorisi gibi, geçirimli betonun istenen özellikleri sağlaması açısından birçok tasarım ve karışım oranı üzerine çalışmalar bulunmaktadır (ACI 522R-10, 2010; Nuguyen et al. 2014; Topçu 2019).

Çimento için; geçirimli beton üretiminde genelde çimento miktarı 110-130 kg/m³ aralığında, su-bağlayıcı malzeme oranı yaklaşık 0,25-0,35 arasında kullanılması önerilmektedir (THBB, 2018)

Agregalar için; kullanılacak olan agregaların TS-706 EN 12620 standartlarına uygun olarak seçilmelidir. Bilindiği üzere geçirimli beton içerisinde kaba agregalar kullanılmalı yani boyutları 9,5- 19 mm arasında sınırlandırılmalıdır. Bu boyutlarda agregaların geçirimli beton içerisinde 1500-1800 kg/m³ kullanılmalıdır. Kimyasal katkıları ise TS EN 934-2'ye uygun olarak geçirimli beton için boşluklu yapının oluşması için hava sürükleyici veya hidratasyon düzenleyici katkıları uygun oranlarda kullanılabilir (THBB 2018).

Geçirimli beton için farklı tasarımlar bulunmasına rağmen genellikle önerilen karışım oranları; Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Geçirimli Beton İçin Karışım Oranları (Topçu 2019)

Geçirimli Beton İçeriği	ACI 522 Raporuna Göre
Agrega (kg/m ³)	1190-1480
Bağlayıcı katkı (kg/m ³)	270-415
Agrega-Çimento Oranı (ağ)	4:1-5,5:1
Su-Çimento Oranı (ağ)	0,27-0,34

Geçirimli beton tasarımı, geçirgenlik özelliği iri boyutlu agregaların kütlece daha fazla buna karşın ince agreganın kütlece % 10'dan daha az bulunması sayesinde ortaya çıkmaktadır. Bu betonun içeriğinde agrega/çimento oranı ve su/çimento oranı geçirimli betonun boşluk oranını etkilemesinin yanında geçirimli betonun mekanik özelliklerini de etkilemektedir. Aynı zamanda agreganın betona katılma oranına ek olarak, agregaların kendi özellikleri de geçirimli betonun özelliklerini etkilemektedir (Topçu 2019).

Geçirimli Beton Kaplamaların Özellikleri

Mekanik ve fiziksel özellikler

Geçirimli betonun mekanik ve fiziksel özellikleri, büyük ölçüde beton yapısına katılan agrega miktarına ve özelliklerine bağlı olmakla birlikte, su/çimento oranı, bağlayıcı malzemelerin oranının da etkisi göz ardı edilemez. Bu bağlamda yapılan çalışmalarda geçirimli betonun çekme dayanımı, basınç dayanımı üzerine birçok çalışma yapılmıştır. Bunun yanında geçirimli betonun geçirimlilik oranı, gürültü yutma ve yol tutuş oranı gibi özelliklerde betonun mekanik özelliklerine bağımlı değişkenler olarak ele alınmalıdır.

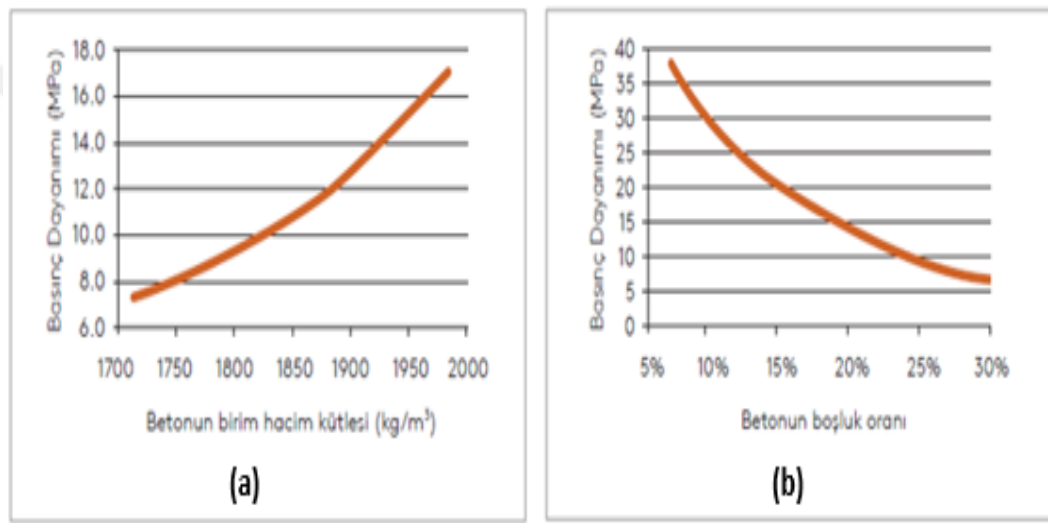
Geçirimli betonun boşluklu yapısından dolayı birim hacim ağırlığı düşüktür. Boşluklu yapıda olması yoğunluğu düşürdüğü gibi betonun basınç dayanımını da düşürmektedir. Boşluklu yapının az olması birim hacim ağırlığını arttıracaktır böylece basınç dayanımı artacaktır. Ancak geçirimlilik oranı ise düşecektir (Schaefer, 2006; Chopra et al. 2010).

Bu çalışmaya paralel olarak yapılan bir çalışmada, agrega boyutunun küçültülmesi ile birim hacim ağırlığının artacağı yani boşluk sayısının azaltılacağı bildirilmiştir. Agrega boyutunun azaltılması ile bağlayıcı alanının artması ve bunu takiben boşluk sayısının azaltılması sağlanmaktadır. Bu azalışlar sonucunda geçirimli betonun dayanım basıncı ve geçirimli betonun gürültü emme oranı artacaktır. Ancak yine su geçirimlilik oranının azalacak olduğu bildirilmiştir (Schaefer et al. 2006).

Geçirimli beton için kullanılacak olan çimento harcı, boşluklu yapıya sahip betonun basınç direncini doğrudan etkileyen bir diğer parametredir. Çimento harcının beton içerisinde oranı arttıkça geçirimli betonun direnci artacaktır ancak betonun yapısında bulunan boşluklarının birbirleri ile bağlantısı kesilecek ve bu geçirimlilik oranlarında düşüşlere neden olacaktır Zouaghi et al. (2000). Buna ek olarak su/çimento oranı beton yapısında çok düşük kalması durumunda, zayıf hidrasyon nedeni ile çimento harcının agregalara zayıf bağlanmasına neden olacaktır. Aynı durumda su/çimento oranının fazla kullanılması da kılcal boşlukların oluşmasına sebep olacak ve yine agregalara bağlanmayı azaltacaktır. Bu sebeplerden dolayı

su/çimento oranı düşük veya yüksek kullanılması geçirimli betonun dayanımını düşüren etki göstermektedir (Meininger, 1988).

Sonuç olarak agrega boyutu ve oranı, su/çimento oranı ve bağlayıcıların oranı geçirimli betonun boşluk yapısını etkileyerek betonun dayanımını Şekil 14’de gösterildiği gibi düşürecektir Kia et al. (2017). Geçirimli betonun dayanımı pek tabi geleneksel beton yapısına göre daha düşük mekanik özellikler göstereceği beklenmektedir. Şöyle ki geçirimli betonun dayanımı 3,5 MPa-28MPa aralığında değişim göstermektedir Tennis et al. (2004). Temel olarak basınç dayanımındaki düşüş diğer mekanik özelliklerinde de azalmalar gösterecek ancak geçirimli beton içerisine eklenecek katkıları ile diğer mekanik özellikler geliştirilebilmektedir (Topçu 2019).



Şekil 14. (a) Geçirimli betonun yoğunluğu ile basınç dayanımı arasındaki ilişki (b) geçirimli beton içerisinde bulunan boşluk ile basınç dayanımı arasındaki ilişki (THBB 2018).

Geçirimli beton kaplamaların avantaj ve dezavantajları.

Geçirimli beton içerisinde yaklaşık %20’leri bulan boşluk oranı neticesinde yol yüzeyinde bulunan suyun tahliyesi alt tabakalara doğru hızlı bir şekilde gerçekleşir. Bu drenaj ile öncelikle yol yüzeyinde ince bir su filmi oluşması engellenir ve lastik ile yol arasında bağlanmanın daha iyi olması sağlanır. Böylece yol güvenliği ve güvenli fren mesafesi sağlanmış olur. Diğer taraftan gece sürüşler için yine normal yol yüzeyinde oluşan ince filmin nedeniyle ışık yansımaları geçirimli beton ile engellenerek yine yol güvenliği sağlanmış olmaktadır. Ayrıca yol yüzeyinden araçların geçişi esnasında su parçacıkları veya kütlesi saçılmayacağından, yol almakta olan araçların görüş mesafesi engellenmemekte ve yol kenarında bulunanlara sıçramamakta ve böylece yol güvenliği ve konforu sağlanmaktadır (Polat 2019)

Geçirimli beton kaplama yolları, kaplama üzerinde hızla akan trafik koşullarında taşıtların içerisinde diğer değişkenlerin haricinde yol sesi daha düşüktür. Yani taşıtın ve lastiklerin özellikleri haricinde, geçirimli betonun özelliği olan sesi yutma özelliğinden dolayı taşıt içinde ve dahi taşıt dışında daha düşük ses seviyelerine ulaşılmaktadır. Bu özellik taşıt içinde daha konforlu bir yolculuk sunmaktadır (Yağcı 1991).

Bir diğer avantaj ise geçirimli betonun yapısı gereği poroz yapılar, ısıнын poroz hücreler tarafından hapsedilip atmosfere daha az yansımısını sağlar. Bu özellik boşluklar içerisinde hapsolan suyun ısı alarak buharlaşmasını sağlar. Böylece ortamın ısınıını çektiği için çevrenin ısınıını düşürücü etki yapmaktadır (Polat 2019).

Geçirimli betonun, daha güvenli ve daha konforlu yol durumu, gürültü kirliliğinin engellenmesi, ortam ısınıını düşürücü etki yapması, gece görüşü artırması, yer altı su kaynaklarının temiz bir şekilde beslenmesi gibi avantajları kısaca sıralanabilmektedir.

Bu yapının avantajları olduğu gibi dezavantajları da bulunmaktadır; örneğin geçirimli beton üzerindeki havanın normal ortam sıcaklığından daha düşük olduğu için don olayı ve kar tutma durumu daha fazladır. Bununla birlikte geçirimli betonun yapısında bulunan boşlukların zamanla aşınması ve boşlukların dolması geçirimlilik oranını azalttığı gibi bakım ve onarım gerektiren uygulamalar da gerektirmektedir. Bu bakım ve onarım uygulamaları ayrıca bir maliyet gerektirmektedir. Bunun için sert kış iklimine sahip bölgelerde geçirimli beton uygulamaları pek avantajlı durum oluşturmamaktadır (Polat 2019).

Sonuç olarak geçirimli beton kullanımının yaygınlaşması son yıllarda hızlanmıştır. Bilimsel çalışmalara göre çevreye katkısı, güvenilir ve konforlu bir ulaşım sağlaması, ekonomik getirilerinin olması gibi avantajlarının, bazı dezavantajlarının karşısında çok güçlü argümanlar olduğu için kullanılması uygun olan bölge ve iklimlerde tavsiye edilmektedir.

Geçirimli Beton için Kullanılan Agrega Temini

Geri dönüşüm agregaları ve standartları

Geri dönüşüm; bir amacı gerçekleştirmek için kullanılan malzemelerin kullanım ömrünün tamamlanmış veya kullanılamaz duruma geldiğinde daha önce kullanıldığı amaç veya farklı bir amaç için kullanılmak üzere bir takım işlemlerden geçirildikten sonra tekrar belirlenen amacı gerçekleştirmek adına uygun hale getirilmesine denir (Batman 2018)

Geri dönüşüm ürünleri amaçlanan kullanım alanlarına göre belli başlı üretim sistemi basamaklarına dikkat edilerek yapılmalıdır. Belirli yöntemlerle geri dönüşümü sağlanacak malzemelerin diğer atıklarla karışması önlenerek, belirli özelliklere göre sınıflandırmaları yapılarak biriktirme sağlanır. Daha sonra üretim ve kullanım amacına uygun olarak fiziksel ve

kimyasal işlemlerden geçerek ekonomiye kazandırılır. Geri dönüşüm sayesinde hammadde kaynaklarının ve çevre korunması sağlanır, enerji ve malzeme maliyetlerinde tasarruf sağlanmış olmaktadır (Verghese et al. 2012; Öztürk 2005)

Geri dönüşüm agregaları; çeşitli inşaat yıkıntılarının veya beton atıklarının amaca uygun yöntemlerle farklı boyutlarda öğütülerek elde edilen agregalar, geri dönüşüm agregaları olarak tanımlanabilmektedir (Adam 2005). Beton yapıların ana elemanı olan agregalar en fazla hacim kaplayan bileşeni olarak kullanıldığından doğal kaynaklar sürekli azalmakta ve doğal dengenin bozulmasına neden olmaktadır. Ayrıca agrega çıkarılan ocakların kullanım yerine sürekli uzaklaşmasından dolayı taşıma maliyeti ve enerji sarfiyatına neden olmaktadır. Bu ve benzeri durumlardan dolayı önemi her geçen gün artan geri dönüşüm üzerine çalışmalar aralıksız devam etmektedir.

Gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin kendi oluşturdukları bazı sınıflandırmalara göre standartlar oluşturmuşlardır. Ülkemizde 28.04.2009 yılında kabul edilen beton agregaları konulu TS 706 EN 12620+A1 standartlarında beton yapımında kullanılmak üzere doğal ve yapay veya geri kazanılmış agregaların dolgu malzemesi olarak kullanılan agregaların ve oluşturulacak yeni beton malzemelerin özelliklerini kapsar (Batman 2018)

İnşaat atıklarından agrega geri dönüşümü ve önemi

Dünyada ve ülkemizde oldukça fazla kullanılan agregalar, yapılaşmanın devam etmesiyle kullanımı sürekli artmaktadır. Doğal yollardan agrega eldesinin zorlaştığı bu durumda beton atıklarından elde edilecek agregalar önemi her geçen gün artmaktadır (Demir 2009; Durmuş vd. 2009).

Geri dönüştürülmüş iri agregalar TC121-DRG numaralı 2012 RILEM raporda farklı sınıflara ayrılmış ve kullanım alanları belirtilmiştir. Rapora göre geri dönüştürülmüş agregalar (GDA); duvar molozlarından elde edilenleri Tip I, beton molozlarından elde edilenleri Tip II ve doğal agrega ile geri dönüştürülmüş agregaların oluşturduğu karışımı (en az % 80 doğal-en fazla %10 oranında Tip I) ise Tip III olarak sınıflandırılmıştır. Bu agregaların temini için eski bina yapıları, afetlerden etkilenmiş yapılar, üretim atıkları, bozuk beton atıkları gibi kaynaklar sıralanabilir (Tosun 2014).

Geri dönüştürülmüş agregalar (GDA), Amerika Birleşik Devletlerinde yaklaşık 2,7 milyar ton, Avrupa ülkelerinde yaklaşık 450 milyon ton, Asya ülkelerinin bir kısmında 140 milyon ton ve ülkemizde yaklaşık 20 milyon ton olarak gerçekleşmekte olduğu çeşitli çalışmalarda bildirilmiştir. Geri dönüştürülen bu agregalar; yol yapımı ve onarımlarında,

kaldırım taşlarında, beton kaplama uygulamalarında ve yapı betonlarında kullanılmaktadır (Öztürk 2005; Poon and Chan 2006; Tüfekçi 2011).

Geri dönüşüm sonucu elde edilen agregaların kullanım alanları;

- 0-80mm beton agregaları beton üretiminde, yol yapımında zemin malzemesi, park sahalarında zemin altlığı olarak,
- 80-200mm beton agregaları dolgu malzemeleri olarak,
- Elde edilen kum agregası yol yapımında zemin malzemesi olarak,
- 0-56 mm boyutunda agregalar sertleşmemiş zemin oluşturmak için,
- Asfalt agregaları ise yeni asfalt imalatında,

gibi uygulamalarda kullanılmaktadırlar (Tosun 2014).

Beton için kullanılacak normal agregalar ile geri dönüşüm yoluyla elde edilen agregaların arasındaki temel farklılıklar ve geri dönüştürülmüş agregaların kullanımı kısıtlayan bazı faktörler bulunmaktadır. Bu faktörler; normal agrega geri dönüştürülmüş agregaya göre daha yoğun ve aşınma dirençleri daha fazladır. Normal agregaların porozite oranı düşük ve nem içeriği geri dönüşüm agregalara göre daha zor ayarlanabilmektedir. Poroz yapıda olması ve geri dönüştürülmüş agregaların etrafında beton kalıntılarının bulunmasından dolayı normal agregalara göre daha fazla su emme kabiliyetine sahiptir. Geri dönüştürülmüş agregaları kısıtlayan faktörler ise, kullanımının güvenli olmadığı düşüncesi, gerekli yasal düzenlemelerin eksikliği, geri dönüşümün düzenli yapılmaması ve geri dönüşümün kaliteli yapılmaması olarak sıralanabilmektedir (Rao et al. 2007; Tüfekçi 2011; Erdal 2011; Tosun 2014).

Geri dönüştürülmüş agregaların özellikleri

Geri dönüşüm ürünü olarak elde edilen agregaların yapı içerisinde kullanım performansları ve çalışma şartlarında gösterdikleri özellikler üzerine birçok araştırma yapılmıştır. Yapılan çalışmada geri dönüştürülmüş agrega (GDA) ile oluşturulan betonun içerisinde kullanılmıştır. Beton içerisinde kullanılan GDA'ların oranı arttıkça betonun yoğunluğu, basınç dayanımı ve elastisite modülünde düşüşler tespit edilmiştir (Topçu and Gürçan 1995). Diğer bir çalışmada deneyler sonucunda, normal agregalı betonlarla karşılaştırıldığında %30 oranından daha fazla GDA kullanımının basınç dayanımı, elastisite modülü ve aşınma direnci üzerinde olumsuz etkileri neden olduğu belirlenmiştir (Evangelista and Brito 2006).

Rao ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada, inşaat atıklarının birincil kırma işlemlerinden sonra gerekli yöntemlerle içeriğinden metal bileşenleri ayrıldıktan sonra ikincil kırma işlemi ile 14-20 mm nihai boyutlara indirilip kullanım durumuna getirilmiştir. GDA

Üretilen beton yapı üzerinde yapılan araştırmalara göre, beton içerisinde düşük oranlarda GDA kullanımı ile normal yapı betonlarında kullanılması için silis dumanı, uçucu kül gibi katkı malzemeleri ile beraber kullanılması önerilmiştir (Rao et al. 2007).

Kou ve çalışma arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, GDA 10 mm-20 mm aralığında granit, mermer gibi taşların kırılması ve beton molozlarının kırılması ile elde edilebileceği bildirilmiştir. Üretilen beton içerisine % 100 oranında iri GDA kullanılmış ve 28gn, 1 yıl ve 5 yıl boyunca deneyler tekrarlanmıştır. Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneylerinden elde edilen veriler sonucunda, normal agrega ile üretilen betonlardan daha düşük verilere ulaşıldığı tespit edilmiştir (Kou et al. 2010).

GDA beton üzerindeki etkileri incelemek için yapılan çalışmada, su/imento oranı 0,6, 0,52 ve 0,43 olmak üzere 3 farklı çalışma şartında ve %0, %15, %30, ve %50 oranlarında kullanılarak üretilen betonlar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda GDA oranlarındaki artışa paralel olarak betonun basınç dayanım kaybı %25, çekme dayanımı kaybı %23, işlenebilirlikte düşüş ve yüksek su absorbe etme oranları gözlemlenmiştir (Akbari et al. 2011).

Geri Dönüşüm agregalarının beton üretiminde normal agregalar kadar kullanılmamasının nedenleri;

- Geri dönüşüm agregalarının elde edilmesi sürecinde tesis ve teknoloji yetersizliği,
- Geri dönüşüm agregalarına duyulan güven eksikliği,
- Geri dönüşüm agregaları ile ilgili standardizasyonun yetersizliği,

gibi nedenlerden dolayı doğal agregalara oranla hala çok az denebilecek kadar geri dönüşüm agregaları kullanılmaktadır (Rao et al.2007).

Sonuç olarak GDA'ların üretimi ve kullanımı çevresel, ekonomik ve doğal kaynak açısından birçok faydası olduğu gerekli kaynaklarda bildirilmiştir. Ancak GDA'lar, normal agregalara göre daha poroz, daha düşük dayanım ve yüksek su emme gibi yapısal farklılıklara sahip olduklarından dolayı kullanıldıkları betonların özelliklerinde de farklılıklar mevcuttur. Genelde betonun özelliklerini olumsuz etkilediklerinden dolayı kullanımları açısından titiz ve dikkatli olunmalıdır.

MATERYAL ve YÖNTEM

Kentleşmenin artması ile birçok problemin yanında çevresel sorunlarda doğrusal olarak artmaktadır. Bunun için çalışmaların çevresel faktörler dikkate alınarak yapılması oldukça önemlidir. Bu çalışmada, geçirimli beton için yapı malzemesi olan agregaların geri dönüşüm yoluyla elde edilmesi sonucu, geçirimli beton kullanılmasının çevresel faktörlere olumlu etkisi göz önüne alınarak yapılmıştır.

Deneyisel Malzemeler

Agregalar ve inşaat atıklarından geri dönüştürülmüş agregalar

Üretilcek numunelerde kullanılacak olan agrega ve inşaat atıklarından geri dönüştürülmüş agregalar ASTM D 448 ve TS 706 EN 12620 standartlarında belirtilen hususlara göre seçilmiştir. Bu bağlamda agregalar Ağrı ilinde çalışmalar gösteren ATMACA inşaat Taypınar köyü taş kırma ve eleme ocağından alınan agregalardan alınmıştır. Agregaların elde edilişi; patlamadan sonra ortaya çıkan büyük taş blokların konkasör haznesine yerleşebilmesi için öncelikle kırıcı tarafından kayalar orta boylar haline getirilir. Konkasör haznesine girebilecek boyuta gelen orta boylu taş bloklar konkasör haznesine konur. Hazneye konulan taş bloklar konkasör vasıtası ile parçalanarak eleklerle gönderilir. Gönderilen bloklar burada 0-5, 5-12, 12-25 mm eleklerden geçirilerek ayrıştırma yapılır ve bantlar yardımı ile malzeme bunkerlere taşınır. Buradan istenen çaptaki malzemeler bunkerler altından gerekli araçlara yüklenerek taşınır (TS 706 EN 12620 2010).



Şekil 15. (a) İnşaat yıkıntısı (b) ve (c) geri dönüşüm agrega temini (d) agregaların yıkanması (e) geçirimli beton dökümü

Diğer taraftan geri dönüşüm yöntemiyle elde edilen agregalar Şekil 15’de gösterilen, yine Ağrı ilinde bulunan yıkılmakta olan bir bina kalıntılarından elek analizi yapılarak 12-22 mm boyutlarında agregalar temin edilmiştir. Bu çalışmada kullanılacak yaklaşık 19 mm boyutlarında agrega ve geri dönüştürülmüş agregalar (GDA) için ASTM C 127 yöntemi ile yoğunluk ve su emme durumları için teorik hesaplamalar yapılmıştır. Bu bağlamda kullanılacak agregalardan referans olacak şekilde 1kg alınır ve yıkanır. Numuneler bir gün boyunca su içerisinde bekletilir ve kurutulmak üzere kuru yüzey üzerine serilir. Her bir agrega ayrı ayrı kuruma sonrası yüzeyleri doygun hale gelmiştir (B_k). Ardından agregalar tel sepet içerisinde 25°C ’de bulunan su içerisinde tartılır (C_k). Daha sonra referans olarak alınan 1kg agregalar yaklaşık 110°C ’de fırında kurutulur ve tartım işlemi yapılır (A_k) (Vural, 2019). Elde edilen değerler aşağıdaki formüllerde yerine konarak agregaların yoğunluğu ve su emme oranları teorik olarak belirlenir.

$$\text{Görünürdeki Yoğunluk (kN/cm}^3\text{)} = \frac{A_k}{A_k - C_k}$$

$$\text{Hacimsel Yoğunluk ((kN/cm}^3\text{)} = \frac{A_k}{B_k - C_k}$$

$$\text{Su emme yüzdesi (\%)} = \frac{B_k - A_k}{A_k}$$

Ak= Kuru numunenin ağırlığı, g

Bk= Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin ağırlığı, g

Ck= Yüzey Kuru-Suya Doygun numunenin sudaki ağırlığı, g

Tablo 2. Agregaların Fiziksel Özellikleri

Özellikler	Agrega	Geri Dönüştürülmüş Agregat
Özgül Ağırlık ortalama(gr/cm^3)	2,41	1,79
Su Emme Oranı (%)	2,07	7,9

Normal agregaların özgül ağırlıkları GDA'lara göre yüksek ancak su emme oranları daha düşüktür. Tablo 2’de verildiği üzere geri dönüştürülmüş agregaların yapısında bulunan çimento kalıntıları su emme oranlarını arttırmaktadır.

Çimento

Bu çalışmada (CEM I 42,5R) normal portland çimento kullanılmıştır. Çimentonun kimyasal ve mekanik özellikleri üretici firmadan temin edilmiş ve Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. Kullanılan Çimentonun Kimyasal İçeriği, Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

Kimyasal İçerik ve Oranı (%)	İçerik	Oran (%)
	CaO	62,25
	SiO ₂	18,72
	Al ₂ O ₃	4,54
	Fe ₂ O ₃	3,43
	SO ₃	2,98
	MgO	1,74
	Na ₂ O	0,19
	Kızdırma Kaybı	3,24
	Çözünmeyen Kalıntı	0,95
	Serbest CaO	0,78
	K ₂ O, Cl ⁻ , Diğer	1,18
Fiziksel ve Mekanik Özellikler	Özgül Ağırlık (gr/cm^3)	3,3
	Priz Süresi (dk)	140-186
	Başlangıç-Bitiş	2.Gün =>25,7
	Basınç Dayanımı (MPa)	7.Gün =>39.9
		28.Gün =>57,9

Su ve kimyasal katkılar.

Üretimi yapılmış olan geçirimli betonlar için Ağrı ilinin şebeke suyu kullanılmıştır. Kullanılacak su miktarına göre çimento hamurunun kıvamını etkileyeceği yukarıda bahsedilmiştir. Geçirimli beton üretimi için GRACE Darex AE3 marka hava sürükleyici katkı maddesi seçilmiş ve numune içerisine çimentonun ağırlıkça % 0,6 oranında hava sürükleyici katılmıştır.

Oranlara Göre Geçirimli Beton Hazırlama

Geçirimli beton üretiminde su/çimento oranı 0,3 normal agregası oranları % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 olmak üzere GDA % 100, % 75, % 50, % 25 ve % 0 olarak sonuçlar irdelenmiştir. Numune kodlaması ise ilk harf normal agregayı N olarak temsil etmekte, sonrasında elen sayı agreganın oranını vermekte, ikinci harf geri dönüştürülmüş agregayı G olarak temsil etmekte ve sonrasında gelen sayı GDA'nın oranını vermektedir. Örneğin N25G75 kodlaması normal agreganın oranı yüzde 25 olarak kullanıldığını, geri dönüşüm agreganın ise yüzde yetmiş beş olarak kullanıldığını ifade eder. Tablo 4'de verilmiştir. Bu çalışmada geçirimli beton karışımında belirtilen agregası türlerinin haricinde agregası/çimento oranı 3,5 olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu oran ise agregası türleri içerisinde belirtilen orana göre ayrışır. Ayrıca üretilen numunelerin çimento içeriğinin ağırlıkça %0,6'sı kadar hava sürükleyici katkı kullanılmıştır.

Tablo 4. Geçirimli Beton İçeriği

Numune Kodu	Su/Çimento	Agregası/Çimento	N. Agregası	GDA	Kimyasal Katkı (%)	Toplam Kütle (gr)
N0G100	0,3/1	3,5/1	0	3,5/1	0,6	5450
N25G75	0,3/1	3,5/1	(3,5)/(1/4)	(3,5)/(3/4)	0,6	5850
N50G50	0,3/1	3,5/1	(3,5)/ (1/2)	(3,5)/ (1/2)	0,6	6005
N75G25	0,3/1	3,5/1	(3,5)/(3/4)	(3,5)/(1/4)	0,6	6170
N100G0	0,3/1	3,5/1	3,5/1	0	0,6	6300

Deneysel Yöntemler

Deneysel araştırmalar için üretilen numuneler aşağıda verilmiştir.

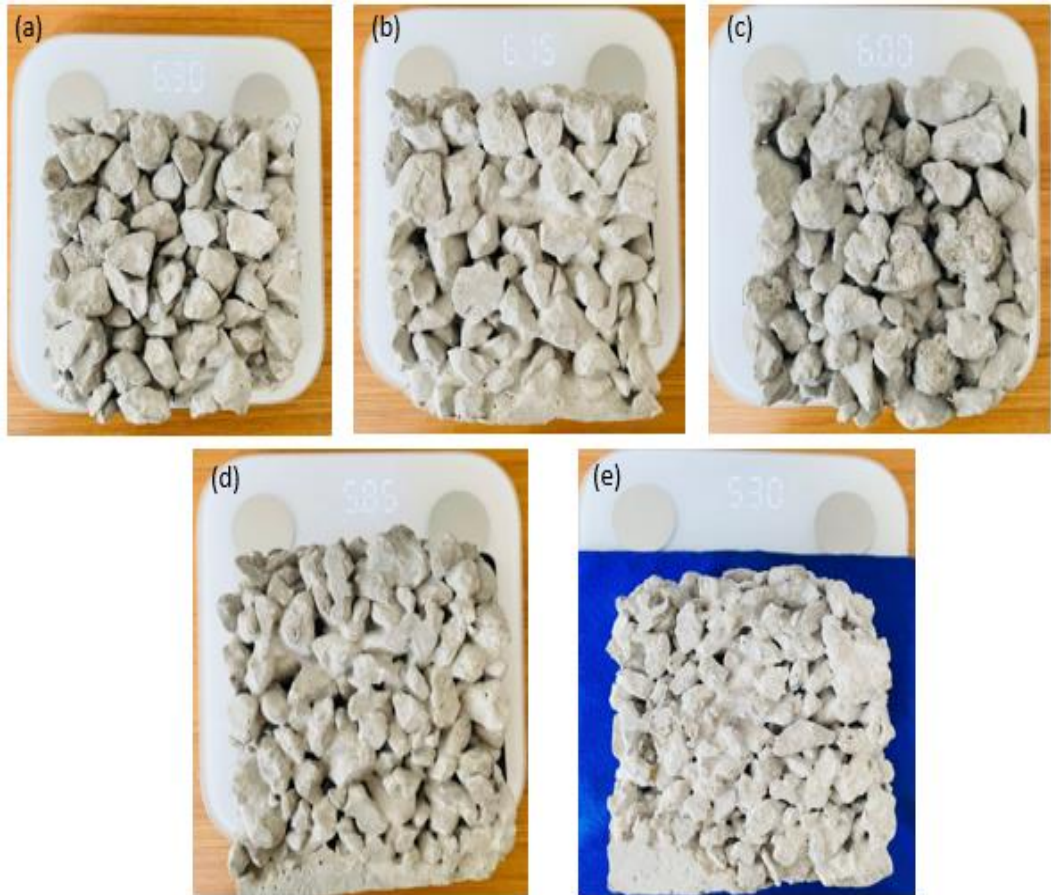
Yoğunluk tespiti

Üretilen geçirimli beton numunelerinin ağırlık testleri TS EN 12350-6 uygun olarak yapılmıştır. Yoğunluk ölçümü için taze beton konulacağı kap ağırlığı (M_2 kg) tartılmıştır, kabın hacmi (V m³), beton konulmuş kabın ağırlığı (M_1 kg) tartımı olmak üzere (d gr/m³) yoğunluk hesaplanır. Bu ifadeler arasındaki bağıntı Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2 'de verilmiştir.

$$d = \frac{M_1 - M_2}{V} \quad (3.1)$$

Numunelerin yoğunluğu TS 12390-7 standartlarına göre yapılmıştır. Numunelerin agrega oranlarına göre sınıflandırılarak hacimleri (V , cm³) 15x15x15 cm'lik küp numunelerin şekil 16'da gösterildiği üzere tartımları (m , g) terazide yapılmıştır. Beton numunelerin yoğunlukları (d gr/cm³) Eşitlik 3.2'de ki bağıntısı ile hesaplanmıştır.

$$d = \frac{m}{v} \quad (3.2)$$



şekil 16. Numune ağırlıkları (a) N100G0 (b) N75G25 (c) N50G50 (d) N25G75 (e) N0G100

Boşluk oranı tespiti

Geçirimli betonun içerisinde bulunan boşluk oranının tespitinde, boşluk oranının tespiti ile betonun dayanım ve geçirimlilik özelliklerinin de belirlenmesine imkân tanıdığı için ASTM C1754/C1754M-12 standartlarında bulunan A metodu yöntemi seçilmiştir. Bu yöntemle beton 40°C sıcaklığındaki etüv fırınına konulmadan önce tartılır, ardından 48 saat boyunca fırında bekletildikten sonra tekrar tartılır. Tartımlardan sonra Eşitlik 3.3’de verilen bağıntı ile boşluk oranı belirlenir.

$$P = \left[1 - \left(\frac{w_2 - w_1}{\rho \cdot v} \right) \right] \times 100 \quad (3.3)$$

P: Boşluk oranı(%)

W1: Numunenin fırınlanmadan önceki ağırlığı(gr)

W2: Numunenin fırınlandıktan sonraki ağırlığı(gr)

V: Küp numunenin hacmi(cm³)

ρ : Suyun yoğunluğu (gr/cm³)

Geçirimlilik testi

Geçirimli beton numunelerin geçirimlilik testi için ASTM C1701 standartlarından faydalanarak yapılmıştır. Küp numunenin üzerine hacmi belli bir tüp su beton üzerine konulmuş ve hacim düşüşü süreye göre ölçülmüştür (Topçu 2019). Eşitlik 3.4’de bağıntısına göre hesaplama yapılmıştır.

$$\Phi = \frac{V}{A \cdot t} \quad (3.4)$$

Φ : Geçirimlilik(cm/s)

V: Beton içerisinde belirlenen su hacminin geçişi (cm³)

t: Su hacminin geçiş süresi (s)

A: Numunenin yüzey alanı (cm²)

Basınç dayanım testi

Geçirimli beton numunelerin dayanımı TS EN 12390-3 standartlarına uygun olarak 0,4MPa/s yükleme hızında Şekil 17’de 3 küp numuneye uygulanmıştır. Yükleme sonrası dayanım Eşitlik 3.5’deki bağıntı yardımıyla hesaplanmıştır (Topçu 2019).

$$F_c = \frac{P}{A_c} \quad (3.5)$$

Fc: Basınç dayanımı (MPa)

P: Kırılma anında ulaşılan maksimum yük (N)

Ac: Basınç uygulanan kesit alanı (mm²)



Şekil 17. Basınç dayanım testi

ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

Geçirimli beton üretimi için kullanılan normal agregası ve geri dönüştürülmüş agregası oranlarına göre yapılan deneyler sonucunda elde edilen bütün veriler Tablo 5 'de verilmiştir.

Tablo 5. Elde Edilen Veriler

Numune Kodu	Birim Hacim Ağırlık (kg/m ³)	Boşluk oranı(%)	Geçirimsizlik (cm/s)	Basınç Dayanımı (MPa)
N0G100	1651,5	23,6	0,73	15,9
N25G75	1772,7	21,7	0,64	16,7
N50G50	1819,6	20,4	0,53	19,6
N75G25	1869,6	19,9	0,48	21,6
N100G0	1909,0	19,2	0,32	23,8

Birim Hacim Ağırlık

Geçirimli beton ürünlerinin birim hacim ağırlık değerleri ölçümlerinin aritmetik ortalaması alınarak Tablo 5’de verilmiştir.

Numune içerisinde bulunan doğal ve geri dönüştürülmüş agregası oranlarının karışımı oranlarında betonun birim ağırlığına etki etmektedir. Doğası gereği normal agreganın yoğunluğu daha fazla olduğu için oran arttıkça yoğunluğun artması beklenmektedir (Batman 2018).Yapılan analizlerde geçirimli beton içeriğinde bulunan normal agregası oranı arttıkça yoğunluğun arttığı beklendiği gibi gözlemlenmiştir. Geri dönüşüm agregalarının oranı arttıkça kendi birim hacim ağırlık değerinin düşük olmasının yanında birde yapı içerisinde oluşturduğu boşluk oranının artması ile daha düşük birim hacim ağırlık değerlerinin oluşmasına neden olduğu görülmüştür (Poon et al. 2006). Agregaların yapısına göre oluşan boşluklar Şekil 18’de görüldüğü üzere birim hacim ağırlığın düşmesine neden olmaktadır.



Şekil 18. Birim hacim ağırlık değişimi

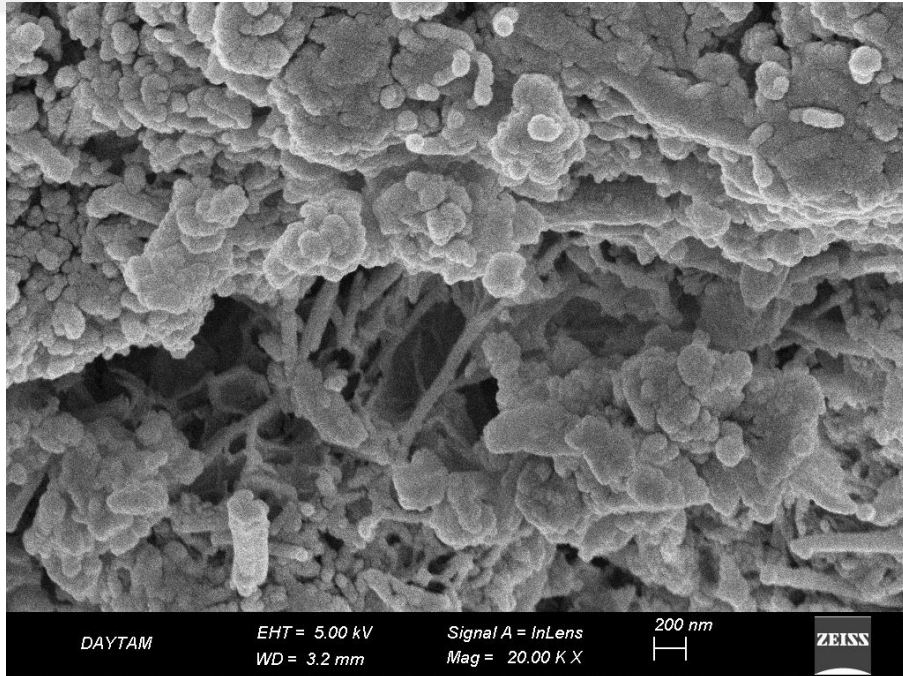
Geri dönüşüm agregalarının etrafında çimento kalıntılarının bulunacağı aşikârdır. Bu durum bilindik kütle/hacim oranına göre hesaplandığında agreganın yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadır. Bu durum çimento hamurunun agregaya çeperinde oluşturduğu boşluk oranı ve agregaya etrafında bulunan önceki çimento kalıntıları küp numunelerin yoğunluğunu düşürmektedir (Demir 2009).

Boşluk Oranı

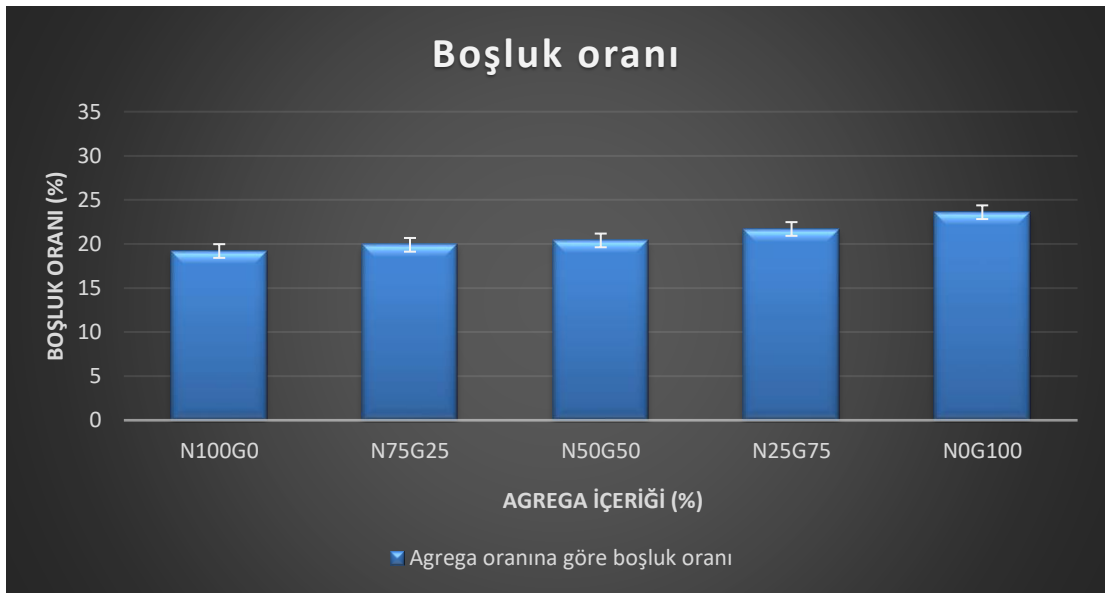
Üretilen her bir numune için sabit a/ç oranı olmasına ve yaklaşık 19mm boyutlarında agregaya kullanılmasına rağmen küp numuneler içerisinde boşluk oranlarında farklılıklar gözlemlenmiştir. Geri dönüştürülmüş agregaya oranı arttıkça numunede ki boşluk oranı artmaktadır. Bunun nedenleri arasında geri dönüştürülmüş agreganın düzensiz şekillere sahip olması çimento hamurunun agregaya etrafında iyice birikmemesine neden olmuştur (Scholz and Grabowiecki, 2007). Ayrıca GDA'ların etrafında donmuş çimento kalıntılarının olması numune içerisinde boşluk oranının fazla olmasına düzensiz agregaya yapısıyla birlikte neden olmaktadır. Bu durum gözle görülebilir olarak Şekil 19'da verilmiş olup Şekil 20'de elektron mikroskopunda da görülmüştür. Ayrıca Şekil 21'de her bir agregaya tipinin oranına göre boşluk oranı verilmiştir.



Şekil 19. %50 GDA %50 NA kullanılmış numunenin boşluk görünümü



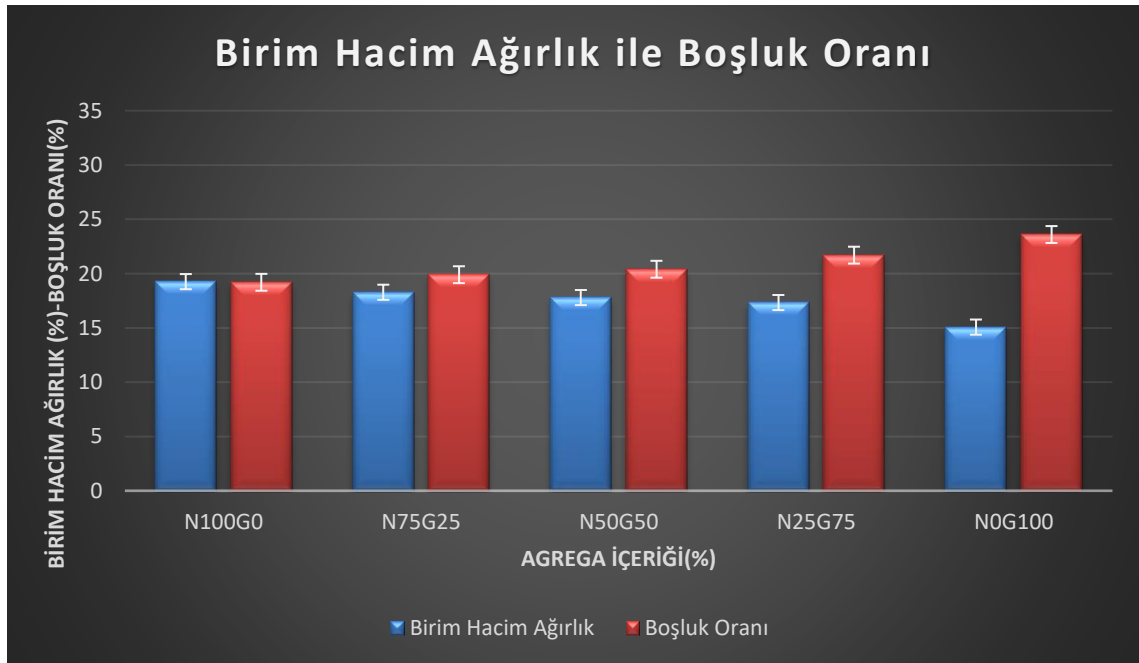
Şekil 20. %50 GDA %50 NA kullanılmış numunenin CSH yapısı ve boşluk görüntüsü



Şekil 21. Boşluk oranı değişimi

Geri dönüştürülmüş agregadan oluşturulan beton içeriğinde bulunan çimento taneleri nedeniyle normal agregadan oluşturulan betondan ağırlıkça daha hafif yapıya sahiptir. Oluşturulmak istenen geçirimli betonda normal agrega oranı arttıkça betonun birim hacim ağırlığının arttığı geri dönüşüm agregası oranının artması ile boşluk oranının arttığı birim hacim ağırlık değerinin düştüğü gözlemlenmiştir(Wang et al. 2006).

Birim hacim ağırlık ile boşluk oranı arasındaki ilişkiyi daha net görmek için Şekil 22’de birlikte ifade edilmiştir. Birim hacim ağırlık ile boşluk oranını aynı grafik üzerinde gösterebilmek için birim ağırlığın yüzdesi alınmıştır.



Şekil 22. Birim hacim ağırlık ve boşluk oranı arasındaki ilişki

Şekil 21’de görüldüğü üzere geri dönüştürülmüş agrega oranı arttıkça numune içerisinde ki boşluk oranı artmaktadır. Geri dönüştürülmüş agreganın yoğunluğu normal agreganın yoğunluğundan daha düşük olmasının yanında küp numune içerisindeki boşluk oranının artması numunenin yoğunluğunun düşmesine neden olmaktadır. Yani birim hacim ağırlık değeri ile boşluk oranının ters orantılı olduğu tespit edilmiştir (İbrahim et al. 2016).

Basınç Dayanımı

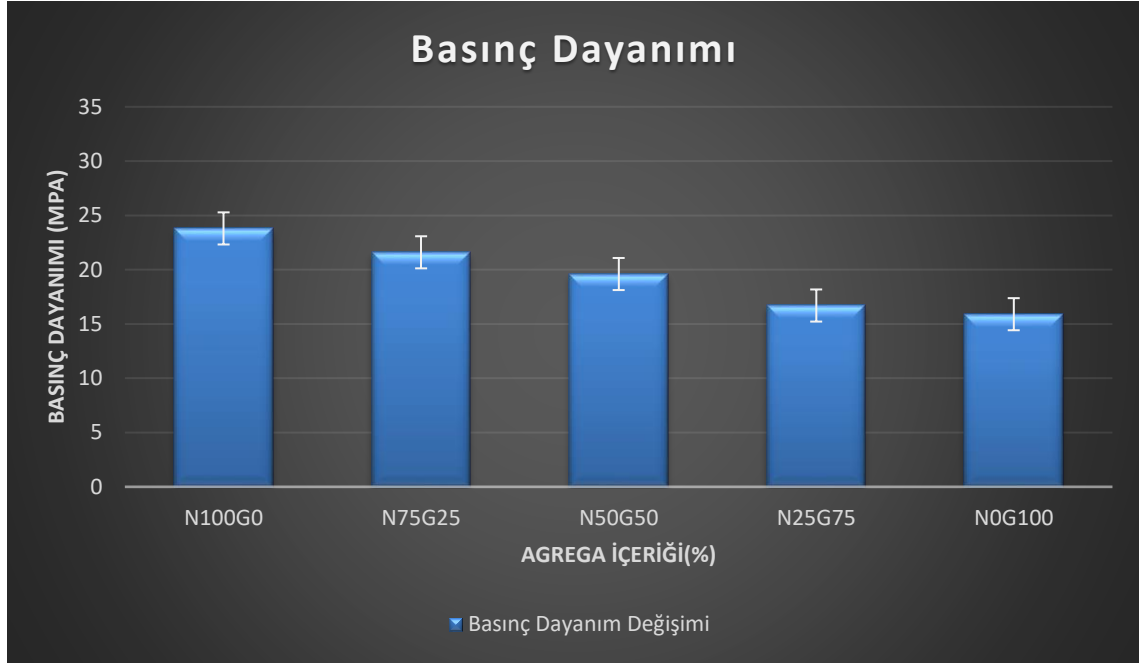
Normal agrega ile geri dönüştürülmüş agrega oranlarının üretilen geçirimli betonların dayanımına etkisi Şekil 23’de görülmektedir.



Şekil 23. Örnek olarak %100 geri dönüşüm agregası ile üretilmiş numunenin basınç testi

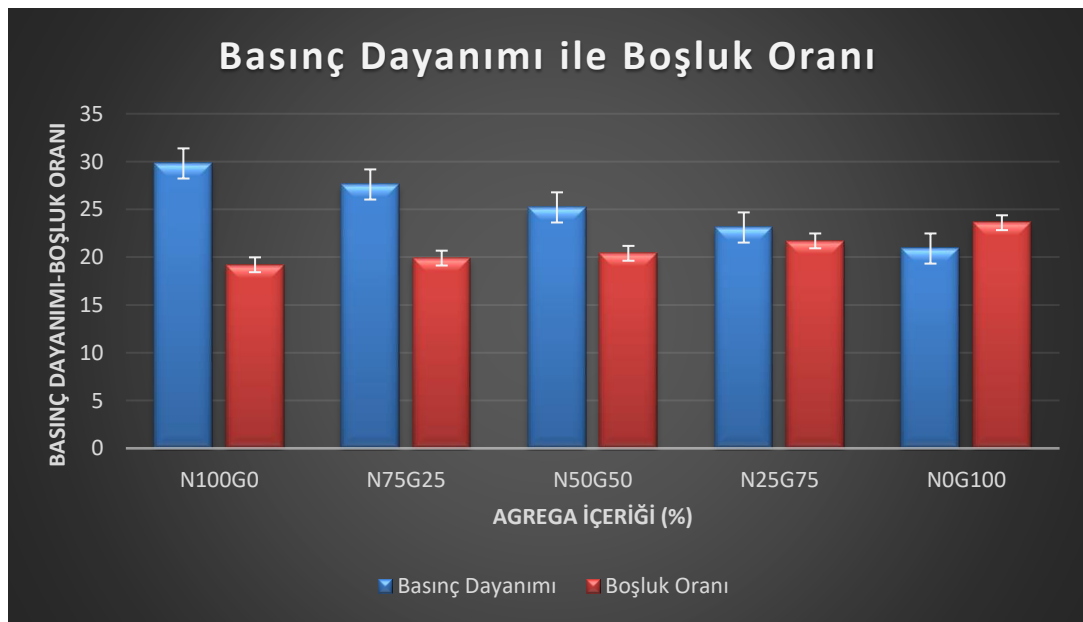
Geri dönüşüm agregaları ile hazırlanan beton numuneler basınç dayanımı doğal agrega kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin basınç dayanımları ele alındığında, geri dönüşüm agregaların kullanıldığı numunelerin basınç dayanımı normal agregaların kullanıldığı numunelere göre basınç dayanımları yaklaşık %5-%24 daha düşük olduğu tespit edilmiştir (Hansen 1992). Bu tespitlere paralel olarak, betonda geri dönüştürülmüş agrega üzerine yapılan

bir dizi çalışma, geri dönüştürülmüş agrega miktarı arttıkça betonun dayanımının azaldığını göstermiştir (Zaetang et al. 2016). Beton dayanımını sadece içeriğinde kullanılan agrega türünün etkilemediği aynı zamanda a/ç oranı arttıkça betonun dayanımının düştüğü çimento hamur kalınlığının artması ile de basınç dayanımının arttığı gözlemlenmiştir (Torres et al. 2015).



Şekil 24. Basınç dayanım değişimi

Normal betona göre basınç dayanımı düşük olan geçirimli betonun yapısı gereği boşluklar içermektedir. Şekil 24’de görüldüğü gibi GDA oranı arttıkça basınç dayanımı düşmektedir. Bundan dolayı zaten düşük olan dayanım değerlerini daha da düşmektedir.



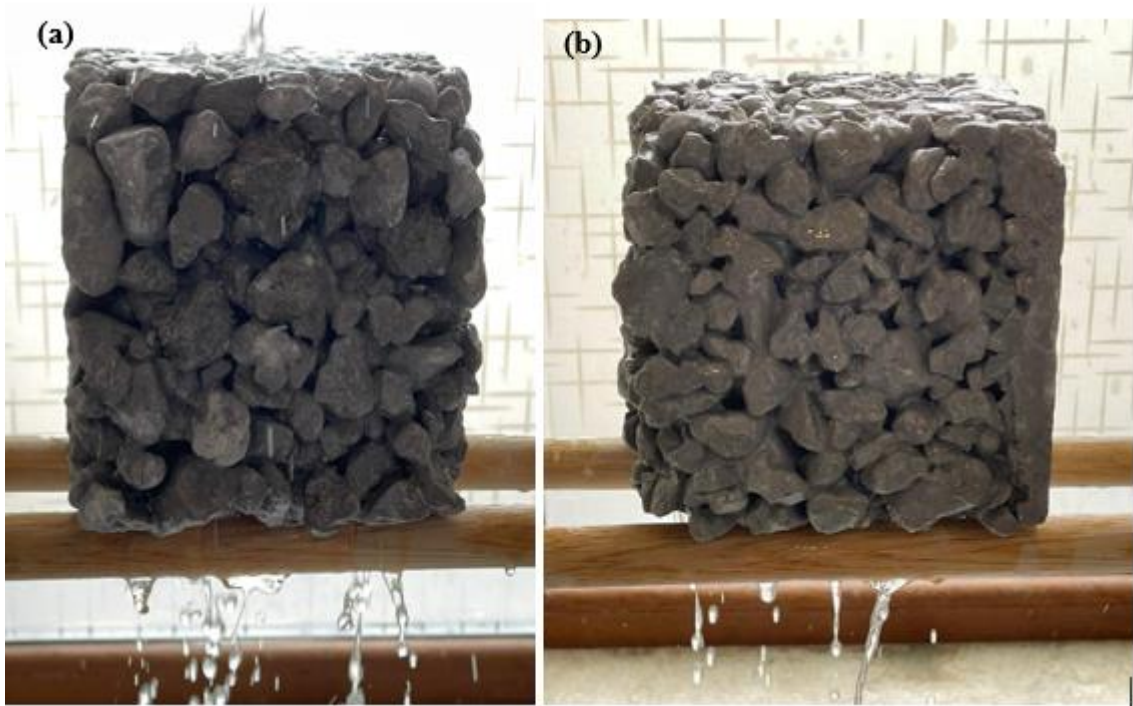
Şekil 25. Basınç dayanımı ve boşluk oranı arasındaki ilişki

Geri dönüşüm agregası üzerine yapılan birçok araştırmada üretilen beton numuneler içerisinde özellikle GDA içeriğinin %50'nin üzerinde kullanılması basınç dayanımının önemli derecede düştüğü belirlenmiştir (Leigh et al.2005)

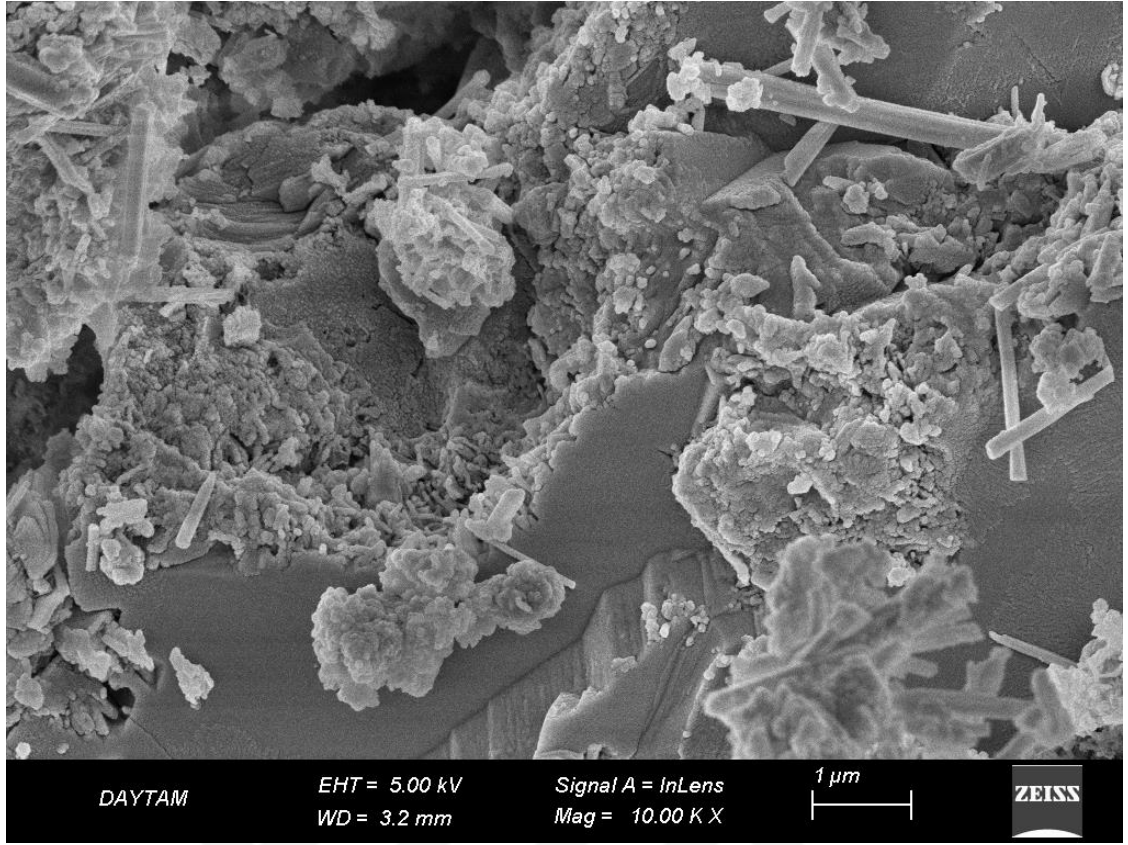
Şekil 25'de görüldüğü üzere boşluk oranının artması ile basınç dayanımındaki azalma doğru orantılı olduğu görülmektedir.

Geçirimsizlik

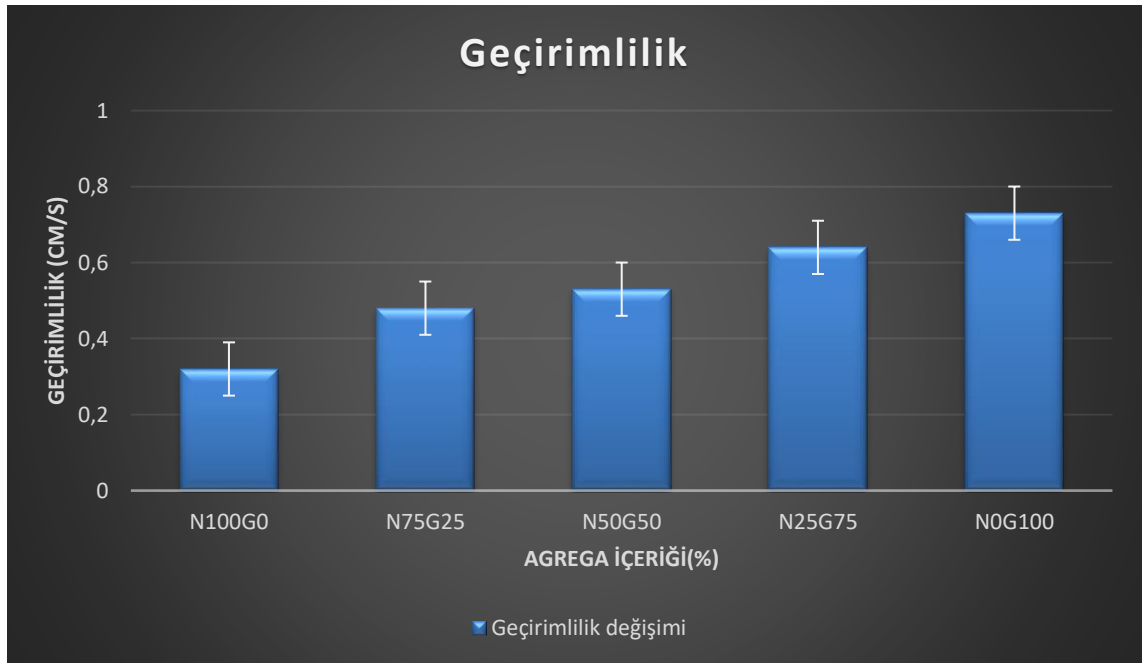
Geçirimsizlik incelemelerinin görüntüleri Şekil 26'da verilmiştir. Görüldüğü üzere suyun beton içerisinden geçişi boşluklar tarafından sağlanmaktadır. Bu boşluklar makro boyut da görülebileceği gibi Şekil 27'de mikro boyutta da görülmektedir. Ayrıca hazırlanmış olan numunelerin geçirimsizlik değerleri Şekil 28'de normal agregası ve geri dönüştürülmüş agregası oranlarına göre verilmiştir. Yukarıda bahsedildiği üzere geri dönüştürülmüş agregası oranındaki artış boşluk oranının artmasına paralel olarak geçirimsizlik değerinin de artmasına neden olur.



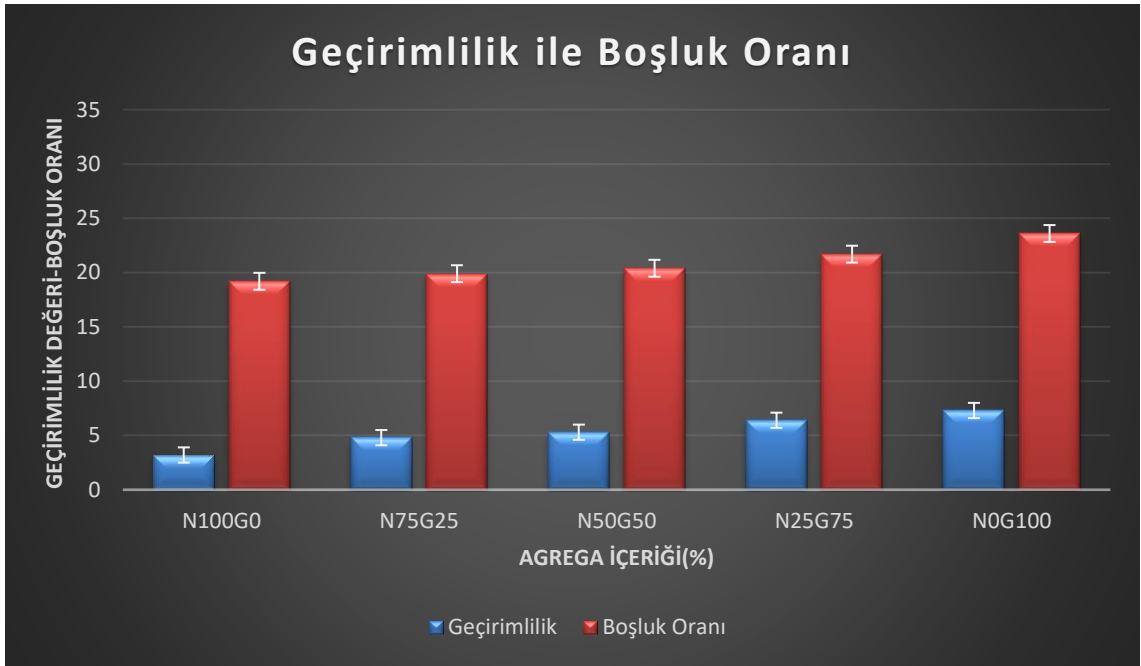
Şekil 26. (a) % 100 GDA üretilmiş numune (b) % 50 NA % 50 GDA üretilmiş numune



Şekil 27. % 50 NA % 50 GDA üretilmiş numunenin geçirimsizliğine etki eden boşluklu yapısının SEM görüntüsü

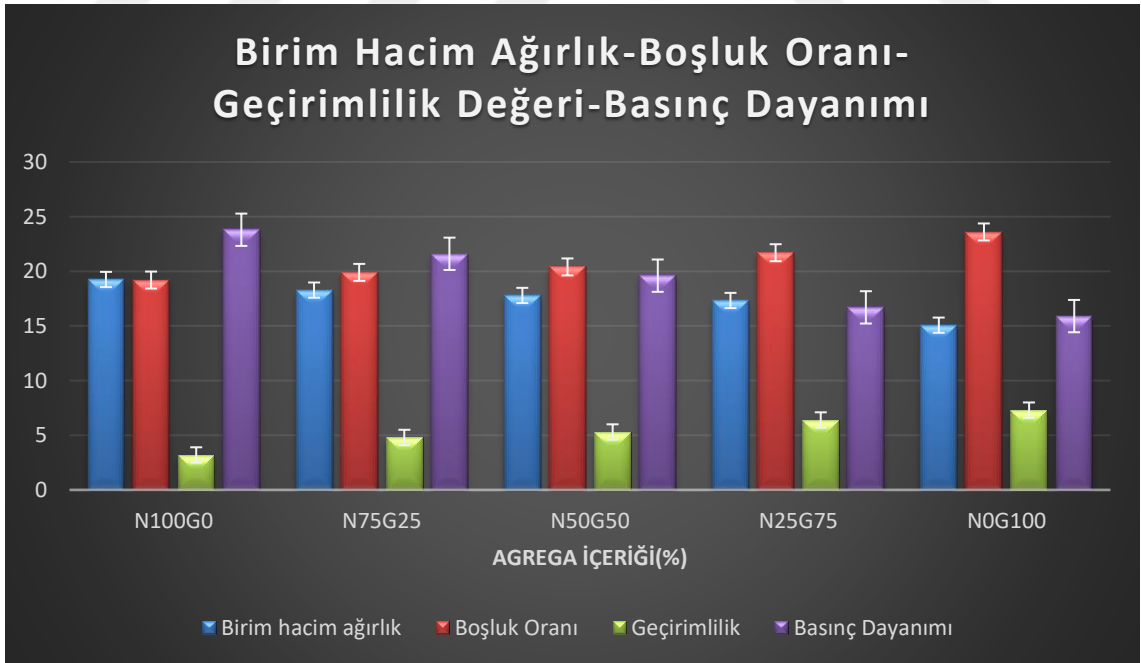


Şekil 28. Geçirimsizlik değeri değişimi



Şekil 29. Geçirimlilik değeri ile boşluk oranı arasındaki ilişki

Boşluk oranı ile geçirimsizlik değerinin aynı grafik üzerinde Şekil 29’da göstermek için geçirimsizlik değerinin 10 (on) katı alınmıştır. Görüldüğü üzere boşluk oranının artmasına paralel olarak geçirimsizlik değeri de artmıştır. Şekil 30’da ise her bir numune için yoğunluk, basınç dayanımı, geçirimsizlik ve boşluk oranı arasındaki ilişki ortaya konulmuştur.



Şekil 30. Birim hacim ağırlık, basınç dayanımı, geçirimsizlik değeri ve boşluk oranı arasındaki ilişki

Şekil 30’da grafiğin daha rahat anlaşılabilmesi için yoğunluk değerlerinin yüzdesi alınmış ve geçirimsilik değerlerinin on katı alınmıştır. Burada asıl anlatılmak istenen değerlerin ifadesi değil agrega oranlarına göre özelliklerin birbirleri ile olan ilişkisini göstermektir.

Görüldüğü üzere normal agrega içeriği artıkça numunelerin yoğunluğu ve basınç dayanımı artmaktadır. Ancak boşluk oranı ve geçirimsilik değeri azalmaktadır.



SONUÇ

Bu çalışmada kapsamında, ekonomik ömrünü tamamlamış yapıdan elde edilen geri dönüştürülmüş agregalar % 0, % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranlarında geçirimli beton içerisinde normal agregalarla birlikte kullanılmıştır. Üretilen geçirimli betonların bazı özellikleri araştırılmıştır. Bu araştırmaların sonuçlarına göre;

Geri dönüştürülmüş agregaya içeren gözenekli betonun toplam boşluk oranı, normal agregaya içerenlerden daha yüksek olduğu ve ayrıca geri dönüştürülmüş agregaya kullanılan gözenekli betonun basınç dayanımı, normal agregaya gözenekli betondan daha düşük olduğu yapılan çalışmalarda tespit edilmiştir. Yine yapılan çalışmalara göre Agregaya türünden bağımsız olarak, sonuçlar tüm gözenekli betonlar için basınç dayanımı ve toplam boşluk oranı arasında ve geçirgenlik katsayısı ile toplam boşluk oranı arasında neredeyse doğrusal bir ilişki olduğunu göstermiştir.

Geçirimli beton içerisinde kullanılan GDA'ların oranı arttıkça betonun yoğunluğu düşmektedir. Geri dönüştürülmüş agregaya oranı % 0 ile % 100 arasında kullanılması durumunda yoğunluk değerleri yaklaşık 1600 kg/m^3 ile 1900 kg/m^3 arasında değişmektedir. Bunun nedeni olarak geri dönüştürülmüş agreganın etrafında bulunan çimento kalıntılarından dolayı olduğu, ayrıca beton içerisinde daha fazla boşluk oluşturduğu için daha düşük yoğunluğa yol açtığı tespit edilmiştir.

Geri dönüştürülmüş agregaların bahsedilen oranlarda kullanımı sonucunda beton içerisinde boşluk oranını yaklaşık % 25 arttırmıştır. Bu durum geçirimli betonun yoğunluğunu, basınç dayanımını, geçirimlilik değerini gibi özellikleri doğrudan etkilediği belirlenmiştir.

Çalışmanın önemli amacı olan geçirimlilik değeri ise geri dönüştürülmüş agregaların oranı arttıkça 0,32 cm/s değerinden 0,73 cm/s değerine çıktığı gözlemlenmiştir. Beton içerisinde boşluk oranının artmasıyla daha fazla boşluğun birbirine bağlı boşluk sayısının artmasına neden olmakta ve geçirimlilik oranını arttırmaktadır. Bununla beraber agregaya etrafında çimento kalıntılarının olmasından dolayı geçirimlilik değerini yaklaşık iki kat artmıştır.

Geçirimli betonunun birçok kullanım alanı bulunmaktadır. Bu alanların özelliklerine göre basınç dayanımı ön planda veya geri planda olabilmektedir. Bu bağlamda normal betona göre daha düşük basınç dayanımına $\sim 20\text{MPa}$ - $\sim 30\text{MPa}$ sahip geçirimli beton, yapısında

bulunan geri dönüştürülmüş agrega oranı arttıkça boşluk oranı artmakta buna bağlı olarak da basınç dayanımı düşmektedir.

Sonuç olarak geçirimli beton kullanımı yer altı ve yer üstü faydalar sağlamaktadır. Bu fayda oranını daha üst seviyelere çıkarmak amacıyla kısıtlı doğal kaynakların tekrar tekrar kullanılması son derece önemlidir. Çevresel etkilerin yanında üretim ekonomisi de dikkate alınmalıdır. Kaynaklar azaldıkça hammaddeye ulaşım zorlaşır ve daha maliyetli olacağı kaçınılmazdır. Bu sebeplerden dolayı geri dönüşümün önemi göz önüne alınarak geçirimli beton içeriğinde kullanılması amaçlanmıştır. Yapılan deneyler sonucunda elde edilen veriler ışığında, geçirimli betonun kullanılacağı durum ve şartlar belirlenip optimum oranlara sahip geçirimli beton üretilir. Örneğin düşük dayanım yüksek geçirimlilik istenen uygulamada N0G100 kodlu geçirimli beton kullanılması tavsiye edilebilir.



KAYNAKLAR

- ACI. 522R-10., 2010. Report on Pervious Concrete. ACI Committee 522, United States.
- Adam, J.P., 2005. Roman Building: Materials and Techniques, Routledge, ISBN 0-203- 98436-6, s.116, Londra.
- Ağar, E., Süttaş, İ., ve Öztaş, G., 1998. Beton Yollar. 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.
- Akakın, T. ve Kılınç, C., 2011, Farklı Agregata Tane Dağılımına Sahip Geçirimli Betonların İncelenmesi, 8. Ulusal Beton Kongresi, İzmir.
- Akbari, Y., V., Arora, N., K., Vakil, M., D., 2011. Effect on recycled aggregate on concrete properties. International Journal of Earth Sciences and Engineering.
- ASTM, C260/C260M - 10a, (2016). Standard Specification for Air-Entraining Admixtures for Concrete, ASTM International, United States.
- ASTM, C494/C494M – 17, 2017. Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete, ASTM International, United States.
- Batman, M., 2018. Beton numune atıklarının geri dönüşüm agregası olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi.
- Bean, E. Z., Hunt, W. F., Bidelsbach, D. A., 2007. Evaluation of Four Permeable Pavement Sites in Eastern North Carolina for Runoff Reduction and Water Quality Impacts.. Journal of Irrigation and Drainage Engineering, 133, (6), 583- 592.
- Bhutta, M. A. R., Hasanah N., Farhayu, N., Hussin, M. W., Md Tahir M., Mirza, J., 2013. Properties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). Construction and Building Materials 47, 1243-1248.
- Chopra, M., Kakuturu, S., Ballock, C., Spence, J., Wanielista, M., 2010. Effect of Rejuvenation Methods on the Infiltration Rates of Pervious Concrete Pavements. Journal of Hydrological Engineering, 15, (6), 426-433.
- CPG., 2013, Handbook for Pervious Concrete Certification in Greater Kansas City, CPG.
- Demir, İ., 2009. İnşaat Yıkıntı Atıklarının Beton Üretiminde Kullanımı ve Beton Özelliklerine Etkisi. Afyon Karahisar Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi 2009-02 105 -114. Afyonkarahisar.
- Durmuş, G., Şimşek, O., Dayı, M., 2009. Geri Dönüşümlü İri Agregaların Beton Özelliklerine Etkisi. Gazi Üniversitesi. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 24, No 1, 183-189, Ankara.
- Elango, K.S., Gopi, R., Sarayanakumar, R., Rajeshkumar, V., Raman, V. S., 2021. Properties of pervious concrete – A state of the art review, Materialstoday proceedings, volume 45, part2, pages 2422-2425.
- Erdal B., 2011. Geri Kazanılmış Agregata ile Üretilen Polipropilen Lif Katkılı Betonların Özellikleri. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Evangelista, L., de Brito, J., 2006. Mechanical behaviour of concrete made with fine recycled concrete aggregates. Cement & Concrete Composites 29, 397–401.
- Güçlüer, K., Günaydın, O., Tekin, Ö.F., Şahan, M.F., 2017. Farklı Tipte Agregata Kullanımının Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması. Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, cilt 6, sayı 1.

- Hansen, T.C., 1992. Recycling of Demolished Concrete and Masonry, First Edition, Taylor and Francis Book Co., Oxon.
- Ibrahim, H. A., Razak, H. A. 2016. Effect of Palm Oil Clinker Incorporation on Properties of Pervious Concrete. *Construction and Building Materials*, 115, 70– 77.
- Ilıcalı, M., Tayfur, S., Özen, H., Sönmez, İ., ve Eren, K., 2001. Asfalt ve Uygulamaları. YTÜ, Yayın Merkezi Başkanlığı, Seçil Ofset, İsfalt, İstanbul.
- Kevern, J., Wang, K., & Schaefer, V. 2008, Pervious Concrete in Severe Exposures, *Concrete International*, 43-49.
- Kia, A., Wong, H. S., Cheeseman, C. R., 2017. Clogging in Permeable Concrete: A Review. *Journal of Environmental Management*, 193, 221-233.
- Kou, S., C., Poon, C., S., Etxeberria, M., 2010. Influence of recycled aggregates on long term mechanical properties and pore size distribution of concrete. *Cement & Concrete Composites*.
- Leigh N.G. ve Patterson L.M., 2005. Construction and Demolition Debris Recycling for Environmental Protection and Economic Development, City and Regional Planning Program, College of Architecture Georgia Institute of Technology.
- Meininger, R. C., 1998. No-Fines Pervious Concrete for Paving. *Concrete International*, Vol. 10, No. 8.
- Muyap., 2018. Geçmişten Günümüze Karayolu Ulaştırması. Official Web Site of Muğla Sıtkı Koçman University Building Society.
- Neptune, A., & Putman, B., 2010, Effect of Aggregate Size and Gradation on Pervious Concrete Mixtures, *ACI Materials Journal*, 625-631.
- Nguyen, D.H., Sebaibi, N., Boutouil, M., Leleyter, L., Baraud, F., 2014. A modified method for the design of pervious concrete mix. *Construction and Building Materials*, 73, 271– 282.
- Obla, K. H. 2010. Pervious Concrete - An Overview. *The Indian Concrete Journal*, August, 9-18.
- Othman, A., Somayeh, N., 2021. Pervious concrete mixture optimization, physical, and mechanical properties and pavement design: A review, *Journal of Cleaner Production*, volume 288, 125095.
- Öztürk, M., 2005. İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, Çevre ve Orman Bakanlığı, Ankara.
- Öztürk, M., 2007. Su geçiren beton ve asfaltlar. Çevre Şehircilik Bakanlığı.
- Polat, N.M., 2019. Lifli Geçirimli Beton Yol Üst Yapısının Durabilitesinin İncelenmesi. Dumlupınar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Poon C.S., Qiao X.C. ve Chan D., 2006. The Cause and Influence of Self-Cementing Properties of Waste Recycled Concrete Aggregates in the Properties of Unbound Sub-Base, *Waste Management*, 26, 1166-1172.
- Poon, C., S., Chan, D., 2006. The use of recycled aggregate in concrete in Hong Kong. *Resources, Conservation and Recycling* 50, 293–305.
- Rao, A., Jha, K.N., Misra, S., 2007. Use of aggregates from recycled construction and demolition waste in concrete. *Resources, Conservation and Recycling* 50, 71–81.
- Schaefer, V. R., Kevern, J.T., Suleiman, M. T. ve Wang, K., 2006. Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates, Report No. 2006-01, TRB.

- Scholz, M., Grabowiecki, P., 2007. Review of Permeable Pavement Systems. Building and Environment, 42, 3830-3836.
- Tennis, P.D., Leming, M.L., Akers, D.J., 2004. Pervious concrete pavements. Portland Cement Association, Maryland, USA.
- THBB., 2003. Beton yollar. Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 427: 38-44.
- THBB., 2018. Geçirimli beton uygulama klavuzu. Mayıs-Haziran. Çevre ve Şehircilik bakanlığı, Türkiye Hazır Beton Birliği.
- Topçu, İ., B., Günçan, N., F., 1995. Using waste concrete as aggregate., Cement and Concrete Research, vol.25, No.7. pp.1385-1390.
- Topçu, Ö. B., 2019. Geçirimli beton tasarımı ve zemin kaplama bloklarında kullanım olanaklarının araştırılması. Dokuz Eylül Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.
- Torres, A., Hu, J., Ramos, A. (2015). The Effect of the Cementitious Paste Thickness on the Performance of Pervious Concrete. Construction and Building Materials, 95, 850–859.
- Tosun, Y. 2014. Geri kazanılmış agregalı betonların CDF yöntemi ile donma-çözünme (yüzeysel kabuk atma) dirençlerin belirlenmesi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü inşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Erzurum.
- Toz, M., İnşaat ve Mühendislik Hizmetleri Tasarım Uygulama Ltd.Şti. 2016. <https://www.murattoztasarim.com.tr/nicin-beton.html>.
- TS 3624, 1981. Sertleşmiş betonda özgül ağırlık, su emme ve boşluk oranı tayini metodu, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2009. Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 706 EN 12620+A1, 2010. Beton agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Bakanlıklar, Ankara.
- TS 802, 2016. Beton karışım tasarımı hesap esasları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 1097-6, 2015. Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler, Bölüm 6: Tane yoğunluğunun ve su emme oranının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12350-2, 2010. Beton – Taze beton deneyleri – Bölüm 2: Çökme (slump) deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-3, 2010. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 12390-5, 2010. Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 5: Deney numunelerinin eğilme dayanımının tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 197-1, 2002. Çimento – Bölüm 1: Genel çimentolar – bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-1, 2015. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 1: Tane büyüklüğünün dağılımının tayini - Eleme yöntemi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 933-3, 2015. Agregaların geometrik özellikleri için deneyler Bölüm 3: tane şekli tayini-yassılık indeksi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS EN 934 – 2+A1, 2012. Kimyasal katkıları – Beton, harç ve şerbet için - Bölüm 2: Beton kimyasal katkıları – Tarifler, gerekler, uygunluk, işaretleme, ve etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

- Tüfekçi, M.M., 2011. Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Vergheese, K., Lewis, H., Fitzpatrick L. 2012. Packaging for Sustainability, Springer, New York, USA.
- Vural, M., 2019. Bina Beton Atıklarının Karayollarında Bitümlü Temelde Agrega Olarak Kullanılabilirliğinin Araştırılması. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Isparta.
- Wang, K., Schaefer, V.R., Kevern, J.T., Suleiman, M.T. (2006). Development of Mix Proportion for Functional and Durable Pervious Concrete. NRMCA Concrete Technology Forum: Focus on Pervious Concrete, May 24-25, Nashville, TN.
- Xie, N., Akin, M., Shi, X., 2019. Permeable Concrete Pavements: A Review of Environmental Benefits and Durability. Journal of Cleaner Production, 210, 1605-1621.
- Yağcı, İ. Ş., 1991. Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Yang, J., Jiang, G., 2003. Experimental Study on Properties of Pervious Concrete Pavement Materials. Cement Concrete Research, 33, 381–386.
- Yayla, N., 2006. Karayolu Mühendisliği. Birsan Yayınevi, ISBN 9755112871. İstanbul.
- Zaetang, Y., Sata, V., Wongs A., Chindapasirt, P., 2016. Properties of pervious concrete containing recycled concrete block aggregate and recycled concrete aggregate. Construction and Building Materials, 111, 15-21.
- Zaetang, Y., Wongs A., Sata, V., Chindapasirt, P., 2013. Use of lightweight aggregates in pervious concrete. Construction and Building Materials, 48, 585–591.
- Zouaghi, A., Kumagai, M., Nakazawa, T., 2000. Fundamental Study On Some Properties Of Pervious Concrete And Its Applicability To Control Stormwater Run-Off. Transactions of The Japan Concrete Institute, (Cilt 22), S. 43-50.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler	
Adı Soyadı:	Ömer Faruk GÖKÇE
Doğum tarihi:	
Doğum Yeri:	
Uyruğu:	
Adres:	
Tel:	
E-mail:	
Eğitim	
Lise:	Erzincan İmkb Nevzat Ayaz FEN LİSESİ (2008)
Lisans:	Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği (2013)
Yüksek lisans:	Atatürk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Anabilim Dalı (2021)
Yabancı Dil Bilgisi	
İngilizce:	Orta
Üye Olunan Mesleki Kuruluşlar	