



LİFLİ GEÇİRİMLİ BETON YOL ÜST YAPISININ DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ

Nuh Mehmet POLAT

Yüksek Lisans Tezi

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Ocak – 2019

LİFLİ GEÇİRİMLİ BETON YOL ÜST YAPISININ DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ

Nuh Mehmet POLAT

Dumlupınar Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliği Uyarınca
Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Olarak Hazırlanmıştır.

Danışman: Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ

Ocak - 2019

KABUL VE ONAY SAYFASI

Nuh Mehmet POLAT'ın YÜKSEK LİSANS tezi olarak hazırladığı “Lifli Geçirimli Beton Yol Üst Yapısının Durabilitesinin İncelenmesi” başlıklı bu çalışma, jürimizce Dumlupınar Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca değerlendirilerek kabul edilmiştir.

22/01/2019

Prof. Dr. Önder UYSAL
Enstitü Müdürü, Fen Bilimleri Enstitüsü

Prof. Dr. M. Çağatay KARABÖRK
Bölüm Başkanı, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ
Danışman, İnşaat Mühendisliği Bölümü

Sınav Komitesi Üyeleri

Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Yaşar VİTOŞOĞLU
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi

Dr. Öğretim Üyesi Şafak BİLGİÇ
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANI

Bu tezin hazırlanmasında Akademik kurallara riayet ettiğimizi, özgün bir çalışma olduğunu ve yapılan tez çalışmasının bilimsel etik ilke ve kurallara uygun olduğunu, çalışma kapsamında teze ait olmayan veriler için kaynak gösterildiğini ve kaynaklar dizininde belirtildiğini, Yüksek Öğretim Kurulu tarafından kullanılmak üzere önerilen ve Dumlupınar Üniversitesi tarafından kullanılan İntihal Programı ile tarandığını ve benzerlik oranının % 28 çıktığını beyan ederiz. Aykırı bir durum ortaya çıktığı takdirde tüm hukuki sonuçlara razı olduğumuzu taahhüt ederiz.

Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ

Nuh Mehmet POLAT

LİFLİ GEÇİRİMLİ BETON YOL ÜST YAPISININ DURABİLİTESİNİN İNCELENMESİ

Nuh Mehmet POLAT

İnşaat Mühendisliği, Yüksek Lisans Tezi, 2019

Tez Danışmanı: Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ

ÖZET

Ülkemizde ve Dünya da nüfusun hızla artması ulaşım türlerinin de gelişmesini hızlandırmıştır. Yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı karayolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. Bu nedenle karayolları kaplama yüzeyleri sürüş güvenliği ve konfor açısından belirli bir düzeyde olmalıdır. Karayollarında sürüş güvenliği ve konforun sağlanmasında kaplama tipinin doğrudan etkisi büyüktür. Esnek kaplamalarda hammadde ihtiyacında dışa bağımlılık olduğu için yerli hammaddelerle rijit kaplama yapma alternatifi bulunmaktadır. Rijit kaplamalar, farklı özelliklerde beton türleri ve farklı özelliklerde yapım şekilleriyle çeşitlilik göstermektedir.

Bu çalışmamızdaki esas amaç yol ve sürüş güvenliği açısından yola gelecek yağmur ve kar sularının yol yüzeyinde birikmesi sonucu su kayağı riski oluşması ve yine yol yüzeyinde biriken suların donması sonucu oluşabilecek kaza riskini azaltmaktır. Bu amaçla geleneksel betona alternatif olan geçirimli (poroz) betonun yol betonu olarak kullanılabilmesi için farklı oranlarda lif takviyesi ile dayanıklılık özellikleri araştırılmaktadır. Belirli oranlarla hazırlanan geçirimli beton dizaynına farklı oranlarda lif eklenerek hazırlanan betonlara çeşitli deneyler yapılarak dayanıklılık özellikleri karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Beton, Geçirimli beton, Poroz beton, Lifli beton, Lifli-Geçirimli beton, Polipropilen lif.

INVESTIGATION OF DURABILITY OF FIBER PERVIOUS CONCRETE ROAD SURFACING

Nuh Mehmet POLAT

Civil Engineering, M.S. Thesis, 2019

Thesis Supervisor: Asst. Prof. Dr. Polat YALINIZ

SUMMARY

The rapid increase in population has accelerated the development of transportation types in the world and our country. Most of the cargo and passenger transport is done by road transport. For this reason, road surface coatings should be at a certain level in terms of safety and comfort. The direct effect of the coating type is important providing driving safety and comfort on highways. Because of the external dependence in need of raw materials for flexible coatings there is alternative to making rigid coating with domestic raw materials. Rigid coatings show diversity with concrete specimens of different characteristics and different forms of construction.

The main purpose of this study is to reduce the slip accident risk result of accumulation of future rain and snow waters on the road surface in terms of road and driving safety and the risk of accidents resulting from the re-icing of water on the road surface. For this purpose durability properties are being investigated with fiber reinforcement in different proportions to be used as road concrete for porous concrete, which is an alternative to traditional concrete. Durability properties were compared by adding fibers at different ratios to the permeable concrete design prepared at certain ratios and by conducting various experiments on the prepared concrete.

Key words: Concrete, Pervious concrete, Porous concrete, Fiber concrete, Fiber-Pervious concrete, Polypropylene fiber.

TEŞEKKÜR

Bu tezin hazırlanmasında bana yardımcı olan başta tez danışmanım Ulaştırma Bilim Dalı Öğretim Üyesi Sayın Dr. Öğretim Üyesi Polat YALINIZ'a, engin bilgi ve birikimiyle çalışmama çok büyük katkılar sağlayan DPÜ İnşaat Mühendisliği Bölümü Öğretim Üyesi Sayın Dr. Öğretim Üyesi Abdullah DEMİR ve Sayın Doç. Dr. Mehmet Uğur TOPRAK'a,

ESOGÜ İnşaat Mühendisliği Öğretim Üyesi Dr. Öğretim Üyesi Şafak BİLGİÇ ve Doç. Dr. Mehmet CANBAZ'a,

Deneysel çalışmalarım sırasında desteğini esirgemeyen İnşaat Mühendisliği Yapı laboratuvarı çalışanı Mustafa DÜNDAR'a,

Tez çalışmamı malzeme temini ile destekleyen Selka Hazır Beton Tic. Ve San. A.Ş.'ne, Atlas Bir Yapı Malzemeleri Ve Teks. San. Dış. Tic. Ltd. Şti.'ne ve Akem Kimya San. Ve Tic. Ltd. Şti.'ne,

Ayrıca tüm eğitim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak her zaman yanımda olan bu süreçte sabırla yanımda duran ve motivasyon kaynağım olan sevgili eşim Tuğba POLAT'a ve emeği geçen herkese sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Bu tez 2015-83 proje numarası ile DPÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü tarafından desteklenmiştir.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xiii
SİMGELER VE KISATMALAR DİZİNİ.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. KARAYOLU KAPLAMA TÜRLERİ.....	3
2.1. Stabilize Yollar.....	3
2.2. Esnek Üstyapılar	3
2.3. Rijit Üstyapılar	3
3. RİJİT ÜSTYAPILAR – BETON YOLLAR	4
3.1. Beton Yolların Tarihçesi	5
3.2. Yapım Yöntemine Göre Beton Yol Kaplamaları	6
3.2.1. Sürekli betonarme yol kaplamaları.....	6
3.2.2. Derzli donatısız yol kaplamaları.....	8
3.2.3. Derzli betonarme yol kaplamaları	9
3.3. Beton Yol Kaplama Betonu Türleri.....	11
3.3.1. Kendiliğinden yerleşen beton	11
3.3.2. Silindere sıkıştırılabilen beton.....	11
3.3.3. Öngermeli beton	11
3.3.4. Geçirimli beton.....	11
3.3.5. Lif takviyeli beton	11

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
3.4. Geçirimli Beton Kaplamalar	12
3.4.1. Geçirimli beton kaplamaların avantaj ve dezavantajları	12
3.4.2. Geçirimli beton kaplamaların mekanik özellikleri	14
3.5. Lif Takviyeli Beton Kaplamalar	18
3.5.1. Beton yollarda kullanılan polipropilen lifler	18
3.5.2. Lifli beton kaplamaların mekanik özellikleri	19
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR	22
4.1. Kullanılan Malzemeler	22
4.1.1. Agregalar	22
4.1.2. Çimento	23
4.1.3. Akışkanlaştırıcı katkı	23
4.1.4. Polipropilen lif	24
4.2. Geçirimli ve Lifli-Geçirimli Beton Karışımlarının Hazırlanması	25
4.3. Beton Numunelerinin Test Edilmesi	27
4.3.1. Taze beton deneyleri	27
4.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri	29
4.3.3. Durabilite deneyleri	35
5. BULGULAR	42
5.1. Taze Beton Deney Sonuçları	42
5.1.1. Slump (çökme tayini) deneyi sonuçları	42
5.1.2. Birim hacim ağırlık tayini deneyi sonuçları	43
5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları	44
5.2.1. Ultrases geçiş hızı tayini deneyi sonuçları	44
5.2.2. Yüzey sertliği tayini deneyi sonuçları	44
5.2.3. Basınç dayanımı tayini deneyi sonuçları	44
5.2.4. Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi sonuçları	45
5.2.5. Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonuçları	46
5.3. Durabilite Deney Sonuçları	47
5.3.1. Aşınma dayanımı tayini deneyi sonuçları	47
5.3.2. Donma-çözülme tayini deneyi sonuçları	48
5.3.3. Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık tayini deneyi sonuçları	49

İÇİNDEKİLER (devam)

	<u>Sayfa</u>
5.3.4. Permeabilite deneyi sonuçları.....	50
5.4. Betonun Mikroyapı Ve Xrd Analizi Sonuçları	52
6. SONUÇLAR	78
KAYNAKLAR DİZİNİ	81
ÖZGEÇMİŞ	

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Beton Yol Kesiti Ve Yapı Elemanları.....	4
3.2. Sürekli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar.....	7
3.3. Derzli Donatısız Tipteki Rijit Üstyapılar.....	9
3.4. Derzli Donatılı Tipteki Rijit Üstyapılar.....	10
3.5. Poroz Betonda Boşluk Oranı-Geçirgenlik İlişkisi.....	16
3.6. Geçirimsizlik Deneyi Düzenegi.....	17
4.1. Slump Deneyi Düzenegi.....	27
4.2. Birim Hacim Ağırlık Tayini Deney Düzenegi.....	29
4.3. Ultrases Geçiş Hızı Tayini Deney Düzenegi.....	30
4.4. Basınç Dayanımı Tayini Deney Düzenegi.....	32
4.5. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deney Düzenegi.....	33
4.6. Eğilmeye Çekme Dayanımı Tayini Deney Düzenegi.....	35
4.7. Aşınma Dayanımı Tayini Deney Düzenegi.....	37
4.8. Donma-Çözülme Tayini Deney Düzenegi.....	38
4.9. Kimyasal Maddelere Karşı Dayanıklılık Tayini Deney Düzenegi.....	40
4.10. Geçirimsizlik Tayini Deney Düzenegi.....	41
5.1. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	52
5.2. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	53
5.3. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	54
5.4. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	55
5.5. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	56
5.6. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	57
5.7. EDS Görüntüsü.....	58
5.8. EDS Görüntüsü.....	59

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam)

<u>Sekil</u>	<u>Sayfa</u>
5.9. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	60
5.10. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	61
5.11. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	62
5.12. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	63
5.13. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	64
5.14. EDS Görüntüsü.....	65
5.15. EDS Görüntüsü.....	66
5.16. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	67
5.17. EDS Görüntüsü.....	68
5.18. EDS Görüntüsü.....	69
5.19. EDS Görüntüsü.....	70
5.20. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	71
5.21. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	72
5.22. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	73
5.23. EDS Görüntüsü.....	74
5.24. EDS Görüntüsü.....	75
5.25. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.....	76
5.26. EDS Görüntüsü.....	77

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>Çizelge</u>	<u>Sayfa</u>
3.1. Beton Yolların Tarihçesi.....	6
4.1. Agrega Elek Analizi Sonuçları.....	22
4.2. Çimentonun Özellikleri.....	23
4.3. Akışkanlaştırıcı Katkının Özellikleri.....	24
4.4. Polipropilen Lifin Özellikleri.....	25
4.5. Yol durumuna göre buz çözücü solüsyon kullanım miktarı.....	39
4.6. Hava durumuna göre buz çözücü solüsyon kullanım miktarı.....	39
5.1. Slump (çökme) Tayini Deney Sonuçları.....	43
5.2. Birim Hacim Ağırlık Tayini Deney Sonuçları.....	43
5.3. Ultrases Geçiş Hızı Tayini Deney Sonuçları	44
5.4. Basınç Dayanımı Tayini Deney Sonuçları	45
5.5. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deney Sonuçları.....	46
5.6. Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deney Sonuçları.....	46
5.7. Aşınma Dayanımı Tayini Deney Sonuçları.....	48
5.8. Aşınma Dayanımı Tayini Deney Sonuçları.....	48
5.9. Donma – Çözülme Tayini Deney Sonuçları.....	49
5.10. Kimyasal Maddelere Karşı Dayanıklılık Tayini Deney Sonuçları.....	50
5.11. Permeabilite Tayini Deney Sonuçları.....	51

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

<u>Simgeler</u>	<u>Açıklama</u>
km	Kilometre
m	Metre
cm	Santimetre
mm	Milimetre
m ³	Metre Küp
cm ³	Santimetre Küp
mm ³	Milimetre Küp
°C	Santigrad Derece
Mpa	Megapaskal
kg	Kilogram
s/ç	Su/Çimento Oranı
a/ç	Agrega/Çimento Oranı
π	Pi Sayısı
N	Newton
gr	Gram
σ_c	Çekme Dayanımı
σ_e	Eğilme Dayanımı
sn	Saniye

Kısaltmalar

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
MÖ	Milattan Önce
TS	Türk Standartı
EN	European Norm : Avrupa Standardı
ACI	American Concrete İnstitute : American Beton Enstitüsü
ASTM	American Society for Testing and Materials : Amerikan Test ve Malzemeleri Komitesi
SEM	Scanning Electron Microscopy : Taramalı Elektron Mikroskobu
EDS	Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy : Enerji Dağılımlı X-Işını Spektroskopisi
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials : Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam)

<u>Kısaltmalar</u>	<u>Açıklama</u>
CaCO ₃	Kalsiyum Karbonat, Kireç Taşı
Ca(OH) ₂	Kalsiyum Hidroksit
CSH	Kalsiyum Silikat Hidrat



1. GİRİŞ

Dünya’da ve ülkemizde yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı karayolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. 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 (Tanrıverdi, 2013).

Esnek üstyapılarda, temel ve alttemel üzerine bitümlü kaplama inşa edilir. Temel ve alttemel genellikle granüler malzeme ile yapılmaktadır (Macit, 2009).

Rijit üstyapılar ise yüzey tabakası Portland çimentosu betonu olan ve bazen granüler bir alttemel tabakası üzerine oturan kaplamalardır (Macit, 2009).

Karışık tip üstyapılar, zamanla bozulmuş beton kaplamaların üzerine sıcak bitümlü karışım takviyesi yapılarak ya da çimentolu temel tabakası üzerine asfalt kaplama yapılarak oluşturulur (Tanrıverdi, 2013).

Beton teknolojisinde yaşanan hızlı gelişmeye bağlı olarak hazır beton endüstrisi ile kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara önemli bir alternatif haline gelmiştir (THBB, 2003).

Beton yolların tercih edilme nedeni özetle aşağıdaki gibi sıralanabilir (Halm, 2002; İyınam, vd. 2004).

- Yapısal ömrünün fazla olması
- Çevreci olması
- Daha kısa durma mesafesi sağlaması
- Dayanıklı olması
- Hammaddesinin %100 yerli olması
- Ekonomik olması
- Her mevsimde her türlü koşulda uygulanabilmesi
- Akaryakıt tasarrufu sağlaması
- Yatırım maliyetinin daha düşük olması

- Gece görüsünü kolaylaştırması

Geçirimli beton kaplaması 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 geçirimli beton kaplama sayesinde gelen yağmur suyunun kaplama içine girmesi ve drenaj sistemine ulaştırılması sağlanmaktadır. Boşluk yapısından kaynaklanan üstün ve zayıf yönleri bulunmaktadır (Tanrıverdi, 2013).

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 (Tanrıverdi, 2013).

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).

Çalışmamız da yol ve sürüş güvenliği açısından yola gelecek yağmur ve kar sularının yol yüzeyinde birikmesi sonucu su kayağı riski ile bu suların donması sonucu oluşabilecek kaza riskini azaltmak amacıyla rijit üstyapılarda kaplama betonu olarak kullanılan geçirimli beton ve lifli-geçirimli betonların dayanıklılık özellikleri araştırılmaktadır.

2. KARAYOLU KAPLAMA TÜRLERİ

Karada, havada veya suda bir yerden bir yere gitmek için aşılacak uzaklığa yol denir. Kentler, kasabalar, bucaklar, köyler gibi yerleşim yerlerini karadan birbirine bağlayan; üzerinde tekerlekli taşıtların yük ve yolcu taşıdığı yollara ise karayolu denilmektedir.

İnsanlar, yol inşa etmeden önce dağ geçitleri, vadiler, ovalar, boğazlar, keçi yolları gibi doğal yolları kullanmışlardır. Medeniyetlerin ortaya çıkmasıyla da Çin, Avrupa ve Ortadoğu medeniyetlerinde MÖ 7. Yüzyıla kadar dayanan taşlı ve toprak yol sistemlerine rastlanılmaktadır. Bunların en ünlüsü MÖ 312'de başlanan, İskoçya'dan Kudüs'e kadar uzanan çakıl ve taştan oluşan Roma yollarıdır. Diğer ünlü yollar ise Amerika'da ki İnka yolu ile Asya'da ki İpek Yolu'dur.

Modern yollar, 19. Yüzyılda basınçla sertleştirilen yollara asfalt dökülerek yapılan ve makadam diye bilinen stabilize yollar ile başlamıştır. Motorlu taşıtların artmasıyla karayolu; denizyolu ve demiryollarına göre üstün hale gelmiştir. Motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, çabalar, yeni karayolu yapmaktan ziyade, mevcut karayolu üstyapılarının, gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde yenilenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır (Ağar vd., 1998). Bu nedenlerden dolayı karayolu kaplama çeşitleri stabilize, esnek ve rijit üstyapılar olarak karşımıza çıkmaktadır.

2.1.Stabilize Yollar

Kum ve çakılın granülometrik bileşimi yol yüzeyine serilip sıkıştırılarak yapılan bu tip yollar günlük trafik hacmi birkaç yüz araç olan yollarda uygulanmaktadır. Ayrıca daha fazla trafik geçiren yollarda alt temel tabakası olarak da kullanılabilir (TMH, 2003).

2.2.Esnek Üstyapılar

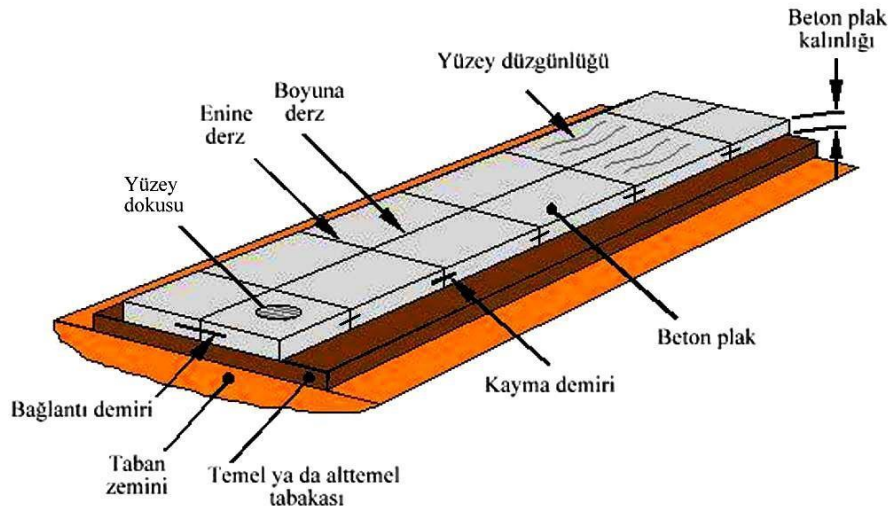
Asfalt kaplama tabakalarıyla oluşturulan üstyapıya "esnek üstyapı" denir. Esnek üstyapı, tesviye yüzeyiyle sıkı bir temas sağlayan ve trafik yüklerini, kaplama, temel ve alttemel tabakaları yoluyla taban zeminine dağıtan bir üstyapı şekli olup stabilizesi, adezyon, tane sürtünmesi ve kohezyon gibi kullanılan agrega ve bitümlü bağlayıcının özelliklerine bağlıdır (İlcalı vd., 2001).

2.3.Rijit Üstyapılar

Çimento betonu ile yapılan kaplama tipine denir. Şehir içi yollarda, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılan kaliteli bir kaplama tipidir (TMH, 2003).

3.RİJİT ÜSTYAPILAR-BETON YOLLAR

Oldukça yüksek eğilme direncine sahip ve Portland çimentosundan yapılmış tek tabakalı beton plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üst yapı tipidir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plakalardan oluşur. Sürekli donatının kullanılmadığı beton yollarda enine ve boyuna genleşme derzleri konulur (Şekil 3.1). Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılır. Beton plağın elastisite modülü taban zemininkinden çok büyüktür. Bu nedenle beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır. Trafik yüklerini esnek üstyapıya nazaran daha geniş alana yayarak, taban zeminine iletir. Rijit beton plak, taban zemini ile sürekli temas halinde olduğu sürece taşıyıcı eleman vazifesi görür. Taban zemini çeşitli nedenlerle çökerse, taban zemininin deformasyonuna uyamayan rijit beton plak, bu kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar, betonun düşük olan çekme basıncının aşılması sonucunda kaplama kırılır. Tek veya iki tabaka halinde dökülen bir üstyapı tipi olup, gerektiğinde granüler bir kaplama altı tabakası da kullanılabilir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Beton, çekme direnci düşük, deformasyonlar ile gerilmeler arasında bağlantıları doğrusal olmayan bir malzemedir (Ağar vd., 1998).



Şekil 3.1. Beton yol kesiti ve yapı elemanları
http://www.pavement.com/Concrete_pavement.html

3.1. Beton Yolların Tarihçesi

Yollarda hidrolik ve puzolanik bağlayıcılar, ilk olarak Romalılar tarafından, M.Ö. birinci yüzyılda kullanılmıştır (Ağar vd., 1998).

Modern çağlarda ilk beton yol, 1880 yılında Avustralya'nın Sydney şehrinde yapılmıştır. Bu yolun en az 50 yıl hizmet vermiş olduğu anlaşılmaktadır (Yeğinboğalı, 2010).

Amerika Birleşik Devletleri'nde ilk beton yol, 1891 yılında Ohio Eyaleti'nin Bellefontaine şehrinde George Bartholomew tarafından inşa edilmiştir. George Bartholomew çimento üretimini Almanya ve Teksas'da öğrenmiş, kireçtaşı ve kil gibi gerekli hammaddelerin saf kaynaklarını da Ohio'da bulmuştur. Yapılacak ilk beton yol olması sebebiyle, şehir meclisi George Bartholomew'in kaplamanın en az 5 yıl dayanacağını garanti etmesi için 5000 dolarlık bir teminat bedeli ödemesini gerekli kılmıştır. Üzerinden 100 yıldan fazla bir süre geçmesine rağmen, bugün hala kullanılmakta olan yol, tarihi bir yapıt olarak da ziyaretçilerin ilgisini çekmektedir (Delatte, 2008; Yeğinboğalı, 2010).

İnşa edilen diğer ilk beton yollar ise, 1905 yılında Chicago şehrinde yapılan ve 60 yıl hizmet veren ve Detroit şehrinde 1909 yılında yapılan yolları kapsamaktadır (Delatte, 2008).

Beton yolların yaygınlaşması ise, 20.yüzyılın ortalarına doğru hız kazanmıştır. Amerika Birleşik Devletleri'ne ek olarak, Fransa ve Belçika'da, daha sonra Almanya'da beton yollar yapılmıştır. 1930'lu yıllarda 2. Dünya Savaşı'na hazırlanan Almanya'da beton otoyolların uzunluğu 4000 km'yi bulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde 1957 yılında başlayan 'Eyaletler Arası Otoyol Sistemi' tamamlandığında, önemli bölümü beton kaplama olan 60,000 km'den fazla yol yapılmıştır. Bugün Amerika Birleşik Devletleri'nde bazı büyük şehirlerin çevre yolları da beton kaplama olarak yapılmıştır. Son 50 yıl içerisinde Belçika, Fransa, Almanya ve Avustralya'ya ilaveten, Avusturya, İspanya, İngiltere, Kanada ve Güney Afrika gibi ülkelerde de beton yollar yapılmaktadır. Son yıllarda Azerbaycan, Hindistan ve Çin'de de beton yol projeleri başlamıştır (Yeğinboğalı, 2010).

Çizelge 3.1.'de beton yolların tarihçesi gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Beton yolların tarihçesi(Uçar, 2002).

BETON YOLLARIN TARİHÇESİ	
M.Ö. I. Y.Y.	Romalılar'ın çimento benzeri puzolanik bağlayıcılar kullanarak yaptıkları yollar
1865	İskoçya'da ilk beton yol denemeleri
1880	Avustralya'da ilk beton yolların yapılmaya başlaması
1891	Ohio'da Amerika'nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolunun yapılması
1913	Arkansas'ta Amerika'nın ilk beton otoyolunun yapılması
1914	Amerika'da 3.500 km beton yol yapımının tamamlanması; yol yapımında "Silindirle Sıkıştırılan Beton" (Roller Compacting Concrete) kullanılmasına başlanması
1924	Fransa'da beton yol yapımı programının başlatılması
1930	Almanya'da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanması, İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımının başlaması
1950	Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalitenin artması
1960-70	ABD ve Kanada'da beton yol yapımının yoğunlaşması; ABD'de 70.000 km beton yol yapılması.
1990	Beton teknolojisindeki ilerlemelerle beton yol yapımında yeni gelişmelerin kaydedilmesi : Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı beton üretimi vb.

3.2.Yapım Yöntemine Göre Beton Yol Kaplamaları

Beton yol kaplamaları yapım tekniğine göre 3 şekilden oluşur. Bunlar;

- Sürekli betonarme yol kaplamaları
- Derzli donatısız yol kaplamaları
- Derzli donatılı yol kaplamaları

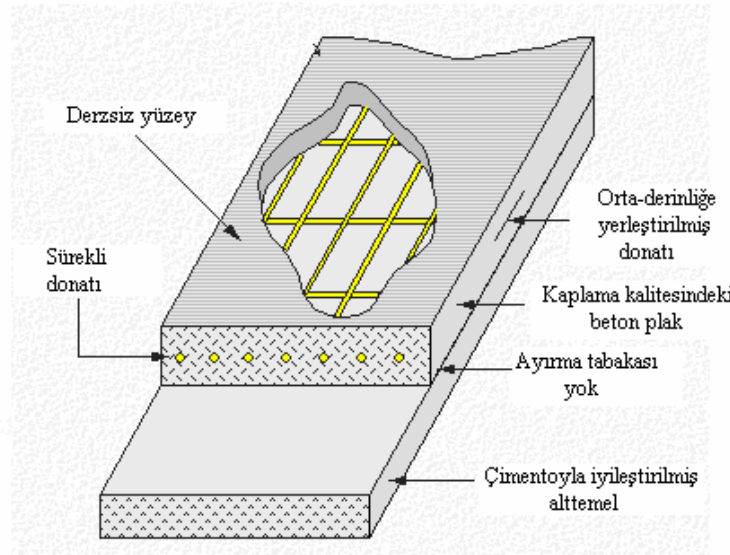
3.2.1.Sürekli betonarme yol kaplamaları

Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derzler olmaksızın döşenen beton bir plaktan oluşur. Yüksek donatı içeriği buna olanak tanır ancak diğer tüm betonarme yapılarda olduğu gibi, donatılar çatlakları önlemez sadece kontrol altında tutar. Çelik donatı plak boyunca sürekli olarak vardır ve derzler yalnızca her gün is bitiminde konulur. Plak kalınlıkları 150-250 mm olur. Bu tür kaplamalarda derzli donatılı tipteki rijit üstyapılardan oldukça fazla çelik vardır. Genel olarak kesit alanının %5-%7'i kadardır.

Uzun derz aralıklarının bir sonucu olarak, bu tür kaplamalarda kaplama ömrünün ilk birkaç yılı boyunca 0.6-2.4 m.'lik aralıklarla enine çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar plak içindeki donatı çeliği sağlam olduğu sürece sıkıca kapalı kalırlar. Eğer çelik yüksek çekme gerilmelerine karşı koyamayacak durumda ise, enine çatlaklar açılarak bozulabilirler. Uzunlamasına çatlaklarla birleşen bozulmuş çatlak bölgeleri, ciddi kaplama bozulmasına işaret eden, yüzeysel oyulmalara (zımbalama etkisi) yol açabilir. Plak desteğini artırmak ve tekerlek yükleri altındaki ano gerilmelerini azaltmak için bu kaplama ile birlikte genellikle bir stabilize temel kullanılır.

Bu kaplama türünün yaygın olarak kullanılmasına karşılık toplam beton kaplamaya oranı oldukça düşüktür.

Derzli donatısız ve derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda görülen ayırma membranı, beton temel ile alt-temel arasında daha yüksek bir düzeydeki sürtünmenin elde edilebilmesi için sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılarda çıkarılmıştır. Alt-temel ile sağlanan desteklik üstyapı sonundaki oynamaları azaltmaktadır ve istenilen çatlama modelini korur. Plaktaki süreksizliklerin, kabarıp dökülme riski ile birlikte birbirine yakın aralıklı çatlamalara olanak tanınması nedeniyle, mümkün olan her yerde önüne geçilmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı rögarların ve su yollarının bu tipteki rijit üstyapı plaklarının dışında bulundurulması gerekmektedir (BCA, 2002).



Şekil 3.2. Sürekli donatılı tipteki rijit üstyapılar (BCA, 2002).

Sürekli betonarme yol kaplamasının avantajları;

- Enine derzlerin olmaması nedeniyle üstün konfor sağlaması ve bakım masraflarının azaltılması,

- Farklı jeolojik yapıya ve zemin şartlarında kullanılabilmesi,

- Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyapılardan 180 mm daha ince olması,

- Ses azaltıcı yüzey doku malzemesi kullanılabilmesi

olarak sıralanabilir (BCA, 1996).

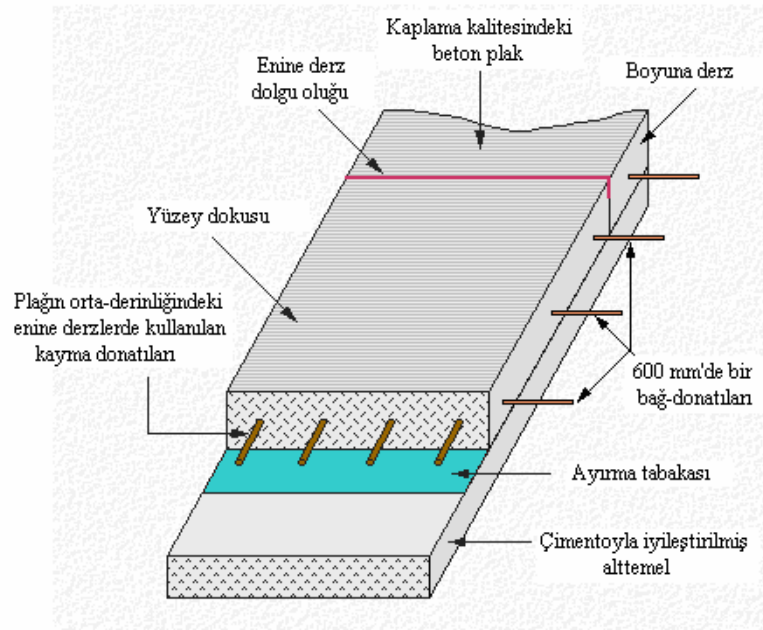
3.2.2. Derzli donatısız yol kaplamaları

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, 3-6 m. uzunluğunda kısa anolardan oluşur. Bloklar 125-350 mm. kalınlığında olup donatı çeliği içermezler. Derzler zayıflatılmış yüzey kasılan tipte olup geçmeli veya geçmesiz olabilirler. Anolar genel olarak granüler malzeme, çimento veya bitümlü tabakalar üzerine inşa edilir.

Zayıf beton ve sıkıştırılmış kaba agregadan inşa edilen temeller, halen bazı eyaletlerde kullanılmaktadır. Temel tabakası kalınlıkları 100-200 mm. olabilir.

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılarda kısa derz aralığı, ano ortası çatlamayı asgariye indirmek ve derz açıklıklarını nispeten küçük tutmak için kullanılır. Aynı sebepten dolayı bağlanmış boyuna derzler de buna dahildir. Derzlerde bağlantı yükü transferinde, malzeme kenetlenmesinden yararlanır. Ağır trafik taşıyan yollarda, özellikle nemli bölgelerde, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya daha ziyade stabilize temel tabakası kullanılır. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar genellikle, Amerika Birleşik Devletlerin tüm iklim alanlarında, hava alanı döşemelerinde, otoyollarda ve şehir içi caddelerde kullanılır.

Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alttemel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamaların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur (BCA, 2002).



Şekil 3.3. Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar.

Derzli donatısız yol kaplamasının avantajları;

- Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyapılardan 100 mm daha ince olması,
- Ses azaltıcı yüzey doku malzemesi kullanılabilmesi

olarak sıralanabilir (BCA, 1996).

3.2.3. Derzli betonarme yol kaplamaları

Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar, uzunlukları 8-30 m.'lik anolardan oluşur. Blok kalınlıkları 150-350 mm. olup, ortalarında donatı çelik ağı geçmektedir. Temel tabakası kalınlığı 100-200 mm.'dir.

Daha uzun derz aralığı verildiğinde kurumadan dolayı büzölmeye ve ısıdan dolayı kıvrılmaya bağılı olarak bu tür kaplamada çatlaklar oluşur. Donatı çeliğı kullanılmasının amacı da bu ano ortası çatlaklarının oluşmasını engellenmesidir.

Çatlakları sıkı tutarak, yük transferinin sağlanması çelik tarafından yapılır. Burada çelik, beton bloğun esneklik kapasitesini artırmak için kullanılmamaktadır.

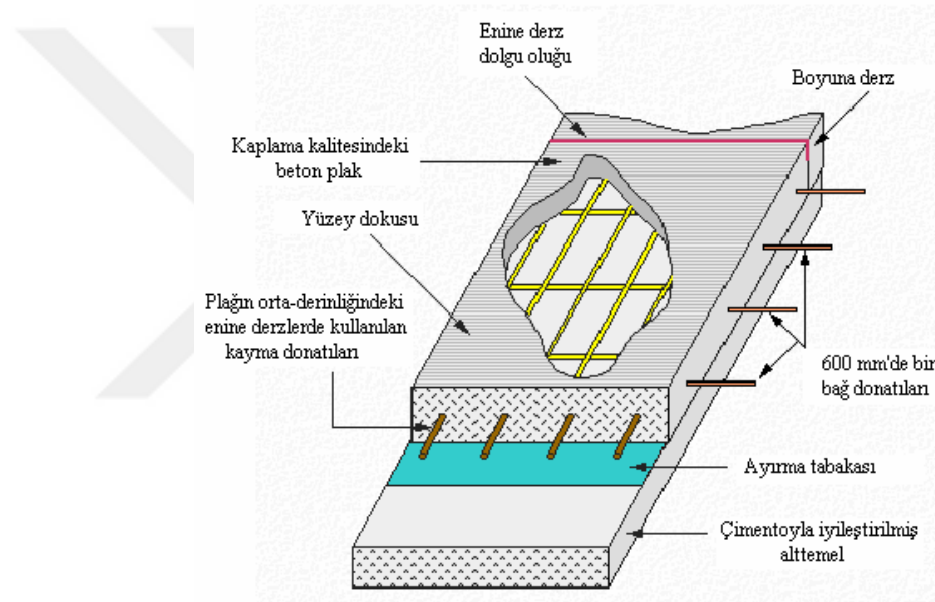
Daha uzun derz aralığı kullanılması ayrıca daha büyük derz açıklıklarına neden olur.

Dolayısı ile derzler arası yük transferini sağlamak için donatı çubukları kullanılır.

Derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar, donma ısısındaki bölgelerde ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak kullanılmaktadır.

Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar, enine derz aralıklarının artırılmasına olanak tanıyan donatılar dışında derzli donatısız tipteki rijit üstyapılar ile benzerdir.

Gerek derzli donatısız tipteki gerekse derzli donatılı tipteki rijit üstyapılarda, plak ile alttemel arasındaki sürtünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur (BCA, 2002).



Şekil 3.4. Derzli donatılı tipteki rijit üstyapılar.

Derzli betonarme yol kaplamasının avantajları;

- Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyapılardan 170 mm daha ince olması,
- Ses azaltıcı yüzey doku malzemesi kullanılabilmesi

olarak sıralanabilir (BCA, 1996).

3.3. Beton Yol Kaplama Betonu Türleri

3.3.1. Kendiliğinden yerleşen beton

Kayar kalıp veya herhangi bir sıkıştırma ekipmanı kullanılmayacaksa, betonun yeterli dayanımı sağlayacak şekilde sıkışması için akıcı kıvamda beton üretilir. Akıcı beton sızdırmaz kalıplara transmikseler aracılığıyla veya pompa yardımıyla dökülebilir. Yan basınç etkisine karşı çelik kalıplar kullanılabilir. Sıkıştırma, perdelama makinesine bağlı yüzey vibratörleri ile sağlanır (THBB, 2002).

3.3.2. Silindirle sıkıştırılabilir beton

Bitümlü kaplama için kullanılan makine parkının kullanılabilceği bir yöntem olarak ortaya çıkmıştır. Makine parkındaki finişer ve greyderlerin tekniğine uygun olarak kullanılması sağlanmıştır. Bu yöntemde beton, toprak kıvamında olmakta, uygun priz süresi dikkate alınmakta, yeterli taşıma gücünün kısa sürede sağlanması hedeflenmektedir (THBB, 2002).

3.3.3. Öngermeli beton

Yeterli bir öngerme işlemiyle ısı değişiklikleri ve mekanik zorlanmalardan kaynaklanabilecek çekme gerilmelerinin oluşmaması sağlanmaktadır. Böylelikle plak kalınlıkları 12-15 cm'ye düşürülmektedir. Bu yöntem özellikle malzeme ekonomisi sağladığından ve çatlama riskini en aza indirdiğinden hizmet ömrü daha uzun olmakta ve derz sayıları azaltılabilmektedir (THBB, 2002).

3.3.4. Geçirimli beton

Islak zeminde belli bir aderansın sağlanması amacı ile yüzeyde su birikmeleri engellenmelidir. Bunun için yeni bir kaplama oluşturulmuştur. Geçirimli plaklar içindeki boşluk hacmi yüzdesi yüksek olup gelen suyun kaplama içine girmesi ve drenaj sistemine ulaştırılması sağlanmaktadır (THBB, 2002).

3.3.5. Lif takviyeli beton

Betonun içine çelik tel parçalarının koyulması ile çekme gerilmelerine karşı direnci arttırılmaktadır. Özellikle çelik lif ağı dingil yüklerine ve aşınmaya karşı betonun direnci arttırılmaktadır. Üst tabakalara uygulanan lifli beton eski tabakaya takviye olarak da başarı göstermektedir (THBB, 2002).

3.4. Geçirimli Beton Kaplamalar

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 üstyapısından dışarıya kenara atıldığı başka bir teknik de vardır (Yağcı, 1991).

3.4.1. Geçirimli beton kaplamaların avantaj ve dezavantajları

Yol yapımında stabilitenin sağlanması açısından en önemli konu yüzey ve yer altı suyunun drenajıdır. Drenaj amaçlı olarak geliştirilen geçirimli beton kaplamanın şu avantajları vardır:

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 artırır. Geçirimli kaplamalarda, boşluklar kaplamaya büyük bir pürüzlülük kazandırdığından, yüksek hızlarda kaymaya, savrulmaya karşı direnç sağlanır 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 yansımını 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).

Bu kaplama türünün boşluklu yapısından dolayı dezavantajları da bulunmaktadır. Bunlardan bazılarını 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 arttırır (Yağcı, 1991).

3.4.2. Geçirimli beton kaplamaların mekanik özellikleri

Basınç dayanımı; eksen yüküne karşı bir beton türünün ölçülen maksimum direnci olarak tanımlanabilir. 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 agregaya 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 (Schaefer, 2006; Chopra vd., 2007). Yüksek basınç direnci elde etmek için, çimento harcı dayanımı, agregayı kaplayan harç filminin kalınlığı ve agregaya ile harç arasındaki ara yüzey gibi faktörler dikkate alınmalıdır. Daha küçük boyutlu agregaya tabakası kullanılmasının poroz betonun direncini arttırdığı söylenebilir (Schaefer, 2006).

Çekme dayanımı; Poroz betonun basınç dayanımına göre çekme dayanımı geleneksel betona göre daha düşüktür. Basınçta agregalar birbirine yük aktarıırken 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 vd., 2004). Poroz betonun çekme dayanımı basınç dayanımının %8'i ile %14'ü kadardır. Çekme dayanımını etkileyecek olan unsurlar sıkıştırma, porozite, agregaya/çimento oranı ve agregaya boyutudur. Eğer agregaya boyutu artarsa, poroz betondaki hava boşluğu ve büyüklükleri artar. Dolayısıyla poroz beton içerisindeki kaba agregaya arasında daha kalın çimento harcı filmine imkân tanınmış olur.

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 (Schaefer, 2006; Chopra vd., 2007). Poroz betonun yoğunluğu kullanılan malzemelerin özelliklerine ve oranına bağlıdır. Aynı 14 zamanda yerleştirmede kullanılan sıkıştırma prosedürüne de bağlıdır. Genel olarak, poroz betonun yoğunluğu 1600 kg/m³ ile 2000 kg/m³ aralığındadır (Tennis vd., 2004).

Su/Çimento oranı; Poroz betonlarda çok düşük su / çimento oranı kullanılması yüksek basınç dayanımı vermez. Bunun nedeni, çimentonun zayıf işlenebilirliği ve zayıf hidrasyonu ile çimento harcının agregalara zayıf bağlanmasıdır. Ancak, gereğinden yüksek su / çimento oranı aynı zamanda düşük 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 / çimento oranından elde edilebilir (Meining, 1998).

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

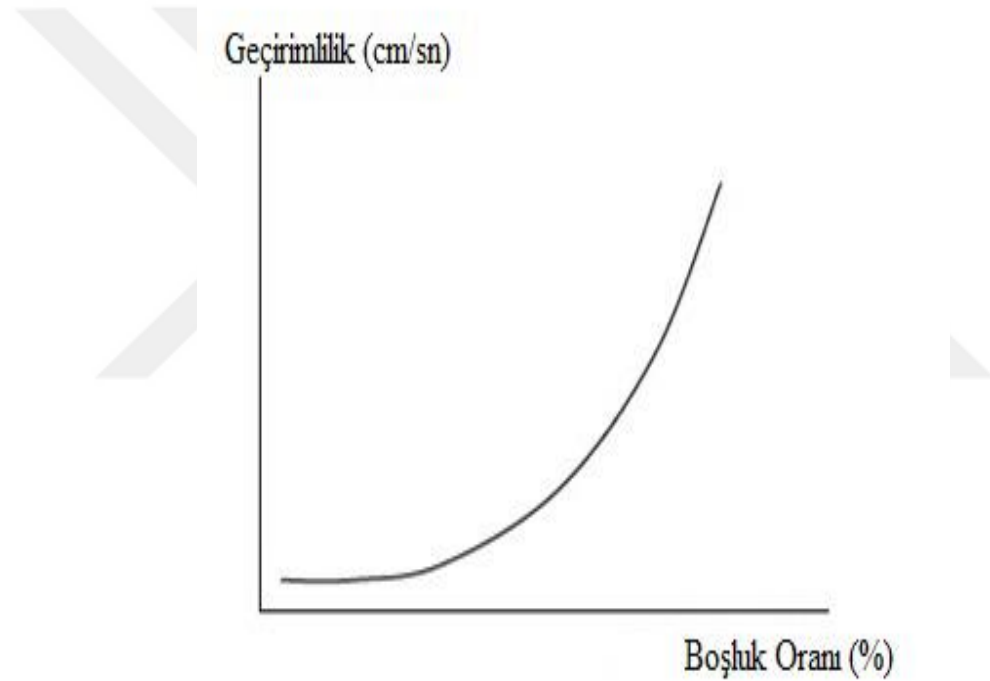
Agrega boyutu; Agregada boyutunun azalması basınç dayanımını artırır. Küçük agregada kullanılması betonun birim hacmi başına düşen agregada parçacıklarının sayısını artırır. Agregada parçacıkları arttıkça, agreganın belirli yüzeyi ve bağlayıcı alanı artacaktır. Bundan dolayı basınç dayanımı artacaktır. Bunun yanı sıra, daha küçük boyda agregada kullanılması hem basınç dayanımını düşürecek 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, 2006).

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

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, 2010).

Geçirimli kaplama sisteminin amacı yeterli boşluk yapısına ulaşarak suyun hızlıca sistem içerisinde geçirebilmesidir. 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.



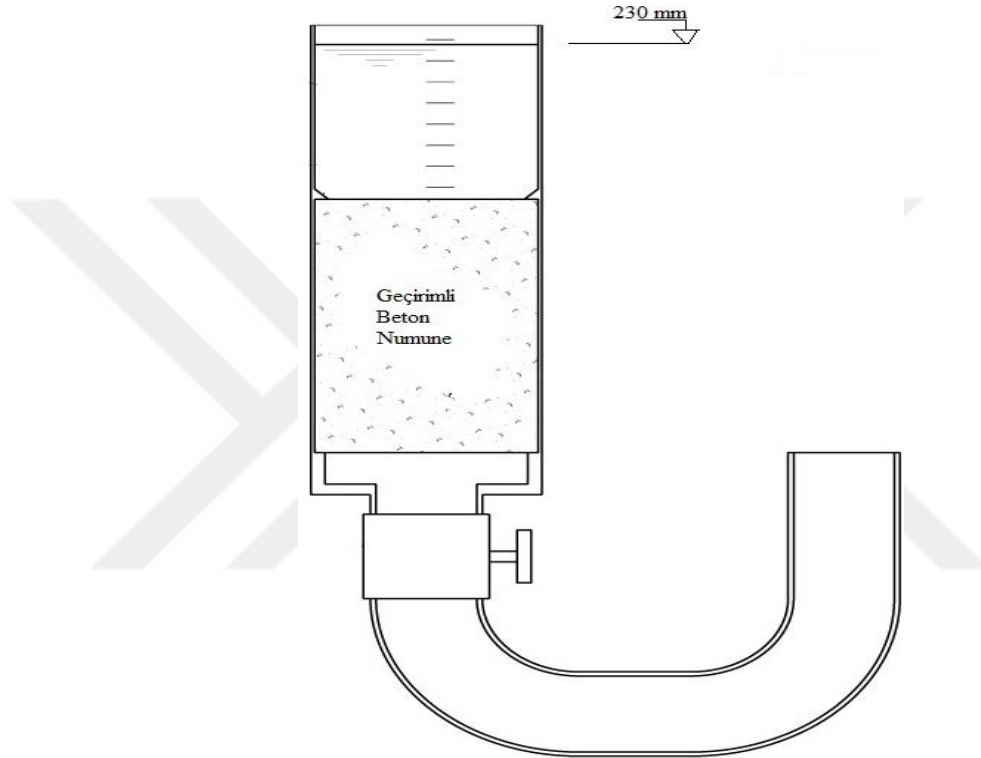
Şekil 3.5. Poroz betonda boşluk oranı - geçirgenlik ilişkisi (Schaefer, 2006).

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, 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 3.6. Geçirimlilik deneyi düzeneği.

Kum içeriği; 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, 1998). Yeterli oranda kum eklenirken, poroz betonun özelliğini kaybetmemesi için basınç dayanımı ile hava boşluğu arasında denge gözetilmelidir.

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 (Tanrıverdi, 2013).

3.5. Lif Takviyeli Beton Kaplamalar

Betonun durabilitesini etkileyen özellikleri iyileştirmek için günümüze kadar birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar içinde betonun performansını arttıran lifli betonlar oldukça ilgi görmüştür. 90'lı yıllardan itibaren başlangıçta çelik lifler ele alınmış ve beton performansını nasıl etkilediği yönünde önemli araştırmalar yapılmıştır. Daha sonra betondaki kılcal hareketler dikkate alınarak daha küçük, daha ince plastik kökenli lifler üzerinde çeşitli çalışmalar geliştirilmiştir. Bunlardan en önemlisi polipropilen (PP) liflerdir. Yapılan çalışmalarda mikro sentetik lif olarak da adlandırılan polipropilen liflerin, betonun durabilitesine önemli katkıda bulunduğu saptanmıştır.

3.5.1. Beton yollarda kullanılan polipropilen lifler

Polipropilen lifler, polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonuç veren liftir. Tıpkı çelik lifler gibi polipropilen lifler de betonun bazı özelliklerini arttırabilir. Polietilen ve Naylon 6 katılsa da kullanımları polipropilen kadar yaygın değildir. Şimdiye kadar yapılmış çoğu araştırmalarda da polipropilenler kullanılmıştır (Acun, 2000).

Kullanılan polipropilen liflerin hacimce katılma oranları düşüktür. Çoğu durumlarda %0,1 gibi sınırlanır. Lif katma oranı ve hava miktarı, minimum işlenebilirlikle değişir. Lifler hazır karışım tesislerinde yada şantiyede eklenebilir. Lifler katıldıktan sonra en az 10 dakika karıştırılmalıdır. Bazı araştırmacılar %2 hacim oranında da denemeler yapmışlardır. Fazla oranlarda katıldığında çeşitli önlemler alınmalıdır. Eğer önle alınmazsa betonun işlenebilirliği azalır ve hava miktarı artar. İşlenebilme problemi su azaltıcı katkıların dozajını arttırmakla çözülebilir. Hava miktarı kontrol edilebilir. İşlenebilirlik, tekil lif formundaki liflere kıyasla hamur lif formundaki liflerde daha azalır. Çünkü tekil lif formundaki liflere karışıma daha kolay, homojen dağılıbilir ve işlenebilirlik daha iyi olur. Lif uzunluğu önemli rol oynar. Lifler hamur formundayken uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Hacimce katılma oranı karışımın %5'dir. Genelde kullanılanlar 12~50 mm olanlardır (Acun, 2000).

Polipropilen lifler sertleşmiş betonda mukavemet artırıcı bir donatı etkisi yaratmazlar. Etkileri betonun plastik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler (Bekaert, 2001).

Polipropilen lifler basınç dayanımına etkileri zayıftır ama yüksek çekme dayanımları vardır ve diğer malzemelerle kombinasyonları sayesinde bazı mukavemet özellikleri iyileştirilmiş malzemeler oluştururlar (Kordon, 1997).

3.5.2. Lifli beton kaplamaların mekanik özellikleri

Eski zamanlardan beri plastik özellik gösteren yapı malzemelerinin takviyesinde liflerin kullanılması tercih edilen bir olgudur. Betonda ise; saman, yonga lif, polipropilen lif, plastik veya cam bazlı lif ve çelik lifler kullanılmaya başlanmıştır. Polipropilen lifler, endüstriyel tesisler, havaalanları, konutlar ve yüzme havuzları gibi yapılarda çarpma, aşınma dayanımı ve geçirimsizliği artırmaktadır. Bunlar korozyondan etkilenmeyen, tuz ve alkalilere karşı dayanıklı malzemelerdir. İç gerilmelere karşı koyarak mikro çatlakları engellemektedirler. Böylece, çelik hasır kullanımıyla % 65'e kadar azalan gerilme çatlakları, polipropilen lif kullanımıyla % 72'ye kadar azalabilmektedir (Türker, 2000).

Beton içerisinde kullanılan liflerin boyutlarının, türlerinin, beton içerisinde kullanılma miktarlarının belirlenmesi amacıyla yapılan bir diğer çalışmada da, küçük boyutlu polipropilen liflerin dinamik yüklerden dolayı oluşan ufak çatlakların önlenmesinde kullanılabileceği görülmüştür. Ancak, betonun maruz kaldığı yükler altında yarılmaması, kırılması söz konusuysa çelik liflerin veya uzun yapıya sahip polipropilen liflerin kullanılmasının daha uygun olacağı görülmüştür. Bu amaçla kullanılan polipropilen liflerin ise beton içerisinde daha yoğun olarak (% 30) kullanılması gerekmektedir (Qian ve Stroeven, 2000).

Beton içerisine katılan liflerin boyutu, lif miktarı ve uçucu kül miktarı hakkında yapılan deneylerde, küçük boyutlu liflerin beton basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisinin olduğu, fakat gerilme dayanımını etkilemediği görülmüştür (Qian ve Stroeven, 2000).

Polipropilen lifler ve diğer plastik (naylon) lifler kullanılarak hazırlanan beton karışımların mekanik özelliklerinin incelenmesi ve bunların karşılaştırılması hakkında yapılan bir diğer çalışmada ise, naylon liflerin polipropilen liflere kıyasla betonun çökme değerini daha az etkilediği bunun yanında beton içerisinde daha iyi bir dağılım gösterdiği sonucuna varılmıştır. Yapılan diğer mekanik deneylerde ise, yine naylon liflerin, betonun basınç ve eğilme dayanımlarını polipropilen liflere kıyasla daha çok arttırdığı görülmüştür. Ayrıca yine naylon liflerin rötre çatlaklarını önlemede polipropilen liflere göre daha iyi bir performans

gösterdiği deneylerle kanıtlanmıştır. Yapılan deneylerde sabit bir lif oranı kullanılmış (0,6 kg/m³) naylon ve polipropilen liflerde bu oran sabit tutulmuştur (Song vd., 2005).

Polipropilen lifli betonların elektron mikroskoplarıyla incelenmesi hakkında yapılan bir diğer çalışmada ise, polipropilen liflerin beton içerisinde oluşturdukları ağ yapısı açık bir şekilde görülmüştür. Bunun yanında polipropilen liflerin Ca(OH)₂ oluşumunu ve betonu boşluk oranını önemli ölçüde azalttıkları sonucuna varılmıştır. Ayrıca yapılan mikroskobik incelemeler sonucunda beton içerisinde kullanılacak lif oranının 0,9-1,0 kg/m³ değerlerini aşmaması gerektiği anlaşılmıştır. Yani polipropilen lif kullanımında optimum değer 1 kg/m³'tür. Lif içeren betonlar mikroskobik olarak incelendikten sonra basınç, eğilme, yarmada çekme gibi mekanik deneylere tabi tutulmuştur % 20'lere varan dayanım artışları kaydedilmiştir. Polipropilen liflerin beton içerisinde oluşacak kılcal çatlakları, agrega ve çimento hamuru arasında oluşacak muhtemel kırılmaları ve segregasyonu önledikleri mikroskobik deneyler sonucunda görülmüştür (Sun ve Xu, 2009).

Yüksek dayanımlı betonlarla yapılan bir diğer çalışmada ise beton karışımı içerisine polipropilen lifler eklenmiş ve beton numuneler 200 °C'ye kadar ısıtılmışlardır. Beton içerisindeki polipropilen liflerin 170 °C'de eridikleri ve beton içerisinde hava kanalcıkları açtıkları görülmüştür. Yapılan mikroskobik incelemede ise liflerin yerinde kalan boşluklar açık şekilde görülmüştür. Boşluklu yapıya sahip bu numunelerin basınç dayanımları, elastisite modülleri ve eğilme dayanımları azalmıştır. Bu çalışma yüksek dayanımlı betonlarda dahi sıcaklık etkisinin betonun mekanik özelliklerine olumsuz etkiler yaptığını göstermiştir (Noumowe, 2005).

Püskürtme beton uygulamalarıyla Morgan (1991) tarafından yapılan deneylerde şu sonuçlar elde edilmiştir. Suda hızlı donma-çözünme yönteminde belirtildiği gibi püskürtme betona hava sürüklenerek yüksek oranda çelik ve polipropilen lif eklendiğinde büyük ölçüde donma-çözünme dayanıklılığı sağlandığı görülmüştür. Püskürtme betonlarda yapılan bu uygulamada hava sürüklenmediğinde ise hem ıslak hem de kuru karışımlarda dayanıklılık çok hızlı bir şekilde düşmektedir. Karışımlarda sadece polipropilen lif kullanarak püskürtme beton elde etmek neredeyse imkânsız olduğundan bu betonların donma-çözünme etkileri de tam olarak araştırılamamıştır. Yüksek dayanımlı betonların mekanik özelliklerinin incelendiği bir diğer deneysel çalışmada ise, normal ağırlıklı, kalkerli ve silisli agregalar ve hafif agregalar kullanılmışlardır. Karışımların bir kısmında normal portland çimentosu ayrıca silis dumanı, uçucu kül gibi katkıları ve çelik lif kullanılmıştır. Numuneler yüksek sıcaklık etkisinde bırakılmış ve yüksek sıcaklık etkisinin yüksek mukavemetli betonların malzeme özelliklerinin normal dayanımlı betonlarınkinden farklılık gösterdiği ve bu farklılıkların 25 °C ile 400 °C

arasında daha belirgin olduğu belirtilmiştir. Yüksek dayanımlı betonlar normal dayanımlı betonlara göre daha hızlı bir mukavemet kaybı göstermiştir. 300 °C sıcaklık değeri bütün betonlar için elastisite modülünün daha yüksek hızlarda düşmeye başladığı değer olarak öne çıkmıştır. Hafif agrega kullanılan betonların normal ağırlıklı betonlara göre elastisite modüllerini daha iyi muhafaza ettikleri anlaşılmıştır (Phan ve Carino, 1998).

Bir diğer çalışmada betona uyumlu polipropilen lifler kullanılarak yapılan karışımlar kontrol numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Polipropilen lifler beton karışımları içerisinde % 0,2-1 arasında değişen değerlerde eklenmiştir. Yapılan basınç ve eğilme deneyleri sonucunda önemli bir dayanım artışı kaydedilmemiştir. Hatta lif miktarı artıkça basınç dayanımında % 7 dolaylarında azalmalar görülmüştür. Bunun yanında numunelerin darbe mukavemetlerinde % 200'lere varan artışlar görülmüştür (Şahin, 2007).

Betonun çimento jelindeki yapısal değişiklikler üzerinde yapılan bir çalışmada ise 25-910 °C aralıklarında ısı yüklerinin etkisi araştırılmıştır. Bu sıcaklık değerleri arasındaki değişimler nitrojenin fiziksel absorpsiyonu ve civa porozimetresi yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. Gözenek hacimlerinin yaklaşık 500 °C'ye kadar arttığı görülmüştür. Daha büyük sıcaklıklarda ise gözeneklerin büyüklüklerinin azaldığı ve böylelikle sıcaklık etkisiyle gözenek yapısının ilişkisinin parabolik olarak değiştiği kabul edilmiştir (Vydra vd., 2001).

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Ülkemizde ve Dünya da nüfusun hızla artması ulaşım türlerinin de gelişmesini hızlandırmıştır. Yük ve yolcu taşımacılığının büyük bir kısmı karayolu taşımacılığı ile yapılmaktadır. Bu nedenle karayolları kaplama yüzeyleri sürüş güvenliği ve konfor açısından belirli bir düzeyde olmalıdır. Karayollarında sürüş güvenliği ve konforun sağlanmasında kaplama tipinin doğrudan etkisi büyüktür. Esnek kaplamalarda hammadde ihtiyacında dışa bağımlılık olduğu için yerli hammaddelerle rijit kaplama yapma alternatifi bulunmaktadır. Rijit kaplamalar, farklı özelliklerde beton türleri ve farklı özelliklerde yapım şekilleriyle çeşitlilik göstermektedir. Bu çalışmamızdaki esas amaç yol ve sürüş güvenliği açısından yola gelecek yağmur ve kar sularının yol yüzeyinde birikmesi sonucu su kayağı riski oluşması ve yine yol yüzeyinde biriken suların donması sonucu oluşabilecek kaza riskini azaltmaktır. Bu amaçla geleneksel betona alternatif olan geçirimli (poroz) betonun yol betonu olarak kullanılabilmesi için farklı oranlarda lif takviyesi ile dayanıklılık özellikleri araştırılmaktadır. Belirli oranlarla hazırlanan geçirimli beton dizaynına farklı oranlarda lif eklenerek hazırlanan betonlara çeşitli deneyler yapılarak dayanıklılık özellikleri karşılaştırılmıştır.

4.1. Kullanılan Malzemeler

4.1.1. Agregalar

Beton üretiminde Kütahya ilinde faaliyet gösteren Kırdar Grup firmasının maden ocaklarından temin edilen ve üç farklı boyutta kırılmış olan agregalar kullanılmıştır. Kullanılan agregalara ait elek analizi sonuçları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Agregalar elek analizi sonuçları.

Agrega Boyutu	Elek Göz Açıklıkları									Su Emme (%)
	22,4	16	11,2	8	4	2	1	0,5	0,25	
0-4	100	100	100	99,7	95,82	67,73	47,12	33,51	22,61	0,3
4-12	100	100	99,5	84,08	11,48	1,33	0,8	0,8	0,8	0,1
12-22	99,4	63,74	4,91	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2

4.1.2. Çimento

Beton üretiminde bağlayıcı malzeme olarak Eskişehir Çimsa firmasına ait Portland çimentosu CEM I 42,5 R kullanılmıştır. Kullanılan çimentonun bazı fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Çimentonun özellikleri.

Kimyasal Özellikler	SiO ₂ (%)	20,32
	Al ₂ O ₃ (%)	5,59
	Fe ₂ O ₃ (%)	3,09
	CaO(%)	62,5
	MgO(%)	1,74
	SO ₃ (%)	3,29
	Na ₂ O(%)	0,34
	K ₂ O(%)	0,91
	Kızdırma kaybı(%)	1,18
	Çözünmeyen kalıntı(%)	0,31
Fiziksel Özellikler	S.CaO(%)	0,93
	Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
	Priz sonu (sa/dk)	02:57
	Hacim sabitliği (mm)	2
Mekanik Özellikler	Özgül yüzey (cm ² /g)	3172
	2. Gün basınç dayanımı (Mpa)	30,8
	7. Gün basınç dayanımı (Mpa)	39,5
	28. Gün basınç dayanımı (Mpa)	56

4.1.3. Akışkanlaştırıcı katkı

Hazırlanan beton karışımında kimyasal katkı olarak MasterGlenium firmasının ürettiği ACE 450 yüksek oranda su azaltıcı/süperakışkanlaştırıcı beton katkısı kullanılmıştır.

Çizelge 4.3. Akışkanlaştırıcı katkı için teknik özellikleri.

Akışkanlaştırıcı katkı için teknik özellikler	
Malzemenin yapısı	Polikarboksilik Eter Esaslı
Görünüm	Kahverengi-Sıvı
Özgül ağırlık (20°C'de)	1,069-1,109 kg/t
pH değeri	Yakl. 5-7
Alkali içeriği (%)	≤ 3,00
Klor iyonu içeriği (%)	≤ 0,10
Dozaj	Karışım suyu içerisinde çimento ağırlığının % 1'i

4.1.4. Polipropilen lif

Hazırlanan beton karışımlarında Betonfiber markasının BF-19 adlı polipropilen lifi kullanılmıştır. Bu lif ince ve elyafımsı özellik göstermektedir ve kümeler halinde bulunmaktadır. Betona kuru karışım esnasında katılmıştır.

Çizelge 4.4. Polipropilen lifin özellikleri.

Standart	ASTM CIII6 CE, EN 14889-2 BBA 92/2830
Görünüm	Doğal Beyaz Lif
Tip	Polipropilen
Saflık	%100 Saf
Yoğunluk	0,91 kg/cm ³
Uzunluk	6 mm - 12 mm - 19 mm
Kesit & Çap	Dairesel, 18 um - 20 um
Kullanım Alanları	BF06-Sıvalarda, BF12-Şap Betonları, BF19-Saha Betonları
Çekme Mukavemeti	450-700 N/mm ² (Mpa)
Elastisite Modülü	3000-3500 N/mm ² (Mpa)
Erime Noktası	162 oC
Yanma Noktası	593 oC
Asit Reaksiyonu	Asit etkisine karşı dayanıklı
Tuz Reaksiyonu	Tuz etkisine karşı dayanıklı
Alkali Reaksiyonu	Alkali etkisine karşı dayanıklı
UV Direnci	UV etkisine karşı dayanıklı
Oksidasyon Direnci	Yüksek
Aşınma Dayanımı	Yüksek
Çimento ile Uyum	Çok İyi
Nem Tutma	0
Raf Ömrü	Kuru ortamda sınırsız
Ambalaj	BF06-Dökme halde, kolide 25 kg
	BF12-Suda eriyebilen 600 gramlık paketler halinde, kolide 21 kg
	BF19-Suda eriyebilen 900 gramlık paketler halinde, kolide 22,5 kg

4.2. Geçirimli ve Lifli-Geçirimli Beton Karışımlarının Hazırlanması

Yapılan deneysel çalışmada daha önce yapılan çalışmalarda göz önünde bulundurulduğunda kuru-yoğun kıvamda bir beton karışımı elde etmek hedeflendiğinden su/çimento (s/ç) oranı 0,3 olarak belirlenmiştir. Daha önce yapılmış çalışmalara bakıldığında geçirimli betonların boşluklu yapısı nedeniyle dayanımının düşük olduğu görülmüştür. Seçilen (s/ç) oranına ek olarak agrega/çimento (a/ç) oranı da 4,0 olarak belirlenmiştir. Tüm beton karışımlarında (s/ç) oranı ile (a/ç) oranı sabit tutulmuş ve çimento dozajı 750 kg/m³ olacak şekilde karışımlar oluşturulmuştur. Öncelikle polipropilen lif kullanılmadan her bir deney için yukarıda belirtilen s/ç oranlarında kontrol numunesi olarak geçirimli beton numuneler dökülmüş ve 7. günde kırılarak oluşturulan beton karışımları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. Elde edilen sonuçlar deneysel çalışmalarımızın devamı için uygun nitelikte olduklarından seri dökümlere başlanmıştır.

Yukarıda belirtilen s/ç oranları ile a/ç oranlarının yanında polipropilen liflerde beton karışımlarının içinde iki farklı oranda uygulanmış ve farklı oranlarda lif kullanımının gösterdikleri performanslar değerlendirilmiştir. Karışımlarda polipropilen lifler üretici firmanın da önerisiyle 0,9 kg/m³ ve 1,8 kg/m³ olacak şekilde beton karışımlarının içine eklenmişlerdir.

Karışımlar yukarıda belirtilen s/ç, a/ç ve lif oranları göz önüne alınarak küp, silindir ve prizmatik numuneler şeklinde hazırlanmıştır. Beton karışımları hazırlanıp kalıplara yerleştirilmeden önce slump deneyi yapılarak beton karışımlarının kıvamı test edilmiştir. Kalıplardan çıkarılan numuneler kür havuzuna konmuş ve 7. ile 28. günlerde taze beton, sertleşmiş beton ve durabilite deneyleri yapılmıştır. Bunların yanı sıra tüm beton numunelerine schmidt çekici ve ultrases geçiş süresi deneyleri yapılarak geçirimli ve lifli-geçirimli betonların yüzey sertliği ile boşluk oranları hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır.

Beton numuneleri hazırlanırken 3 ayrı dizayn kullanılmış ve deneyler 7. ve 28. günlerde yapılmıştır. Bu nedenle beton numunelerinin birbirine karışmasını önlemek için beton numune isimleri deney günlerine ve kullanılan lif oranına göre kısaltılmıştır. Numune isimleri aşağıdaki gibidir.

G7: 7 günlük geçirimli beton

G28: 28 günlük geçirimli beton

0,9LG7: 0,9 kg/m³ polipropilen lif katkı 7 günlük geçirimli beton

0,9LG28: 0,9 kg/m³ polipropilen lif katkı 28 günlük geçirimli beton

1,8LG7: 1,8 kg/m³ polipropilen lif katkı 7 günlük geçirimli beton

1,8LG28: 1,8 kg/m³ polipropilen lif katkı 28 günlük geçirimli beton

Her bir beton grubu için basınç dayanımı, yarmada çekme, eğilmede çekme, aşınma dayanımı, donma-çözülme, kimyasal maddelere karşı dayanım ve permeabilite deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton deneyleri 7. ve 28. günlerde; durabilite deneyleri ise 28. günde yapılmıştır. Her bir deney grubunda basınç dayanımı için 6 adet 15x15x15 cm³ küp, yarmada çekme dayanımı için 6 adet 15x30 cm silindir, eğilmede çekme dayanımı için 6 adet 15x15x60 cm³ prizma, aşınma dayanımı için 6 adet 71x71x71 mm³ küp, donma-çözülme ve kimyasal maddelere karşı dayanıklılık için 6'şar adet 10x10x10 cm³ küp ve permeabilite deneyi için 6 adet 10x20 cm silindir numuneler dökülmüştür.

4.3. Beton Numunelerinin Test Edilmesi

4.3.1. Taze beton deneyleri

Slump (çökme tayini) deneyi

Taze beton üzerinde yapılan bu deney TS EN 12350-2 Taze Beton Deneyleri - Çökme Deneyi'nde verilen şekilde uygulanmıştır. Taze beton ters huni şekilli kaba üç tabaka halinde doldurularak 25'er kez şişlenmiş ve sıkışması sağlanmıştır. Daha sonra ters huni dik şekilde yukarı doğru çekilerek betonda meydana gelen çökme cetvel vasıtasıyla ölçülmüştür. Kuru – yoğun kıvamda üretilmesi planlanan betonlarımızın kıvam sınıfının S1 yani 1-4 cm olmasına dikkat edilmiştir. S/ç oranı ve katkı miktarı sabit tutularak geçirimli ve farklı oranlarda lif eklenen lifli geçirimli betonların slump (çökme) değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki şekillerde kullanılan deney düzeneği bulunmaktadır.



Şekil 4.1. Slump Deneyi Düzeneği.

Birim hacim ağırlık tayini

Küp, silindir ve prizma şekilli kalıplara yerleştirilen beton karışımları prizini tamamladıktan sonra kalıptan çıkarılarak kür havuzuna yerleştirilmiştir. 7 ve 28 günlük kür süreleri tamamlanan deney numuneleri kür havuzundan çıkarılarak 24 saat boyunca kurumaları beklenmiştir. Kuruyan numunelere TS EN 12390-7 Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini adlı standartta anlatılan havada yoğunluk tayini deneyi uygulanmıştır. Deney küp, silindir ve prizma numuneler üzerinde uygulanmıştır (Şekil 4.2). Ağırlıkları tespit edilen her bir numune kendi hacmine bölünerek kg/m³ cinsinden betonun yoğunluğu tespit edilmiştir. Geçirimli ve farklı oranlarda lif eklenen lifli geçirimli betonların karşılaştırmasında bu değerler kullanılmıştır.

Yoğunluğun bulunmasında aşağıdaki eşitlik 4.1 kullanılmıştır.

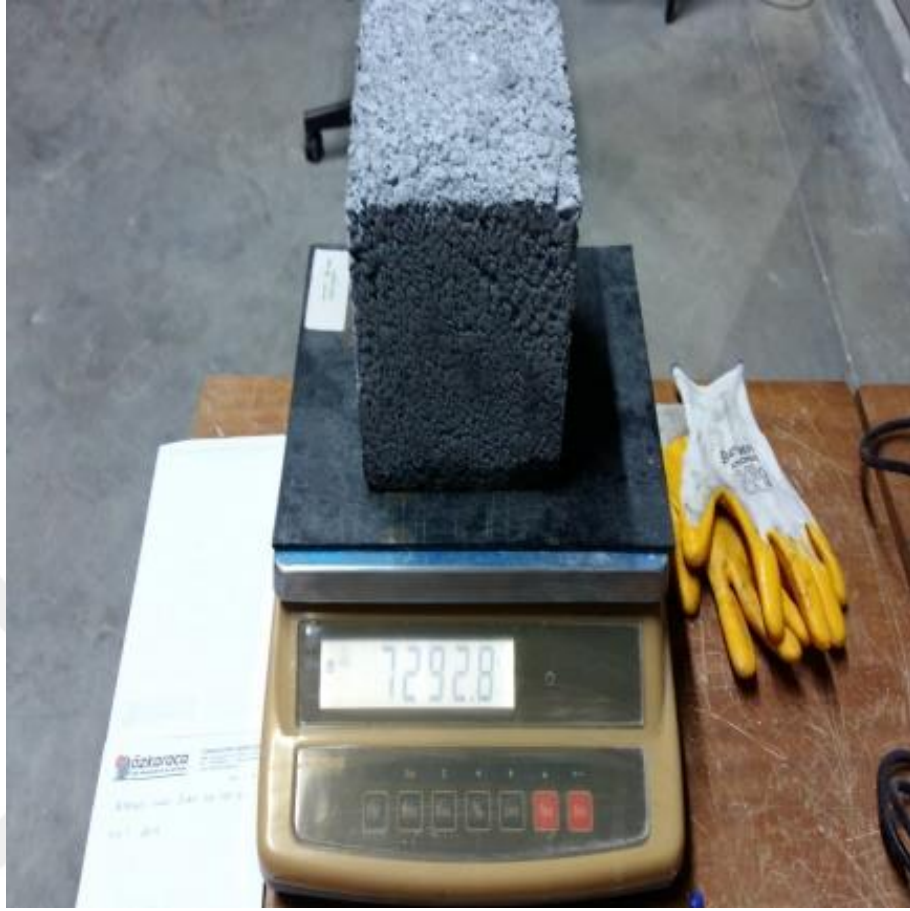
$$D = \frac{m}{V} \quad (4.1)$$

Burada ;

D = Betonun yoğunluğu (kg/m³)

m = Betonun ağırlığı (kg)

V = Betonun hacmi (m³)



Şekil 4.2. Birim Hacim Ağırlık Tayini Deney Düzeneği.

4.3.2. Sertleşmiş beton deneyleri

Ultrases geçiş hızı tayini deneyi

Küp, silindir ve prizmatik numunelere ASTM C 597’de anlatılan ultrases geçiş süresi deneyi uygulanmış ve sonuçlar kaydedilerek geçirimli beton numuneler ve lifli-geçirimli beton numuneler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Deneylerde küp, silindir ve prizma numunelerin karşılıklı gelen tek yüzeyinden oniki okuma yapılarak ortalamaları alınmıştır. Ultrases geçiş hızı tayini test cihazının gönderici başlığından alıcı başlığına ultrasonik ses gönderilmiştir. Ultrasonik sesin göndericiden alıcıya varana kadar geçen süre mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Bu değer metre/saniye cinsinden hız değeri hesaplanmıştır. Bu değer kullanılarak

da betonun boşluk oranı hakkında bir fikir edinilebilir. Hız değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki eşitlik 4.2 kullanılmıştır.

$$V=(S/t)10^6 \quad (4.2)$$

Burada ;

V = Ultrasonik sesin geçiş hızı (km/sn)

S = Beton numunesinin boyu (km)

t = Ultrasonik sesin geçiş süresi (sn)



Şekil 4.3. Ultrases Geçiş Hızı Tayini Deney Düzenegi.

Yüzey sertliği tayini deneyi

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli olarak hazırlanan küp, silindir ve prizmatik beton numunelerine yüzey sertliği yoluyla yaklaşık beton dayanımı tayini TS 3260 Beton Yüzey Sertliği Yolu ile schmidt çekici ile yapılmıştır. Schmidt çekici numuneler üzerine uygulanarak geçirimli numuneler ve polipropilen lifli numuneler karşılaştırılmıştır. Schmidt çekici numunelere yatayla 0° açı numunelerin ikişer yüzeyine her yüzeye 12 kez uygulanarak geri sıçrama değeri okunmuştur. Çekiç üzerinden okunan geri sıçrama değeri schmidt çekici üzerindeki abaktan ilgili açı değerine karşılık gelen doğruyla çakıştırılarak beton numunesinin basınç dayanımı tahmini olarak elde edilmiştir. Ancak buradaki esas amaç geçirimli ve lifli geçirimli beton numunelerin yüzey sertliklerinin karşılaştırılarak lifin yüzey sertliğine etkisinin araştırılmasıdır.

Basınç dayanımı tayini deneyi

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli olarak hazırlanan küp numuneler üzerinde TS EN 12390-3 Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini adlı standartta belirtilen basınç deneyleri uygulanmıştır. 7 ve 28 gün kür havuzunda bekleyen beton numunelere havuzdan çıkarılıp kurutulmuştur. Öncelikle kontrol numuneleri kırılarak basınç değerleri kaydedilmiş ve ardından bu değerlerle 7. ve 28. günlerde kırılan polipropilen lifli numuneler karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.4. Basınç Dayanımı Tayini Deney Düzeneği.

Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi

Yarmada çekme deneyine ait silindir numunelerde 7. ve 28. Günlerde kür havuzundan çıkarılıp hasarsız deneylere tabi tutulduktan sonra TS EN 12390-6 Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini'n de anlatıldığı gibi deneye tabi tutulmuştur. Elde edilen kuvvet değerleri aşağıda ki eşitlikte verilen formülde yerlerine yazılarak yarmada çekme dayanımları bulunmuştur. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli olarak hazırlanan silindir numunelerin bulunan değerleri karşılaştırılmıştır. Aşağıdaki eşitlik 4.3 standart silindir numuneler için kullanılmaktadır.

$$\sigma_{\phi} = \frac{2P}{\pi LD} \quad (4.3)$$

Burada;

σ_{ϕ} = Yarmada çekme dayanımı (Mpa)

P = Kırılma anındaki yük (N)

L = Silindir numunenin boyu (mm)

D = Silindir numunenin çapı (mm)



Şekil 4.5. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini Deney Düzeneği.

Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi

Küp ve silindir numunelerle yapılan deneyler sonrasında polipropilen liflerin asıl performansını gösterebilecekleri eğilmede çekme deneyi TS EN 12390-5 Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini adlı standartta belirtildiği gibi yapılmıştır. Geçirimli ve lifli geçirimli beton numuneler geleneksel betona göre boşluklu bir yapıya sahip olduklarından deney esnasında numunelerde gevrek kırılma meydana gelmiştir. Eğilmede çekme deneyi sırasında kesit yük taşıyamaz duruma gelmiş ve kırılmıştır. Kırılma anında ölçülen değer aşağıdaki eşitlikte yerine konulmuş ve her bir numune için eğilmede çekme dayanımları bulunmuştur. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli betonlar için bulunan değerler birbiriyle karşılaştırılmıştır.

$$\sigma_e = \frac{\frac{PL}{4}}{\frac{bh^2}{6}} \quad (4.4)$$

Burada;

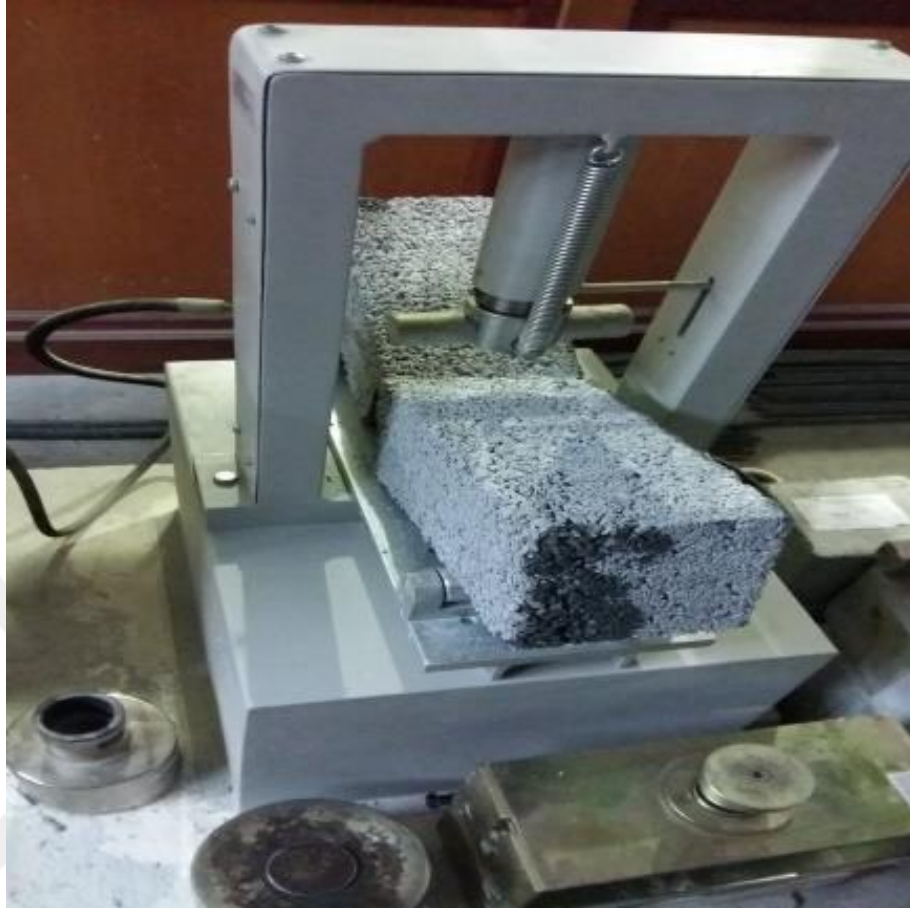
σ_e = Eğilmede çekme dayanımı (Mpa)

P = Kırılma anındaki yük (N)

L = Deney aletinin mesnetleri arasındaki açıklık (mm)

b = Numune kesitinin yatay kenarı (mm)

h = Numune kesitinin dikey kenarı (mm)



Şekil 4.6. Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deney Düzeneği.

4.3.3. Durabilite deneyleri

Aşınma dayanımı tayini deneyi

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli betonların aşınma direnci; böhme aşındırma cihazı üzerinde 71x71x71'lik küp numunelere sürtünme yolu ile aşınma deneyi TS 2824'de anlatıldığı gibi yapılmıştır. Aşınma kaybı, numunenin hacmindeki azalma olarak tayin edilmiştir. Küp numuneler deneye başlamadan önce yükseklik ölçümü alındıktan sonra, beton numunenin aşındırılacak yüzeyi döner disk üzerine yapışacak ve temas yüzü yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Baskı pistonu yükleme koluna asılan ağırlık vasıtası ile bastırılmıştır. Sürtünme yüzeyine standart aşındırıcı olarak 20 gr aşındırma tozu yayıldıktan sonra cihaz çalıştırılmıştır. Bu durumda disk numuneye 294 N'luk aşındırma kuvveti uygulamıştır. Disk 22 devir yaptıktan sonra otomatik olarak durmuştur. Numune saat yönünde 90° döndürülüp ve ize

yeni aşındırıcı tozu konulmuştur. Her defasında disk ve temas yüzeyi temizlenmiştir. Bu şekilde ikinci, üçüncü ve dördüncü yüzleri de aşındırılmıştır ve toplam 88 devir yani tamamlanmıştır. Her çevrim sonunda fırça ile temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Numunenin hacmi Arşimet deneyine göre belirlenmiş ve ilk hacmi ile olan fark aşınma kaybı olarak bulunmuştur. Her dört dönüşümden sonra temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Araştırmada her numune üzerinde toplam 16 çevrim yani 352 devir uygulanmıştır. Aşınma kaybı hacim azalması cinsinden aşağıdaki eşitlik 4.5 kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta V = (V_0 - V_1) / A \times 50 \quad (4.5)$$

Burada;

ΔV : Numunenin böhme yüzey aşınma kaybı değeri, $\text{cm}^3/50 \text{ cm}^2$

V_0 : Numunenin deneyden önceki hacmi, cm^3

V_1 : Numunenin deneyden sonraki hacmi, cm^3

A : Numunenin aşınma uygulanan yüzeyin alanı, cm^2



Şekil 4.7. Aşınma Dayanımı Tayini Denei Düzeneği.

Donma-çözölme tayini deneyi

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak üretilen 10x10x10 cm³ olan küp numuneler kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler 24 saatte laboratuvar ortamında bekletilerek havada donma-çözölme deneyine tabii tutulmuştur. Donma-çözölme deneyinde her çevrimi -20 °C'de 120 d ve +20 °C'de 120 d olmak üzere 0,1 °C/d artış ile 1 çevrimi toplamda 640 d olan havada donma çözölme deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada numunelere 50 çevrimli donma çözölme deneyleri yapılmıştır. 50 çevrim sonunda donma-çözölme deney aleti otomatik durmuş ve deney tamamlanmıştır. Donma-çözölme sonrası numunelerin basınç dayanım değerleri kaydedilmiştir. Donma-çözölme deneyine maruz olmayan referans numunelerden elde edilen basınç dayanım değerleriyle karşılaştırılmıştır.



Şekil 4.8. Donma-Çözülme Tayini Deney Düzeneği.

Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık tayini deneyi

Bu deneydeki esas amaç aşırı don olan hava şartlarında dünyada esnek yada rijit yol kaplamaları üzerinde oluşacak don ve kar birikmesini önlemek için kullanılan buz çözücü solüsyonun (potasyum asetat) geçirimli ve lifli geçirimli beton numunelerin özelliklerine etkisinin araştırmaktır. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak üretilen $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$ olan küp numuneler kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler donma-çözülme deneyinde olduğu gibi 24 saat laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Havada donma-çözülme çevrimi yapılacağından tamamen kuruyan numunelerin üzerine Çizelge 4.6. da belirtilen uygulama miktarı ve numunelerin tüm yüzeyi dikkate alınarak 25 gr/m^2 buz çözücü solüsyon yol yüzeylerine uygulanma şeklinde olduğu gibi püskürtülmüştür. Hazırlanan numunelere havada

donma-çözülme deneyi uygulanmıştır. Referans numuneler ile donma-çözülme maruz kalan numunelere basınç dayanımı testi yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.5. Yol durumuna göre buz çözücü solüsyon kullanım miktarı.

Buz çözücü solüsyon (potasyum asetat) önerilen miktarlar			
Yol Durumu	0 ile -5°C	-5°C ile -10°C	-10°C'nin altı
Buz, Tipi	10-20 gr/m ²	20-30 gr/m ²	30-40 gr/m ²
Kar	25-35 gr/m ²	35-45 gr/m ²	45-55 gr/m ²
Buz, Don	30-40 gr/m ²	40-50 gr/m ²	50-60 gr/m ²

Çizelge 4.6. Hava durumuna göre buz çözücü solüsyon kullanım miktarı.

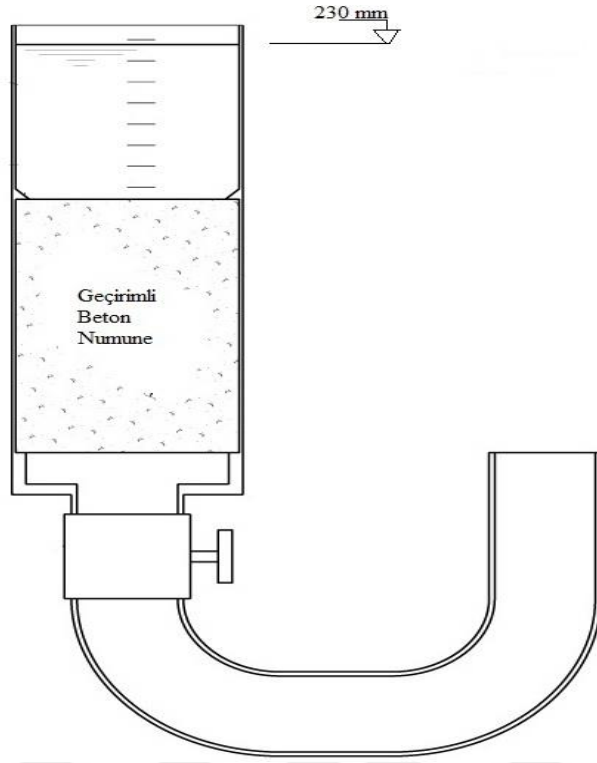
Buz çözücü solüsyon (potasyum asetat) önerilen miktarlar	
Hava Durumu	Uygulama oranı
Sulu kar yada don beklentisi	20-30 gr/m ²



Şekil 4.9. Kimyasal Maddelere Karşı Dayanıklılık Tayini Deney Düzenegi.

Permeabilite deneyi

Geçirimli betonun geçirimsizlik kapasitesi ACI 522R-06' da önerilen teknikle belirlenmiştir. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde silindir numuneler hazırlanmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 28 gün boyunca kür de tutulmuş ve kür yaşını doldurduktan sonra havuzdan çıkarılarak 24 saat laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Tamamen kuruyan numunelerin etrafı su sızdırmayacak şekilde sarılmıştır. Etrafı kapalı silindirik geçirimli ve lifli geçirimli beton numuneleri U şeklindeki test ekipmanının (Şekil 4.10) bir ucuna yerleştirilmiştir. Üzerinde 230 mm su seviyesi olacak şekilde doldurulmuştur. Alt vana açılmış ve su seviyesi 25 mm oluncaya kadar geçen zaman kronometre ile sn cinsinden ölçülmüştür. Ölçüm herbir numune için 2 kez tekrarlanmıştır. 20,5 cm, ölçülen zamana (sn) oranlanarak geçirimsizlik kapasitesi belirlenmiştir.



Şekil 4.10. Geçirimsizlik deneyi düzeneği.

5. BULGULAR

Yapılan deneysel çalışmalarda kullandığımız beton numunelerinin karışım oranları, hazırlanan beton numunelere uygulanan deneyler daha önceki bölümlerde açıklanmıştır. Yapmış olduğumuz tüm bu deneylerin sonuçları deneyler sırasında not edilmiştir. Elde edilen sayısal değerleri anlamlı ve yorumlanacak hale getirmek için grafikler çizilmiştir. 7 ve 28 günlük kür sonuçlarına göre elde edilen değerler aynı grafiğe işlenmiş ve bu değerlerin karşılaştırılmasının daha kolay olması sağlanmıştır.

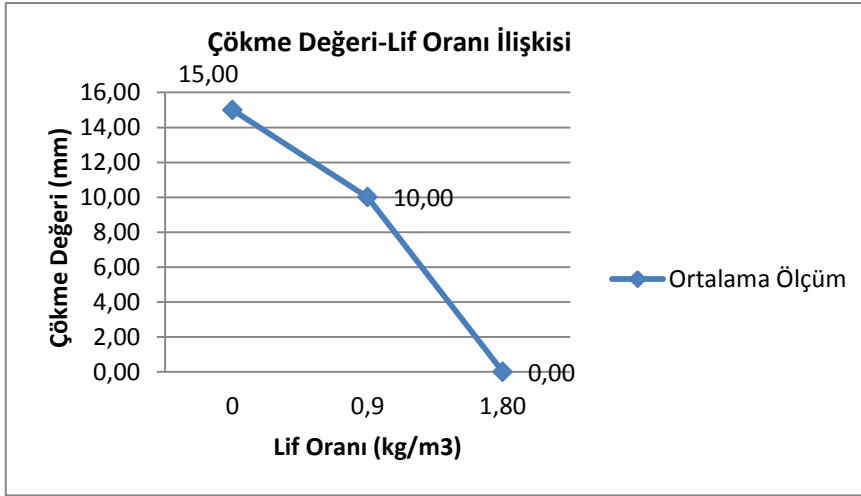
Grafikler oluşturulurken yatay eksenlerinde her bir karışım içinde bulunan polipropilen lif oranı, dikey eksenlerinde ise ilgili deneye ait deney sonuçları bulunmaktadır. Her bir grafikte ilgili deneye ait sonuçlar dikey eksene birimleri ile birlikte yazılmıştır. Hazırlanan her bir grafikte mavi renkli sürekli çizgi 7 günlük kür sonucunda elde edilen değerleri, kırmızı renkli sürekli çizgi ise 28 günlük kür sonucunda elde edilen deney sonuçlarını göstermektedir. Çökme deneyi hazırlanan her bir beton karışımında kalıplara doldurulmadan önce gerçekleştirilmiştir.

5.1. Taze Beton Deney Sonuçları

5.1.1. Slump (çökme tayini) deneyi sonuçları

Taze beton üzerinde yapılan bu deney beton ters huni şekilli kaba üç tabaka halinde doldurularak 25'er kez şişlenmiş ve sıkışması sağlanmıştır. Daha sonra ters huni dik şekilde yukarı doğru çekilerek betonda meydana gelen çökme cetvel vasıtasıyla ölçülmüştür. Deney sonuçları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

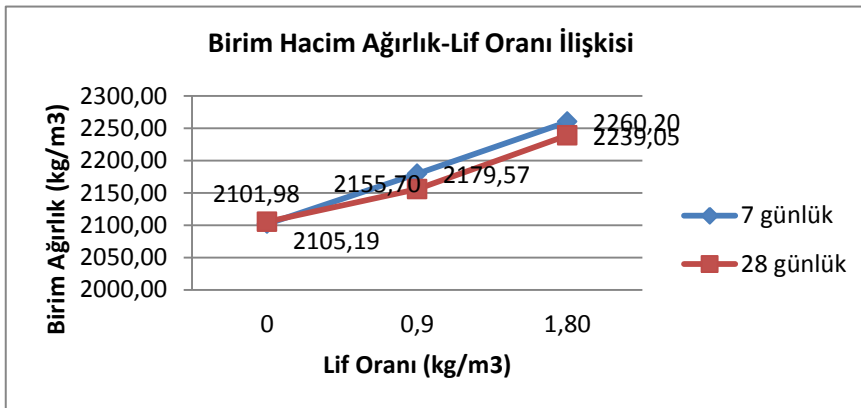
Çizelge 5.1. Slump (çökme tayini) deneyi sonuçları.



5.1.2. Birim hacim ağırlık tayini deneyi sonuçları

7 ve 28 günlük kür süreleri tamamlanan deney numuneleri kür havuzundan çıkarılarak 24 saat boyunca kurumaları beklenmiştir. Ağırlıkları tespit edilen her bir numune kendi hacmine bölünerek kg/m³ cinsinden betonun yoğunluğu tespit edilmiştir. Geçirimli ve farklı oranlarda lif eklenen lifli geçirimli betonların karşılaştırmasında bu değerler kullanılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.2’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Birim hacim ağırlık tayini deneyi sonuçları.

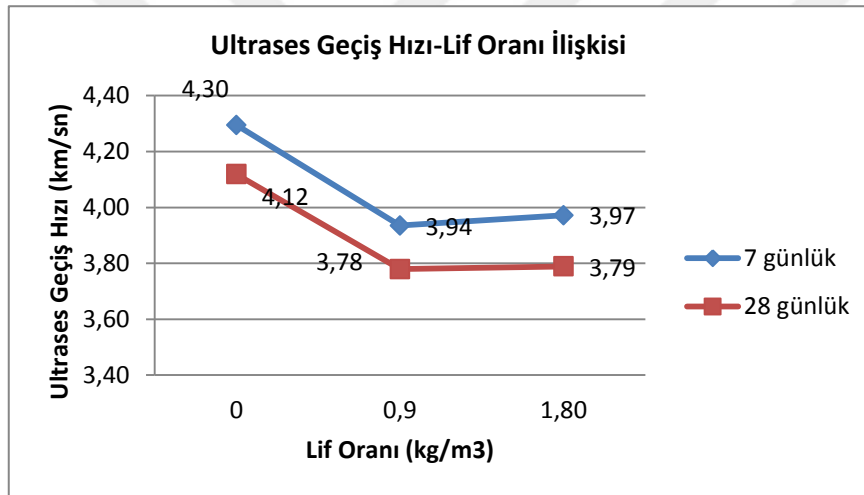


5.2. Sertleşmiş Beton Deney Sonuçları

5.2.1. Ultrases geçiş hızı tayini deneyi sonuçları

Küp, silindir ve prizmatik numunelere ASTM C 597’de anlatılan ultrases geçiş süresi deneyi uygulanmış ve sonuçlar kaydedilerek geçirimli beton numuneler ve lifli-geçirimli beton numuneler arasında karşılaştırma yapılmıştır. Bu değer kullanılarak da betonun boşluk oranı hakkında bir fikir edinilebilir. Deney sonuçları Çizelge 5.3’te verilmiştir.

Çizelge 5.3. Ultrases geçiş hızı tayini deneyi sonuçları.



5.2.2. Yüzey sertliği tayini deneyi sonuçları

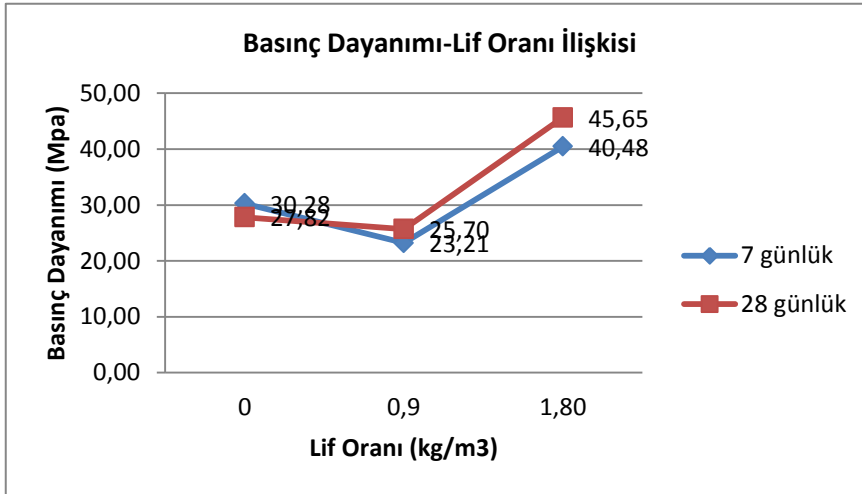
Hazırlanan beton numuneler boşluklu yapıya sahip olduğundan yüzey sertliği deneyi yapılması sırasında agregalarda ayrışmalar olmuştur. Yaşanan bu olumsuz durum nedeniyle bu deneyden vazgeçilmiştir.

5.2.3. Basınç dayanımı tayini deneyi sonuçları

7 ve 28 gün kür havuzunda bekleyen beton numunelere havuzdan çıkarılıp kurutulmuştur. Öncelikle kontrol numuneleri kırılarak basınç değerleri kaydedilmiş ve ardından

bu değerlerle 7. ve 28. günlerde kırılan polipropilen lifli numuneler karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları izelge 5.4'te verilmiştir.

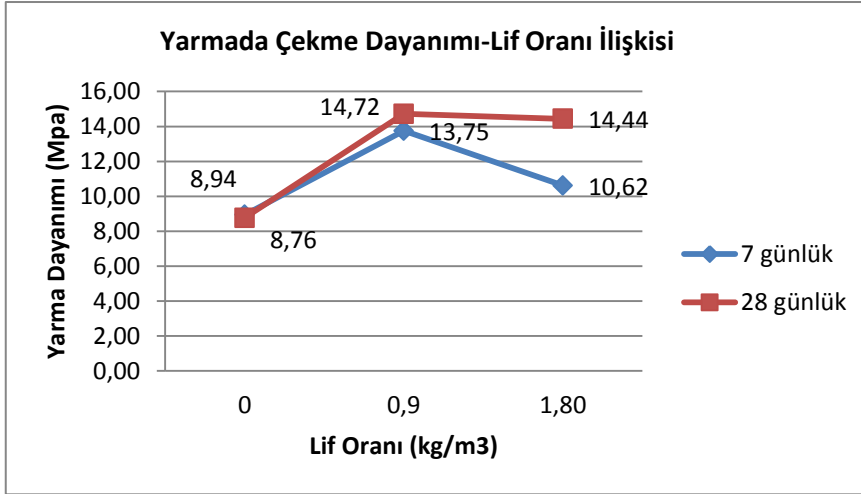
Çizelge 5.4. Basınç dayanımı tayini deneyi sonuçları.



5.2.4. Yarmada ekme dayanımı tayini deneyi sonuçları

Yarmada ekme deneyine ait silindir numunelerde 7. ve 28. Günlerde kr havuzundan çıkarılıp hasarsız deneylere tabi tutulduktan sonra TS EN 12390-6 Deney Numunelerinin Yarmada ekme Dayanımının Tayini'nde anlatıldığı gibi deneye tabi tutulmuştur. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli olarak hazırlanan silindir numunelerin bulunan değerleri karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları izelge 5.5'de verilmiştir.

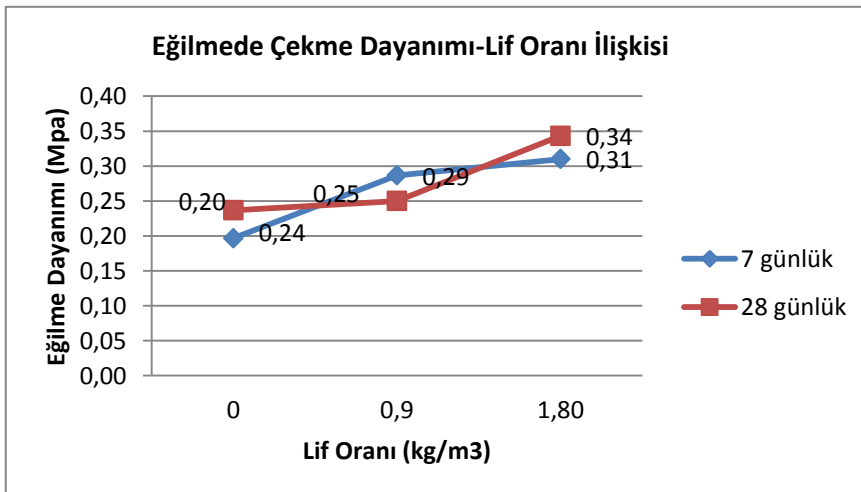
Çizelge 5.5. Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi sonuçları



5.2.5. Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonuçları

Küp ve silindir numunelerle yapılan deneyler sonrasında polipropilen liflerin asıl performansını gösterebilecekleri eğilmede çekme deneyi TS EN 12390-5 Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini adlı standartta belirtildiği gibi yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyi sonuçları.



5.3. Durabilite Deney Sonuçları

5.3.1. Aşınma dayanımı tayini deneyi sonuçları

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli betonların aşınma direnci; böhme aşındırma cihazı üzerinde 71x71x71'lik küp numunelere sürtünme yolu ile aşınma deneyi TS 699'da anlatıldığı gibi yapılmıştır. Aşınma kaybı, numunenin hacmindeki azalma olarak tayin edilmiştir. Küp numuneler deneye başlamadan önce yükseklik ölçümü alındıktan sonra, beton numunenin aşındırılacak yüzeyi döner disk üzerine yapışacak ve temas yüzü yukarı gelecek şekilde yerleştirilmiştir. Baskı pistonu yükleme koluna asılan ağırlık vasıtası ile bastırılmıştır. Sürtünme yüzeyine standart aşındırıcı olarak 20 gr aşındırma tozu yayıldıktan sonra cihaz çalıştırılmıştır. Bu durumda disk numuneye 294 N'luk aşındırma kuvveti uygulamıştır. Disk 22 devir yaptıktan sonra otomatik olarak durmuştur. Numune saat yönünde 90° döndürülüp ve ize yeni aşındırıcı tozu konulmuştur. Her defasında disk ve temas yüzeyi temizlenmiştir. Bu şekilde ikinci, üçüncü ve dördüncü yüzleri de aşındırılmıştır ve toplam 88 devir yani tamamlanmıştır. Her çevrim sonunda fırça ile temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Numunenin hacmi Arşimet deneyine göre belirlenmiş ve ilk hacmi ile olan fark aşınma kaybı olarak bulunmuştur. Her dört dönüşümden sonra temizlenen numuneler dikkatlice ölçülmüş ve tartılmıştır. Araştırmada her numune üzerinde toplam 16 çevrim yani 352 devir uygulanmıştır. Aşınma kaybı hacim azalması cinsinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır:

$$\Delta V = (V_0 - V_1) / A \times 50$$

Burada;

ΔV : Numunenin böhme yüzey aşınma kaybı değeri, cm³/50 cm²

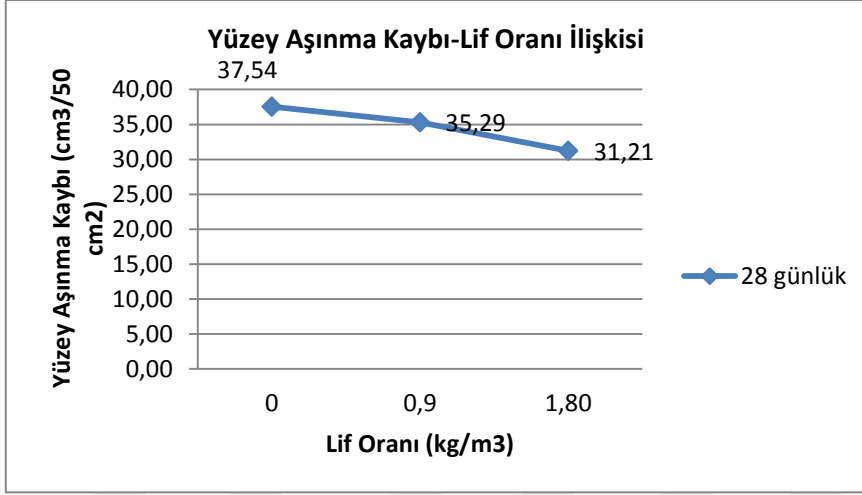
V_0 : Numunenin deneyden önceki hacmi, cm³

V_1 : Numunenin deneyden sonraki hacmi, cm³

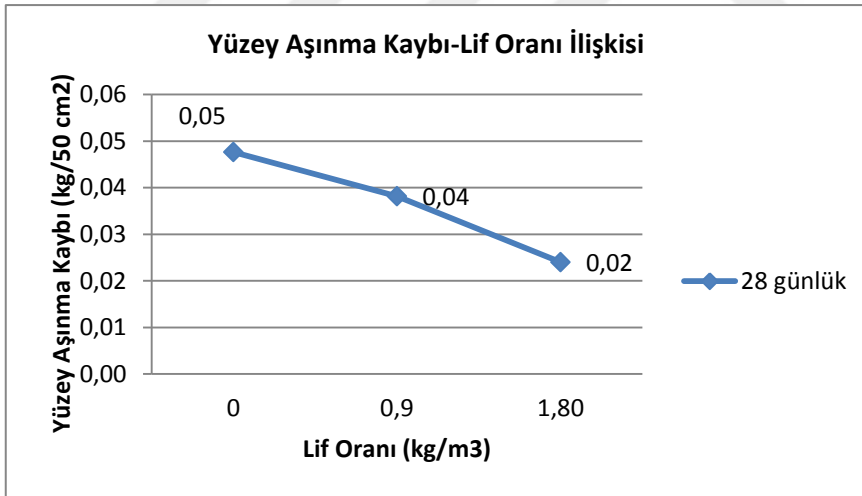
A : Numunenin aşınma uygulanan yüzeyin alanı, cm²

Deney sonuçları Çizelge 5.7 ve 5.8'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Aşınma dayanımı tayini deneyi sonuçları.



Çizelge 5.8. Aşınma dayanımı tayini deneyi sonuçları.

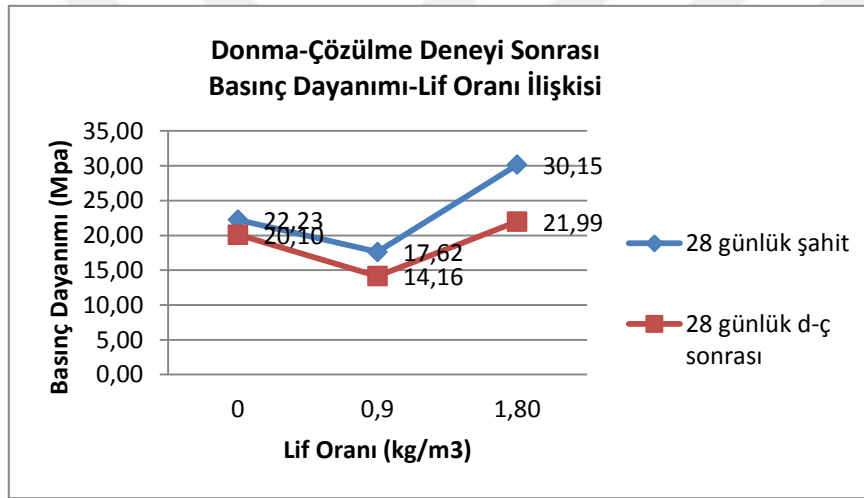


5.3.2. Donma-çözülme tayini deneyi sonuçları

Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak üretilen 10x10x10 cm³ olan küp numuneler kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler 24 saatte laboratuvar ortamında bekletilerek havada donma-çözülme deneyine tabii tutulmuştur. Donma-çözülme deneyinde her çevrimi -20

°C'de 120 d ve +20 °C'de 120 d olmak üzere 0,1 °C/d artış ile 1 çevrimi toplamda 640 d olan havada donma çözülme deneyi uygulanmıştır. Deneysel çalışmada numunelere 50 çevrimli donma çözülme deneyleri yapılmıştır. 50 çevrim sonunda donma-çözülme deney aleti otomatik durmuş ve deney tamamlanmıştır. Donma-çözülme sonrası numunelerin basınç dayanım değerleri kaydedilmiştir. Donma-çözülme deneyine maruz olmayan referans numunelerden elde edilen basınç dayanım değerleriyle karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.9'da verilmiştir.

Çizelge 5.9. Donma-çözülme tayini deneyi sonuçları.

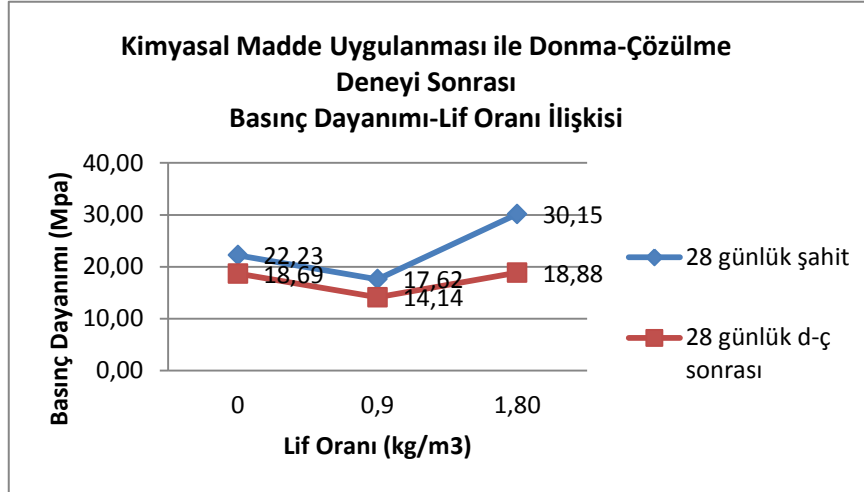


5.3.3. Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık tayini deneyi sonuçları

Bu deneydeki esas amaç aşırı don olan hava şartlarında dünyada esnek yada rijit yol kaplamaları üzerinde oluşacak don ve kar birikmesini önlemek için kullanılan buz çözücü solüsyonun (potasyum asetat) geçirimli ve lifli geçirimli beton numunelerin özelliklerine etkisinin araştırmaktır. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak üretilen 10x10x10 cm³ olan küp numuneler kalıptan çıkarılarak 28 gün boyunca kür havuzunda tutulmuştur. Kür yaşını tamamlayan numuneler donma-çözülme deneyinde olduğu gibi 24 saat laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Tamamen kuruyan numunelerin üzerine buz çözücü solüsyon yol yüzeylerine uygulanma şeklinde olduğu gibi püskürtülmüştür. Hazırlanan numunelere havada donma-çözülme deneyi uygulanmıştır. Referans numuneler ile donma-

çözölmeye maruz kalan numunelere basınç dayanımı testi yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 5.10’da verilmiştir.

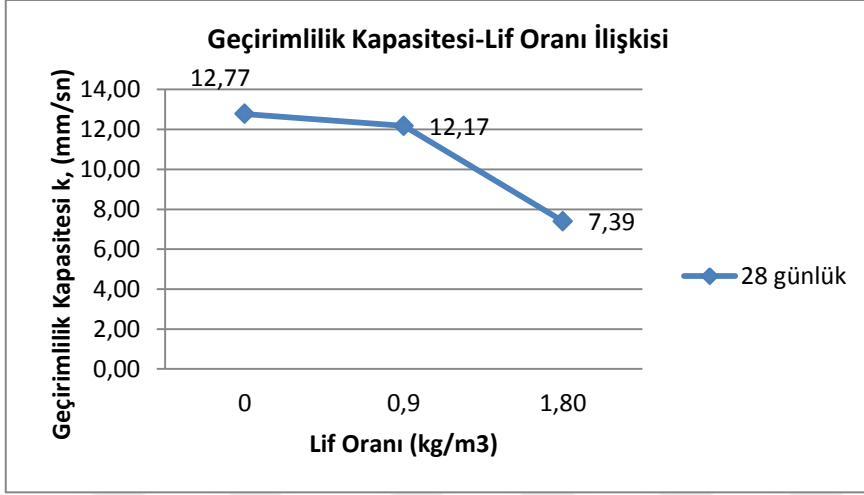
Çizelge 5.10. Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık tayini deneyi sonuçları.



5.3.4. Permeabilite deneyi sonuçları

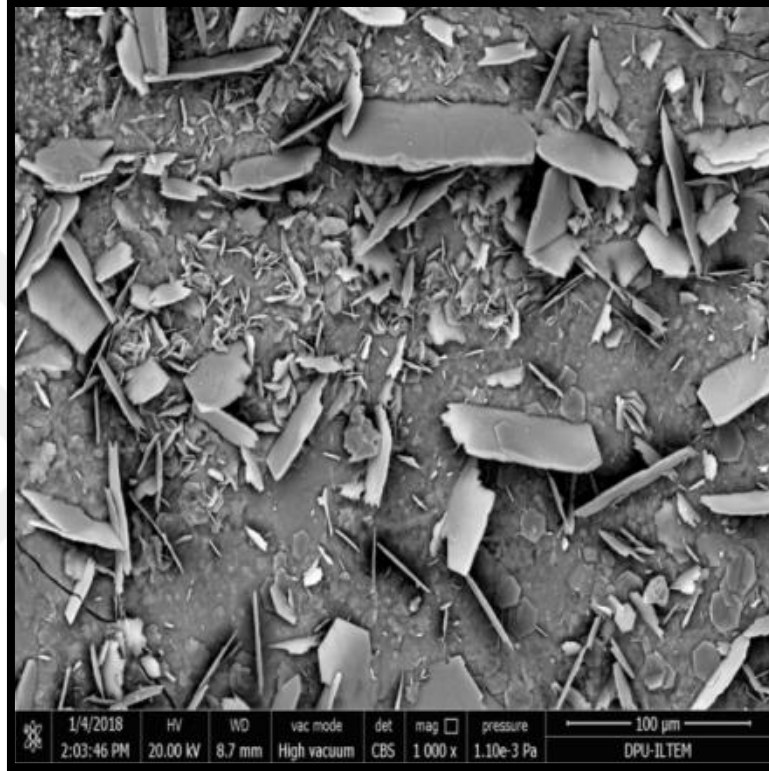
Geçirimli betonun geçirimlilik kapasitesi ACI 522R-06’ da önerilen teknikle belirlenmiştir. Geçirimli ve farklı oranlarda lifli geçirimli beton karışımlarına uygun olarak 10 cm çapında ve 20 cm yüksekliğinde silindir numuneler hazırlanmıştır. Kalıptan çıkarılan numuneler 28 gün boyunca kür de tutulmuş ve kür yaşını doldurduktan sonra havuzdan çıkarılarak 24 saat laboratuvar ortamında kurutulmuştur. Tamamen kuruyan numunelerin etrafı su sızdırmayacak şekilde sarılmıştır. Etrafı kapalı silindirik geçirimli ve lifli geçirimli beton numuneleri U şeklindeki test ekipmanının bir ucuna yerleştirilmiştir. Üzerinde 230 mm su seviyesi olacak şekilde doldurulmuştur. Alt vana açılmış ve su seviyesi 25 mm oluncaya kadar geçen zaman kronometre ile sn cinsinden ölçülmüştür. Ölçüm herbir numune için 2 kez tekrarlanmıştır. 20,5 cm, ölçülen zamana (sn) oranlanarak geçirimlilik kapasitesi belirlenmiştir. Deney sonuçları Çizelge 5.11 ’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Permeabilite deneyi sonuçları.



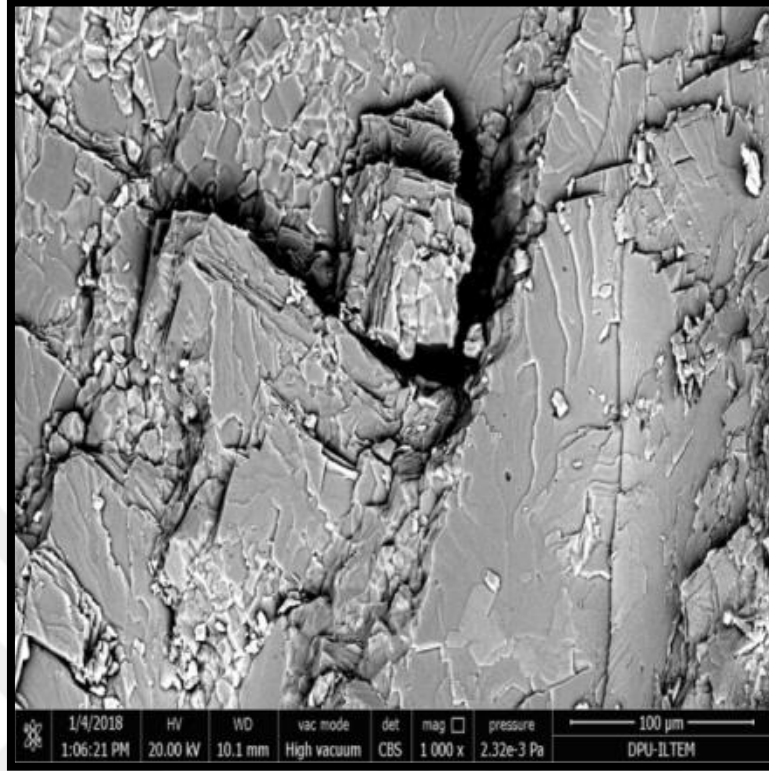
5.4. Betonun Mikroyapı Ve Xrd Analizi Sonuçları

7 günlük geçirimli beton numunesi üzerinde yapılan mikroyapı analizleri Şekil 5.1 ile Şekil 5.8 arasında verilmiştir.



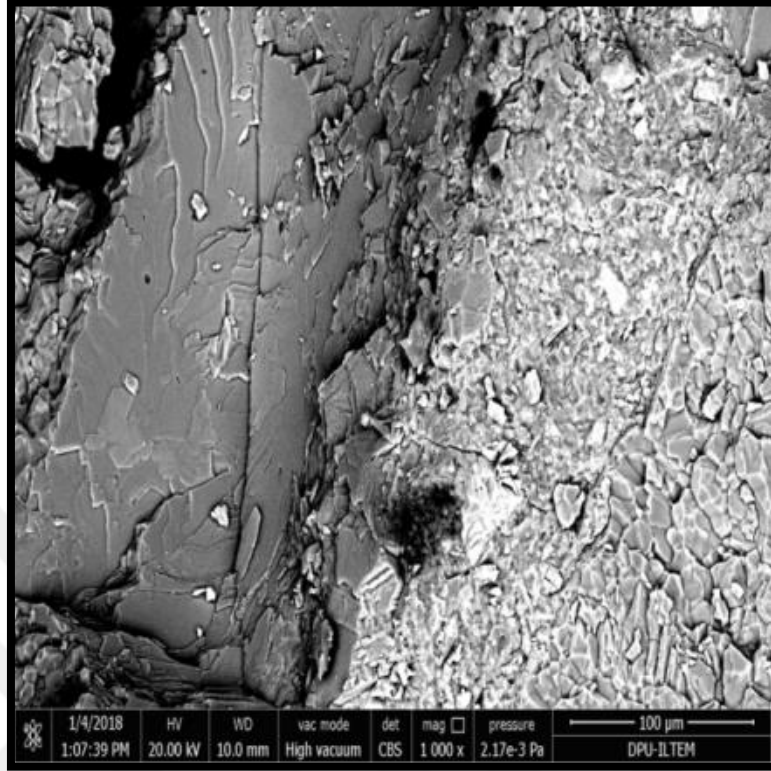
Şekil 5.1. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

7 günlük geçirimli numune de plaka şeklinde tanelerden oluşan oldukça yoğun sönmüş kireç (CaCO_3) yapıları görülmektedir. Geçirimli beton da sönmüş kireç yoğunluğunun yüksek seviyelerde olduğu görülmektedir.



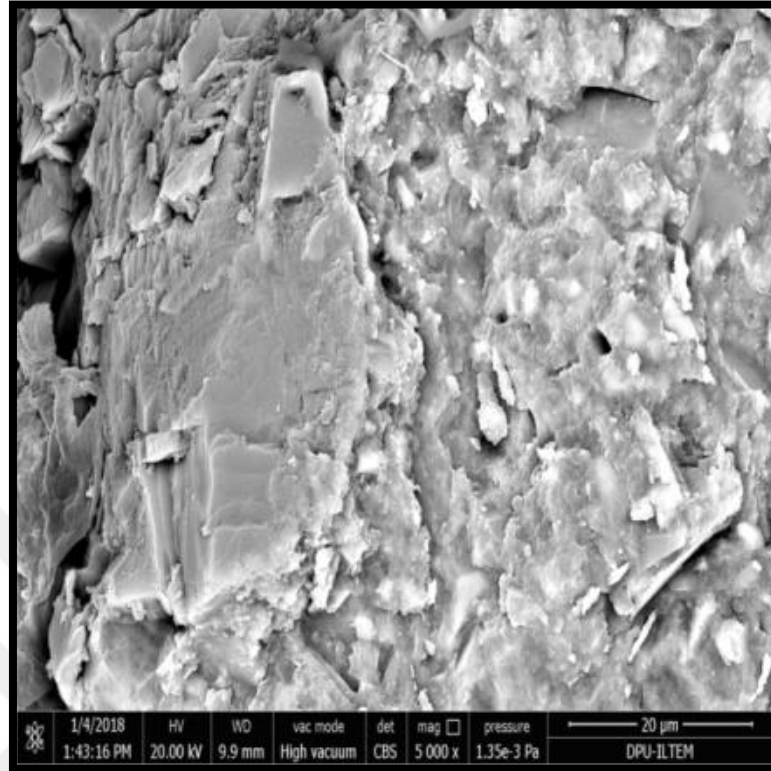
Şekil 5.2. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

7 günlük geçirimli numune de agrega boşluk ve çatlakları görülmektedir. Agregada olarak kireçtaşı CaCO_3 kullanılmıştır.



Şekil 5.3. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

7 günlük geçirimli numune de agrega üzerindeki çatlaklar görülmektedir.

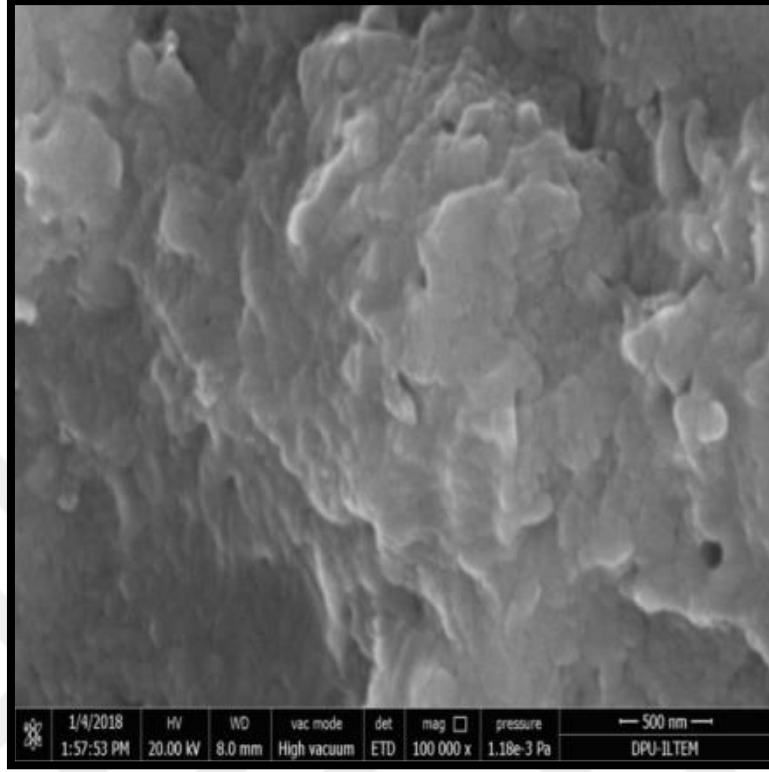


Şekil 5.4. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

7 günlük geçirimli numune de agrega çimento arayüzü ve çimento hamurunda oluşmuş çatlaklar 1000 ve 5000 büyütmelede incelenmiştir. 5000 büyütmede çimento hamurunun agregayı tam sarmadığı oldukça belirgin ve zayıf bir arayüzey oluşumu gözlemlenmiştir. Bu durum beton basınç dayanımını olumsuz etkileyen önemli parametrelerdendir. Çimento hamuru yapısının boşluklar içerdiği ve çok sıkı olmadığı görülmektedir. Görüntü geri saçılmış (back scattered) elektron görüntüsüdür. Agregaya ve hidrate çimento bileşenlerinden oluşan bu çok fazlı sistemde atom numarası farkına dayanan kontrastlar görülmektedir.

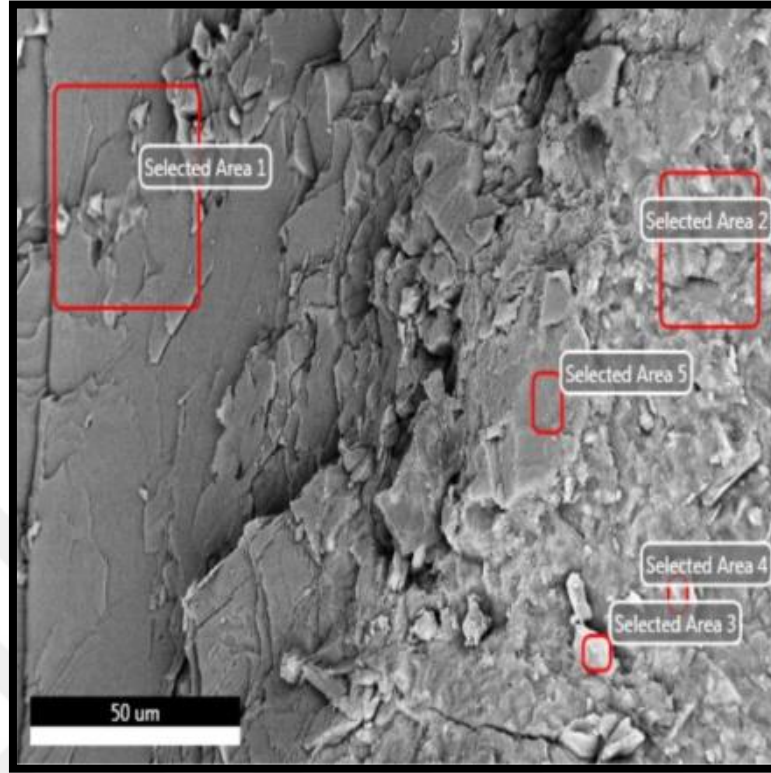
Geri saçılmış elektron görüntüsünde hidrate olmamış çimento taneleri beyaza yakın parlak gri, kalsiyum hidroksit (CaOH_2) açık gri, kalsiyum silikat hidrat (CSH) grinin koyu tonlarında ve boşluklar ise siyah gözükmektedir (Scrivener, 1989; Hussin ve Poole, 2011).

Karışımlarda kullandığımız kireç taşı agregası (CaCO_3) atomsal ağırlığının yüksek olmasından dolayı çok koyu gri görülmektedir. 7 günlük numunemizde hidrate olmamış çimento taneleri çimentonun reaksiyonu sonucu oluşmuş (CaOH_2) yapıları dikkat çekmektedir. Bu tip yapı agregaya yaklaştıkça artmaktadır.



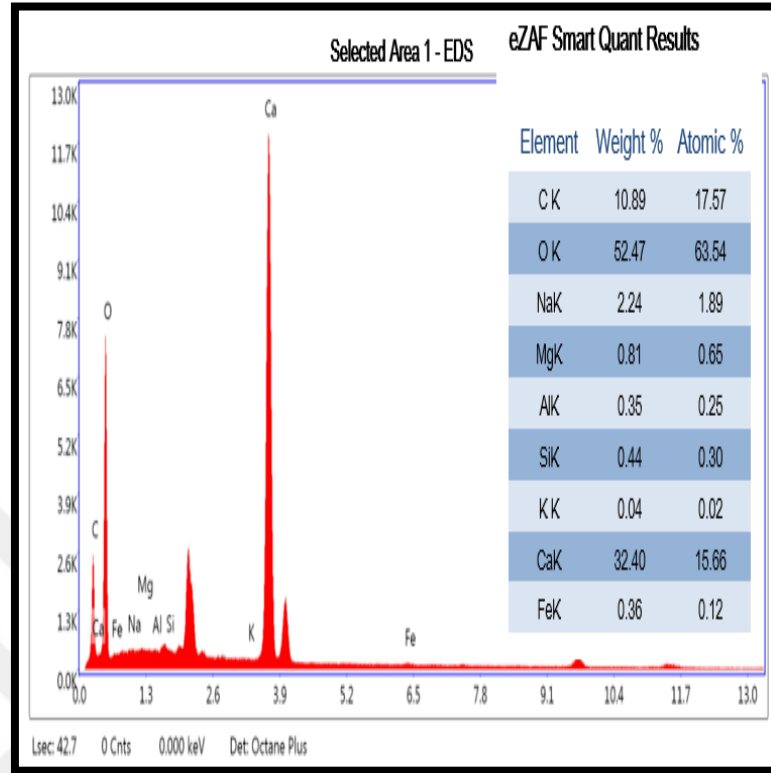
Şekil 5.5. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Sem görüntüsünde nano boyutta hidrate çimento yapıları görülmektedir.



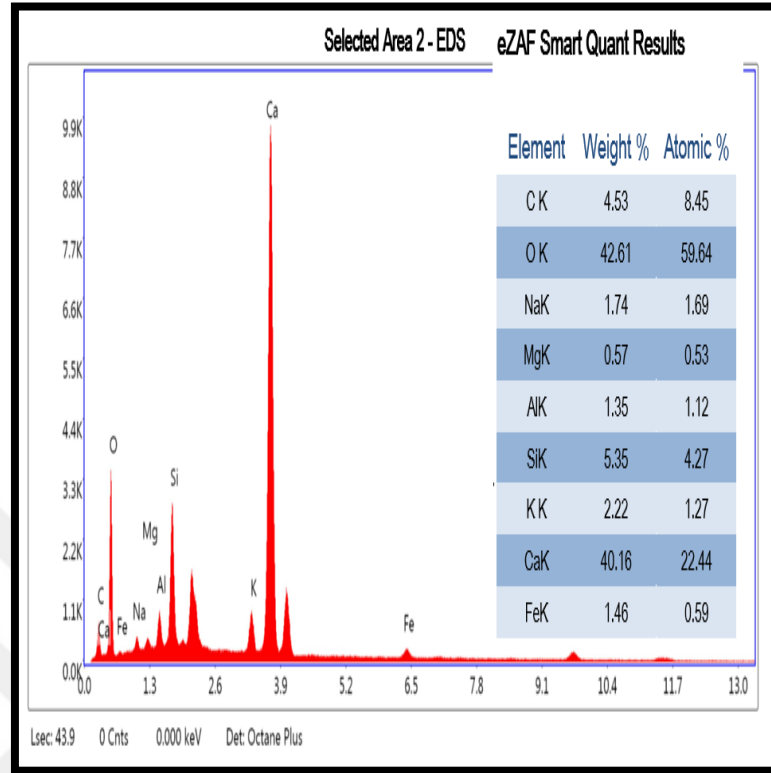
Şekil 5.6. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

SEM görüntüsü üzerinde renk farklarının olduğu alanlar farklı malzemeleri ifade ettiği için bu alanlardan EDS'ler çekilmiştir.



Şekil 5.7. EDS Görüntüsü.

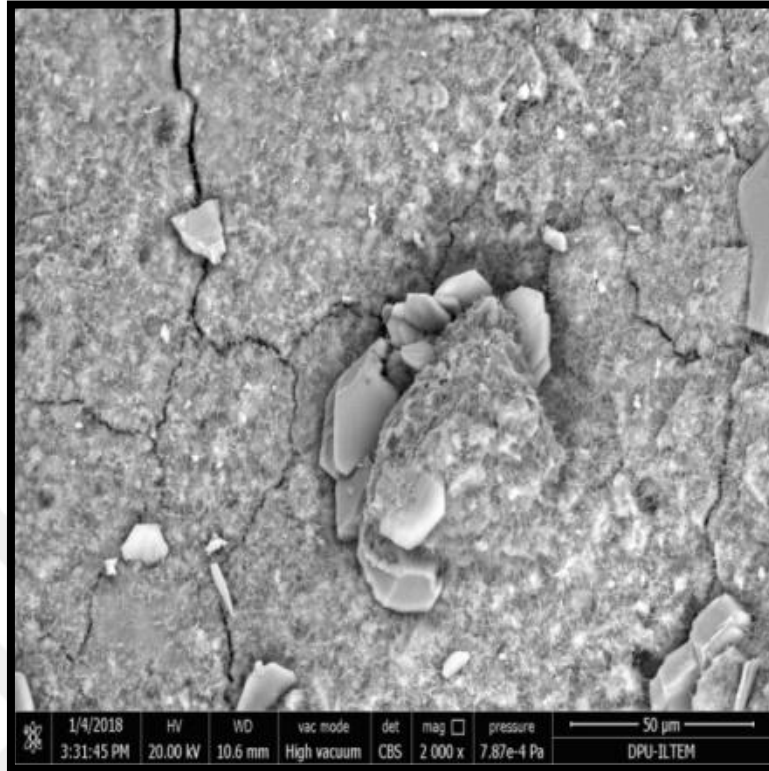
Çekilen EDS'ler de agreganın kireçtaşı yapısı açıkça görülmektedir. CaCO_3 yapısı ile beraber agregamızda bir miktar alkali ve magnezyum gözlemlenmiştir.



Şekil 5.8. EDS Görüntüsü.

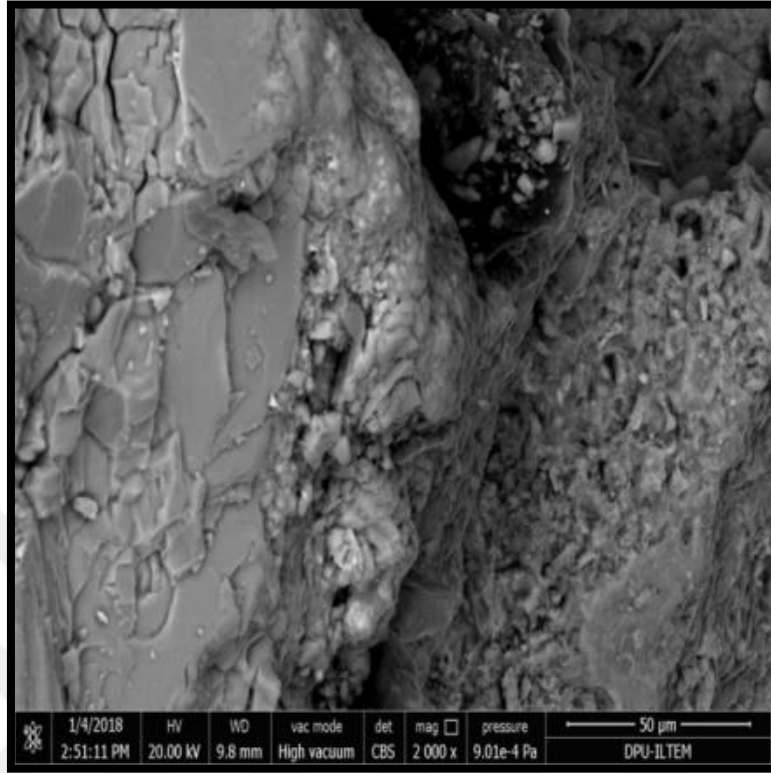
Çekilen EDS'lerden kalsiyum silikat yapının bağlayıcı matris fazında olduğu gözlemlenmektedir. Örnek olarak konulan 2 nolu EDS ve bağlayıcı fazdan alınan diğer EDS'ler de kalsiyum silikat yapısı yaklaşık olarak aynıdır. Düşük miktarlarda demir, magnezyum ve alkaliler de EDS de görülmektedir.

7 günlük 0,9 kg lif katkılı lifli-geçirimli beton numunesi üzerinde yapılan mikroyapı analizleri Şekil 5.9 ve Şekil 5.15 arasında verilmiştir.



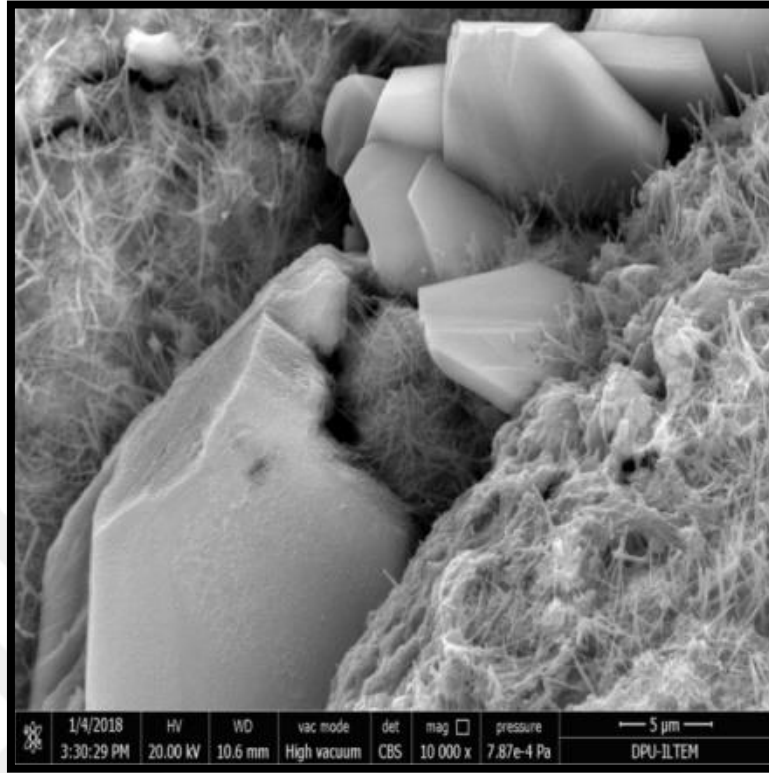
Şekil 5.9. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Küçük büyütmelelerde (2000) çekilen bu SEM görüntüsü bize liflerin homojen dağıldığını, bununla beraber hidrate çimento yapısının oldukça çatlaklı olduğunu göstermektedir. Ayrıca yüksek miktarda CaOH_2 oluşumu dikkat çekmektedir.



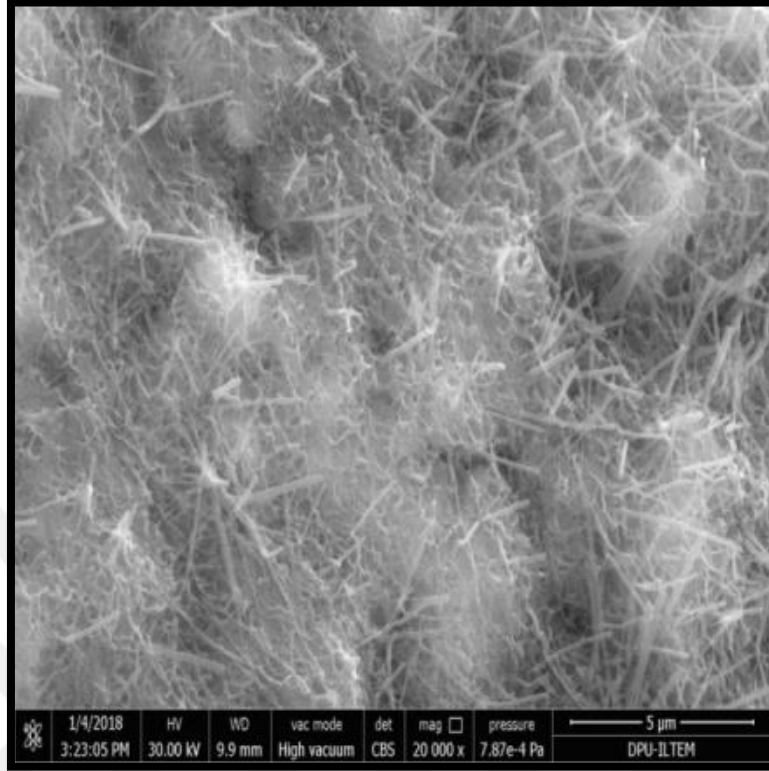
Şekil 5.10. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Agrega yüzeyinde tutunan hidrate çimento yapıları, belirgin agrega-çimento arayüzeyi ve oldukça zayıf boşluklu bağlayıcı yapısı görülmektedir.



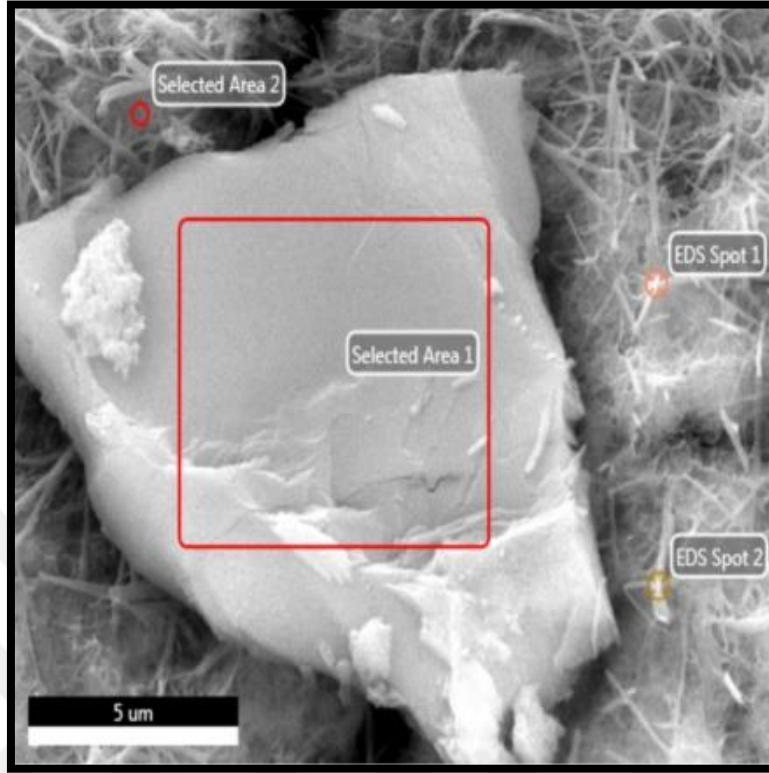
Şekil 5.11. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Hidrate çimento yapısı ve içerisinde yoğun lif, bu yapının boşluklarında düzgün altıgen levha şeklinde kristallenmiş sönmüş kireç taneleri gözlemlenmektedir.



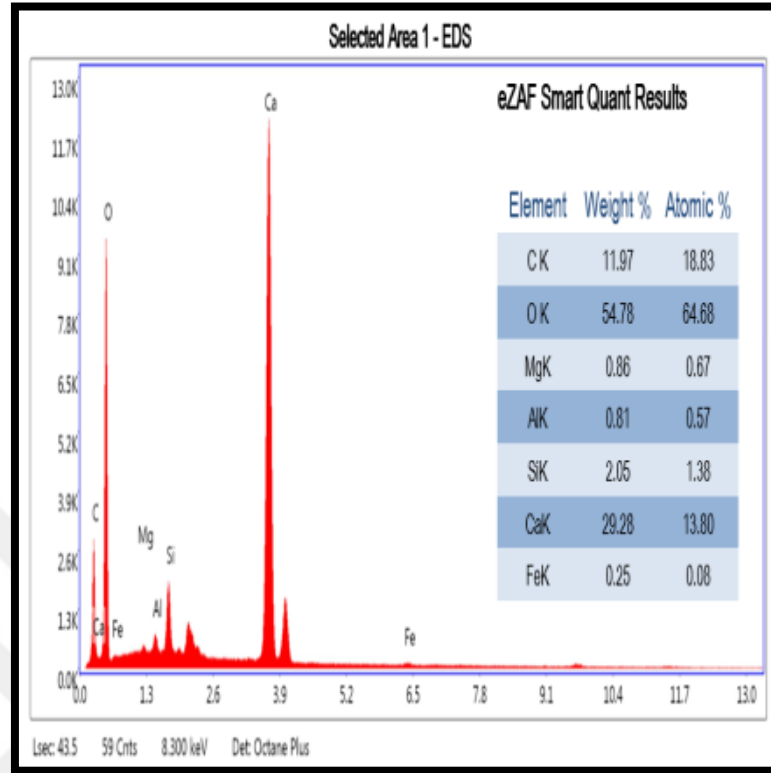
Şekil 5.12. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

7 günlük 0,9 kg lifli numune hidrate çimento yapısı içerisinde homojen sayılabilecek şekilde dağılmış lifler görülmektedir.



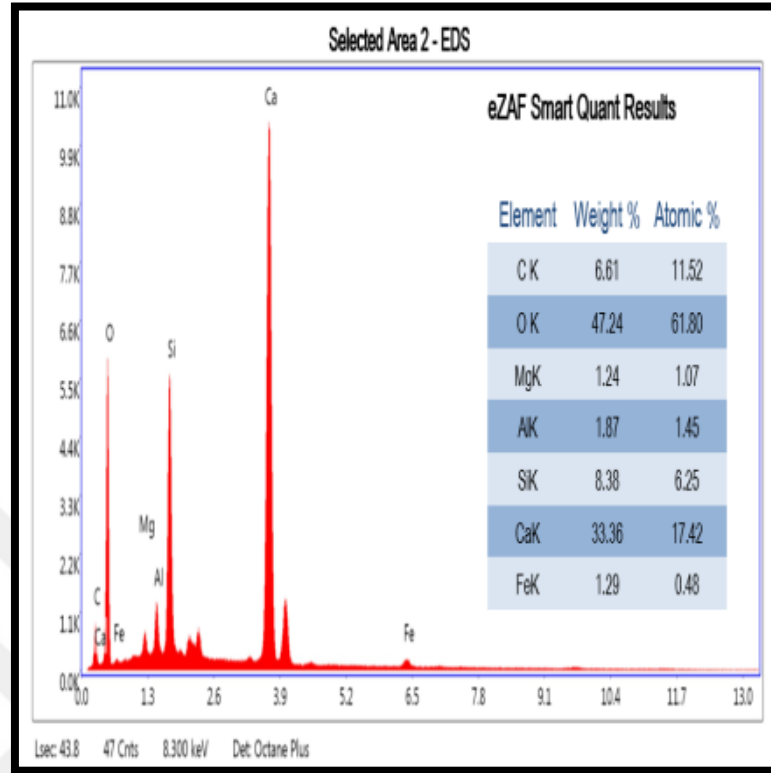
Şekil 5.13. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Şekil 5.13 de seçilen numunelerin atomik oranları Şekil 5.14 ve Şekil 5.15’de verilmiştir.



Şekil 5.14. EDS Görüntüsü.

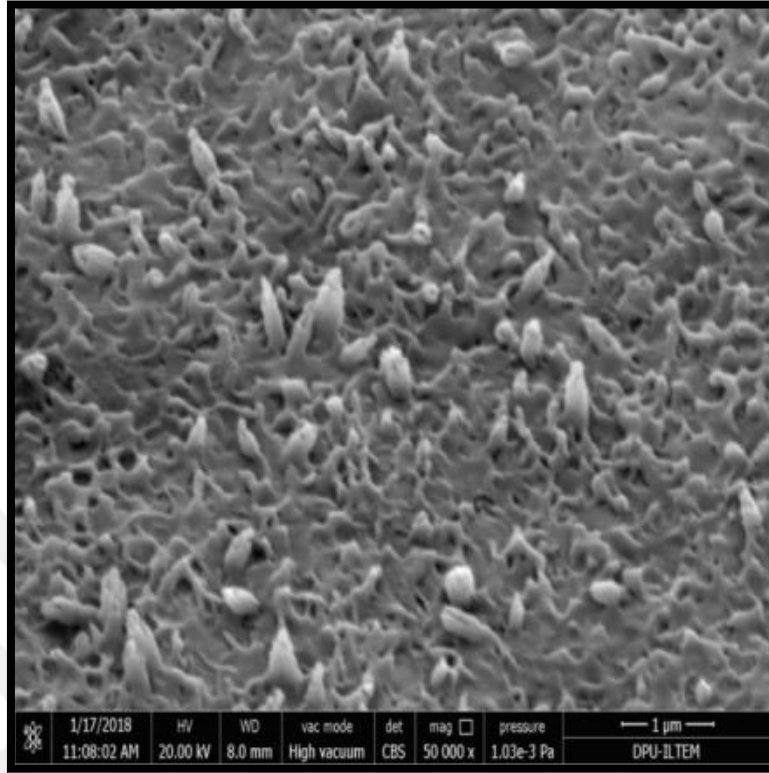
EDS 1 de atomik oranlar değerlendirildiğinde 13,80 / 18,83 / 64,68 yaklaşık olarak Ca/C/3O yani CaCO₃ (kireç taşı) karşımıza çıkmaktadır.



Şekil 5.15. EDS Görüntüsü.

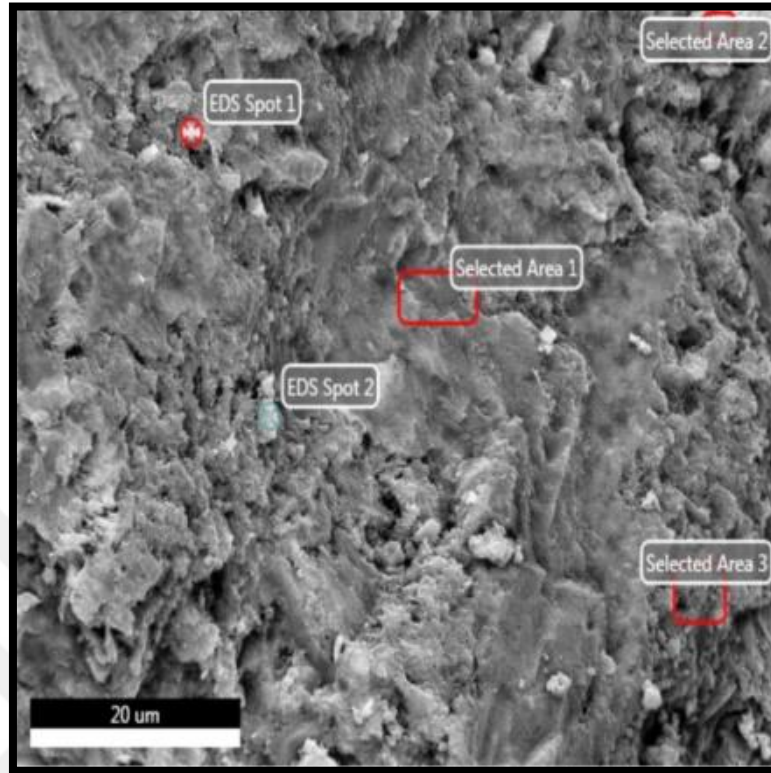
EDS 2 ise bize C-S-H yapısını vermektedir.

7 günlük 1,8 kg lif katkılı lifli-geçirimli beton numunesi üzerinde yapılan mikroyapı analizleri Şekil 16-26 arasında verilmiştir.



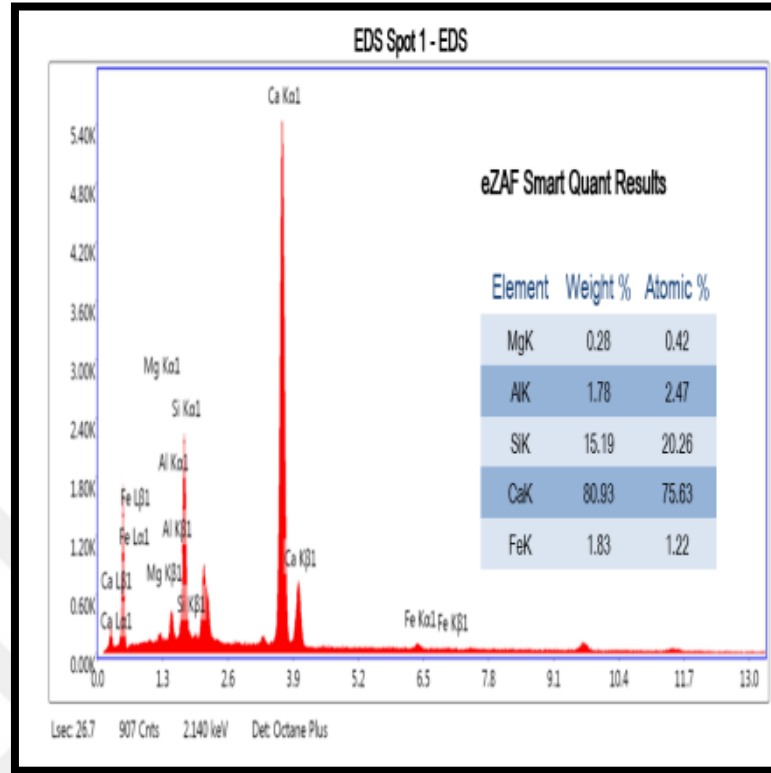
Şekil 5.16. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

C-S-H yapısı ve beyaza yakın gri renkli yapılar ise muhtemelen reaksiyona girmemiş (hidrat suyu almamış) çimento taneleridir. Aşağıdaki EDS'ler de bunların atomik yapısı verilmektedir.

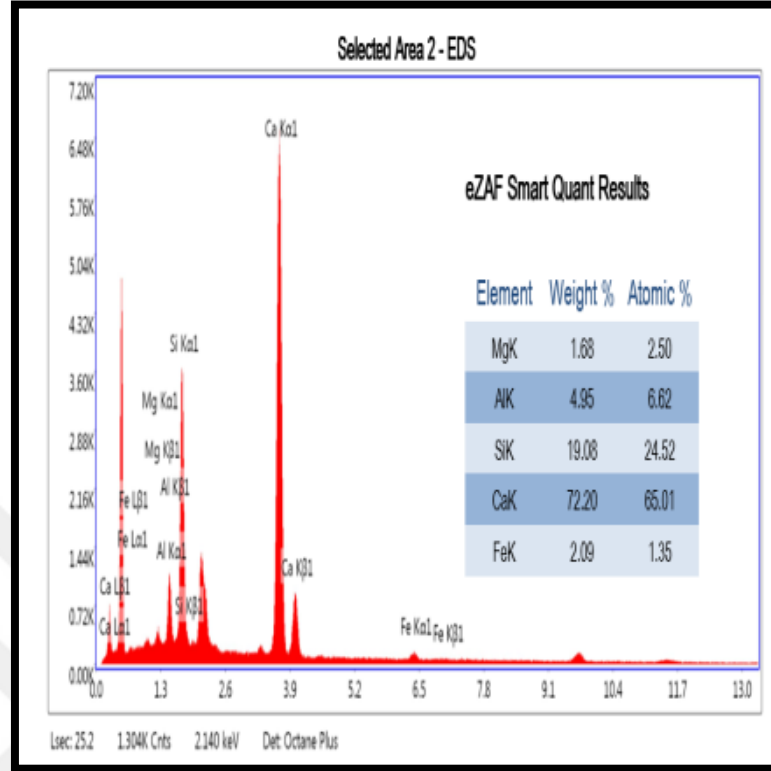


Şekil 5.17. EDS Görüntüsü.

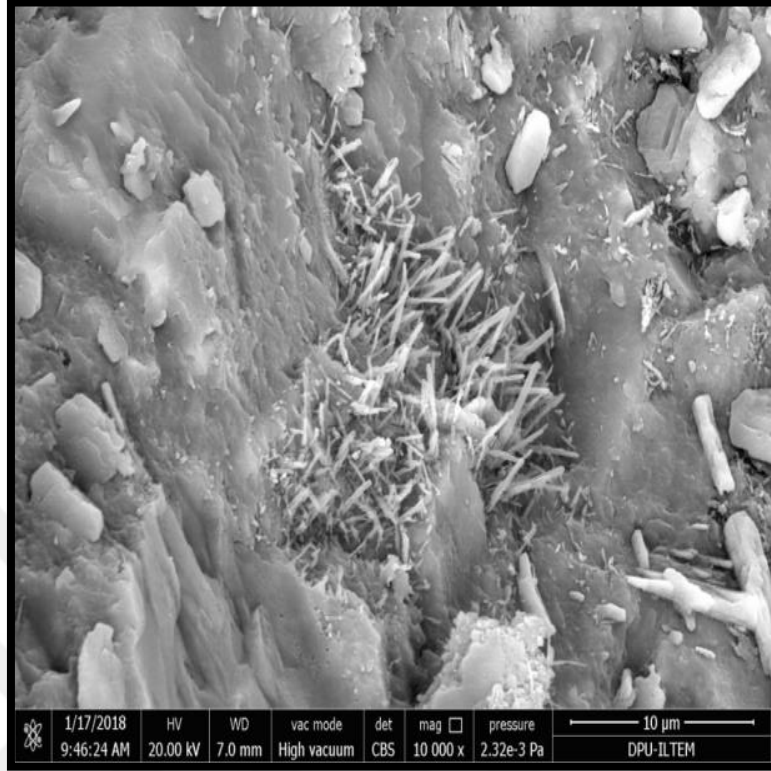
Burada EDS 1 ve 2 de benzer şekilde hidrate olmamış çimento taneleri dikkat çekmektedir bunlarda yaklaşık Ca/Si atomik oranları 4/1 çıkmaktadır. Bu taneler atomsal ağırlıklarından dolayı beyaza yakın parlak gri gözükümler. Atomal ağırlık bakımından en ağır yapı bunlardır. Diğer yapılar çoğunlukla gevşek ve oluşumunu tamamlamamış, taneler arası oldukça boşluklu C-S-H yapılarıdır.



Şekil 5.18. EDS Görüntüsü.

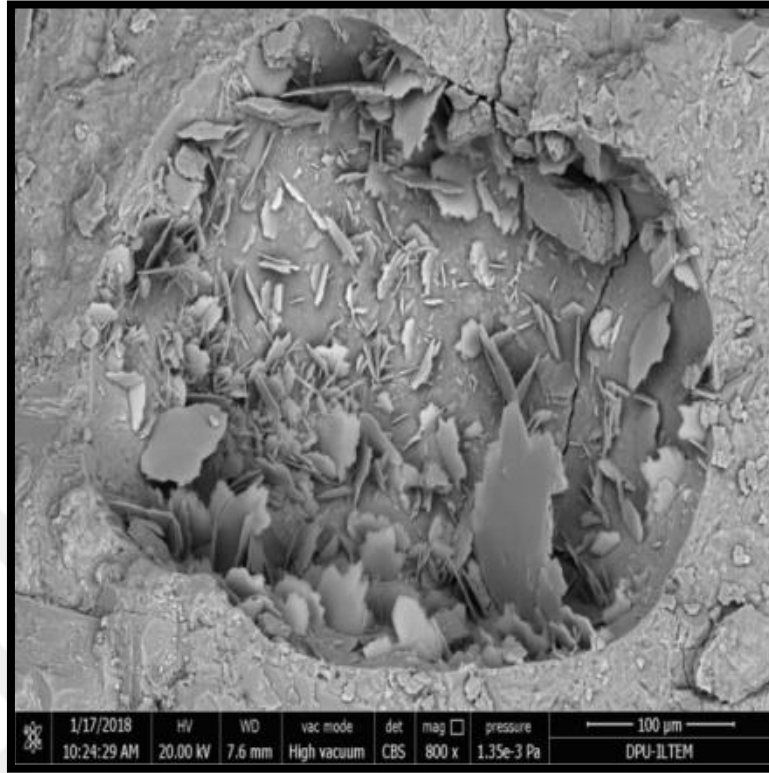


Şekil 5.19. EDS Görüntüsü.



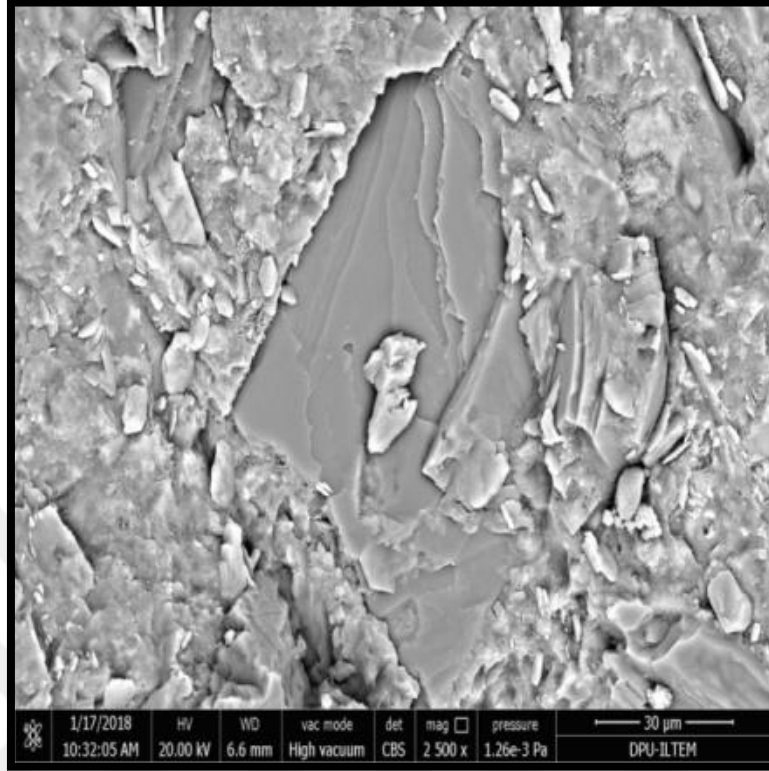
Şekil 5.20. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

C-S-H yapı içerisinde lifler görülmektedir.



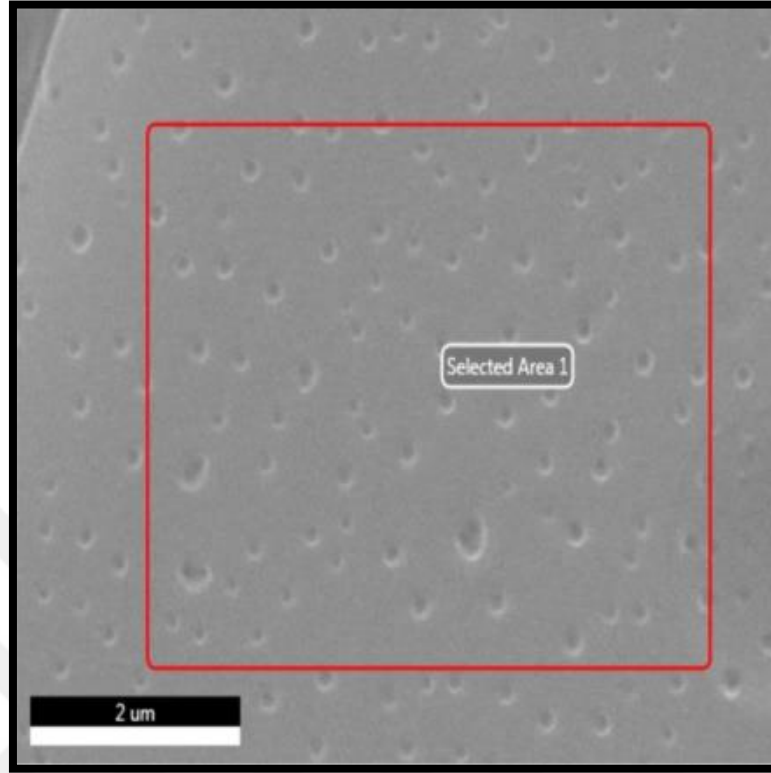
Şekil 5.21. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

C-S-H yapı içerisindeki boşluklarda bol suyu bularak oluşmuş CaOH_2 taneleri, hidrate yapı içerisinde çatlaklar görülmektedir.

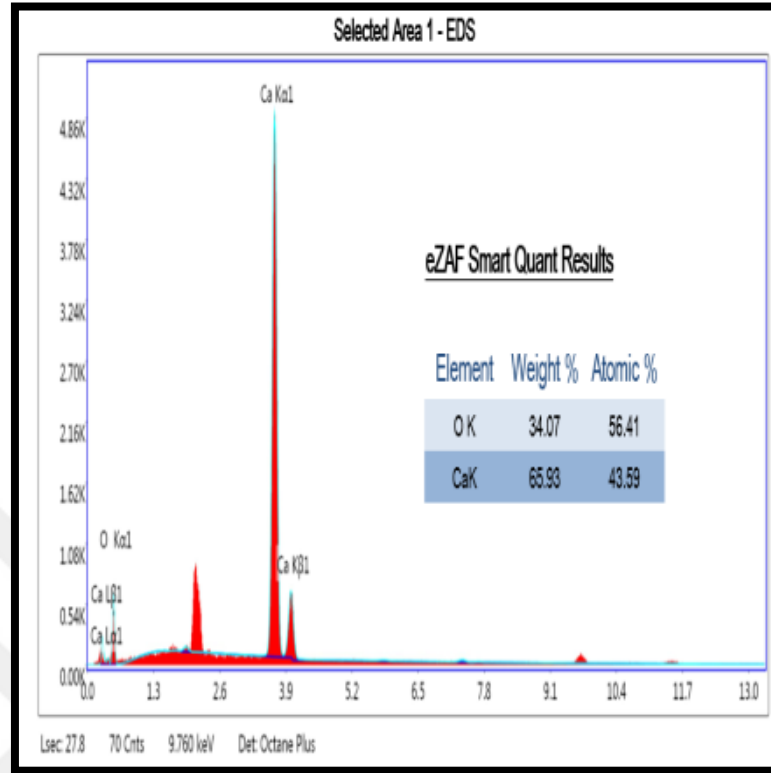


Şekil 5.22. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Zayıf ve oldukça belirgin agrega-çimento hamuru arayüzeyi. Agregaya yaklaştıkça artan CaOH₂ taneleri, boşluklu arayüzey yapısı.

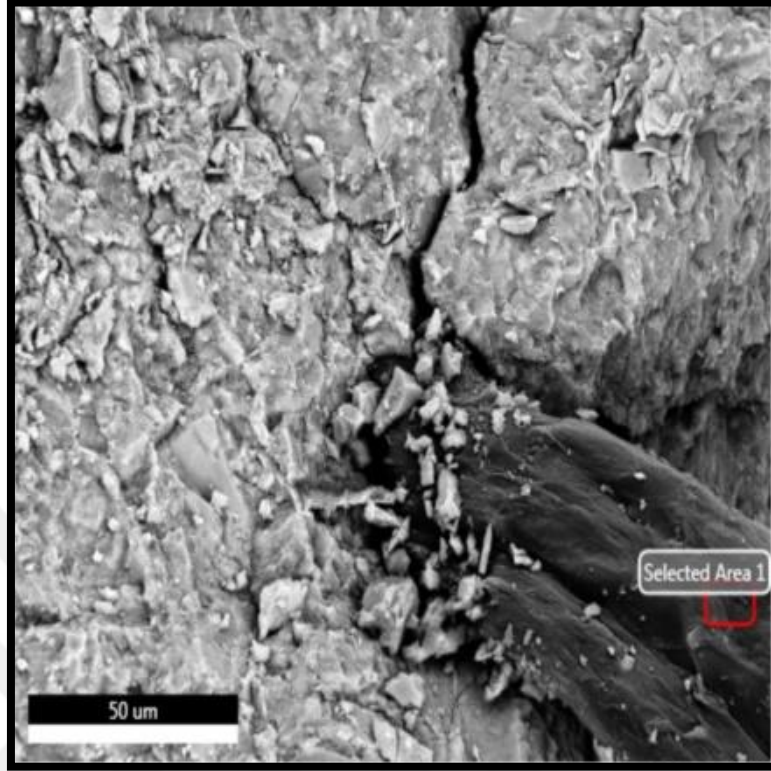


Şekil 5.23. EDS Görüntüsü.



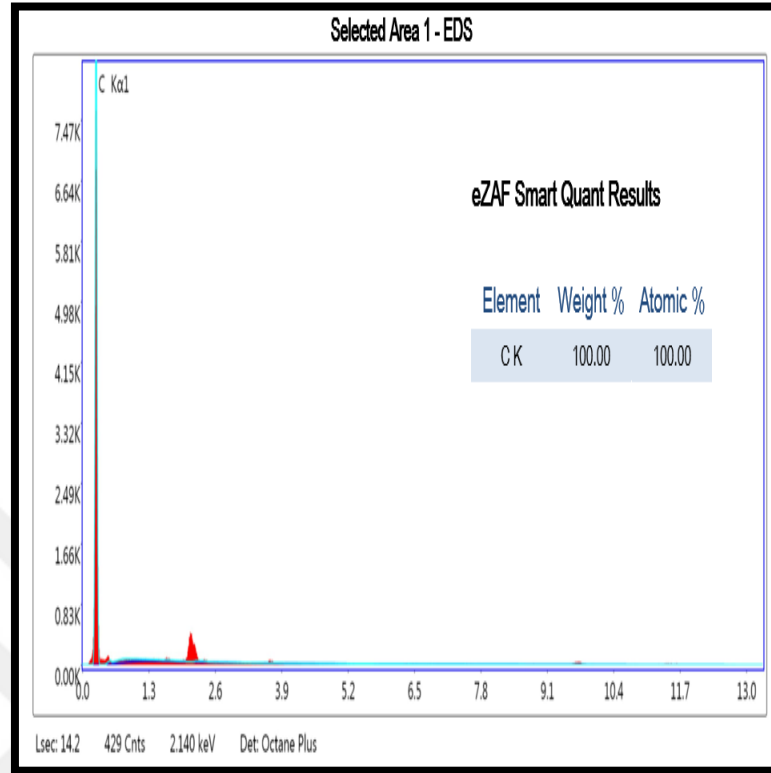
Şekil 5.24. EDS Görüntüsü.

$\text{Ca}(\text{OH})_2$ yüzeyinde benzer büyüklükte ve eşit aralıklarla oluşmuş boşluklar.



Şekil 5.25. Mikroyapı Analizi Görüntüsü.

Üstte 7 günlük 1,8 kg lifli numunenin hidrate çimento yapısı içerisinde polipropilen lif görülmektedir.



Şekil 5.26. EDS Görüntüsü.

Lifin yukarıda verilen EDS analizinden karbondan oluştuğu görülmektedir.

6.SONUÇ

Yapılan deneysel çalışmalar da yol sürüş güvenliği ve konforunun sağlanması için yol yüzeyine gelen yağmur ve kar sularının uzaklaştırılması amacıyla geleneksel betona alternatif olarak üretilen geçirimli beton ve lifli-geçirimli betonların mekaniksel özelliklerinin araştırılması amaçlanmıştır.

- Bu çalışma kapsamında hazırlanan betonlar rijit üstyapılarda kullanılacağından kuru-yoğun kıvamda olması hedeflenmiştir. Deneysel çalışmalarda kullanılmak üzere hazırlanan her beton karışımı kalıplara yerleştirilmeden önce slump (çökme) deneyi yapılarak kıvam kontrolü yapılmıştır. Slump (çökme) deneyi sonucuna bakıldığında kuru-yoğun kıvamda olması hedeflenen geçirimli beton karışımı hedefine ulaşmıştır. Karışıma eklenen polipropilen lifin işlenebilirlik ve çökme değerini azalttığı görülmüştür.

- Birim hacim ağırlık deneyi sonucu incelendiğinde 7 günlük ve 28 günlük beton numunelerinin birim hacim ağırlığı değerlerinin aralarında çok fazla fark olmadığı görülmüştür. Kür süresi ayırımı yapılmadan lif oranına göre inceleme yapıldığında ise beton içindeki lif oranının artmasıyla birim hacim ağırlık değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Polipropilen lifin birim hacim ağırlık değerini olumlu etkilediği görülmüştür.

- Ultrases geçiş hızı tayini deneyi sonuçları incelendiğinde 7 günlük beton numunelerinin ultrases geçiş hızının 28 günlük beton numunelerinin değerlerinden yüksek olduğu görülmüştür. Sonuçlar lif oranı dikkate alınarak incelendiğinde ise hem 7 günlük hemde 28 günlük beton numuneler de lif oranının artması ultrases geçiş hızını azaltmıştır. Buradan da anlaşılacağı gibi lif oranının artması ve betonun hidrasyonunun devam etmesi beton içindeki boşluklu yapıyı azaltmaktadır.

- Hazırlanan beton numuneler boşluklu yapıya sahip olduğundan yüzey sertliği deneyi yapılması sırasında agregalarda ayrışmalar olmuştur. Yaşanan bu olumsuz durum nedeniyle bu deneyden vazgeçilmiştir.

- Basınç dayanımı tayini deneyinde sonuçları incelendiğinde 7 ve 28 günlük sonuçlar incelendiğinde geleneksel betonda olduğu gibi afaki fark gözlenmemiştir. Geçirimli beton içine üretici tavsiyesine göre 0,9 kg polipropilen lif katılması sonucunda basınç dayanım değeri geçirimli betona göre azalmıştır. 1,8 kg polipropilen lif katılması durumunda ise basınç dayanımının ciddi oranda arttığı görülmüştür. Yol betonu olarak kullanılması amaçlanan geçirimli betona bu oranda lif katılması durumunda ağır trafik yüklerine karşı direncin artacağı düşünülmektedir.

- Yarmada çekme ve Eğilmede çekme dayanımı tayini deneyleri sonuçları incelendiğinde geçirimli betona 0,9 kg lif katılması durumunda yarma ve eğilme dayanımının arttığı; 1,8 kg lif katılması durumunda ise yarma dayanımının lifsiz duruma göre arttığı fakat lif oranının artması durumunda yarma dayanımının sürekli artmayacağı görülmüştür. 1,8 kg lif katılan geçirimli betonların eğilme dayanımının ise lifsiz duruma göre artış gösterdiği görülmüştür. Polipropilen lif oranının geçirimli beton içinde artması durumunda geçirimli betonun sünekliğinin ve enerji yutma kapasitesinin artacağı düşünülmektedir.

- Aşınma dayanımı tayini deneyi sonuçları incelendiğinde geçirimli beton içine katılan lif oranının 0,9 kg/m³ ve 1,8 kg/m³ olması durumunda yüzey aşınma kaybı değerinin azaldığı görülmüştür. Bu özellik sayesinde geçirimli betona katılan polipropilen lif sayesinde yol yüzeyin de aşınmanın azalacağı; esnek üstyapılarda meydana gelen tekerlek izinde oturma gibi olumsuz durumların azalacağı düşünülmektedir.

- Donma-çözülme tayini deneyi sonuçları incelendiğinde geçirimli betona hangi oranda lif katılırsa katılsın donma-çözülme olayı sonrasında dayanım ciddi şekilde azalmaktadır. Don riski olan bölgelerde boşluklu yapıya sahip geçirimli betonun kullanılamayacağı düşünülmektedir. Geçirimli betona farklı oranlarda lif katılması durumunun da bu özelliği olumlu yönde etkileyemeyeceği düşünülmektedir.

- Kimyasal maddelere karşı dayanıklılık tayini deneyi sonuçları incelenerek Donma-çözülme tayini deneyi sonuçları ile karşılaştırıldığında don riskinin olduğu durumlarda yol yüzeyine buz çözücü solüsyon (potasyum asetat) uygulanması durumunda geçirimli betonunda lifli-geçirimli betonunda donma-çözülme çevrimine olumlu etki edemeyeceğine karar verilmiştir.

- Permeabilite deneyi sonuçları incelendiğinde geleneksel betona kıyasla geçirimli yapıda beton yüzey oluşumu sağlanmıştır. Farklı oranlarda lif katılması durumunda betonun boşluklu yapısı azalmış buna paralel olarak da geçirimlilik azalmıştır.

Geçirimli yol üstyapısıyla alakalı olarak ülkemizde de son yıllarda çalışmalar artmıştır. Yapmış olduğumuz bu çalışmayla geçirimli beton ve lifli-geçirimli beton konusunda üretilen betonların fiziksel ve mekaniksel özellikleri hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışmaların sonuçlarının bu konuyla alakalı literatüre ve yapılacak yeni çalışmalara yol gösterici olması temenni edilmektedir.

Sonuç olarak geleneksel betona kıyasla bağlayıcılığı artırmak amacıyla çimento dozajının artırılması ve geçirimli fakat boşluk oranının minimum olması amacıyla agrega dane boyutunun azaltılması ile hazırlanan geçirimli betonun ağır trafik yükü olan, don riskinin

yüksek olduğu bölgelerde kullanılmayacağı sonucuna varılmıştır. Geçirimli betonun rijit üstyapıların tamamında değil; yağmur ve kar sularının birikme ihtimali olan dere tipi kurplar gibi karayollarında bölgesel olarak ya da hafif trafik yüküne sahip karayolları ve yaya yolları, otoparklar, meydanlar gibi taşıt trafik yükünün olmadığı alanlarda kullanılmasının daha uygun olacağı kanaatine varılmıştır.



KAYNAKLAR DİZİNİ

ACI 522R-06, (2006), Pervious Concrete, American Concrete Institute.

Acun, S., (2000), Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul.

Ağar, E., Sütaş, İ. ve Öztaş, G., (1998), Beton Yollar, 1. Baskı, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası.

ASTM C597-09, (1999), Standart Test Method for Pulse Velocity Through Concrete.

British Cement Association, (1996), Otoyollarda Beton Kaplamanın Kullanılması, Hazır Beton Dergisi, 3(17).

The British Institute Concrete Paving Association, (2002), Cement&Concrete Association in Pavement Construction, BCA Crowthorne, Berkshire.

Bekaert, (2001), Duomix Hakkında Genel Bilgiler Kılavuzu, Bekaert, Belgium.

Ceylan, C., (1999), Lifli Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi İTÜ, FBE, İstanbul.

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.

Delatte, N. J., (2008), Concrete Pavement Design, Construction and Performance, Taylor & Francis, New York, USA.

Ghafoori, N. ve Dutta, S., (1995), Laboratory Investigation of Compacted Nofines Concrete for Paving Materials, J. Struct. Eng., ASCE, Vol. 7, No.3.

Halm, J., (2002), Concrete Road Constructions State of The Art and New Development, National Meeting On Concrete Roads, Ankara, 89-99.

http://www.pavement.com/Concrete_pavement, Alındığı tarih: 16.12.2010.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Hussin, A., Poole, C. (2011), Petrography Evidence of The Interfacial Transition Zone (ITZ) in The Normal Strength Concrete Containing Granitic and Limestone Aggregates. *Construction and Building Materials*, 25(5), 2298-2303.

İlcalı, M., Tayfur, S., özen, H., Sönmez, İ., ve Eren, K., (2001), *Asfalt ve Uygulamaları*, YTÜ, Yayın Merkezi Başkanlığı, İsfalt, İstanbul, Seçil Ofset.

İyınam, S., Agar E., (2004). *Karayollarında Hazır Beton*, Beton 2004 Kongresi, İstanbul, 66-72.

Kordon, B., J., (1997), Polymer Modified Concrete, *Journal of Materials in Civil Engineering*, ASCE, 9(2).

Macit, S., (2009), *Beton Yol İnşaatında Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanılması Üzerine Bir Araştırma*, Doktora Tezi, KTÜ, FBE, Trabzon.

McCain G. N. ve Dewoolkar, M. M., (2010), *Porous Concrete Pavements: Mechanical and Hydraulic Properties*, TRB 2010 Annual Meeting.

Meininger, R. C., (1998), No-Fines Pervious Concrete for Paving, *Concrete International*, Vol. 10, No. 8.

Morgan, D.R., (1991), Freeze thaw durability of steel and polypropylene reinforced shotcretes: a review, *durability of concrete*, Second International Conference, 2, 901-918, Canada.

Noumowe, A., (2005), Mechanical properties and microstructure of high strength concrete containing polypropylene fibres exposed to temperatures up to 200°C, *Cement and Concrete Research*, 35, 2192-2198.

Olek, J., Weiss, W. J., Neithalath, N., Marolf, A., Sell, E. ve Thornton, W. D., (2003). *Development of Quiet and Durable Porous Portland Cement Concrete Paving Materials*, Final Report, SQDH 2003-5, West Lafayette, Purdue University.

Phan, L.T., Carino, N.J., (1998), *Rewiev of Mechanical Properties of HSC at Elevated Tempetures*, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10, 58-64.

Qian, C.X., Stroeven, P., (2000), *Development of Hybrid Polypropylene-steel Fibrereinforced Concrete*, *Cement and Concrete Research*, 30, 63-69.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

- Sandberg, U. J., Ejsmont, A. (2002), Tyre/road Noise Reference Book, Informex, Kisa, Sweden.
- 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.
- Scrivener, K.L. (1989), Uses of Back Scattered Electron Microscopy and Image Analysis to Study The Porosity of Cement Paste. In Proceedings: pore structure and permeability of cementitious materials, vol. 137. Material Research Society, 129–40.
- Song, P.S., Hwang, S., Sheu, B.C., (2005), Strength Properties of Nylon and Polypropylene-Fiber-Reinforced Concretes, Cement and Concrete Research, 35,1546-1550.
- Sun, Z., Xu, Q., (2009), Microscopic, Physical and Mechanical Analysis of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, Materials Science and Engineering.
- Şahin, M., (2007), Betonla Uyumlu Propilen Elyaf Takviyeli Kompozitlerin Üretimi ve Özellikleri, Yüksek lisans tezi, Marmara Üniversitesi, Metal Eğitimi Anabilim Dalı, İstanbul.
- Tanrıverdi T. (2013), Silis Dumanı ve İnce Kumun Poroz Kaplama Betonuna Etkilerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gümüşhane.
- Tennis, P. D., Leming, M. L., Akers, D. J., (2004), Pervious Concrete Pavements, PCA Report, Serial No:2828.
- THBB, (2002), Bir Seçenek Daha Var Beton Yollar Özel Eki.
- THBB (2003), Beton Yollar Teknik Çalışma Grubu, “Beton yollar”, Türkiye Mühendislik Haberleri Dergisi, 427: 38-44.
- TS 706 EN 12620, (2003), Beton Agregaları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 2824 EN 1338, (2005), Zemin Döşemesi İçin Beton Kaplama Blokları – Gerekli Şartlar ve Deney Metotları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- TS 3260, (1978), Beton Yüzey Sertliği Yoluyla Yaklaşık Beton Dayanımının Tayini Kuralı, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

TS 3530 EN 933-1, (1999), Agregaların Geometrik Özellikleri İçin Deneyler Bölüm 1: Tane Büyüklüğü Dağılımı Tayini- Eleme Metodu, Türk Standartları Enstitüsü.

TS EN 197-1, (2002), Genel Çimento Bileşimi, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 934-2, (2002), Beton Katkıları – Tarifler, Özellikler, Uygunluk, İşaretleme ve Etiketleme, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 1008, (2003), Beton Karma Suyu- Numune Alma, Deneyler ve Beton Endüstrisindeki İşlemlerden Geri Kazanılan Su Dahil, Suyun, Beton Karma Suyu Olarak Uygunluğunun Tayini Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-1, (2002), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 1: Deney Numunesi ve Kalıplarının Şekil, Boyut ve Diğer Özellikleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-2, (2002), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-3, (2003), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-5, (2002), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-6, (2002), Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinde Yarmada Çekme Dayanımının Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12390-7, (2002), Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş Beton Yoğunluğunun Tayini, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS EN 12350-2, (2002), Beton - Taze Beton Deneyleri - Bölüm 2: Çökme (Slamp) Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Türker, T., (2000), Betonarmede Oluşan İç Gerilmelere Karşı Gerçek Önlem, İnşaat ve Malzeme, 150, 24-25.

Uçar S., (2002), “Concrete International”, THBB Teknik Ofis.

KAYNAKLAR DİZİNİ (devam)

Vydra, V., Vodak, F., Kapickova, O., Hoskova, S., (2001), Effect Of Tempetures On Porosity Of Concrete For Nuclear-Safety Structures, Cement and Concrete Research, 31, 1023-1026

Yağcı, İ. Ş., (1991), Geçirimli Beton Yol Üstyapısının İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, FBE, İstanbul.

Yeğınobalı, A., (2010), Türkiye'nin İlk Beton Karayolları, AR-GE Enstitüsü Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.

Yang, J. ve Jiang, G., (2003), Experimental Study On Proporties Of Pervious Concrete Pavement Materials, Cement and Concrete Research Journal, Cilt 33, İss. 3.

Zouaghi, A., Kumagai, M., Nakazawa, T. (2000), Fundamental Study On Some Properties Of Pervious Concrete And İts Applicability To Control Stormwater Run-Off, Transactions of The Japan Concrete Institute, (Cilt 22), S. 43-50.

ÖZGEÇMİŞ

Nuh Mehmet POLAT, 1991 yılında Kayseri'nin Talas ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini Derviş Güneş İlköğretim Okulu'nda 2005 yılında tamamladı. 2009 yılında Fatma-Kemal Timuçin Anadolu Lisesi'nden mezun olarak aynı yıl lisans eğitimine başladı. 2013 yılında Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği bölümünden mezun oldu. Eylül 2013'te Kütahya Dumlupınar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Ulaştırma Bilim Dalı'nda lisansüstü eğitime başladı. Halen Kütahya Belediyesi iktisadi teşebbüsü olan Belde A.Ş.'de İnşaat Mühendisi olarak çalışmaktadır. Evli ve bir çocuk babasıdır.