

**GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**SİLİS DUMANI VE İNCE KUMUN
POROZ KAPLAMA BETONUNA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Taşkın TANRIVERDİ

**Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
“İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı”
Yüksek Lisans Programında Kabul Edilen Tezdir.**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 30.07.2013

Tezin Sözlü Savunma Tarihi : 02.08.2013

AĞUSTOS 2013

KABUL ve ONAY

Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ danışmanlığında Taşkın TANRIVERDİ tarafından hazırlanan **“SİLİS DUMANI VE İNCE KUMUN POROZ KAPLAMA BETONUNA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ”** isimli bu çalışma jürimiz tarafından Gümüşhane Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı’ nda Yüksek Lisans Tezi olarak Oy Birliği ile kabul edilmiştir.

Başkan

:

Doç. Dr. Ahmet ÇAVDAR

Üye (Danışman)

:

Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

Üye

:

Yrd. Doç. Dr. Selçuk ALEMDAĞ

ONAY

Bu tez/...../..... tarihinde Enstitü Yönetim Kurulunca kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Temel BAYRAK
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİLİS DUMANI VE İNCE KUMUN POROZ KAPLAMA BETONUNA ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

Taşkın TANRIVERDİ

Gümüşhane Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ

2013, 38 sayfa

Geçirimli karayolu üstyapısı geliştirilmekte olan bir yol yapım tekniğidir. Geçirimli üstyapıda kullanılan poroz beton önemli bir kaplama malzemesidir. Geleneksel kaplamalarda yağmur suyu kaplama yüzeyinden kenara doğru akıtılarak uzaklaştırılır. Geçirimli üstyapıda ise kaplama altı drenaj tabakasından kenara doğru akıtılarak yağmur suyu uzaklaştırılır. Bu sayede kaplama yüzeyinde su filmi oluşmamaktadır. Seyir güvenliği ve konfor artmaktadır. Ancak geçirimli poroz beton içindeki % 15-20 oranındaki boşluk nedeniyle oldukça dayanım değerleri oldukça azalmaktadır. Geçirimsizlik kapasitesini azaltmadan dayanım değerlerini artırmak için deneysel çalışmalar yürütülmektedir.

Bu tez çalışmasında silis dumanı ve ince kumun poroz betonun mekanik özelliklerine etkileri incelenmiştir. Çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek % 4, % 8, % 12 ve % 16

oranlarında silis dumanı; % 15, % 30, % 45 ve % 60 oranlarında ince kum kullanılmıştır. Basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, geçirimsizlik, birim hacim ağırlığı ve irtibatlı boşluk oranı ölçümleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar yorumlanmıştır.

Çalışma dört bölümden oluşmuştur. Birinci bölümde üstyapı tipleri, kaplama betonu tipleri ve geçirimsiz üstyapı ile ilgili genel bilgiler verilmiştir. İkinci bölümde kullanılan malzemeler ve yapılan deneyler ile ilgili bilgiler verilmiştir. Deneylerden elde edilen veriler ve irdeleme üçüncü bölümde yer almıştır. Son bölümde ise varılan sonuçlar ve öneriler özetlenerek çalışma tamamlanmıştır.

Yapılan çalışmada çimentoyla yer değiştirilerek silis dumanı kullanılmasının basınç dayanımını arttırdığı ve yarmada çekme dayanımını fazla etkilemediği; ince kum kullanılmasının basınç dayanımını ve yarmada çekme dayanımını azalttığı; her iki katkının irtibatlı boşluk oranını ve geçirimsizlik kapasitesini azalttığı sonucuna varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Geçirimsizlik, Geçirimsiz Üstyapı, İnce Kum, İrtibatlı Boşluk, Poroz Beton, Silis Dumanı

ABSTRACT

MS THESIS

**INVESTIGATING OF THE EFFECTS OF SILICA FUME AND FINE SAND ON
POROUS PAVEMENT CONCRETE**

Taşkın TANRIVERDİ

Gümüşhane University
The Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor: Asst. Prof. Dr. Orhan KARPUZ

2013, 38 pages

Pervious road superstructure is a developed construction technique. Porous concrete is an important pavement material used pervious superstructure. Rain water flows from conventional pavements surface to the edge. On the other hand, in pervious pavement, rain water flows downwards into the pavement and then flows to the edge. So that water film doesn't occur between tire and pavement surface. So, driving safety and comfort increase. However pervious concrete strength values decrease greatly because of high void content (% 15-20). Experimental studies are conducted to increase strength values without reducing permeability.

In thesis study, effects of silica fume and fine sand on mechanical properties of porous concrete was investigated. Replaced with cement by weight, silica fume was used percentage

4, 8, 12, 16; fine sand was used percentage 15, 30, 45, 60. It were measured compressive strength, splitting tensile strength, permeability, unit weight and connected void ratio. Results was interpreted.

This study consist of four chapter. In first chapter, general information was given about superstructure types, pavement concrete types and pervious concrete pavement. In second chapter, information about used materials and experiments were given. Data obtained from experiments and rewievs were discussed in the third section. In the final chapter, conclusions and recommedations were summarized and the study was terminated.

It was seen from results that silica fume increased comprehensive strength and does not affect splitting tensile strength; fine sand decrease comprehensive strength and splitting tensile strength; both silica fume and fine aggregate decrease interconnected void ratio and permeability.

Keywords: Permeability, Pervious Superstructure, Fine Sand, Interconnected Voids, Porous Concrete, Silica Fume,

TEŞEKKÜR

Silis dumanı ve ince kumun poroz kaplama betonuna etkilerinin incelenmesini konu alan bu alıŐma, Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıŐtır.

Bu araŐtırmanın baŐlatılmasında, yürütülmesinde her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen tez yürütücüm Sayın Yrd. Doç. Dr. Orhan KARPUZ Hocama teŐekkürlerimi sunarım.

Her an desteklerini hissettiğim değerli aileme müteŐekkirim. Bu çalıŐmamı aileme ithaf ediyorum.

Taşkın TANRIVERDİ
Gümüşhane, 2013

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖZET	III
ABSTRACT	V
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
TABLolar DİZİNİ	XI
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş	1
1.2. Karayolu Üstyapı Tipleri.....	2
1.3. Rijit Üstyapı - Beton Kaplamalar.....	3
1.4. Beton Kaplamaların Üstünlükleri.....	4
1.5. Yol Kaplama Betonü Türleri	7
1.5.1. Akıcı Beton – Kendiliğinden Yerleşen Beton.....	7
1.5.2. Kuru Yoğun Beton – Silindirle Sıkıştırılabilen Beton.....	8
1.5.3. Lifli Beton.....	8
1.5.4. Öngerilmeli Beton.....	9
1.5.5. Geçirimli (Poroz) Beton.....	9
1.6. Karayolu Geçirimli Üstyapısı	9
1.6.1. Geçirimli Beton Kaplamanın Tarihçesi.....	10
1.6.2. Geçirimli Beton Kaplamanın Avantajları.....	10
1.6.3. Geçirimli Beton Kaplamanın Dezavantajları.....	11
1.6.4. Poroz Kaplama Betonunun Mekanik Özellikler.....	12
1.6.4.1. Basınç Dayanımı.....	12
1.6.4.2. Çekme Dayanımı.....	13
1.6.4.3. Birim Hacim Ağırlık.....	13
1.6.4.4. Su / Çimento Oranı.....	14
1.6.4.5. Çimento Dozajı.....	14
1.6.4.6. Agrega Boyutu.....	14

1.6.4.7. Gürültü Azaltma Kapasitesi.....	15
1.6.4.8. Boşluk Oranı ve Geçirimsizlik.....	15
1.6.4.9. Kum İçeriği.....	17
1.6.4.10. Silis Dumanı İçeriği.....	17
1.6.4.11. Dayanıklılık.....	18
1.7. Amaç.....	18
1.8. Kapsam.....	18
2. YAPILAN ÇALIŞMALAR.....	19
2.1. Kullanılan Malzemeler.....	19
2.1.1. Agregalar.....	19
2.1.2. Çimento.....	20
2.1.3. Silis Dumanı.....	20
2.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı.....	21
2.2. Poroz Beton Karışımların Hazırlanması.....	21
2.3. Poroz Beton Numunelerin Test Edilmesi.....	25
2.3.1. Geçirimsizlik Deneyi.....	26
2.3.2. Birim Hacim Ağırlık ve Boşluk Oranları.....	27
2.3.3. Basınç Dayanımı.....	27
2.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı.....	27
3. BULGULAR ve İRDELEMELER.....	30
3.1. Silis Dumanı ve İnce Kumun Geçirimsizlik Kapasitesine Etkileri.....	30
3.2. Silis Dumanı ve İnce Kumun Birim Hacim Ağırlık ve İrtibatlı Boşluk Oranına Etkileri.....	31
3.3. Silis Dumanının ve İnce Kumun Basınç Dayanımına Etkileri.....	32
3.4. Silis Dumanı ve İnce Kumun Yarmada Çekme Dayanımına Etkileri.....	34
4. SONUÇLAR.....	36
5. KAYNAKLAR.....	37
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. Poroz betonun şematik bir modeli.....	12
Şekil 1.2. Poroz betonda boşluk oranı - geçirgenlik ilişkisi.....	15
Şekil 1.3. Geçirimsizlik deneyi düzeneği.....	16
Şekil 2.1. Deneme karışımları: a-normal, b-az akıcı, c-çok akıcı.....	22
Şekil 2.2. Hiper akışkanlaştırıcı ve su miktarı ayarı.....	23
Şekil 2.3. Akışkanlaştırıcı ilk katıldığı anlardaki çimento harcı.....	24
Şekil 2.4. İyi karıştırıldıktan sonraki çimento harcı.....	24
Şekil 2.5. Poroz beton numunelerin alt ve üst kısımlarının makinede düzeltilmesi.....	26
Şekil 2.6. Labaratuvardaki bilgisayar kontrollü basınç presi.....	28
Şekil 2.7. Yarmada çekme dayanımı aparatı.....	28
Şekil 2.8. Yarmada çekme deneyinde kırılmış poroz beton numuneler.....	29
Şekil 3.1. İnce kum – geçirimsizlik kapasitesi ilişkisi.....	31
Şekil 3.2. Silis dumanı – Birim hacim ağırlık ilişkisi.....	32
Şekil 3.3. Poroz beton numunelerin Basınç dayanımında Yük – Zaman ilişkisi.....	33
Şekil 3.4. Silis dumanı - Basınç dayanımı ilişkisi.....	33
Şekil 3.5. Yarmada çekme deneyindeki Yük – Zaman ilişkisi.....	34
Şekil 3.6. İnce kum – Yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	35

TABLolar DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. Agregaya ait fiziki özellikler.....	19
Tablo 2.2. İnce kumun granülometrisi.....	19
Tablo 2.3. CEMI 42.5 Çimentosunun fiziksel, kimyasal özellikleri.....	20
Tablo 2.4. Silis dumanının özellikleri.....	21
Tablo 2.5. Poroz beton karışımlarda kullanılan malzemeler ve miktarları.....	23
Tablo 3.1. Deneylerden elde edilen tüm değerler.....	30

1.GENEL BİLGİLER

1.1. Giriş

İnsanların ulaşım ihtiyaçlarını karşılamalarına yardımcı olan ulaştırma biçimlerinden birisi de karayoludur. Önemli ulaşım araçlarından birisi olan tekerlekli taşıtların kullanımının artması ile birlikte ulaşım konforu ve güvenliğini sağlayacak yüzey oluşturma ihtiyacı da artmıştır. Bu ihtiyacı gidermek amacıyla zaman içinde birçok çalışma yürütülmüş ve çeşitli üstyapı tipleri elde edilmiştir. Bunlar; rijit (beton), esnek (asfalt) ve karışık olmak üzere üç farklı şekilde yapılmaktadır. Rijit üstyapılar, ağır ve yüksek hacimli trafiğe sahip yollarda granüler bir temel tabakası üzerine yapılan beton plaktan oluşur. Esnek üstyapı, çok tabakalı bir yapıdadır. Alt tabakaları dren kabiliyeti yüksek granüler malzemelerden, üst tabakaları ise yüksek stabilite ve sürüş konforu için bitümlü karışımlardan oluşmaktadır. Karışık tip üstyapılar, zamanla bozulmuş beton kaplamaların üzerine sıcak bitümlü karışım takviyesi yapılarak ya da çimentolu temel tabakası üzerine asfalt kaplama yapılarak oluşturulur.

Bir karayolu kaplaması işlevini yerine getirebilmesi için aşağıdaki hususları sağlamalıdır (Tunç, 2007):

- Taşıtlar için düzgün ve pürüzsüz yüzeyler sağlayarak sürüş konforunu arttırmalı ve taşıt işletme giderlerini azaltmalıdır.
- Araçların sürüş emniyeti için yeterince kayma direncine sahip olmalıdır.
- Trafik yüklerinin oluşturacağı aşınmalara ve deformasyonlara karşı yeterince dirençli olmalıdır.
- Trafik yüklerini yayarak zemine intikal ettirebilmeli fakat bu yüklere karşı koyabilecek kadar da mukavemetli olmalıdır.
- Bakım onarım ve rehabilitasyon maliyetlerinin az olması için yeterince yorulma mukavemeti olmalıdır.
- Tahmin edilen tekerlek yükü tekerrür sayısına yeterince direnç gösterebilecek kalınlığa sahip olmalıdır.
- Don kabarması ve şişmelerden dolayı zeminden gelecek gerilmelere karşı koyabilmeli ve zeminin taşıma gücünde olabilecek azalmalarda yeterince rijit ama zeminin uzun dönem oturmalarında da bu çökmelere uyum sağlayabilecek kadar da esnek davranış gösterebilmelidir.

Konfor ve güvenlik üzerinde, yola gelen yağış sularının uzaklaştırılması ve yağış anındaki görüş koşulları gibi özellikler etkilidir. Yol yüzeyinde yağmur anında oluşacak su filmi, tekerlek ile yüzey arası sürtünme direncini azaltarak taşıtların kızaklaması tehlikesini artırır. Kaplama yüzeyindeki yağış suları, enine eğimle kenarlara akıtılarak uzaklaştırılabildiği gibi, yolun üstyapısı geçirimli inşa edilerek de daha hızlı bir şekilde uzaklaştırılabilir.

Yağış anında taşıt seyir hızlarının azalma nedeni, öndeki taşıtların su sıçratmasıyla arkadaki taşıt sürücülerinin görüş mesafelerinin azalması ve fren mesafesinin artmasından kaynaklanan tedirginliktir. Geçirimli üstyapılar, yol yüzeyinde su birikmesine fırsat vermediklerinden taşıtların su sıçratmasını çok önemli ölçüde azaltırlar. Ayrıca bu tip üstyapıların boşluklu yüzeyi ve iç yapısı, trafiğin oluşturduğu gürültünün azımsanmayacak bir kısmını absorbe ettiğinden, taşıtlardan ve hareketlerinden kaynaklı çevreyi rahatsız edici gürültü, normal geçirimsiz üstyapıya göre daha azdır (Ceylan, 1999).

Geçirimli üstyapılarla ilgili ilk çalışmalar 1967 yılında İngiltere’de, orta ağırlıktaki trafik koşullarında yapılmış, daha sonra ağır trafik koşulları altındaki durum araştırılmıştır. Danimarka ve Norveç’te de otoyollarda ve havaalanlarında kullanılmıştır. ABD’de Dallas’taki askeri havaalanında, Hollanda’da otoyollarda uygulanmıştır. Fransa’da ise Nantes deneme yolunda incelenmiş, Paris şehri içinde ve şehirlerarası yollarda geçirimli üstyapılar uygulanmıştır (Ceylan, 1999). Bu çalışmalar daha çok poroz asfalt alanında olup, poroz betonla ilgili ciddi çalışmalar 1980’ li yıllarda ABD ve Japonya’da başlamıştır (Ghafoori ve Dutta, 1995).

Geçirimli beton yol üstyapıların uygulanması henüz ülkemizde mevcut değildir. Bu konudaki eksikliği azaltmak ve bu tip üstyapıların önemini vurgulamak için, bu tez çalışmasında; geçirimli kaplama betonunu özelliklerinin iyileştirilmesi amacıyla silis dumanı ve ince kum katılmasının etkileri incelenmiştir.

1.2. Karayolu Üstyapı Tipleri

Karayollarında üstyapı, toprak işleri sonucunda oluşturulan tesviye yüzeyi üzerine inşa edilen bir ya da daha fazla tabakalı yapıdır. Asıl yapım amacı trafikten dar alana gelen yüksek yükleri zeminin taşıyabileceği seviyeye kadar indirgemek olan bu tabakalı yapının düzgün, dayanıklı ve emniyetli yuvarlanma yüzeyi oluşturması istenir. Rijitlik açısından esnek üstyapı (asfalt yollar) ve rijit üstyapı (beton yollar) olarak ikiye ayrılırken;

geçirimsizlik açısından da geçirimsiz ve geçirimli (poroz asfalt ve poroz beton) olmak üzere iki tiptedirler. Geçirimsiz üstyapılarda yüzeye yaklaşık 2 % enine eğim verilerek yağın yağmur suları kenara akıtılmaya çalışılır. Geçirimli üstyapılarda ise kaplama tabakası geçirimli yapılarak yağın yağmur suyu en kısa mesafeden kaplama altı tabakalara indirilir ve buradan yol kenarına akıtılır.

1.3. Rijit Üstyapı - Beton Kaplamalar

1974 yılından sonra petrol fiyatlarındaki ani artış nedeniyle, bitümün asfalt betonunun birim fiyatındaki payı giderek yükselmiş ve böylece asfalt ham madde (bitüm), maliyeti açısından sahip olduğu üstünlüğü yitirmeye başlamıştır (İyınam ve Ağar, 2004). Türkiye'deki ağır taşıt trafiğinin Avrupa ortalamalarının oldukça üzerinde olması gerçeği de göz önüne alındığında, kapsamlı bakım – onarım çalışmalarının söz konusu olacağı açıktır. Bu durum, gelir ve performans beklentilerini karşılamaktan uzak kalan otoyollarımız için de farklı bulunmamaktadır.

Karayollarımızdaki bakım – onarım çalışmalarının, ülke ekonomisi açısından göz ardı edilemeyecek bir yük olduğu bilinmektedir. Bu arada, sık bakım – onarım çalışmaları nedeniyle aksayan ulaşımın yol açtığı akaryakıt giderleri ile iş ve enerji kaybının getirdiği yükün ve sürücülerin yaşadığı sıkıntının da ayrıca hesaba katılması gerekmektedir. Bu durumda, daha dayanıklı ve daha az bakım – onarım gerektiren, ana malzemesi kendi kaynaklarımızdan temin edilebilecek beton kaplamalı yollar yapmak önemli bir çözüm seçeneği olabilmektedir. Amerika'da 100, Avrupa'da ise 75 yılı aşkın süredir kullanılmakta olan beton kaplamalı yollar seçeneği, az sayıdaki bazı kent içi ve köy yolu ile 2-5 km arası uzunluklarda deneme yolu dışında, Türkiye'de ne yazık ki bugüne kadar ciddi şekilde değerlendirilememiştir (Karpuz, O., 2008).

Asfalt kaplama üretiminde kullanılan ham petrolün çok büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bu gün çimento üretimi bakımından Dünya'nın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Avrupa'da üçüncü, Dünya'da sekizinci sıradadır. Ülkemizde 5 adet rafineriye karşılık, ülkenin bütün bölgelerine dağılmış ve uluslararası standartlara uygun çok sayıda çimento fabrikası ve hazır beton üretim tesisi bulunmaktadır.

Türkiye’de özellikle ağır taşıt trafiğinin yoğun ve taban zemininin zayıf olduğu bölgelerde beton kaplamalı yolların bir seçenek değil, zorunluluk olarak görülmesi gerekmektedir. Ağır taşıt oranı ve yıllık trafik artış yüzdesi yüksek olan ve bu nedenle çok sık bakım – onarım gerektirmesi nedeniyle sık sık trafiğe kapatılan asfalt betonu kaplamalı otoyolların, beton kaplamalı olarak yapılması uygun olacaktır. Böylece bu yolların, uzun yıllar bakım – onarım gerektirmeksizin, kesintisiz hizmet vermesi sağlanmış olacaktır. Aynı şekilde, yoğun ve ağır trafiğe maruz kalan kent içi yollar ve kent çevre yolları da, beton kaplama uygulamasının son derece verimli olacağı kesimler olmaktadır (İyınam ve Ağar, 2004).

1.4. Beton Kaplamaların Üstünlükleri

Beton kaplamalı yolların asfalt kaplamalı olanlara göre birçok üstünlüğü bulunmaktadır.

- *Beton yolların yapısal ömrü uzundur.* Beton kaplamalı yolların denenmiş en önemli üstünlüğü uzun hizmet ömrü ve üstün dayanıklılığıdır. Beton, ağır trafik yüklerine daha iyi dayanabilmektedir. Betonda, bitümlü kaplamaların kullanılması halinde olası bulunan tekerlek izi ve ötelenme - ondülasyon oluşumu bakımından kaygılanmaya gerek bulunmamaktadır. Asfalt kaplamalı olanların 10 -15 yıl olan hizmet ömürlerine karşılık, beton kaplamalı yollar, sistemin gereksinimlerine bağlı olarak 35 – 40 yıl ve daha uzun süre dayanmak üzere tasarlanabilmekte, böylece beton en uzun hizmet ömürlü üstyapı çözümü olmaktadır. Beton kaplamalar çoğunlukla, hem tasarlanan ortalama hizmet ömründen, hem de tasarımda göz önüne alınan trafik yüklerinden daha fazlasına dayanmaktadır (Ağar ve diğer, 1998).

- *Beton yolların taşıma gücü yüksektir.* Beton kaplamalı yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, asfalt kaplamalı yola nazaran çok daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Rijit beton yol, taban zemini ile sürekli temas halindeyken elastik zemine oturan kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı bulunmaktadır. Bu nedenle, beton kaplamalı yol, zayıf taban zeminleri üzerinde asfalt kaplamalı yollara göre daha iyi sonuçlar vermekte, dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilmektedir. Bu bakımdan, ağır trafik altındaki yollarda, beton kaplamalı yol uygulaması, dayanıklılığı nedeniyle çok daha uygun olmaktadır.

• *Beton yolların sürüş konforu yüksektir.* Beton kaplamaların rijitliği, yapımından sonra uzun süre düzgün sürüş yüzeyini korumasına olanak vermektedir. Daha düzgün yüzeyli kaplamalar daha güvenli, daha konforlu sürüş yüzeyleri oluşturmaktadır. Kanada’da yapılan bir araştırma, beton kaplamalı yollardaki düzgünlük kaybının 5 yıl içinde 4 mm’den 7 mm’ye çıkarken, asfalt kaplamalı yollarda 16 mm’ye çıktığını göstermiştir. Bu sonuç, betonda yüzey düzgünlüğünün daha uzun süre korunduğunu ortaya koymaktadır (İyınam ve Ağar, 2004). Beton kaplamalar ayrıca, yapım sırasında daha üstün yol tutuş ve sessiz sürüş sağlayan bir yüzey oluşturacak dokuda oluşturulabilmektedir.

• *Beton yollar az bakım gerektirir.* Asfalt kaplamaların trafik, hava koşulları vb. etkenlere bağlı olarak hasar görmesi nedeniyle sık sık bakım ve onarıma gereksinim göstermesine karşılık, beton kaplamalar hemen hemen hiç bakım gerektirmemektedir. Betonun dayanıklılığı, yaygın onarım veya yıllık bakım gereksinimlerini en aza indirmektedir. Onarım gerekli olduğunda, bunlar alan bakımından, asfalt kaplamalara göre daha küçük olmaktadır. Onarım sayesinde beton kaplamaların ömrü, orjinal tasarım ömürlerinin 9 katına kadar arttırılabilmektedir.

• *Beton yollar her mevsimde ve her koşulda yapılabilir.* Asfalt kaplama uygulaması düşük sıcaklıkta ve yağışlı hava koşullarında yapılamadığından, yapım ve onarım mevsimi kısa olmaktadır. Beton kaplama uygulaması ise, ıslak zemin de dahil olmak üzere, her türlü iklim koşulunda yapılabilir. Ülkemizde mevsimsel olarak asfalt kaplama uygulamasına olanak veren sürenin kısıtlı bulunması, beton kaplamalı yol uygulamasının uygunluğunu ortaya koymaktadır (İyınam ve Ağar, 2004).

• *Beton yollar daha güvenlidir.* Beton kaplamaların kayma sürtünme katsayıları yüksek bulunmaktadır. Ayrıca, yol yüzeyi düzgün olduğundan, yağış suları kolayca akmakta ve yüzey çabuk kurumaktadır. Asfalt kaplamada oluşan tekerlek izlerinin yağışlı havalarda fazla su tutması nedeniyle oluşabilecek su kayağı etkisi riski ve bu su birikintilerinin soğuk havada donması gibi sürüş güvenliğini tehlikeye düşürecek durumlar nedeniyle uzayan duruş mesafeleri, bu gibi durumların oluşmadığı beton kaplamalarda söz konusu olmamaktadır. Ayrıca, beton özellikle gece güvenli seyir açısından önemli olan, asfalt kaplamaya göre % 33 – 50 daha fazla ışık yansıtma özelliğine sahip bulunmaktadır. Beton ışığı yansıttığı için görülebilirliği ve dolayısıyla güvenliği arttırmakta ve karayolu aydınlatma maliyetlerinde tasarruf sağlayabilmektedir. Beton kaplamalı yol açık renkli olduğu için, araçlar veya yol aydınlatma tesislerinden gelen ışığı asfalt kaplamaya göre

daha az emmekte ve böylece gece görüşü artmaktadır. Beton ıslak olduğunda dahi zararlı far ışığı etkilerine yol açmamaktadır (Karpuz, O., 2008).

- *Beton yollar trafik seyir hızında artış sağlar.* Mevcut yolların beton kaplamalı yola dönüştürülmesi, yüksek trafik yoğunluklu yollarda, tıkanıklık ve sıkışıklıklarda belirgin bir azalma sağlayarak, trafik seyir hızlarında önemli artışlara yol açmaktadır. Hızlardaki bu artış, onarımlara gereksinim göstermeyen ve kazı yapılma olanağı bulunmayan düzgün beton yol yüzeyi nedeniyle olmaktadır. Artan trafik akımı, hem zaman ve yakıt tasarrufunu, hem de boşta çalışan motorların yol açtığı kirlenmenin azalmasını ifade etmektedir.

- *Beton yollar hava koşulları ve yakıt, yağ dökülmesi vb. etkilere karşı dirençlidir.* Beton kaplamalı yollar ısı etkisiyle yumuşamamakta ve bozulmamaktadır. Ayrıca, beton kaplamalı yolun bağlayıcı maddesi çimento, bitümlü bağlayıcının aksine herhangi bir uçucu madde içermemekte, bu nedenle beton kaplamalı yol için gevrekleşme ve yaşlanma söz konusu olmamaktadır. Beton kaplamalar taşıtlardan yakıt, yağ gibi kimyasal maddelerin sızması nedeniyle aşınmamakta ve herhangi bir değişime uğramamaktadır.

- *Beton yollar çevre dostudur.* Bir beton kaplamalı yolun faydalı ömrü 35 – 40 yıl civarında bulunmaktadır. Beton yeniden yapıldığında, eski yüzey kırılarak, yeni yolda kullanılabilir. Çevreye duyarlılık açısından bakıldığında, beton kaplamalı yollar asfalt kaplamalı olanlara göre birçok üstünlüklere sahip bulunmaktadır. Öncelikle, beton üretimi, tesislerde üretilen sıcak bitümlü karışım gibi atmosferi kirletmemektedir. Ayrıca, beton kaplamalara, termal güç tesislerinin kirletme yan ürünü olan ve betonun yoğunluğunu ve kimyasal reaksiyona direncini arttıran uçucu kül ilave edilebilmektedir. Bunun yanı sıra, taşıtların beton yollar üzerinde daha hızlı seyretmeleri, taşıt emisyonlarından kaynaklanan kirlenmenin daha düşük düzeyde olmasını sağlamaktadır (Ağar ve diğer, 1998).

- *Beton yollarda yerli malzeme kullanılır.* Beton kaplamalı yollarda, bol miktarda sağlanması mümkün olan yerli malzemelerden üretilen çimento kullanılmaktadır. Oysa, asfalt kaplamalı yollar, ithal edilen ham petrolden elde edilen asfalt çimentosuna (AC) gereksinim göstermektedir.

- *Beton yollar daha az mevsimsel hasara uğrar.* Betonun dayanıklılığının en fazla önem kazandığı mevsim ilkbahardır. AASHTO tarafından Kanada'da yapılan bir

araştırmaya göre, asfalt kaplamaların % 61'i bahar koşullarında bozulurken, beton kaplamaların aynı koşullardaki bozulma oranı sadece %5,5 olmaktadır (İyınam ve Ağar, 2004).

- *Beton yollar akaryakıt tasarrufu sağlar.* Beton kaplamalı yollar, asfalt kaplamalı olanların aksine, yüklü kamyonlar altında pratik olarak deformasyona uğramayan rijit yollardır. Betonun rijit yüzeyi tekerleklerin dönmesini kolaylaştırdığından, yani beton kaplamaların tekerleğin dönme hareketine karşı dirençleri düşük olduğundan ve motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli ve az olacağından, yakıt ve yağ giderleri ile, bandaj ve lastik aşınması az olacaktır. ABD 'de Federal Highway Administration (FHWA) ve Hindistan'da Central Road Research Institute tarafından yapılan denemeler, beton kaplamalarda asfalt kaplamalara göre yaklaşık %15 – 20 yakıt tasarrufuna ulaşıldığını göstermiştir (İyınam ve Ağar, 2004). Ülkemizde yük taşımacılığının büyük kısmının karayolu ile yapıldığı gerçeği göz önüne alındığında, ülke çapında bir beton yol ağının yapımı, ithal edilen petrol ürünlerine harcanmakta olan değerden büyük miktarda tasarruf sağlayabilecektir.

- *Beton yollar daha ekonomiktir.* Beton kaplamaların yıllar boyunca korunma maliyeti, bitümlü kaplamalara göre genellikle % 25 – 50 oranında daha az olmaktadır. Beton kaplamalar, yansıtıcı özelliği nedeniyle çok daha az aydınlatma gerektirdiğinden, yol aydınlatma tesisi yapım ve bakım maliyetlerinde ekonomi sağlamaktadır. Ayrıca, daha az miktarda yıllık bakım gerektirdiğinden, beton kaplamalı yol onarımlarından kaynaklanan trafik sıkışıklıklarında daha az zaman kaybına neden olmaktadır.

1.5. Yol Kaplama Betonu Türleri

1.5.1. Akıcı Beton – Kendiliğinden Yerleşen Beton

Kayar kalıp veya herhangi bir sıkıştırma ekipmanı kullanılmadığı takdirde, betonun yeterli dayanımını sağlayacak şekilde sıkışması için akıcı kıvamda beton üretilmektedir. Akıcı (kendiliğinden yerleşen) beton sızdırmaz kalıplara transmikserler vasıtasıyla veya pompa yardımıyla dökülebilmektedir. Yan basınç etkisine karşı çelik kalıplar kullanılabilir ve sıkıştırma, perdahlama makinesine bağlı yüzey vibratörleri ile sağlanmaktadır. Akıcı beton, donatı miktarının yüksek olduğu veya geometrik nedenlerle yerleştirilmenin engellendiği durumlarda kullanılmak üzere, vibrasyona gerek kalmaksızın,

segregasyon ve terleme oluşmadan yerleşen bir beton elde etmek amacıyla 1988 yılında Japonya'da geliştirilmiştir. Zamanla iyi özelliklerinin ve sağladığı üstünlüklerin farkına varılmasıyla kullanımı çok yaygınlaşmıştır. Kendi ağırlığı ile yerleşebilme özelliğine sahip olmakla beraber; kohezifliğini ve üretilip yerleştirilene kadar homojenliğini koruyan özel bir beton türüdür. Süperakışkanlaştırıcı veya geliştirilmiş özelliklere sahip hiperakışkanlaştırıcı katkıların etkisiyle betondaki su/çimento oranını arttırmadan işlenebilirliği artırmak ve bu katkıların yardımıyla işlenebilirliği sabit tutup, su/çimento oranını azaltarak yüksek mukavemet değerleri elde etmek mümkün bulunmaktadır. Kendiliğinden yerleşen betonun sağladığı başlıca üstünlükler, inşaat süresini ve işçi maliyetlerini azaltmak, vibrasyon uygulanması gereksinimini kaldırmak, gürültü kirliliğini azaltmak, geometrik nedenlerle betonun yerleştirilmesinin engellendiği, yüksek oranda donatı içeren veya deniz altında yerleştirilmesi gereken elemanların daha başarılı bir şekilde üretilmesi ve düzgün yüzeyli bir beton elde etmek olarak özetlenebilmektedir.

1.5.2. Kuru Yoğun Beton – Silindirle Sıkıştırılabilen Beton

Silindirle sıkıştırılabilen beton, sıfır çökmeye sahip, asfalt kaplama için kullanılan mevcut makine parkından yararlanılarak taşınabilen, yerleştirilebilen ve sıkıştırılabilen bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Bu yöntemde beton, toprak kıvamında olmakta, uygun priz süresi dikkate alınmakta, yeterli taşıma gücünün kısa sürede sağlanması amaçlanmaktadır. Bu tip beton karışımının hacimce %70 – 80'ini agregalar oluşturmakta ve kullanılan agrega geleneksel betonda kullanılan agrega ile aynı mekanik özelliklere sahip bulunmakla birlikte, tane dağılımı bakımından farklılık göstermektedir. Bu yöntem sayesinde, büyük miktarlarda beton donatısız olarak yerleştirilip, sıkıştırılmakta ve kısa sürede trafiğe açılabilir. Bu yöntem sayesinde, büyük miktarlarda beton donatısız olarak yerleştirilip, sıkıştırılmakta ve kısa sürede trafiğe açılabilir.

1.5.3. Lifli Beton

Lifler, betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla, taze beton içerisine çeşitli yöntemlerle değişik oranlarda katılan polipropilen, cam, plastik ve çelik gibi değişik malzemelerden farklı tip, özellik ve boyutlarda üretilmektedirler. Lifleri tanımlayan en önemli öge lifin sahip olduğu mekanik özellikler ile onun sayısal bir parametre gibi ifade edilmesini sağlayan biçimsel özellikleridir. Betonun içine çelik tel parçalarının konulmasıyla gerilmelere karşı direnci arttırılmaktadır. Böylelikle, özellikle betonun, ağır

dingil yüklerine ve aşınmaya karşı direnci arttırılmaktadır. Üst tabakalara uygulanan lifli beton eski tabakaya takviye olarak da başarıyla uygulanmaktadır.

1.5.4. Öngerilmeli Beton

Yeterli bir ön gerilme işlemiyle ısı değişiklikleri ve mekanik zorlanmalardan kaynaklanabilecek çekme gerilmelerinin oluşmaması sağlanmamaktadır. Böylece, plak kalınlıkları 12 – 15 cm'ye düşürülmektedir. Bu yöntem özellikle malzeme ekonomisi sağlamak ve çatlama riskini en aza indirerek, hizmet ömrünün daha uzun olmasını ve derz sayılarının azaltılabildiğini sağlamaktadır.

1.5.5. Geçirimli (Poroz) Beton

Genel olarak % 15 - 25 boşluk miktarına sahip ve boşlukları mümkün olduğunca birbiriyle irtibatlı beton türüdür. Agreganın ince kısmı tamamen ya da kısmen konulmayarak betonda boşluklar oluşturulur. Islak yol yüzeyinde belirli bir aderansın sağlanması amacıyla, yüzeyde su birikmesinin önlenmesi gerekmektedir. Bu nedenle geliştirilen yeni poroz beton kaplama sayesinde gelen yağmur suyunun kaplama içine girmesi ve drenaj sistemine ulaştırılması sağlanmaktadır. Boşluk yapısından kaynaklanan üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır.

1.6. Karayolu Geçirimli Üstyapısı

Geçirimli beton kaplama, yüzeyi ve alt temeli beton, çakıl ve kırılmış agregadan oluşan, içindeki boşluk yüzdesi yüksek olan, yola gelen yağmur suyu veya eriyen kar suyunun hemen kaplama tabakası içine girmesine ve suyun drenaj tesisine ulaşmasından veya taban zeminine sızmasından önce üstyapı içinde geçici olarak depo edilmesine imkan veren bir kaplama türüdür. Geçirimli beton tabakasının diğer kaplamalardan farkı, serildikten ve sıkıştırıldıktan sonra % 15 - % 20 gibi fazla miktarda ve birbiriyle irtibatlı boşluk (poroziteye) yapısına sahip olmasıdır. Klasik yol kaplamalarında boşluk oranı düşüktür (%3-%5 gibi) ve kaplamanın özellikle geçirimsiz olması istenir. Geçirimli kaplamada ise amaç bunun tersidir.

1.6.1. Geçirimli Beton Kaplamanın Tarihçesi

Philadelphia'da 1970'li yıllarda ilk kez Franklin Enstitüsü tarafından geliştirilen geçirimli beton kaplama, betondan suyun sızmasını sağlayabilmek için ince agrega taneciklerinin elenerek azaltıldığı klasik bitümlü beton kaplama tipidir. Kaplamanın altına, uniform gradasyonlu, %40 boşluk oranına sahip iyi yıkanmış temiz agregalardan oluşmuş bir taş şilte tabakası yerleştirilir. Yağmur suyu betonun içinden geçer, bu şiltede tutulur ve yavaşça en alttaki toprak zemine sızar. Toprak zemindeki küçük taneciklerin şilte içine sızmasını önlemek için bu tabaka ile toprak zemin arasına filtre görevi yapan jeotekstil yerleştirilir. Şilte tabakası geçirimsiz bir alt tabaka üzerine inşa edilerek suyun yol üst yapısından dışarıya kenara atıldığı başka bir teknik de vardır (Yağcı, 1991).

1.6.2. Geçirimli Beton Kaplamanın Avantajları

Yol yapımında stabilitenin sağlanması açısından en önemli konulardan biri suyun drenajıdır. Gerek yüzey suyunun gerekse yer altı suyunun yol yapısından drene edilmesi yüksek maliyetlere sebep olmaktadır. Drenaj amaçlı olarak geliştirilen bu tekniğin sağladığı şu avantajlardan da söz etmek mümkündür:

Kaplama %20' yi bulan orandaki hava boşlukları, yüzey suyunun, hızla yol yüzeyinden alt tabakalara doğru drene olmasını sağlar. Böylelikle, yol yüzeyinde su birikintileri ve göllenmeler olmayacağından ve gece sürüşünde, yol yüzeyinde aynalama etkisi oluşmayacağından, şerit çizgileri ve trafik işaretleri daha kolay görülebilir, yansıma sebebiyle oluşabilecek kazaların önüne geçilebilir (Yağcı, 1991).

Islak yollarda kaplamanın yüzeyinde oluşan su filmi sebebiyle taşıt tekerleğinin yola değme alanı pratik olarak sıfır olduğu zaman kızaklama oluşur. Geçirimli kaplamalarda yağış suyu kaplamanın boşluklarında kolayca ilerleyebildiği için, yol yüzeyinde, tekerlek lastiğinin altında yeterli aderans sağlayacak fazla sayıda kuru agrega bulunur. Bundan dolayı, normal hızlarda, geçirimli kaplamalarda kızaklama riski oluşmaz. Kızaklamaya bağlı kazalar önlenmiş ya da şiddeti azaltılmış olur.

Klasik kaplamalarda yağmurlu havalarda araçlar tarafından etrafa sıçratılan sular hem yoldaki görüş koşullarını bozar hem de yolun çevresindekiler için rahatsız edici sonuçlar doğurur. Geçirimli kaplamalarda bu sorun çok büyük ölçüde ortadan kalkar.

Yüksek hızlarda taşıtların lastiklerinin yolu kavrama derecesi yolun pürüzlülüğüne bağlıdır. Pürüzlü bir yüzey, yol ile temas sonucunda lastiklerde deformasyon meydana

getirerek kavramayı arttırır. Geçirimli kaplamalarda, boşluklar kaplamaya büyük bir pürüzlülük kazandırdığından, yüksek hızlarda kaymaya, savrulmaya karşı direnç sağlar ve yol güvenliği arttırılır (Yağcı, 1991).

Özellikle yüksek hızlı yollarda taşıt içindeki ve özellikle taşıt dışındaki gürültü seviyesi diğer kaplama türlerine göre daha düşüktür. Yuvarlanan tekerleklerin yol yüzeyine çarpmasıyla oluşan ya da motordan yayılan ses dalgalarının bir kısmı geçirimli tabakanın boşluklarında sönümlenir. Yağışlı havalarda oluşan hisırtı geçirimli üstyapıda oluşmaz.

Yağışlı havalarda sürücülerin çoğu yavaşladığı için ve geçirimli kaplamalarda hız azaltılması klasik kaplamaya göre daha düşük olduğu için, geçirimli beton kaplamada seyir hızı ve kapasite daha yüksektir. Yağışlı havalarda düşük hızda seyire gerek kalmadığından, araçların yakıt tüketiminde az da olsa tasarruf sağlar.

Normal betonla kıyaslandığında poroz beton yüksek bir geçirgenliğe sahiptir. Bundan dolayı yağmur suyu hızlı bir şekilde zemine nüfuz edebilir ve yeraltı su kaynakları zamanla yenilenebilir. Bu ise, doğal kaynakların korunmasına yardım eder. Bundan dolayı poroz beton kaplama yakınlardaki ağaçların toprak içindeki kökleri yardımıyla daha fazla hava ve su almasına izin verir.

Poroz beton kaplama açık renklidir fakat açık hücre yapısı ısının atmosfere yansımalarını azaltır. Yağmur yağarken, poroz beton asfalt gibi sel suyu akışını ve dolayısıyla da yağmur sularının aktığı su kütlelerini ısıtmaz. Aynı zamanda tutulan yağmur suyu betonun üzerindeki havayı soğutur, çünkü bu tıpkı buharlaşırken tenimizi serinleten ter gibidir. Bu yeryüzünün sıcaklığını ve nemliliğini ayarlayabilir ve şehirlerdeki ve kentsel alandaki sıcak ada olgusunu ortadan kaldırır.

Kentsel alanlarda yol gürültüsünü azaltmak için çitler ve bariyerler inşa etmek de maliyetli olabilir. Bir alternatif olarak, yola poroz beton döşenmesi gürültüyü ve maliyetleri azaltabilir (Yağcı, 1991).

1.6.3. Geçirimli Beton Kaplamanın Dezavantajları

Bu kaplama türünün boşluklu bir yapıya sahip oluşu, aynı zamanda bazı dezavantajları da beraberinde getirmiştir. Bunlardan bazılarına değinilecek olursa:

Geçirimli üst yapılarda, boşlukların zamanla çöküntü malzemesi ile dolması sonucu, kaplama geleneksel üstyapılar gibi davranmaya başlar. Bu tıkanan boşluklar, basınçlı yıkamayla temizlenebilir. Fakat katı tıkanma meydana gelirse, boşluklar açılmaz ve tıkanmış yüzey kaldırılarak yeni malzeme döşenmelidir (Yağcı, 1991).

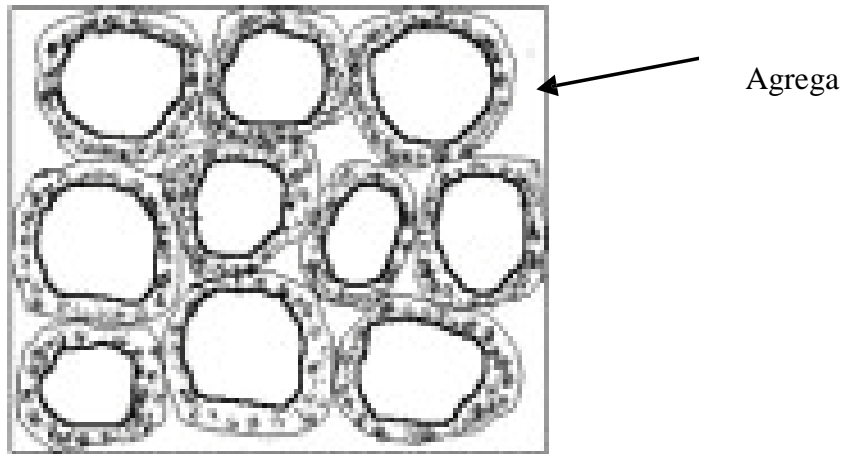
Geçirimli kaplamada, hava boşluğu olduğu için, kış şartlarında yol yüzeyinin sıcaklığı, diğer kaplama türlerine göre 1-2 °C daha düşük olur. Bu durumda kaplamanın yüzeyi, don olayına ve kar tutmasına daha elverişli olur, yüzeyi çabuk donar. Bugüne kadarki denemelerde buzlanmayı yok etmek için 2-3 kat daha fazla tuza gereksinim duyulduğu; bunun da, kışlık bakım harcamalarını fazlasıyla arttırdığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla sert kış iklimine sahip bölgeler için uygun bir teknik değildir. Kışın kum ve tuz uygulaması aynı zamanda poroz kaplamalardaki süzülme oranını da etkileyecektir.

Geçirimli kaplamalarda cilalanmaya, aşınmaya ve darbeye daha dayanıklı agregaya kullanılması gerektiğinden ve drenaj tabakasına ihtiyaç duyduğundan kaplamanın birim maliyeti normal betona göre en az %35 oranında daha fazladır. Ayrıca yol yüzeyi çizgi ve işaret malzemelerinin bir kısmı, boşluklardan içeri girdiği için, daha fazla malzeme kullanmak gerekir. Bu da kaplamanın yapım maliyetini artırır (Yağcı, 1991).

1.6.4. Poroz Kaplama Betonunun Mekanik Özellikleri

1.6.4.1. Basınç Dayanımı

Basınç direnci, eksen yüküne karşı bir beton türünün ölçülen maksimum direnci olarak tanımlanabilir. Basınç direnci genel olarak MPa olarak ifade edilir. Betonun basınç direnci birincil bir fiziksel özelliktir ve köprülerin, binaların ve diğer yapıların tasarım hesaplamalarında sıklıkla kullanılır. Aşağıda (Şekil 1.1) poroz betonun şematik modeli gösterilmektedir.



Şekil 1.1. Poroz betonun şematik bir modeli (Yang ve Jiang, 2003)

Şematik modelden üniform çaplı agreganın betonun iskeletini oluşturduğu ve çimento harcı ile agregaların birbirine bağlandığı görülebilir. Poroz betonda pek çok gözenek vardır ve bunlar suyun beton içerisinden geçmesine imkan verirler. Bu durum geçirgen betonun sağlamlığını daha düşük kılar. Agreganın dayanımı yüksek olsa da, çimento harcının ve çimento harcı ile agrega arasındaki ara yüzün dayanımı zayıftır. Ayrıca, çimento harcı bağlayıcı katmanı incedir ve bunun sonucu olarak poroz beton zayıftır (Yang ve Jiang, 2003). Bundan dolayı ancak sınırlı bir kullanıma imkan sağlar.

Bazı çalışmalar, uygun su / çimento oranı ve sıkıştırma işlemiyle 12 MPa veya daha fazla bir direncin erişilebilir olduğunu rapor etmiştir (Ghafoori ve Dutta, 1995). Diğer bazı çalışmalara göre de geçirgen betonun basınç direnci aralığı 4 MPa ile 25 MPa arasındadır (Chopra ve Wanielista, 2007; Schaefer vd, 2006). Yüksek basınç direnci elde etmek için, çimento harcı dayanımı, agregayı kaplayan harç filminin kalınlığı ve agrega ile harç arasındaki ara yüzey gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Daha küçük boyutlu agrega tabakası kullanılmasının poroz betonun direncini artırdığı söylenebilir (Schaefer ve diğerleri, 2006).

1.6.4.2. Çekme Dayanımı

Poroz betonun basınç dayanımına göre çekme dayanımı geleneksel betona göre daha düşüktür. Basınçta agregalar birbirine yük aktarırken çekme gerilmesi etkisindeki bir poroz betonda boşluk fazlalığı nedeniyle çekme dayanımı oldukça azalacaktır. Poroz betondaki çekme dayanımı genel olarak 1 Mpa ile 3.8 Mpa arasında değişir (Tennis ve diğerleri, 2004). Poroz betonun çekme dayanımı basınç dayanımının %8'i ile %14'ü kadardır. Çekme dayanımını etkileyecek olan unsurlar sıkıştırma, porozite, agrega/çimento oranı ve agrega boyutudur. Eğer agrega boyutu artarsa, poroz betondaki hava boşluğu ve büyüklükleri artar. Dolayısıyla poroz beton içerisindeki kaba agrega arasında daha kalın çimento harcı filmine imkan tanınmış olur.

1.6.4.3. Birim Hacim Ağırlığı

Karışımın birim hacim ağırlığının aynı zamanda poroz betonun basınç direnci üzerinde doğrudan bir etkisi vardır. Karışımın birim hacim ağırlığı arttıkça, poroz betonun direnci de artacaktır (Chopra ve Wanielista, 2007; Schaefer ve diğerleri 2006). Poroz betonun yoğunluğu kullanılan malzemelerin özelliklerine ve oranına bağlıdır. Aynı

zamanda yerleştirmede kullanılan sıkıştırma prosedürüne de bağlıdır. Genel olarak, poroz betonun yoğunluğu 1600 kg/m^3 ile 2000 kg/m^3 aralığındadır (Tennis ve diğerleri, 2004).

1.6.4.4. Su / imento Oranı

Poroz betonlarda çok dūřuk su / imento oranı kullanılması yüksek basınç dayanımı vermez. Bunun nedeni, çimentonun zayıf işlenebilirliği ve zayıf hidrasyonu ile imento harcının agregalara zayıf bağlanmasıdır. Ancak, gereğinden yüksek su / imento oranı aynı zamanda dūřuk basınç dayanımı verir. Bunun nedeni ilave kılcal boşluk oluşumu ve bunun sonucu olarak ortaya çıkan agregaları bir arada tutan yapışkan tabakaların gerilme kapasitesindeki azalmadır. En yüksek basınç ideal bir su / imento oranından elde edilebilir (Meininger,1988).

1.6.4.5. Çimento Dozajı

Agrega daneleri arasındaki imento harcının hacmi adezyonu kontrol eder. Böylece, imento harcının hacmi poroz betonun basınç direncini etkiler. Çimento harcının hacmi arttıķa üssel olarak basınç dayanımı artar arttığı açıkça görülebilir (Zouaghi ve diğerleri, 2000). Ancak fazla miktarda imento harcı boşluklara doğru çökerek boşlukların birbiriyle irtibat kanallarını tıkayacak ve geçirimsizlik azalacaktır. Dolayısıyla imento dozajı ideal miktarda olmalıdır.

1.6.4.6. Agregaya Boyutu

Agrega boyutunun azalması basınç dayanımını artırır. Küçük agregaya kullanılması betonun birim hacmi başına dūřen agregaya parçacıklarının sayısını artırır. Agregaya parçacıkları arttıķa, agreganın belirli yüzeyi ve bağlayıcı alanı artacaktır. Bundan dolayı basınç dayanımı artacaktır. Bunun yanı sıra, daha küçük boyda agregaya kullanılması hem basınç dayanımını dūřürecek olan boşluk içeriğini azaltır ve hem de agregalar arası boşlukların büyüklükleri azalacağından boşlukların tıkanması yönüyle poroz betonu daha hassas bir duruma getirir. Ancak küçük boyutlu agregayla özellikle 9 mm altı agregalarla yapılan poroz betonların ses absorpsiyon kabiliyetleri daha fazladır. (Schaefer ve diğerleri, 2006)

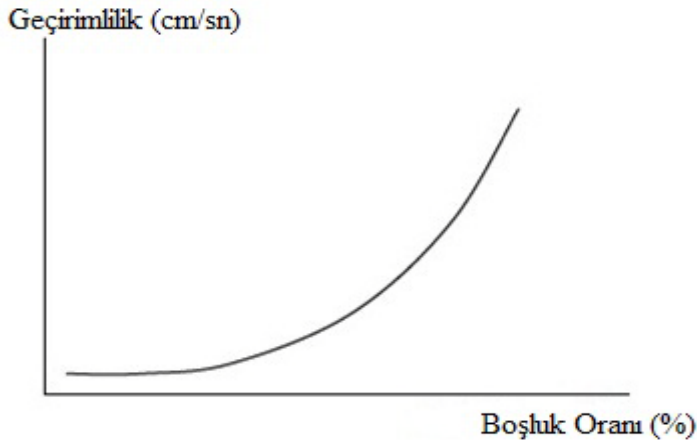
1.6.4.7. Gürültü Azaltma Kapasitesi

Poroz kaplama sesi trafik gürültüsünü azımsanmayacak ölçüde absorbe eder (Olek ve diğerleri 2003). Özellikle yoğun trafikli şehir merkezlerinde, hastane, okul ve ibadethane çevrelerinde araçlar tarafından yayılan gürültü poroz beton kaplama kullanılarak azaltılabilir. Bunun için agrega boyutunun önemli olduğu ve 9 mm den daha küçük agrega kullanılması gerektiğini belirten çalışmalar mevcuttur. Poroz beton, tekerlek ve yol yüzeyi arasındaki hava pompalamasını en aza indirerek yuvarlanma gürültüsünü absorbe eder (Sandberg ve Eismont, 2002).

1.6.4.8. Boşluk Oranı ve Geçirimsizlik

Genel olarak poroz betonun basınç dayanımı ve diğer mekanik özelliklerinin boşluk oranıyla ilgili olduğu kabul edilir. Boşluğun olması çimento matrisinde bir zayıflık rolü oynar. Poroz beton genel olarak %15 ile %35 arasında hava boşluğuna sahip bütün yerler için tasarlanmıştır. Boşluklar hem birbirleriyle bağlantılıdır ve hem de aralarından su geçmesine izin verecek kadar büyüktürler (McCain ve Dewoolkar, 2009).

Geçirimsiz kaplama sisteminin amacı yeterli boşluk yapısına ulaşarak suyun hızlıca sistem içerisinden geçirilebilmesidir. Karışım oranında ince agrega olmadığından, kaba agrega birbirine ancak zayıf bir çimento filmi ile bağlıdır. Daha küçük parçaların poroz betonun boşluklarında birikmesini engellemek için yakın boyda kaba agrega kullanılır.

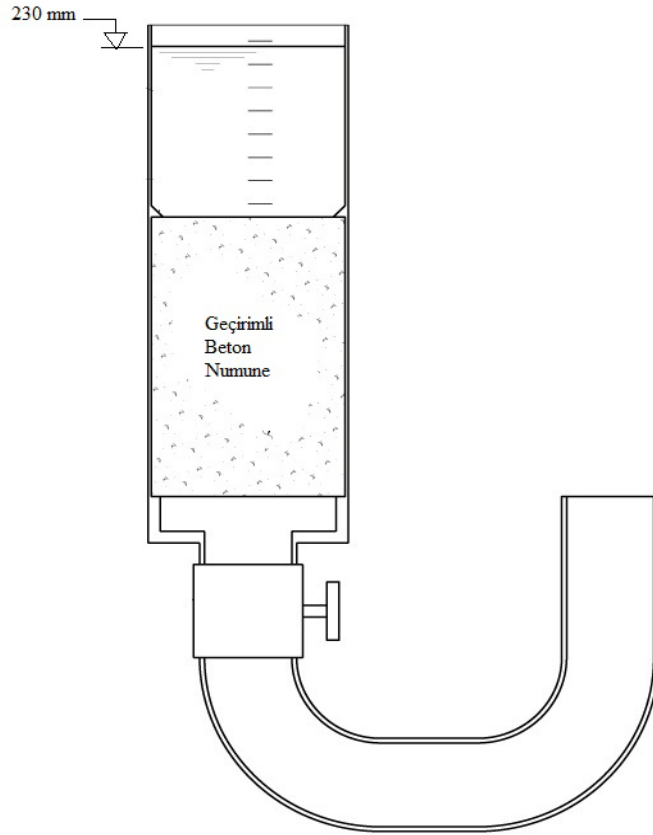


Şekil 1.2. Poroz betonda boşluk oranı - geçirgenlik ilişkisi (Schaefer ve diğer., 2006)

Geçirgenlik, serbest akışla kaplama içinden geçen suyun miktarıyla ilgilidir. Poroz beton yüksek bir geçirgenliğe sahiptir. Poroz betonun geçirgenliği cm / saniye cinsinden ifade edilir. Poroz betonun geçirgenliği, boşluk oranındaki artışa göre üssel olarak artacaktır (Schaefer ve diğerleri, 2006).

Poroz beton çok yeni bir teknoloji olmasa da, hala bu teknolojiye bir uzmanlık eksikliği bulunmaktadır. Pek çok kaplama mühendisinin ve yüklenicinin poroz beton kaplama konusunda uzmanlığı yoktur. Eğer düzgün biçimde yapılmaz ve korunmazsa tıkanma eğilimi vardır.

Poroz betonun geçirimlilik kapasitesi ACI 522R-06' da önerilen teknikle belirlenmektedir. Bu teknikte etrafı kapalı silindirik poroz beton numunesi U şeklindeki test ekipmanının (Şekil 1.3) bir ucuna yerleştirilir. Üzerinde 230 mm su seviyesi olacak şekilde doldurulur. Alt vana açılır ve su seviyesi 25 mm oluncaya kadar geçen zaman kronometre ile sn cinsinden ölçülür. 20.5 cm, ölçülen zamana (sn) oranlanarak geçirimlilik kapasitesi belirlenir.



Şekil 1.3. Geçirimlilik deneyi düzeneği

1.6.4.9. Kum İçeriği

Poroz betona % 10 - % 20 arasında 0 - 5 mm boyutunda kum karıştırılması basınç dayanımı artırabilir. Ancak iri kum daneleri kaba agrega daneleri arası boşlukları doldurabilir (Meininger, 1988). Yeterli oranda kum eklenirken, poroz betonun özelliğini kaybetmemesi için basınç dayanımı ile hava boşluğu arasında denge gözetilmelidir.

1.6.4.10. Silis Dumanı İçeriği

Elektronik endüstrisinde önemli bir malzeme olan saf silisyum üretiminde yan ürün olarak silis dumanı (SD) elde edilir. Silis dumanı başta Norveç olmak üzere Avrupa ve ABD'de yaygın biçimde kullanılmaktadır. Yoğun SD çok yüksek puzolanik özelliğe sahip bir maddedir. Yüksek dayanımlı beton üretilebilmek için, süperakışkanlaştırıcı katkılarla birlikte SD da betonda mineral katkı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Silis dumanının betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega-imento hamuru temas ara yüzeyini güçlendirmede önemli olduğu mikroyapısal incelemeler ve mekanik deneylerle kanıtlanmıştır (Taşdemir, 1995). Çimentodan yaklaşık 100 kat daha ince olan SD imento hamurundaki mikro boşlukları ve agrega-imento arayüzeyini doldurarak, bir taraftan fiziksel ve mekanik özellikleri iyileştirerek betonun dayanımını ve geçirimsizliğini artırırken, diğer taraftan içerdiği aktif silis sayesinde hidrasyon ürünlerinden $Ca(OH)_2$ 'yi bağlayarak betonun kimyasal dayanıklılığını arttırmaktadır. Kimyasal dayanıklılıktaki artış SD'nin puzolanik reaksiyonu sonucu $Ca(OH)_2$ 'yi C-S-H jeli halinde suda çözünmez bir yapıya dönüştürmesine bağlanır. SD'nin inceliği de reaksiyon hızını etkilemekte, nano boyutta SD kullanılması ile puzolonik aktivite ve bağlayıcı hamur agrega arasındaki aderansı oldukça arttırmaktadır (Topçu ve Canbaz, 2008).

Silis dumanı ile çalışırken ortamın havasında bulunan tozlanmanın en aza indirilmesi ve çalışan kişilerin maske ile kendilerini koruyucu önlemleri almaları gerekir.

Silis dumanı betonun yüksek dayanımlara ulaşmasını sağlamakla birlikte, bu durum betonun bulunduğu ortamın sıcaklığıyla da ilişkilidir. Silis dumanı kullanılarak üretilen betonun 7 günlük dayanımında, eğer kür yapıldığı ortam 10 °C mertebesinde ise belirgin bir artış olmamaktadır. Ancak kür ortamının sıcaklığı 20 °C mertebesinde ise, betonun dayanımı önemli ölçüde artmaktadır (Toutanji ve Bayasi, 1999).

1.6.4.11. Dayanıklılık

Betonun dayanıklılığı, betonun istenilen mühendislik özelliklerini muhafaza ederek hava koşullarına, kimyasal saldırıya ve erozyona karşı koyma yeteneği olarak tanımlanabilir. Beton içindeki malzemelerin oranı, bu malzemeler arasındaki etkileşim ve yerleştirme ve sıkıştırma uygulamaları nihai dayanıklılığı belirleyecektir. Poroz beton nem hareketliliğini kolaylaştıracağından, bunun dayanıklılığı etkileyebileceği beklenebilir.

Poroz beton daha fazla nemin matrise aktarılmasını sağlar ve bu nedenle poroz betonun geleneksel betonla kıyaslandığında daha fazla dayanıklılık sorunu vardır. Poroz betonun eğer tüm boşluk yapısı su ile dolarsa bu durum, donma - çözülme koşullarında zayıf dayanıklılığa yol açacak ve kısa sürede zarar oluşacaktır.

1.7. Amaç

Bu laboratuvar çalışmasının yapılmasında amaç; yaklaşık % 15 oranında boşluk yapısına sahip bir poroz betonun, boşluk sebebiyle zayıflayan mekanik özelliklerine, silis dumanı ve ince kumun olumlu yönde etki edip etmediğinin ve etki derecesinin belirlenmesidir. Karayolu kaplama tabakası malzemesi olarak poroz beton, trafiğin seyrine ve çevreye çok ciddi katkılar sağladığından bu konuda çalışma gereği duyulmuştur.

1.8. Kapsam

Yukarda bahsedilen amaç kapsamında, Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Malzemesi Laboratuvarı imkanları kullanılarak, normal portland çimentolu, silis dumanı katkı, ince kum katkı ve silis dumanı ile ince kum karışık katkıli poroz beton karışımlar üretilmiş ve 100x200 mm ölçüsünde silindirik numuneler oluşturulmuştur. Katkılar çimento ile ağırlıkça yer değiştirilerek kullanılmıştır. Silis Dumanı %4-%8-%12-%16 oranda, ince kum ise %15-%30-%45-%60 oranında katılmıştır. Her bir poroz beton karışımına ait 7 gün kürlü numuneler üzerinde basınç dayanımı; 28 gün kürlü numuneler üzerinde geçirimsizlik, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı; tüm numuneler üzerinde birim hacim ağırlık deneyleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen deney sonuçları yorumlanmıştır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

2.1. Kullanılan Malzemeler

2.1.1. Agregaya

Poroz beton karışımlarda Gümüşhane ili merkezinde yer alan Arazlar Konkasör Tesislerinden temin edilen kalker kökenli agregaya kullanılmıştır. Agregaya yığınının genelinin kübik şekilli danelerden oluştuğu, yassı ve uzun dane oranının az olduğu gözlemlenmiştir. Karışımlar hazırlanmadan önce, kullanılacak iri agregaya 8 ve 4 mm eleklerden elenerek ana yığından ayrılmıştır. Daha sonra iyice yıkanarak doymuş yüzeyi kuru (DYK) halde kapalı plastik kaplarda muhafaza edilmiştir. Agreganın kullanıldığı haliyle yani doymuş kuru yüzeyli birim hacim ağırlık değeri belirlenmiştir. Los Angeles (LA) aşınma oranı deneyi, Jeoloji Laboratuvarındaki cihaz ile belirlenmiştir. Deneyden elde edilen değer, beton yol standartlarında belirtilen max % 30 sınırını aşmadığından agregaya uygun görülerek kullanılmıştır. Kaba agregaya ve ince kuma ait özellikler aşağıdaki tablolarda verilmiştir.

Tablo 2.1. Kaba Agregaya ait fiziki özellikler

Kayaç türü	Kalker
Boyut, mm	4 – 8
Birim Hacim Ağırlığı, gr / cm ³	2,705
Aşınma Miktarı (LA), %	23
Bir poroz beton numunesi için agregaya miktarı, g	2700

Tablo 2.2. İnce kumun granülometrisi

Elek Çapı, mm	Geçen, % P
1	100
0,5	65
0,25	30
0,125	0

İnce kum olarak, yukarıda bahsedilen agregaya yığınının 1 mm, 0.5 mm, 0.25 mm ve 0.125 mm ölçülü eleklerden elenen 1.0 - 0.125 mm arası malzeme çimentoyla ağırlıkça

% 15, % 30, % 45 ve % 60 oranlarında yerdeğiştirilerek kullanılmıştır. İnce kumun granülometrisi Tablo 2.2' de verilmiştir.

2.1.2. Çimento

Gümüşhane ili Tekke mevkiinde yer alan Aşkale Çimento A.Ş. firmasına ait fabrikadan temin edilen CEMI 42.5 türü normal portland çimentosu kullanılmıştır. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler aşağıdaki tabloda verilmiştir. Konuyla ilgili literatürde yer alan çalışmalarda yaygınlıkla kullanıldığından, karşılaştırma maksatlı olarak CEMI 42.5 tercih edilmiştir. Her bir poroz beton numunesi hazırlanmasında 575 gr çimento kullanımı esas alınmıştır.

Tablo 2.3. CEMI 42.5 Çimentosunun fiziksel, kimyasal ve basınç dayanımı özellikleri

Kimyasal Özellikler		Fiziksel Özellikler	
SiO ₂	18.51	Ç.Kalıntı	0.86
Al ₂ O ₃	4.23	45 Mikron Elek Kalıntısı	2
Fe ₂ O ₃	3.38	90 mikron elek kalıntısı	0
CaO	60.46	Özgül Yüzey (Blaine) (cm ² /g)	3627
MgO	2.79	Priz Başlama Süresi (Saat-Dk)	195
SO ₃	3.11	Priz Sona Erme Süresi (Saat-Dk)	240
Kızdırma Kaybı	3.53	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	3.10
Na ₂ O	0.33	Genleşme (Le Chatelier - mm)	1
K ₂ O	0.74	Standart Kıvam Su Miktarı	30.7
Cl ⁻	0.0106	Basınç Dayanımı, MPa	
Toplam	97.42	1 Gün Kürlü	13.1
Ölçülemeyen	2.58	2 Gün Kürlü	28
Serbest Kireç	0.68	28 Gün Kürlü	57.8

2.1.3. Silis Dumanı

Bu malzeme Dost Kimya Ltd. Şti. firmasından temin edilmiştir. Kimyasal özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir. Çimentonun ağırlıkça % 4, % 8, % 12, % 16'sıyla yerdeğiştirilerek kullanılmıştır. Sisli dumanının özellikleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

Tablo 2.4. Silis dumanının özellikleri

Şekilsiz SiO ₂	Min % 93	(gerçek % 96,1)
H ₂ O (nem)	Max % 0,3	(gerçek % 0,19)
Kızdırma Kaybı	(L.O.I max % 3,5)	(gerçek % 1,81)
+45 mikron üzeri	Max % 2.5	(gerçek % 0,58)
Hacim Yoğunluğu	0,55 - 0,65 kg/dm ³	
İncelik, BET	min. 15-28 m ² /gr	(gerçek 23,36 m ² /gr)

2.1.4. Akışkanlaştırıcı Katkı

Üretilen poroz beton karışımlarında su/çimento oranı 0,27 olduğundan yeterli işlenebilirliğin sağlanabilmesi için su azaltıcı kimyasal katkı kullanılması gereklidir. Bu maksatla Sika firmasına ait Viscocrete Hi-Tech 32 isimli ürün kullanılmıştır. Kimyasal yapısı, modifiye polikarboksilat esaslı polimerdir. Üçüncü nesil bir hiperakışkanlaştırıcıdır. Kahve renginde bir sıvıdır. Çimento ağırlığının % 0.6 - % 1' i oranında karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır. % 0,52 ' lik bir miktarı dahi çimento harcının kıvamı üzerinde oldukça etkili olduğundan her bir karışım için kullanım yüzdesi ayrı ayrı belirlenmiştir.

2.2. Poroz Beton Karışımların Hazırlanması

Literatürde yapılan araştırma neticesinde üretilen tüm poroz beton karışımlar için sabit olmak üzere su / çimento oranı 0,27 ve çimento / agrega oranı 0,213 olarak seçilmiştir. Yukarıda da bahsedildiği üzere her bir 100 x 200 mm silindirik numune için 2700 gr agrega, 575 gr hidrolük bağlayıcı ve 156 gr su kullanılmıştır.

Poroz betonun en öncelikli konusu çimento harcının kıvamıdır. Agrega danelerini saracak-örtecek yeterli yumuşaklıkta olmalı fakat sıkıştırma sırasında agrega arası boşluklara düşerek kalıbın dip kısmına doğru hareket edecek kadar da akıcı olmamalıdır. Eğer bu şekilde bağlayıcı harcı akıcı olursa, poroz betonun üst kısmı ile alt kısmı farklı mekanik özelliklere sahip olacak ve boşluklar arası irtibat kanalları tıkanacağından bir bütün haliyle poroz beton tabakanın geçirimsizliği önemli oranda azalacaktır. Kıvam ayarı, hiper akışkanlaştırıcı katkı miktarıyla yapılmıştır.

Yukarıda bahsedilen husus ışığında deneme karışımları yapılmıştır (Şekil 2.1. a,b,c). Şekil 2.1.b'de az miktarda fakat Şekil 2.1.c'de fazla miktarda çimento harcının akması



a



b



c

Şekil 2.1. Deneme karışımları: a-normal, b-az akıcı, c-çok akıcı

durumları bariz görülmektedir. Şekil 2.1.a’da olduğu şekilde tüm karışımlarda uygulanacak bir kıvam belirlenmiş ve belirlenen kıvam değeri yayılma çapı deney aleti kullanılarak ölçülmüştür (ASTM C230). Belirlenen kıvama göre diğer karışımlar için de belirlenen katkı miktarları ve tüm karışım değerleri aşağıdaki tabloda topluca verilmiştir.

Tablo 2.5. Poroz beton karışımlarda kullanılan malzemeler ve miktarları (g)

Karışım No	İri Agregata	Çimento	Silis Dumanı	İnce Agregata	Su	Hiper Akışkanlaş.
P	2700	575	0	0	156	6
S4	2700	552	23	0	156	6
S8	2700	529	46	0	156	6,2
S12	2700	506	69	0	156	6,5
S16	2700	483	92	0	156	6,7
İ15	2700	488,75	0	86	156	5
İ30	2700	402,5	0	172	156	4,5
İ45	2700	316,3	0	259	156	4
İ60	2700	230	0	345	156	4
8-30	2700	357	46	172	156	5
8-60	2700	184	46	345	156	4
16-30	2700	311	92	172	156	5
16-60	2700	138	92	345	156	4,5



Şekil 2.2. Hiper akışkanlaştırıcı ve su miktarı ayarı

Karışımlar hazırlanırken önce akışkanlaştırıcı hassas terazide tartılıp bir behere alındı ve miktarı belirlenmiş su katılarak karıştırıldı (Şekil 2.2). Sonra ağırlığı belirlenmiş çimentoya spatula ile yedirilerek ilave edildi. Çimento harcı başlangıçta yarı kuru bir görüntü vermiştir (Şekil 2.3). Karışım önce düşük sonra yüksek hızda iyice karıştırıldı. Tüm bu karıştırma işlemi 5 dakika kadar sürmüştür. İşlem sonucunda yüzeyi parlak, harekete dirençli fakat yavaşça akma eğiliminde bir çimento harcı (Şekil 2.4) ortaya çıkmıştır.



Şekil 2.3. Akışkanlaştırıcı ilk katıldığı anlardaki çimento harcı



Şekil 2.4. İyice karıştırıldıktan sonraki çimento harcı

Çimento harcının üzerine doymun kuru yüzey haldeki miktarı belli agrega ilave edilmiş ve agrega daneleri üzerinde eşit miktarda homojen bağlayıcı filmi oluşuncaya kadar spatula yardımıyla el gücüyle karıştırılmıştır. Laboratuarda mevcut küçük ve büyük mikserler kazan içinde dönen palet sistemli olduklarından, beton karma işlemi sırasında, agreganın palet-kazan yüzeyi arasında sıkışıp kırılarak gradasyon değişimine uğramasından ve bunun sonuçları etkilemesinden çekinilmiştir. Dolayısıyla tercih bu yönde olmuştur.

Üretilcek deney numuneleri için konuyla ilgili literatürde yaygınlıkla kullanıldığından 100 x 200 mm silindir kalıplar tercih edilmiştir. Hazırlanan bir poroz beton karışım harcı, iç yüzeyi gresle hafifce yağlanmış silindirik kalıbın içersine üç tabakada yerleştirilmiştir. Her tabakada spatula ucuyla 20 - 25 darbe yapılarak karışım üniform şekilde yerleştirilmiş ve ön sıkıştırma gerçekleştirilmiştir. Daha sonra sarsma tablası üzerine konulmuş ve 4 sn süreyle vibrasyona maruz bırakılarak nihai sıkışma sağlanmıştır. Bir saat kadar bekletildikten sonra poroz beton numuneler, kalıbıyla beraber kür havuzuna konulmuştur.

2.3. Poroz Beton Numunelerin Test Edilmesi

Belirlenen kür süresini tamamlamış poroz beton numunelere önce geçirimsizlik testi uygulanmış, sonra birim hacim ağırlık ölçümleri alınmış, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Üç numunenin ortalaması karışım değeri olarak alınmıştır.

Poroz beton numuneleri kalıptan çıkartmak için CBR deney seti krikosu kullanılmıştır. Kriko boyu 200 mm' den az olduğundan çıkarma işlemi iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Normal betonda kullanılan hava ya da su basıncı teknikleri poroz betondaki boşluklar nedeniyle etkili olmadığından kullanılamamıştır.

Numune üst yüzeyleri düzgün olmadığından ve sıkışmaya bağlı olarak 200 mm' den daha fazla yüksekliklere sahip olduklarından laboratuvardaki başlık düzeltme cihazında yükseklikleri 200 mm' ye ayarlanmış ve düzeltme işlemleri yapılmıştır (Şekil 2.2).



Şekil 2.5. Numunelerin alt ve üst kısımlarının makinede düzeltilmesi

Birim hacim ağırlık ölçümlerinden önce poroz beton numunelerin düzeltilen yüzeylerindeki öğütme kalıntıları iyice yıkanıp temizlenmiştir.

2.3.1. Geçirimlilik Deneyi

Geçirimlilik testi için genel bilgiler kısmında bahsedilen yöntem (1.6.4.9) uygulanmıştır. İnşaat sektöründe kullanılan 100 mm çaplı sert plastik dirsekten ikisi su geçirmez şekilde birleştirilerek bir “U” oluşturulmuş ve metal kova içine sıkıştırılarak sabitlenmiştir. Deneye tabi tutulacak numunenin kalıbının üstüne boş bir kalıp koyularak yükseltilmiş ve su sızdırmaması için ara çizgi boyunca bantlanmıştır. Bu haliyle “U” şeklindeki düzeneğin kauçuk contalı ucuna yerleştirilmiştir. Bir şerit metrenin ilk 2,5 cm’ lik kısmı belirgin hale getirilerek kalıbın içine dik olacak şekilde yerleştirilmiştir. Daha sonra kalıbın içinde 25-26 cm yüksekliğinde su olacak şekilde doldurulmuş ve dolun işlemi bitirilip su yüksekliği 23 cm’ ye indiğinde kronometre çalıştırılmış, su yüksekliği 2,5 cm olduğunda kronometre durdurulmuştur. İki defa tekrarlanan ölçümlerin ortalaması geçirimsizlik kapasitesi için saniye olarak kaydedilmiştir. 28 günlük kürlü numunelerden ölçümler alınmış ve her karışım için ortalama değer belirlenmiştir.

2.3.2. Birim Hacim Ağırlık ve Boşluk Oranları

Darası sıfırlanmış terazinin su içindeki kefesine beton numuneler yerleştirilip suya batırılmış ve ağırlık değişimi olmayıncaya kadar beklendikten sonra okunan değer “*sudaki ağırlık*” olarak kaydedilmiştir. Poroz numuneler sudan çıkartılırken bir miktar su da beraberlerinde çıktığından kovadaki suya ara ara takviye yapılmıştır. Sudan çıkartılan numune bir gün süreyle kuruması için dışarıda bekletildikten sonra terazide normal şekilde tartılmış ve “*havadaki ağırlık*” değeri olarak kaydedilmiştir. 100x200 mm ölçüsünde bir silindirin hacmi 1570,8 cm³ dür. Birim hacim ağırlık değeri şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{Birim Hacim Ağırlığı} = \text{Havadaki Ağırlık} / 1570,8$$

Poroz beton içersinde iki türlü boşluk oranı vardır. Birincisi çimento harcıyla sarılmış agrega daneleri arasındaki tüm boşlukları kapsayan genel anlamda “*boşluk*” oranıdır. İkincisi ise poroz betonun üst yüzeyi ile alt yüzeyi arasında birbiriyle irtibatlı olan boşlukların oranıdır. Buna da “*irtibatlı boşluk*” denmektedir ve şu şekilde hesaplanmıştır:

$$\text{İrtibatlı Boşluk Oranı} = 1 - (\text{Havadaki Ağırlık} - \text{Sudaki Ağırlık}) / 1570,8$$

2.3.3. Basınç Dayanımı

Basınç dayanımını belirlemek için 7 günlük üç adet ve 28 günlük 3 adet numune kullanılmıştır. Standarda (TS EN 12390-2) ve (TS EN 12390-3) uygun olarak teste tabi tutulmuştur. Test için laboratuardaki bilgisayar kontrollü basınç presi kullanılmıştır (Şekil 2.6).

2.3.4. Yarmada Çekme Dayanımı

Literatürde yaygınlıkla kullanıldığından bu çalışmada, eğilmede çekme yerine yarmada çekme deneyi tercih edilmiştir. Poroz beton numuneleri bu deney için uygun aparata yerleştirilerek basınç presinde kırılmıştır (Şekil 2.7). Yarmada çekme dayanımı aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

$$F_{ct} = 2 \times F / (\Pi \times 200 \times 100)$$

Burada F_{ct} , MPa cinsinden yarmada çekme dayanımı olmak üzere; F, Newton cinsinden kırılma yüküdür.

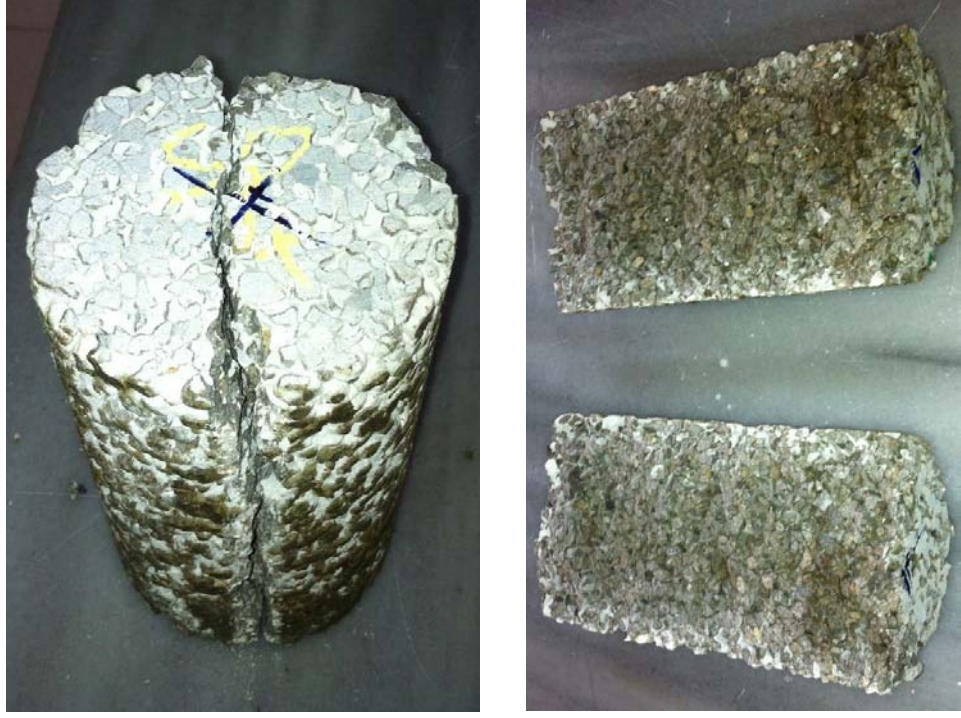


Şekil 2.6. Labaratuvardaki bilgisayar kontrollü basınç presi



Şekil 2.7. Yarmada çekme dayanımı aparatı

Yerleştirmeden önce poroz beton numunelerin kesit orta noktaları işaretlenmiştir. Kırılma şekli aşağıda (şekil 2.8) verilmiştir.



şekil 2.8. Yarmada çekme deneyinde kırılmış poroz beton numuneler

3. BULGULAR ve İRDELEMELER

Geçirimli poroz kaplama betonunda çimentoya silis dumanı ve ince kum katılarak elde edilen on farklı karışım üzerinde gerçekleştirilen deneyler ve ölçümler sonucunda elde edilen geçirimsizlik kapasitesi, basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, birim hacim ağırlık ve boşluk oranları değerleri aşağıdaki tabloda topluca verilmiştir.

Tablo 3.1. Deneylerden elde edilen tüm değerler

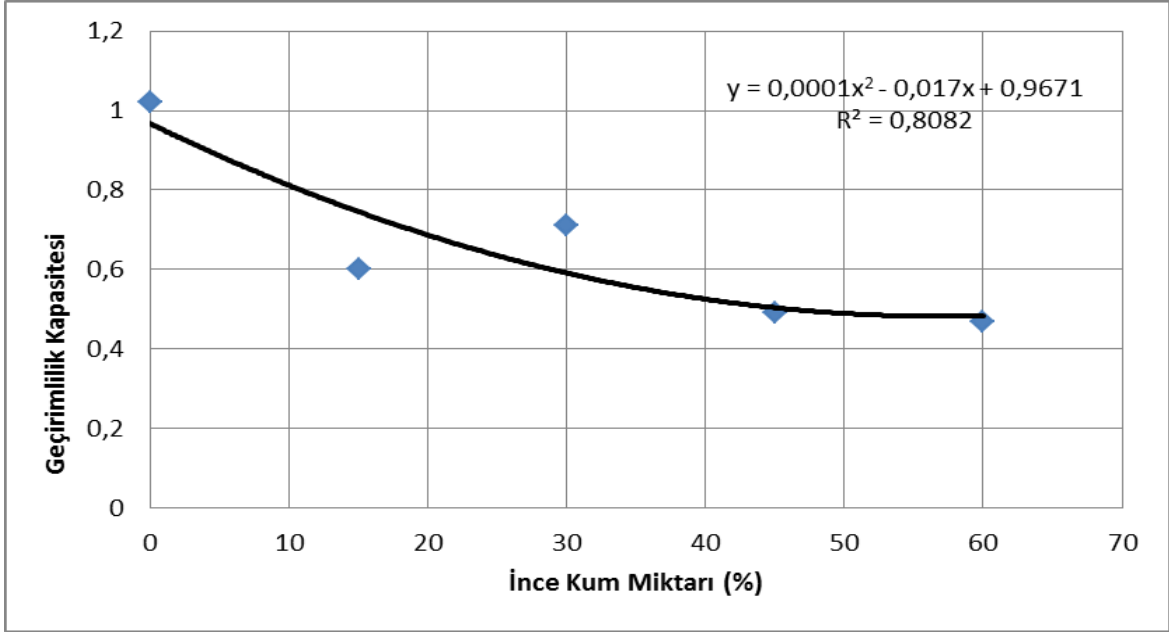
Karışım No	Geçirml. Kapst. (cm/sn)	Birim Hac. Ağır. (gr/cm ³)	İrtibatlı Boşluk %	Kür7 Basınç MPa	Kür28 Basınç MPa	Kür28 YÇekme MPa
P	1,02	2,202	10,56	3,33	3,90	2,45
SD4	0,55	2,240	6,63	4,03	4,36	2,50
SD8	0,64	2,224	7,34	4,51	3,38	2,38
SD12	0,49	2,245	5,88	4,49	4,97	2,56
SD16	0,54	2,226	7,41	4,20	5,28	2,04
İK15	0,60	2,209	9,87	2,70	4,03	2,14
İK30	0,71	2,197	10,04	3,18	4,20	1,93
İK45	0,49	2,218	8,95	2,36	2,22	1,62
İK60	0,47	2,211	8,36	1,51	2,06	1,21
8-30	0,64	2,229	8,68	4,27	4,45	2,24
16-30	0,68	2,235	5,41	4,19	4,30	2,05

3.1. Silis Dumanı ve İnce Kumun Geçirimsizlik Kapasitesine Etkileri

En yüksek geçirimsizlik kapasitesi 1,02 cm/sn ile katkısız P karışımında, en düşük geçirimsizlik kapasitesi ise 0,47 cm/sn değeri ile ince kumlu İK60 karışımında elde ölçülmüştür. Katkılı poroz beton karışımların tümünde geçirimsizlik kapasitesi azalmıştır. Azalma miktarı en düşük % 30 ile İK30 karışımında, en yüksek % 53,9 ile İK60 karışımında gerçekleşmiştir.

Silis dumanı artışıyla beraber geçirimsizlik kapasitesinde anlamlı bir değişim olmamıştır. İnce kum miktarının artışı ile geçirimsizlik kapasitesi de azalma göstermiştir (Şekil 3.1). Geçirimsizlik kapasitesine etki eden faktörlerden biri çimento harcının kıvamı ve

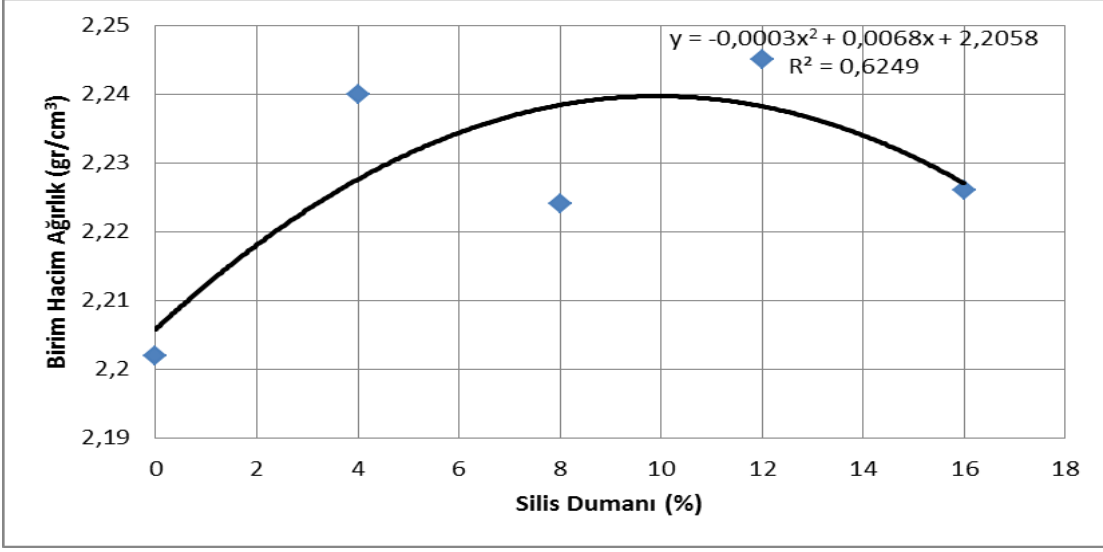
kohezyonudur. Silis dumanı miktarı arttıkça kohezyonun arttığı, ince kum miktarı arttıkça kohezyonun azaldığı gözlenmiştir.



Şekil 3.1. İnce kum miktarı – geçirimsizlik kapasitesi ilişkisi

3.2. Silis Dumanı ve İnce Kumun Birim Hacim Ağırlık ve İrtibatlı Boşluk Oranına Etkileri

En düşük birim hacim ağırlık değeri $2,202 \text{ gr/cm}^3$ ile katkısız P karışımında, en yüksek değer ise $2,245 \text{ gr/cm}^3$ ile SD12 karışımında ölçülmüştür. Poroz beton karışımların birim hacim ağırlık değerleri katkılarla beraber genel olarak artmıştır. Dolayısıyla poroz betona silis dumanı ve ince kum katıldığında karışımın daha iyi sıkıştığı söylenebilir. Katkılarının artış miktarı ile birim hacim ağırlık artışı arasında anlamlı ilişkiler tespit edilememiştir. Ancak genel olarak silis dumanının ince kuma göre daha fazla artışa neden olduğu söylenebilir (Şekil 3.2). Silis dumanında artış % 1 - % 1,95 arasında gerçekleşmişken ince kumlu karışımlarda artış % 0,3 - % 0,73 arasında gerçekleşmiştir.



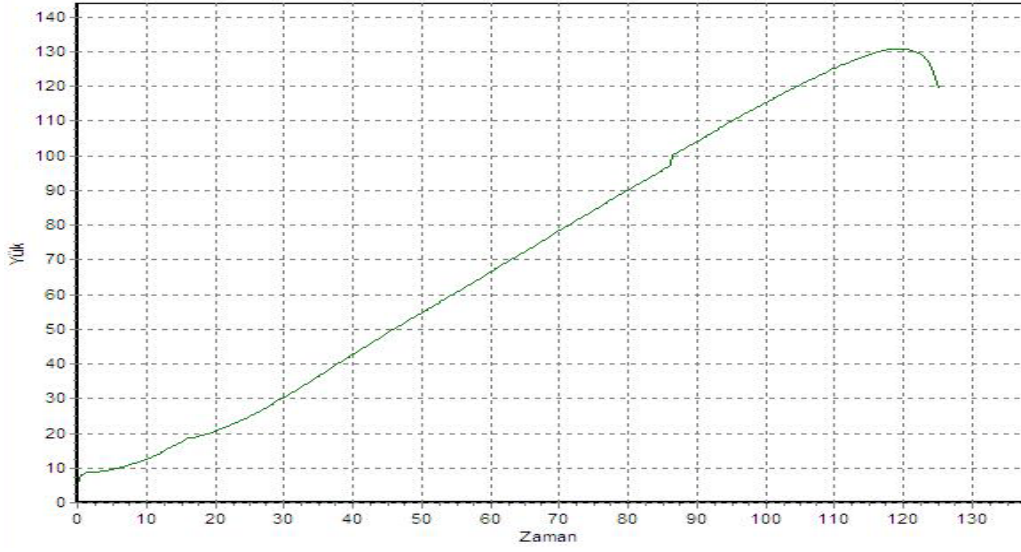
Şekil 3.2. Silis dumanı – Birim hacim ağırlık ilişkisi

İrtibatlı boşluk oranı değeri katkı katıldığında azalmıştır. Silis dumanı katkılı karışımlardaki azalma ince kumlu karışımlardakinden daha fazla olmuştur. İK15 ve İK30 karışımlarındaki azalma az, İK45 ve İK60 karışımlarındaki azalma fazla olmuştur. İnce kumlu karışımlardaki azalma % 4,9 - % 20,8 arasında gerçekleşmişken silis dumanı katkılı karışımlardaki azalma % 29,8 - % 44,3 arasında gerçekleşmiştir.

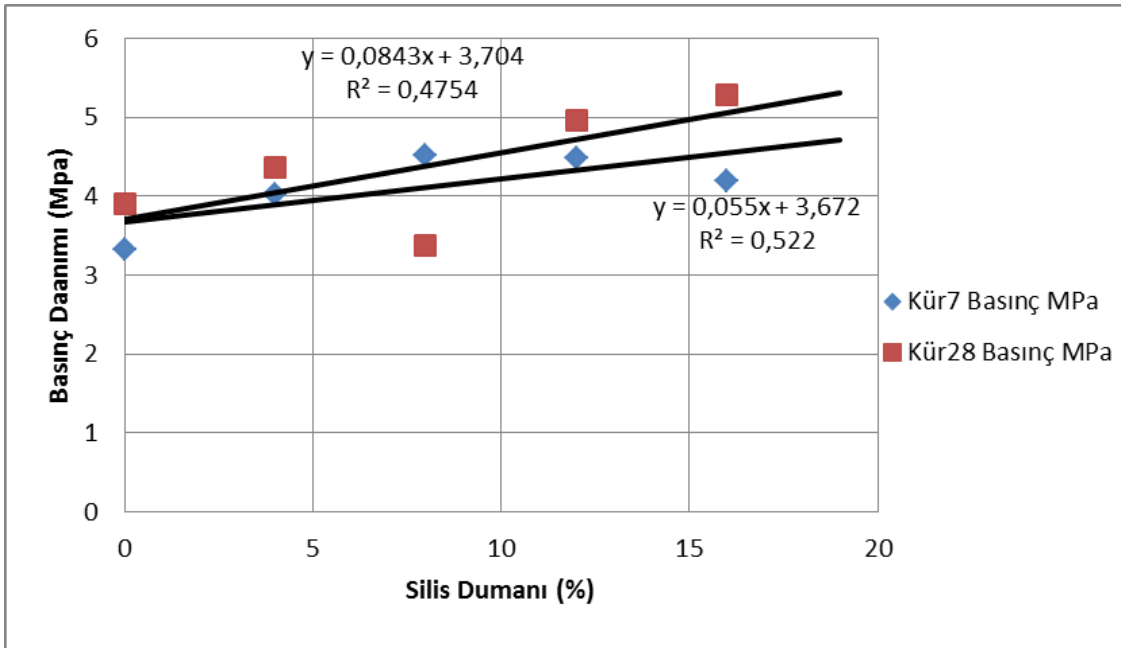
SD8-İK30 ve SD16-İK30 karışımlarına bakıldığında silis dumanı artışının poroz beton karışımın irtibatlı boşluk oranını azalttığı söylenebilir.

3.3. Silis Dumanının ve İnce Kumun Basınç Dayanımına Etkileri

Basınç dayanımı deneylerinde elde edilen yük - zaman eğrilerinin bir örneği aşağıda verilmiştir. Silis dumanı miktarı arttığında poroz betonun basınç dayanımı da artmıştır (Şekil 3.4). Yedi günlük kür numunelerinde en fazla artış % 35,4 ile SD8 karışımında 4,51 MPa değeriyle gerçekleşmiştir. Yirmi sekiz günlük kürlü numunelerde en fazla artış % 35,3 ile SD16 karışımında 5,28 MPa değeriyle gerçekleşmiştir. Bu sonuç literatürdeki çalışmalar (Yang J., 2003; Zhuge Y., 2010) ile de paralellik göstermiştir. Zhuge, çalışmasında, % 10 silis dumanı katılmasının poroz betonun basınç dayanımını % 18,8 arttırırken, porozite ve geçirimliliği azalttığı sonucuna ulaşılmıştır. Yang, çalışmasında % 6 sislis dumanı katkısının basınç dayanımını arttırırken geçirimliliği azalttığı sonucuna varmıştır.



Şekil 3.3. Poroz beton numunelerin basınç dayanımında yük – zaman ilişkisi



Şekil 3.4. Silis dumanı - basınç dayanımı ilişkisi

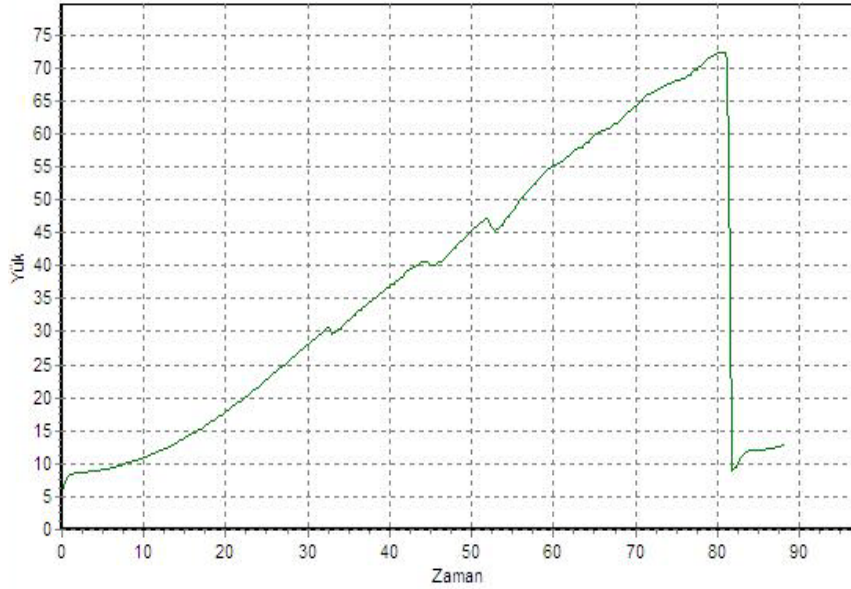
Poroz beton karışımında çimentonun bir kısmıyla ince kum yer değiştirdiğinde basınç dayanımı azalmıştır. Yedi günlük basınç dayanımlarının tümü baz karışımdan düşük çıkmıştır. En fazla azalma % 54,6 ile İK60 karışımında meydana gelmiştir. Yirmi sekiz gün kürlü olanlarda İK15 ve İK30 karışımlarında basınç dayanımında artış olurken, İK45 ve

İK60 karışımlarında düşüş olmuştur. En fazla artış % 7,7 ile İK30 karışımında, en fazla azalış % 47,1 ile İK60 karışımında meydana gelmiştir.

SD8-İK30 ve SD16-İK30 karışımlarının basınç dayanımları katkısız baz karışımın basınç dayanımından daha fazla olmuştur. S8-İK30 karışımının basınç dayanımı S16-İK30 karışımından % 3,5 daha fazladır.

3.4. Silis Dumanı ve İnce Kumun Yarmada Çekme Dayanımına Etkileri

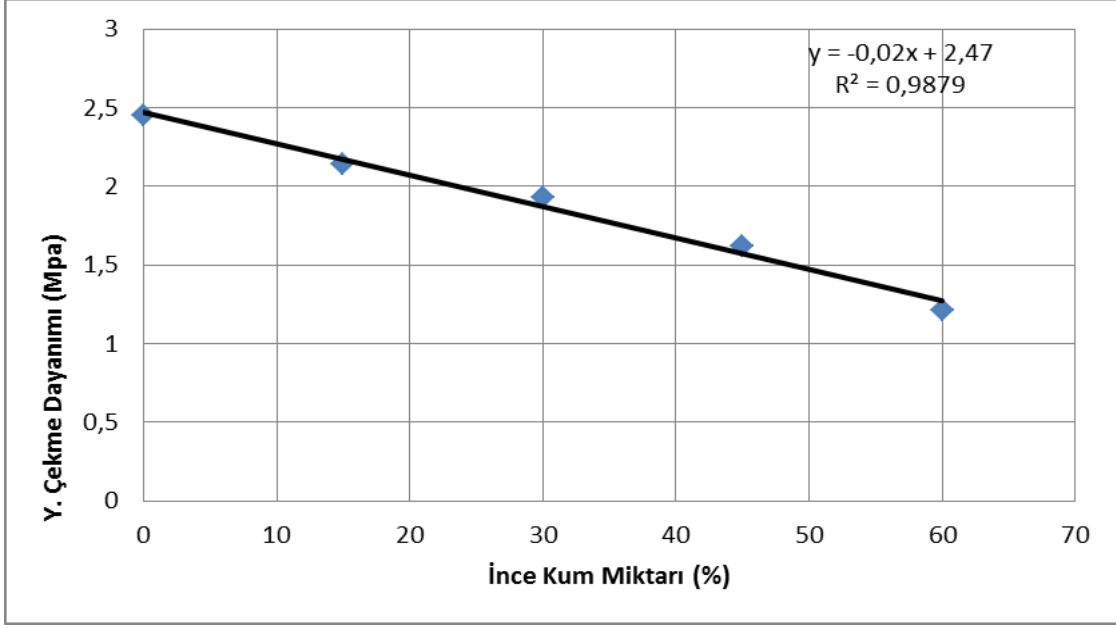
Yarmada çekme deneylerinden elde edilen yük - zaman eğrilerinin bir örneği aşağıda verilmiştir.



Şekil 3.5. Yarmada çekme deneyindeki yük – zaman ilişkisi

Poroz beton karışımlarda silis dumanı içeriği arttıkça yarmada çekme dayanımında anlamlı bir değişim olmamıştır. Hem artış hem azalışın olduğu düzensiz bir dağılım görülmüştür. SD12 karışımına kadar fazla bir değişim olmamışken, en düşük dayanım 2,04 MPa değeri ve % 16,7 azalış ile SD16 karışımında oluşmuştur.

Karışıma ince kum katılması yarmada çekme dayanımını fazlasıyla azaltmıştır (Şekil 3.6). En fazla azalış %50,6 ve 1,21 MPa değeriyle İK60 karışımında gerçekleşirken en az düşüş % 12,6 ve 2,14 MPa değeriyle İK15 karışımında gerçekleşmiştir. SD8-İK30 ve SD16-İK30 karışımları baz karışımdan daha az çekme dayanımı göstermelerine rağmen SD8-İK30 karışımı ince kumlu karışımlardan daha fazla çekme dayanımı göstermiştir.



Şekil 3.6. İnce kum – yarmada çekme dayanımı ilişkisi

4. SONUÇLAR

Geçirimli poroz kaplama betonlarında silis dumanı ve ince kumun mekanik özellikler üzerindeki etkileri konusunda gerçekleştirilen bu çalışma kapsamında, birbirinden farklı özelliklerde hazırlanan on üç karışımın 100x200 mm ölçekli numuneleri üzerinde gerçekleştirilen geçirimsizlik, birim hacim ağırlık, irtibatlı boşluk, basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ölçümlerinden elde edilen veriler ışığında aşağıdaki kanıtlara varılmıştır.

- %16 Silis dumanı katılarak basınç dayanımında % 35,3 oranında bir artış gerçekleşmiştir. Elde edilen en yüksek basınç dayanımı değeri 5,28 MPa olmuştur.
- Poroz betona çimentoyla yer değiştirilerek ince kum katılması yarmada çekme dayanımını önemli oranda azaltmaktadır.
- Poroz betona çimentoyla yer değiştirilerek % 12' den fazla silis dumanı katılması, yarmada çekme dayanımı açısından olumsuz etki yapabilmektedir.
- Özellikle % 30 dan fazla ince kum katılması basınç dayanımını azaltmaktadır.
- Silis dumanı basınç dayanımını önemli oranda arttırmaktadır.
 - Silis dumanı ya da ince kum katılması poroz betonda birbiriyle irtibatlı boşluk oranını azaltmaktadır. Silis dumanının etkisi daha fazla olmaktadır.
 - Silis dumanı ve ince kum katılması sıkışmayı artırarak birim hacim ağırlığını arttırmaktadır. Bu konuda silis dumanının etkisi ince kumdan daha fazladır.
 - Silis dumanı ve ince kum katılması poroz betonun geçirimsizlik kapasitesini önemli oranda azaltmaktadır. İnce kumun olumsuz etkisi daha fazla olmaktadır.
 - Tüm karışım agregaların aynı su muhtevasına sahip yığından olmayışları, her numunenin tek tek hazırlanması ve sıkıştırılması, bazı faktörlerde düzensiz değişimler olmasına sebebiyet vermiştir.

Varılan sonuçlar kesin olmayıp, daha güvenilir sonuçlar için yukarıda bahsedilen uygulama hatalarının giderilerek, daha fazla ve kapsamlı deneylerin yapılması gerekmektedir.

5. KAYNAKLAR

- ACI 522R-06, (2006), Pervious Concrete, American Concrete Institute.
- Ağar, E., Sütaş, İ. ve ztaş, G., (1998), Beton Yollar, İT Yayınları.
- ASTM C 230/C 230M, (1999), Standard Specification for Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement.
- Ceylan, C., (1999), Lifli Geçirimli Beton Yol styapısının İncelenmesi, İT, FBE, Yüksek Lisans Tezi.
- Chopra, M., Wanielista, M., ve Mulligan, A.M. (2007), Compressive Strength of Pervious Concrete Pavements, CD-ROM, Final Report of a joint research program sponsored by the Florida Department of Transportation, Rinker Materials, and the RMC Research and Education Foundation, Silver Springs, MD.
- Ghafoori, N. ve Dutta, S., (1995), Laboratory investigation of compacted Nofines concrete for paving materials, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 7, No.3.
- İyınam, ř., Ağar, E., (2004), Karayollarında Hazır Beton, Beton2004 Kongresi, İstanbul.
- İ.T..-T.Ç.M.B.-O.D.T.., (1995), Sanayi-niversite Araştırma Geliştirme ve Laboratuvar Hizmetleri İşbirliği.
- Karpuz, O., (2008), Beton Yol Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, KT, FBE, Doktora Tezi.
- Kozak, M., (2011), Beton Yollar ve Beton Yol Yapımının Araştırılması, Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7-1.
- Mazloom, M, Ramezaniapour, A. ve Brooks, j., (2003), Effect of silica fume on Mechanical properties of high strength concrete, Cement & concrete composites, vol.26, no.4.
- McCain G. N. ve Dewoolkar, M. M., (2010), Porous Concrete Pavements: Mechanical and Hydraulic Properties, TRB 2010 Annual Meeting.
- Meininger, Richard C., (1998), No-Fines Pervious Concrete for Paving, Concrete International, Vol. 10, No. 8.
- Olek, J., Weiss, W. J. ve diğr., (2003). Development of quiet and durable porous portland cement concrete paving materials, Final Report, SQDH 2003-5, West Lafayette, Purdue University.

- Öztürk, D., (2008), Türkiyede Poroz Asfaltın Uygulanabilirliği, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, FBE, Yüksek Lisans Tezi.
- Sandberg, U. J., Ejsmont, A. (2002). Tyre/road noise reference book, Informex, Kisa, Sweden.
- Schaefer, Vernon R. ve diğerleri, (2006), Mix Design Development for Pervious Concrete in Cold Weather Climates, Report No. 2006-01, TRB.
- Taşdemir, C, (1995), Agrega-Çimento Hamuru Arayüzeyi Mikroyapısının Yüksek Mukavemetli Betonların Kırılma Parametrelerine Etkisi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi.
- Tennis, P. D. ve diğerleri, (2004), Pervious concrete pavements, PCA Report, Serial No: 2828.
- Toutanji, H. ve Bayasi, Z., (1999), Effect of curing procedures on properties of silica fume concrete, Cement and Concrete Research, 29.
- Topçu, İ. B. ve Canbaz M., (2008), Silis dumanının betonda mekanik çatlak oluşumlarına etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi, C.XXI
- TSE, (2010), TS EN 12390-2, Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve küre tabii tutulması, Ankara.
- TSE, (2010), TS EN 12390-3, Beton – Sertleşmiş beton deneyleri – Bölüm 3: Deney numunelerinin basınç dayanımının tayini, Ankara.
- Tunç, A., (2007), Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Ankara.
- Yağcı, İ. Ş., (1991), Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi, İTÜ, FBE, Yüksek Lisans Tezi.
- Yang, J. ve Jiang, G., (2003), Experimental study on properties of pervious concrete pavement materials, Cement and Concrete Research Journal, Vol. 33, İss. 3.
- Yeğınobalı, A., (2009), Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, TÇMB, AR-GE-Y01.01, Ankara.
- Zhuge Y., (2010), Investigation of the Effect of Various Additives on the Strength of Environmentally Friendly Permeable Concrete, Southern Region Engineering Conference, Australia.
- 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, (Vol. 22), pp. 43-50.

ÖZGEÇMİŞ

Taşkın TANRIVERDİ, 20.11.1988 tarihinde Kars'ta doğdu. İznik Anadolu Lisesi'ni bitirdikten sonra Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi'nden 2010 yılında mezun oldu. Mezuniyetinden sonra, Tanrıverdi Mühendislik ve Evyap İnşaat Ltd.Şti.'de görev yaptı. Halen Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Ulaştırma Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine devam etmektedir. Orta derecede İngilizce bilgisine sahiptir. Temel ilgi alanları mühendislik uygulamalarıdır.