

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ
KESİN RAPOR

Proje Yürütücüsü : Prof. Dr. Metin ARSLAN
Proje kodu : 07/2004–32
Proje Başlama tarihi : 07/2004
Proje Adı : Beton Yol Kaplamalarında
Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları

Proje Yardımcıları : Yrd. Doç.Dr. Serkan SUBAŞI
Arş. Gör. Gökhan DURMUŞ
Arş. Gör. Ömer CAN
Arş. Gör. Kürşat YILDIZ

Ankara 2007

TEŐEKKÖR

Bu proje çalışmasında, bilgisi, tecrübesi ve çalışma azmiyle her zaman yanımda olan Yrd. Doç. Dr. Osman ŞİMŞEK, projeyi destekleyen Gazi Öniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) MÖdÖrlÖğÖne ve Gazi Öniversitesi Teknik Eğitimi FakÖltesi Tanıtım yayın personeline, malzeme temininde yardımcı olan Ankara Set imento Fabrikası yÖneticilerine sonsuz teőekkÖrlerimi sunarım.

**BETON YOL KAPLAMALARINDA ALTERNATİF BETON VE YAPIM
YÖNTEMİ ARAŞTIRMALARI
(BAP PROJE NO: TEF 07/2004–32)**

ÖZET

Bu çalışmada, yol yapımında kullanılacak malzemelerden beklenen en önemli özelliklerden birisi, yol şartlarının ekonomik olarak yerine getirilmesine katkı sağlayacak en uygun beton türünü tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için beton örneklerine çelik lif ve polipropilen lif katılmıştır. Ayrıca mukavemeti artırmak için vakum uygulanarak altı beton türü oluşturulmuştur. Örnekler üzerinde, Yüzey sertliği, Radyoaktif ile beton yoğunluğu, basınç dayanımı, eğilme dayanımı, yarmada çekme dayanımı, statik elastisite modülü, beton yoğunluğu tayini, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve aşınma dayanımı deneyleri yapılmıştır.

Sunuç olarak üretimi gerçekleştirilen beton türlerinin içerisinde lif katkılı olan betonların mekanik ve fiziksel özellikler bakımından katkısız betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği, bütün beton türlerinde vakum uygulamasının özellikle beton üst yüzeyinde malzeme özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Hazırlanan beton karışımları içerisinde beton yol kaplamalarında kullanılabilirlik bakımından sırasıyla çelik lifli ve polipropilen lifli betonların en iyi beton türü olduğu, vakum uygulanmasıyla birlikte yüzey özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.

Anahtar kelimeler : Beton yol, Çelik lif, Polipropilen lif, Vakum, Beton

**RESEARCHES OF ALTERNATIVE CONCRETE AND CONSTRUCTION
METHODS FOR CONCRETE ROAD COVERINGS
(BAP PROJECT NO: TEF 07/2004–32)**

ABSTRACT

In this study, the most likely properties of materials, which will be used for pavement construction, is to try to determine the optimal concrete type that will contribute to fulfill road conditions economical. Thus steel and polypropylene fibers are mixed in concrete examples. Besides, six concrete types are made up by vacuuming in order to increase the strength. surface hardness with Schimdt hammer, concrete density with radioactive method, compressive strength, tensile splitting strength, eğilme dayanımı, static elasticity density, concrete density, apparent void ratio, pulse velocity, capillary water absorption, abrasion resistance are tested on the examples.

Consequently, it is seen that fiber added concretes through the produced concrete types give better results comparing to pure concrete in mechanical and physical properties, and it is seen that vacuuming improves material properties especially on the top surface of all types of concrete.

It is determined that steel and polypropylene fibered concretes are the best type of concretes in usability for concrete pavement coverings, and there are great improvements in the surface properties by vacuuming in the prepared concrete mixtures.

Keywords: Concrete pavement, steel fiber, polypropylene fiber, vacuum, concrete

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ŞEKİLLER LİSTESİ	v
ÇİZELGELER LİSTESİ	vii
RESİMLER LİSTESİ	x
1. Giriş.....	1
2. Kavramsal temeller ve literatür taraması.....	3
2.1. Beton yolların tarihi.....	3
2.1.1. Türkiye’de ulaştırmanın durumu	4
2.1.2. Yurtdışında yapılmış çalışmalar.....	5
2.2. Beton Yollar	17
2.2.1. Üst Yapı Seçimi Metolojisi	21
2.2.2. Üst yapı seçiminde teknik ölçütler.....	21
2.2.3. Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi	21
2.2.4. Üst yapı seçiminde ekonomik ölçütler.....	24
2.2.5. Rijit Üst Yapıların Üstünlükleri Ve Sakıncaları	24
2.2.6. Karayolu kaplama çeşitleri.....	29
2.2.7. Beton Yollar - Rijit Kaplamalar	30
2.2.8. Beton yolların üstünlükleri.....	32
2.3. Beton yolların tasarımı.....	41
2.3.1. Belçika Yol Araştırmaları Merkezince Geliştirilmiş Tasarım Yöntemleri	42
2.3.2. AASHTO 86 Tasarım Yöntemi.....	43
2.3.3. Performans Ölçütü – Servis Yeteneği.....	44
2.3.4. Zaman Kısıtları	44
2.3.5. Performans Periyodu	44
2.3.6. Analiz Periyodu.....	45
2.3.7. Çevresel Etkiler.....	45
2.3.8. Boyuna Donatı Tasarımı.....	46
2.3.9. Enine Donatı Tasarımı	47
2.3.10. Gerekli Plak Kalınlığının Bulunması.....	47

2.4.	Vakumlu beton.....	48
2.4.1.	Vakumlu Beton Özellikleri.....	48
2.4.2.	Vakumlu beton uygulamaları	60
3.	Malzeme ve metodlar	65
3.1.	Malzemeler	65
3.1.1.	Beton	65
3.1.2.	Çelik Lif	67
3.1.3.	Polypropilen lif	67
3.2.	Metotlar.....	68
3.2.1.	Deneysel planlama	68
3.2.2.	Beton karışımlarının hazırlanması	68
3.2.3.	Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler	70
3.2.4.	Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler	72
4.	Bulgular ve Tartışma	83
4.1.	Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler	83
4.1.1.	Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini	83
4.1.2.	Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu tayini	88
4.2.	Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler	93
4.2.1.	Basınç dayanımı	93
4.2.2.	Eğilmede çekme dayanımı	97
4.2.3.	Yarmada çekme dayanımı	99
4.2.4.	Statik elastisite modülü	102
4.2.5.	Beton yoğunluğu	105
4.2.6.	Görünür boşluk oranı	109
4.2.7.	Ultrases geçiş hızı	112
4.2.8.	Kapiler su emme	115
4.2.9.	Aşınma dayanımı	118
5.	Sonuçlar	122
6.	Kaynaklar	129

ŞEKİLLER LİSTESİ

<u>Sekiller</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. Rijit üst yapı en kesiti.....	20
Şekil 2.2. Esnek ve Rijit üst yapılarda yük dağılımı.....	23
Şekil 2.3. Teknik parametreye göre üst yapı seçimi.....	24
Şekil 2.4. Kaplamalar yükü yasal iletir.....	35
Şekil 2.5. AASHTO 86 yönteminde kullanılan "Deney Yolu Denklemi"	43
Şekil 2.6. İsveç Chalmers üniversitesinde yapılan vakumlu beton don ve aşınma testi grafikleri	51
Şekil 2.7. Hanover üniversitesinde yapılan vakumlu beton ve normal beton alt üst mukavemet testi sonuçları	52
Şekil 2.8. Philadelphia tarafından yapılan vakumlu beton eğilme mukavemeti deney sonuçları	53
Şekil 2.9. Amerikan Toprak İskan Kurumu tarafından yapılan vakumlu beton basınç mukavemeti deney sonuçları.....	53
Şekil 2.10. Yamaguchi ve Muramatsu tarafından 56 gün sonra yapılan basınç deneyleri sonuçları.....	54
Şekil 2.11. Yamaguchi ve Muramatsu tarafından yapılan yüzey sertliği deneyleri sonuçları grafiği	55
Şekil 2.12. Özdemir (1999) tarafından yapılan yarım boy vakumlu ve referans betonun basınç dayanımı yaş ilişkisi grafiği	56
Şekil 2.13. Özdemir (1999) tarafından yapılan tam boy vakumlu ve referans betonun basınç dayanımı yaş ilişkisi grafiği	56
Şekil 2.14 Özdemir (1999) tarafından yapılan tam boy vakumlu ve referans geri tepme sayısı grafiği.....	57
Şekil 2.15. Tam vakumlu (TVB), yarım vakumlu (YVB) ve referans (RB) betonlardan karotlar alınıp preste kırılarak belirlenmiş ortalama basınç dayanım değerleri grafiği	57

Şekil 2.16. Tam vakumlu (TVB), yarım vakumlu (YVB) ve referans (RB) betonların Schmidt çekici test yöntemiyle belirlenmiş ortalama basınç dayanım değerleri grafiği [54].	58
Şekil 3.1. Alternatif beton türü olarak dökülen beton çeşitleri	69
Şekil 3.2. Beton blok yüzeyinde Schmidt çekici uygulama noktaları	71
Şekil 3.3. Radyoaktif yoğunluk ölçümü	72
Şekil 3.4. Deney numunesi üretimi (1: Üst bölge, 2: Alt bölge)	73
Şekil 3.5. Ortadan yüklenmiş Basit kiriş	76
Şekil 3.6. Yarmada çekme deneyinin uygulama görüntüsü	77
Şekil 4.1. Ortalama yüzey sertliği verileri	84
Şekil 4.2. Yüze sertliği ve beton yaşı arasındaki ilişkiye ait regresyon grafiği	86
Şekil 4.3. Beton türlerinin 28 günlük ortalama yüzey sertliği değerleri	88
Şekil 4.4. Derinlik faktörüne bağlı ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik	92
Şekil 4.5. Gün faktörüne bağlı ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik	92
Şekil 4.6. Basınç dayanımına ait ortalama verilerin grafiği	95
Şekil 4.7. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait çizgi grafiği	98
Şekil 4.8. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait çizgi grafiği	100
Şekil 4.9. Ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik	103
Şekil 4.10. Beton türlerine ait gerilme birim deformasyon grafiği	105
Şekil 4.11. Ortalama Yoğunluk değerlerine ait grafik	107
Şekil 4.12. Ortalama görünür boşluk oranı değerlerine ait grafik	110
Şekil 4.13. Ortalama Ultrases geçiş hızı verilerine ait grafik	113
Şekil 4.14. Ortalama kapilerite katsayısı verilerine ait grafik	116
Şekil 4.15. Aşınma dayanımı değerlerine ait grafik	119

ÇİZELGE LİSTESİ

<u>Çizelgeler</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Washington otoyolu performans eğrileri.....	33
Çizelge 2.2. Özdemir (1992) tarafından yapılan vakumlu beton deneyleri ile ilgili bazı fiziksel ve mekanik sonuçları.....	50
Çizelge 2.3. Garnett tarafından yapılan vakumlu beton çalışmasının fiziksel sonuçları.	50
Çizelge 2.4. Betonların Schmidt çekici testi basınç dayanım değerleri tablosu	58
Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri	65
Çizelge 3.2. İki Karışımda kullanılan malzemelere ait özellikler	65
Çizelge 3.3. PÇ 42.5 çimentosuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler	66
Çizelge 3.4. Basınç dayanım değerleri	67
Çizelge 3.5. Eğilmede çekme dayanım değerleri	67
Çizelge 3.6. Beton türleri ve özellikleri	68
Çizelge 4.1. Yüzey sertliği verilğine ait açıklayıcı istatistikler	83
Çizelge 4.2. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu	84
Çizelge 4.3. Yüzey sertliğine ait Duncan testi sonuçları.....	85
Çizelge 4.4. Yüzey sertliği-Beton yaşı ilişkisi gösteren regresyon modelleri .	86
Çizelge 4.5. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu	87
Çizelge 4.6. Yüzey sertliği verilerine ait Duncan çoklu karşılaştırma tablosu	87
Çizelge 4.7. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait açıklayıcı istatistikler	89
Çizelge 4.8. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait varyans çözümleme tablosu	89
Çizelge 4.9. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait Duncan Testi sonuçları	90
Çizelge 4.10. Beton basınç dayanımına verilerine ait açıklayıcı istatistikler .	93
Çizelge 4.11. Beton basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	94
Çizelge 4.12. Beton basınç dayanımı verilerine ait Duncan Testi sonuçları .	94

Çizelge 4.13. Beton türleri arasında gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları	96
Çizelge 4.14. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	97
Çizelge 4.15. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	98
Çizelge 4.16. Eğilmede çekme dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçları	99
Çizelge 4.17. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	99
Çizelge 4.18. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait çözümleme tablosu	101
Çizelge 4.19. Yarmada çekme değerlerine ait Duncan testi sonuçları	101
Çizelge 4.20. Elastisite modülü verilerine ait açıklayıcı istatistikler	102
Çizelge 4.21. Elastisite modülü verilerine ait varyans çözümleme tablosu	104
Çizelge 4.22. Beton türleri arasında gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları	104
Çizelge 4.23. Beton yoğunluğu verilerine ait açıklayıcı istatistikler	106
Çizelge 4.24. Yoğunluk verilerine ait çözümleme tablosu	107
Çizelge 4.25. Yoğunluk değerlerine ait Duncan testi sonuçları	108
Çizelge 4.26. Görünür boşluk oranı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	109
Çizelge 4.27. Görünür boşluk oranı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	110
Çizelge 4.28. Görünür boşluk oranına ait Duncan test sonuçları	111
Çizelge 4.29. Ultrases geçiş hızı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	112
Çizelge 4.30. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	113
Çizelge 4.31. Betonlar arasında gerçekleştirilen Duncan test sonuçları	114
Çizelge 4.32. Kapilarite katsayısı verilerine ait açıklayıcı istatistikler	115
Çizelge 4.33. Kapilarite katsayısı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	116
Çizelge 4.34. Kapilarite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları	117
Çizelge 4.35. Aşınma dayanımına ait açıklayıcı istatistikler	118
Çizelge 4.36. Aşınma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu	119
Çizelge 4.37. Aşınma dayanım verilerine ait Duncan testi sonuçları	120

RESİMLER LİSTESİ

<u>Resimler</u>	<u>Sayfa</u>
Resim 2.1. ilk beton yol.....	3
Resim 2.2. 1920 yılındaki beton yoldan bir görünüm	3
Resim 2.3. Avrupa ülkelerindeki beton yollara ait fotoğraf	4
Resim 2.4. Bitümsüz hafif kaplamalı yollar	29
Resim 2.5. Bitümlü bağlayıcılarla yapılan karışımların oluşturduğu kaplamalar	30
Resim 2.6. Hafif bitümlü kaplamalar	30
Resim 2.7. Beton yol çalışmasına ait bir örnek	31
Resim 2.8. Beton yol çeşitleri.....	31
Resim 2.9. Öngermeli beton kaplama.....	31
Resim 2.10. Silindirle sıkıştırılabilen beton yollara ait fotoğraflar	32
Resim 3.1. Beton dökülmeden önceki kalıp yerleşimi	70
Resim 3.2. Radyoaktif yoğunlukölçer ile beton yoğunluğunun tayini deneyi	72
Resim 3.3. 7 günlük alınmış karot numunelerin görünüşü	74
Resim 3.4. Deformasyon kontrollü beton basınç dayanımı deneyi	75

1. Giriş

Ülkelerin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Ülkemizde ağır taşıt trafiği her geçen gün daha da artmakta ve bu durum yol üst yapısında önemli problemlerin ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle bir karayolu yatırımının proje ve inşaat safhalarında uygun değer çözümlerin üretilmesi gereklidir.

Yol yapımında kullanılacak malzemelerden beklenen en önemli özelliklerden birisi, proje şartlarının ekonomik olarak yerine getirilmesine katkı sağlamaktır. Bunun yanında uzun kullanım ömrü, düşük bakım onarım harcamaları, yapım ve onarım süresinin kısa olması, çevre uyumu, atık maddelerinin kullanılabilmesi ve kalite kontrol işlemlerine uygun olma gibi özelliklerde göz önünde bulundurulmalıdır.

Karayolu üst yapıları genel olarak; esnek üst yapılar (asfalt yollar) ve rijit üst yapılar (Beton yollar) olmak üzere iki grupta değerlendirilmektedir [1]. Esnek üst yapılar (asfalt yollar) ülkemizde uzun yıllardan beri uygulanan bir kaplama türüdür. Beton yollar ise gelişmiş ülkelerde geniş bir kullanım alanına sahip olmasına karşın Türkiye’de henüz deneme safhasındadır. Bakım giderleri çok az olan ve daha uzun süre hizmet veren beton yollar, günümüzde asfalt yollara oranla daha ekonomik bir çözüm getirmektedir [2-3]. Ayrıca rijit bir yol üst yapısı olan beton yolun birçok bakımdan asfalt yollara göre daha iyi performansla sahip olduğu bilinmektedir [4]. Beton yol yapımında kullanılacak olan betonun tasarımı, standartlara uygun olarak yapılırsa bile çevre koşullarına ve uygulamaya göre değişebilmektedir. Beton yolların tasarımında beton kalitesi; basınç dayanımından daha çok dayanıklılığına (durabilite) göre belirlenmektedir. Literatürde yer alan araştırma ve uygulama sonuçlarından beton yolların asfalt yollara alternatif olabileceği düşünülmektedir.

Günümüzde beton kütle özelliklerinin belirlenmesi ve istenilen özelliklerde beton üretilmesi konusunda ciddi problemlerle karşılaşmamaktadır. Ancak, özellikle betonun yerine yerleştirilmesi ve sıkıştırılması sürecinde beton özelliklerini etkileyen faktörlerin kontrolünde ve beton özelliklerinin test edilmesinde önemli sorunlar çıkmaktadır. Bu sürecin yeterince değerlendirilmemesi nedeni ile elemanların tasarlanan beton kullanım ömründe ciddi ölçüde azalmalar görülmektedir. Sonuçta kullanımda önemli konfor ve ekonomik kayıpları ortaya çıkmaktadır. Bu yaklaşımla bakıldığında kullanım konforu ve dayanıklılığın çok daha önemli olduğu anlaşılmaktadır.

Beton yol kaplamasından beklenen konfor ve kullanım ömrünü yerine getirebilmesi için, beton karışım özelliklerinin yanı sıra sertleşmiş betonun yerinde yüzey özelliklerinin çok büyük önem taşıdığı düşünülmektedir. Çünkü yol kaplamalarına gelen mekanik tesirlerin yanı sıra, yağmur, kar, buzlanma, buz çözücü tuzlar gibi ortam ve kullanım şartlarından kaynaklanan faktörler beton yol kaplamasını etkilemektedir.

Bu çalışmanın amacı; beton yol kaplamalarında kullanılacak mekanik ve fiziksel özellikleri yeterli alternatif beton karışımlar ve uygun yüzey özellikleri sağlayan yerleştirme yöntemleri belirlemektir.

2. Kavramsal temeller ve literatür taraması

2.1. Beton yolların tarihi

İlk olarak Romalılar M.Ö. I. yüzyılda yollarda taşları birbirine bağlamak için puzzolanik bağlayıcılar kullanmışlardır. Çok eskiye dayanan bu örnekten sonra beton yollar konusunda gelişmeler 19. yüzyılın sonlarına dayanmaktadır. İlk beton yollar ABD'de yapılmıştır. 1891 yılında Ohio'da bir sokak bilinen en eski beton yoldur. (Resim 2.1)



Resim 2.1. ilk beton yol

Çok fazla hesaba dayanmayan bu yollardan sonra 1920'li yıllarda tasarım ilkelerine sahip yollar yapılmıştır. Daha sonra alt zemin problemleri baş göstermiş ve alt zeminleri olan beton yollar inşa edilmiştir.(Resim 2.2)



Resim 2.2. 1920 yılındaki beton yoldan bir görünüm

Gerçek anlamda endüstriyel döneme 1933 yılından itibaren girilmiştir. Almanya'da işsizlikle mücadele etmek için ve askeri birimlerin hızlı ve güvenli bir şekilde yer değiştirmelerini sağlamak amacıyla ilk beton otoyol şantiyeleri

kurulmuştur. Daha sonra Belçika ve Fransa, beton otoyol yapmaya başlamışlardır.



Resim 2.3. Avrupa ülkelerindeki beton yollara ait fotoğraf

Deforme olmayan kalıplar ve beton santralleri sayesinde kalite garanti altına alınmaya başlamıştır ve bu sayede beton yol yapımı hız kazanmıştır. Sırf 1960'lar ve 1970'lerde

ABD'de 70.000 km'lik bir beton yol ağı bitirilmiştir. Önce ABD'de başlayan bu gelişmeler Almanya, Belçika ve Japonya'da da gerçekleşmiştir.

Beton yol teknolojisinde yaşanan hazır beton, kayar kalıp, geçirimli beton, lifli beton, ön gerilmeli beton, sürekli betonarme gibi yenilikler ve hızlı gelişmelerle beton kaplama, günümüzün modern yolları için asfalt kaplamalara karşı vazgeçilmez bir seçenek haline gelmiştir.

2.1.1. Türkiye'de ulaştırmanın durumu

Bilindiği gibi 1950'li yıllarda, Türkiye'de hızlı ancak kontrolsüz ve düzensiz kentleşme başlamıştır. Bu arada yeni bir örgütlenme ile yaygın bir karayolu yapımına girmiştir. Bu olguların ülkeye getirdiği olumlu ve olumsuz sonuçların öneminin gittikçe artması sonucunda ulaştırma sektörü de planlama

kapsamına alınmıştır. Bu kalkınma planları sonucunda ana hedef bilindiği gibi demiryolu ve denizyolu taşımalarının toplam taşımadaki paylarının artırılması suretiyle karayolu taşımasının yükünün hafifletilmesi olmuştur. Ancak uygulama bu şekilde olmamış, karayolu ağırlıklı bir ulaşım politikası benimsenmiştir. Yaygın ve hızlı bir otoyol yapımına girişilmesi bunun en belirgin göstergesidir. Demiryollarının uzunlukları AB ülkeleri ortalamalarına göre oldukça kısa olması, aynı zamanda işletme yetersizlikleri de yolcu ve yük taşımasının neredeyse tamamının karayollarına yığılmasına neden olmuştur. Tüm ulaştırma içinde karayollarının hem yük taşımasında hem de yolcu taşımadaki payı %95'tir. Gözlenen diğer bir durum ise Türkiye'de yollarda ağır taşıt oranının çok yüksek olmasıdır. (Türkiye'de %40, AB ülkelerinde %10 dolayında).

2.1.2. Yurtdışında yapılmış çalışmalar

Oğuz Akın Düzgün, Rüstem Gül, A. C. Aydın.2005'de yapmış oldukları çalışmada; çelik fiberlerin, pomza agregası kullanılan betonunun mekanik özellikleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Çelik fiber oranının betonun mekanik özellikleri üzerinde ki etkisini belirlemek için doğal agrega nın yerine %25, %50, %75 ve %100 pomza oranları kullanılmış ve doğal agreganın hacimce %0,5, %1, ve %1,5 oranın da çelik fiber kullanılmıştır. Bu numunelerde 300 kg/m³ dozajlı 3±0,5cm slump değerli beton kullanılmıştır. Test sonuçları göstermiştir ki pomza agrega oranının artırılması betonun mekanik özelliklerini ve birim ağırlığını düşürmüştür. Fiber içermeyen kıyas numuneleriyle karşılaştırıldığında karışımlarda ki çelik fiber oranının artırılmasıyla betonun birim ağırlık, basınç dayanımı, çekme dayanımı ve eğilme dayanımı %8.5, %21.1, %61.2, %120.2 sırasıyla bu değerlere kadar artışlar gözlemlenmiştir.. Elastik modül ve deformasyon kapasitesi pomza agregası ve çelik fiber oranlarının karışımdaki miktarının artmasıyla düştüğü belirlenmiştir [5].

Özgür Eren ve Tahir Çelik'in 1997'de "Silis dumanı ve çelik liflerin yüksek dayanımlı betonun bazı özellikleri üzerindeki etkisi" isimli makalesinde; yüksek dayanımlı betonun temel dezavantajının onun yüksek derecedeki kırılgan davranışı olduğunu belirtmiş ve bu durumun betona lifler ekleyerek önlenebileceğini belirtmiş, ayrıca yüksek dayanımlı betonun çekme dayanımı ve basınç dayanımı gibi bazı diğer mekanik özelliklerini de artıracığı belirtilmiştir. Bu özelliklere yüksek dayanımlı çelik lifle güçlendirilmiş beton (HSFRC) için hala ulaşılamamıştır. Çalışmalarında iki değişik yüzdeli silis dumanı ve üç değişik 30.0.50, 60/0.80 ve 50/0.60 uzunluk / çaplı (mm/mm) kancalı uçlu çelik lif kullanılarak silis dumanının HSFRC üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Lifler betona, betonun hacimce %0.5, %1.0 ve %2.0 oranlarında üç değişik oranda eklenmiştir. Sonuçta çekme dayanımı ve fiber oranı arasında doğrusal fonksiyon olduğu, ($F_{splt} = A(V_f) + B$, burada A ve B koralasyon katsayılarıdır). bunun yanı sıra çekme dayanımı ve basınç dayanımı arasında da lineer bir fonksiyon olduğu tespit edilmiştir. Bu ilişkiler silis dumanı içermeyen, çimento ağırlığının %5'i silis dumanı ve %10'u silis dumanı HSFRC'nin çekme dayanımının gelişimini tanımlayabileceği buna karşılık, silis dumanının basınç dayanımı üzerinde etkisi olmasına rağmen çelik liflerin etkisi çok daha az olduğu tespit edilmiştir [6].

M.C. Nataraja, N. Dhang, A.P. Gupta. 1999 yılında çelik lifin gerilme deformasyon eğrisi üzerine etkisini araştırdığı çalışmada; çelik lifle güçlendirilmiş betonların yapı malzemesi olarak günden güne artarak kullanıldığını ve basınç altındaki malzemenin tam gerilme deformasyon eğrisi, yapıların analizi ve dizaynı için gerekli olduğunu belirtmiştir. Bu deneysel araştırmada basınç dayanımı 30 dan 50 Mpa'a kadar olan çelik lifle güçlendirilmiş beton için tam gerilme deformasyon eğrisi deneysel olarak oluşturulmaya çalışılmıştır. 55 ve 82 en boy aralı yuvarlanmış kıvrıcık çelik lif hacimce %0,5, %0,75 ve %1 (39,59,78 kg/m³) oranlarında kullanılmıştır. Betona lif eklenmesinin pik gerilme, pik gerilmedeki deformasyon, betonun dayanıklılığı ve gerilme deformasyon eğrisinin doğası gibi bazı temel parametreler üzerindeki etkisi incelenmiştir. Gerilme deformasyon eğrisinin

arttan ve azalan kısımlarını oluşturan bir basit analitik model sunulmuştur. Bu analitik modele dayanan sonuçlar ve deneysel sonuçlar arasında güzel bir korelasyon vardır. Çelik lifin basınç dayanımı, pik gerilmedeki deformasyonu ve betonun dayanıklılığı üzerindeki etkisini nicel olarak tanımlayan denklemler sunulmuştur [7].

C.X. Qian, P. Stroeve 1999'da "Hibrid Polipropilen – Çelik Lifle Güçlendirilmiş Betonun Gelişimi" isimli makalesinde; ilk olarak düşük lif içerikli hibrid polipropilen - çelik lifli betondaki lif boyutu, lif miktarı ve uçucu kül miktarının genel mekanik özelliklerini temel alan optimizasyonu incelenmiştir. Araştırma sonuçları göstermiştir ki çelik lifleri düzgün bir biçimde dağıtmak için belli miktarda uçucu kül gibi küçük parçacıklar gereklidir. Değişik boyutlardaki çelik lifler değişik mekanik özelliklere, en azından değişik derecelerde katkıda bulunur. Küçük boyutlu lif eklenmesinin basınç dayanımı üzerinde önemli bir etkisi vardır, fakat gerilme dayanımına çok az etkisi vardır. Büyük boyutlu lifler zıt mekanik etkiler doğurur ki bu etkiler liflerin boylarının optimizasyonu ile incelenmiştir.. Hibrid lifli sistemlerin görevdeşlik etkilerinin olduğu belirtilmiş ve genel mekanik özellikleri iyi olan hibrid lifli betonların kırılma özellikleri ve dinamik özellikleri incelenmiştir [7].

R.V. Balendran, F.P. Zhou, A. Nadeem, ve A.Y.T. Leung. 2001'de yapmış oldukları araştırmada; değişik beton tipli ve numune boyutlu betonların mekanik performansının geliştirilmesinde lif eklenmesinin etkinliğini araştırmak için gerçekleştirilen bir dizi deneylerin sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada çelik lifli ve çelik lifsiz hafif agregalı beton ve kireç taşı agregalı beton kullanılmıştır. Betonların basınç dayanımı 90 ile 115 Mpa arasında değişir ve lif miktarı da hacimce %1 oranındadır. Boyut etkisinin çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve dayanıklılık üzerindeki etkilerini incelemek için değişik boyutlardaki numuneler üzerinde prizmatik kirişlerde yarmada çekme deneyi, üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Deneysel bulgular göstermiştir ki düşük miktardaki lif basınç dayanımını çok az etkilemiş, fakat çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve dayanıklılığına önemli katkısı olmuştur.

Çekme dayanımı, eğilme dayanımı, dayanıklılık indeksindeki artış hafif betonlarda normal agregalı betonlara göre çok daha fazla olduğu belirlenmiştir. Üretilen numune boyutlarının boyut etkisi belli bir kritik boyuttan sonra yarmada çekme dayanımı üzerine çok az etkisi görülmüştür. Eğilme dayanımı ve dayanıklılık indeksinde boyut etkisi gözlenmiştir. Numune boyutu arttıkça yarmada çekme ve eğilme dayanımları düşeceği ve kırılma yükünün artacağı belirtilmiştir [8].

S.P. Snigh, S.K. Kaushik.,2002 yılında “Çelik Lifle Güçlendirilmiş Betonların Eğilmedeki Yorulma Dayanımı” adlı makalesinde; çelik lifle güçlendirilmiş betonun (SFRC) yorulma dayanımı üzerinde yapılan bir çalışma sunulmuştur. Çeşitli gerilme düzeylerinde ve gerilme oranlarında SFRC’nin yorulma ömrünü bulmak için bir deneysel program gerçekleştirilmiştir. 500x100x100 mm ebatlarındaki 67 adet SFRC kiriş numunesi dört noktalı eğilme düzeneğinde yorulma yüklemesi altında test edilmiştir. Yorulma testinden önce SFRC’nin statik eğilme dayanımını belirlemek için 54 statik eğilme deneyi gerçekleştirilmiştir. Numunelere hacimce %1,5 oranında 0,6x2,0x30mm ebatlarındaki çelik lifler eklenmiştir. Literatürde tanımlanan donatısız beton için eşdeğer yorulma ömrü kavramı gerilme düzeyi S, gerilme oranı R ve sağlam kalma olasılığının LR etkilerinin yorulma denklemi içerisinde kullanmak için SFRC’ye uygulanmıştır. Sonuçlar göstermiştir ki SFRC’nin eşdeğer yorulma ömrünün istatistiksel dağılımı iki parametrelili Weibull dağılımıyla uyduğu ve değişik sağlam kalma olasılıklarıyla ilgili yorulma denklemleri bulunmuştur, böylece istenilen düzeyde sağlam kalma olasılığı için SFRC’nin eğilme yorulma dayanımı tahmin edilebileceği ortaya konulmuştur[9].

P.S. Song, S. Hwang.2004’de “Yüksek Dayanımlı Çelik Lifle Güçlendirilmiş Betonun Mekanik Özellikleri” isimli makale çalışmada; Çelik liflerin eklenmesiyle düşük çekme dayanımı ve deformasyon kapasitesine sahip yüksek dayanımlı betonun (HSC) bilinen kırılma yükü önlenilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca u makale de yüksek dayanımlı çelik lifle güçlendirilmiş

betonun mekanik özellikleri incelenmiştir. Bu özellikler basınç ve çekme dayanımı, kırılma modülü ve dayanıklılık indeksini içerir. Çelik lifler hacimce %0,5 , %1, %1,5 ve %2,0 oranlarında eklenmiştir. %1,5 lif kullanılan HSC’de %15,3 gelişime tekabül eden maksimum beton basınç dayanımı elde edilmiştir. Lifle güçlendirilmiş betonun çekme dayanımı ve kırılma modülü fiber oranı %2’ye çıkarılarak arttırılmıştır, bu artışlar sırasıyla %98,3 ve %126,6 dır. Lif oranı artırılarak lifle güçlendirilmiş betonun dayanıklılık indeksi artırılmıştır. %2 oranlı lif kullanımında I5,I10 ,I30 indekslerinde sırasıyla 6,5, 11,8 ve 20,6 değerleri kaydedilmiştir. Çelikle güçlendirilmiş betonun basınç ve çekme dayanımları ve kırılma modülünü bulabilmek için dayanım modelleri geliştirilmiştir. Modeller ölçümlerle uyuşan sonuçlar vermiştir[11].

Ali R. Khaloo, Majid Afshari 2004’de yaptıkları araştırmada eğilme altındaki 28 adet küçük çelik lifle güçlendirilmiş beton (SFRC) beton döşemeler test edilerek çelik liflerin uzunluğu ve hacimsel oranlarının çeşitli beton dayanımlarına sahip beton döşemelerin enerji soğurmaları üzerine etkisi incelenmiştir. Lif uzunluğu hacimsel lif oranı ve beton dayanımı değişkenlerdir. test sonuçları göstermiştir ki daha uzun lifler ve daha fazla lif miktarı daha fazla enerji soğurması sağlamıştır. Sonuçlar liflerin rastgele dağılımını temel alan teorik tahminlerle karşılaştırılmıştır. Teorik metodun sonuçları deneyde elde edilenlerden daha fazla enerji soğurması olduğunu göstermiştir. Çalışmada kullanılan lif oranlarını içeren SFRC döşemeler için izin verilen sehımlere göre bir tasarım yöntemi sunulmuştur. Bu metod kapasite moment – sehım eğrisini tatmin edici şekilde tahmin ettiği vurgulanmıştır [12].

Houssam A. Toutanji., 1999. çalışmasında; silis dumanı ve polipropilen lif içeren genişleyen çimentolu betonun mekanik özellikleri üzerine kapsamlı bir çalışma sunulmuştur. Taze beton karışımı özellikleri, boy değişimi, hızlı klorid geçirirnililiği, basınç dayanımı, eğilme dayanımı ve sertleşmiş betonun adreransı gibi özellikler incelenmiştir. Kullanılan silis dumanı miktarı %5 ve %10, hacimsel lif oranları ise %0,10, %0,30, ve %0,50 dir. Sonuçlar gösterir ki %0,30 lif oranlı %0,5 silis dumanı içeren karışım işlenebilirlik açısından

tamir uygulamaları, aderans, dayanım, boy değişimi ve geçirimsizlik açısından optimum karışım dizaynı olduğunu belirtmiştir [13].

Salah, A. Altoubat, Jeffery R. Roesler, David. A. Lange , Klaus Alexander Rieder.,2006'da yapmış oldukları "Beton Yolların Yapısal Liflerle Dizaynı İçin Basitleştirilmiş Metot" başlıklı makalelerinde; Donatısız betona parçalı makro liflerin eklenmesi yol betonlarının eğilme kapasitesini artıracakı belirtilmiştir. Eğilme dayanımı testleri beton yollara eklenen liflerin sebep olduğu dayanıklılaşma mekanizmasını ortaya koyamaz. Küçük ve büyük çaplı testlerin sonuçlarını temel alan, donatısız beton yol kaplamalarına kıyasla sentetik ve çelik lifle güçlendirilmiş beton kaplamaların eğilme kapasiteleri artışını sayısal olarak belirleyebilmek için eşdeğer eğilme dayanım ($R_{e,3}$) oranı kullanılmıştır. Lifle güçlendirilmiş beton yolların dizaynı için etkili bir eğilme dayanımı yaklaşımı sunulmuştur. Bu metot, çelik lifle güçlendirilmiş beton karışımı için ölçülen $R_{e,3}$ değerini temel alan donatısız betonun kırılma modülüne (MOR) bir yüzde artış sağlamıştır. Bu etkili MOR, liflerin artan döşeme eğilme kapasitesine katkısını ve beton yollar için varolan doğrusal elastik temelli dizayna uyumluluğunu açıklar. Önerilen metot, %20 ile %50 arasındaki $R_{e,3}$ değerleri üreten, nispeten düşük oranlı lifle güçlendirilmiş beton karışımları için uygulanabilir. Bu tip lifli beton karışımları, normal yol yapma teknikleri ile karıştırılabilir, yerleştirilebilir ve sıkıştırılabilir olduğu için pratik ve ekonomik olarak cazip olduğu söylenmiştir [14].

P.S. Song, S. Hwang, B.C. Sheu.,2004. Fiber miktarı $0,6 \text{ kg/m}^3$ olan numunelerde naylon lifle güçlendirilmiş beton ile polipropilen lifle güçlendirilmiş betonun potansiyel dayanımının karşılaştırılması incelenmiştir. Naylon lifli betonla elde edilen basınç ve çekme dayanımları ve kırılma modülü değerleri polipropilen lifli betona oranla %6,3,%6,7 ve %4,3 gelişmiştir. Naylon lifli betonun, etki direnci üzerinde, ilk çatlak ve kırılma dayanımı özellikleri polipropilen liften daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca naylon lifle güçlendirilmiş harçlarda büzülme çatlakları azalma potansiyeli daha fazla artmıştır. Bu yukarıda listelenen gelişmeler dahilinde naylon lifler betona

daha çok katkıda bulunarak daha iyi çekme dayanımları sağladığı ortaya koyulmuştur [15].

İ. Bekir Topçu, Mehmet Canbaz.2006., araştırmasında; Çimentonun ağırlık olarak %3 uçucu kül ile değiştirilmesinin etkisi ve çelik ve polipropilen lifler eklenmesinin etkisinin deneysel incelenmesinin sonuçları sunulmuştur. Günümüzün beton teknolojisi bilgisi temel olarak beton üretiminde özellikle endüstriyel atıklar olan değişik malzemelerin kullanılması üzerine odaklanmıştır. Günümüzde uçucu küllerin betonda kullanımı önemli bir konudur ve önemi günden güne artmaktadır. Uçucu külün betonda kullanılması beton üretiminde hem ekonomik fayda hemde daha iyi özellikler sağlayabilir. Betonlar uçucu külün üç değişik yer değiştirme oranları ve çelik ve polipropilen liflerin üç değişik çeşidi kullanılarak üretilmiştir ve bunlar uçucu kül içeren fakat lif içermeyen numunelerle karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın sonuçlarına göre lif eklenmesi beton için daha iyi performans sağladığı, karışımdaki uçucu kül işlenebilirliği ayarladığı ve liflerin sebep olduğu güç kayıplarının görüldüğü belirtilmiştir [16].

Sofren Leo Suhaendi, Takashi Horiguchi.,2006. “Kısa Liflerin Isıya Maruz Kaldıktan Sonra Hibrid Lifle Güçlendirilmiş Yüksek Dayanımlı Betonun Mekanik Özellikleri Ve Kalıcı Geçirimlilik Üzerindeki Etkisi” isimli makalesinde; Isıya maruz kalan lifle güçlendirilmiş yüksek dayanımlı betonun mekanik ve geçirimsizlik performansı deneysel çalışmayla değerlendirilmiştir. Silindirik beton numuneleri 10 0C /dk hızla 400 0C’ye kadar ısıya maruz bırakıldı. Kısa liflerin ısıtılmış yüksek dayanımlı betonun kalıcı performansı üzerindeki etkisini inceleyebilmek için polipropilen ve çelik lifler beton karışımına eklenmiştir. Polipropilen lifle güçlendirilmiş yüksek dayanımlı betonun kalıcı özelliklerindeki kayda değer azalmanın sebebi içindeki liflerin erimesi ve buharlaşması olarak bulunmuştur. Tahribatsız ölçümler açısından UPV testi beton yapılarıdaki yangın hasarı için iyi bir ilk inceleme olarak sunulmuştur. Ayrıca, hibrid lifin ısıya maruz kalmış lifle güçlendirilmiş yüksek dayanımlı betonun kalıcı özellikleri üzerindeki özellikleri sunulmuştur[17].

ACI Committee,1990 yılında sunmuş oldukları “Lifle Güçlendirilmiş Beton Tekniğinin Son Durumu Üzerine Rapor”da Metalik, cam, plastik ve doğal liflerle güçlendirilmiş portlant çimentolu betonların gelişim mekanizmasının son durumunu; karıştırma, karışım oranları, yerleştirme, mastarlama ve kullanılan ve potansiyel uygulama teknikleri kullanılarak gözden geçirilmişlerdir [18].

Al-Tayyib, A-H. J., and Al-Zahrani, M. M. 1990., “Polipropilen Lifle Güçlendirilmiş Betonarme Yapılarda Çelik Donatının Korozyonu” isimli makale çalışmasında; Betonun hacimce %0.2’si kadar polipropilenin beton karışımına eklenmesi hem taze betonun hem de sertleşmiş betonun özelliklerini geliştirir. Bu makalede çelik donatı içeren betonarmelerin dayanıklılık özelliklerinin artmasına sebep olan polipropilen lifli güçlendirmenin çelik korozyonunu önleyici etkisinin araştırılmasının sonuçları sunulmuştur. Polipropilen lifli ve lifsiz 0.45, 0.55 ve 0.65 su-çimento oranları kullanarak üretilen döşeme betonları şiddetli korozyon başlatıcı ortamlara maruz bırakılmış ve onların korozyona olan direnci 7 aydan daha fazla bir zaman sürecinde izlenmiştir. Donatı çeliğinin korozyonuyla yakından ilişkili betonun bazı özellikleri üzerindeki polipropilen lif eklenmesinin etkisi de incelenmiştir. Bu özellikler elektrik direnci, su emme kapasitesi ve betonun geçirimsizliğini kapsar. Sonuçlar göstermiştir ki polipropilen lif eklenmesinin beton içindeki donatının korozyonuna önemli bir etkisi yoktur. Üstelik polipropilen lif eklenmesinin betonun elektrik direnci, su emme kapasitesi ve geçirimsizlik testlerinin sonuçlarına hiçbir kayda değer katkısı görülmemiştir [19].

Al-Tayyib, A-H. J. and Al-Zahrani, M. M., 1990., “Döngüsel Islak / Kuru Deniz Suyuna Maruz Bırakılan Beton Yüzeyinin Bozulma Direncini Artırmak İçin Polipropilen Lif Kullanılması” başlıklı makalelerinde; Bu makalede, döngüsel ıslak/kuru deniz suyuna maruz bırakılan beton yüzeyinin bozulma direncini artırıcı doğru beton kürü ve polipropilen lif eklenmesinin etkisinin içinde

bulunduğu bir test programının sonuçları sunulmuştur. Sonuçlar gösterir ki sıcak hava ortamında kür edilmiş beton numunelerin yüzeylerindeki bozulma işlemi polipropilen lif eklenmesiyle etkili bir biçimde yavaşlar. Polipropilen lif kullanılarak ve kullanılmayarak hazırlana 75x375x750 mm boyutlarındaki 30 tane beton döşeme numunesi üzerinde testler gerçekleştirilmiştir. Bazı numuneler laboratuvar ortamında 85 hafta boyunca ıslak/kuru döngülere maruz bırakılarak kür edilmiş ve diğerleri ise doğal koşullarda 50 hafta boyunca yine aynı döngülere maruz bırakılmıştır [20].

Beaudoin, J. J.1990. "Lifle Güçlendirilmiş Beton El Kitabı. Prensipler, Özellikler, Geliştirmeler ve Uygulamalar." İsimli kitapta lifle güçlendirilmiş betonlar hakkındaki son gelişmeler işlenmiştir. Bu kitap, inşaat malzemeleri sektöründeki kompozit çimento teknolojilerindeki dinamik gelişim sürecince beton literatürüne bir katkı sağlamıştır. Çimento sistemlerindeki lif güçlendirmelerinin rolünü öngören prensipler ve modern teoriler özlü ve mantıksal bir biçimde sunulmuştur. Davranış mekanizmaları, matris mikro yapı ve lif-matris arayüz fizik ve kimya bağlamlarında cam lifle güçlendirilmiş beton beton üzerindeki en son gelişmeler ve araştırmalar sunulmuştur. Bu metodoloji aynı zamanda polipropilen, polietilen, poliamit, carbon, polivinil alkol ve diğer birçok lif çeşidi içeren çimento kompozitlerine uygulanmıştır [21].

S. T. Yıldırım ve C. E. Ekinci.,(2006) çalışmalarında; polipropilen, cam ve çelik lifli betonların donda dayanıklılıkları araştırılmıştır. Deneyler için, lifsiz, polipropilen, cam, çelik ve karışık lifli 12 farklı beton üretilmiştir. Beton karışımında mikro yapılı çapı 50 μ , boyut oranı 400 polipropilen ve çapı 14 μ , boyut oranı 857 olan cam lifler ile makro yapılı çapı 0.75 mm, boyut oranı 80 olan çelik lifler kullanıldı. %0.5, 0.75 ve %1 hacimsel oranında çelik lifler, beton içinde %0.1 hacimsel oranında polipropilen ve cam liflerle karışık ve ayrı ayrı kullanıldı. Deneyler ASTM C 666 standardından havada hızlı donma-çözülme koşulları dikkate alınarak yapılmıştır. 30 donma-çözülme çevrimi sonucunda hazırlanan numuneler üzerinde ağırlık kaybı, ultrases

geçiş hızı ve dayanıklılık faktörü değerleri belirlenmiştir. Deney sonuçları, betonda kullanılan lif tipine göre değerler arasında önemli farklılıklar olduğunu göstermiştir [22].

Bolat. H., Şimşek. O., Çullu. M., “Beton Yol Kaplamalarında Su-Çimento Oranının Durabiliteye Etkisi” isimli çalışmalarında içerik olarak aynı fakat uygulama olarak üç farklı tipte beton kullanılmıştır. Birinci tip betona 35 dakika vakum, ikinci tip betona 18 dakika vakum uygulanarak su/çimento oranı üçüncü tip olan referans betona göre düşürülmüştür. Üçüncü tip beton birinci ve ikinci tip vakumlu betonlara referans olması amacıyla klasik inşaat teknikleriyle deney sahasında oluşturulmuştur. Bu amaçlar doğrultusunda üç tip betonun kapilarite, basınç, yarmada çekme ve aşınma dayanımları test edilerek su/çimento oranının bu özellikler üzerindeki etkileri incelenmiştir. İnceleme sonucunda birinci tip vakumlu betonun ikinci ve üçüncü tip betonlara göre daha durabil olduğu görülmüştür [23].

Mehmet Yerlikaya., “Çelik Tel Donatılı Yol Betonları” adlı araştırmasında Çelik liflerle donatılmış betononun zayıf olan özelliklerini güçlendirerek, tokluk, darbe, kavitasyon ve ilk çatlak dayanımlarında önemli artışlar sağladığı ve ekonomik oluşu, kolay işlenebilirliği ve teknik avantajlarından dolayı, günümüzde yol ve köprü kaplamalarında da uygulama alanı bulduğunu belirtmiştir. Bu yazıda, çelik tel donatılı betonların (ÇTDB) özellikleri, uygulama alanları ve dizayn kriterleri anlatmıştır [24].

Çivici F., (2002). “İki Eksenli Eğilme Altında Lifli Betonların Davranışı” isimli makale çalışmasında; çelik lifler kullanmış ve çelik lifli beton, köprü tabliyeleri, havaalanı kaplamaları, park sahaları, oyulma ve erozyona maruz yüzeylerde sıkça uygulandığı belirtilmiştir. İki eksenli eğilmeye maruz bu elemanlardaki davranışın belirlenmesi gerekir. Bu nedenle, iki eksenli eğilme altında çelik lif donatılı plakların davranışı hem bir bilgisayar programı yardımıyla hem de deneysel olarak incelenmiştir. Numuneler üç grup halinde dökülmüşlerdir. Bunlar donatısız, rasgele dağılmış ve lif katmanlıdır. Test edilen numunelerin

yük-sehim eğrileri verilmiştir. Beton malzemesinin özelliklerini geliştirmek amacıyla, bilgisayar programı ile deneylerden elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır[25].

Şimşek O., Erdal, M., ve Sancak E., (2005). “Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi” isimli makale çalışmalarında; çelik lifli betonlarda % 0, 2.5, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı (SD), çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Numuneler, C 25 sınıfında, su/çimento (w/c) oranı, 0.50 olacak şekilde seçilmiş ve masa tipi vibratörle sıkıştırılarak üretilmişlerdir. 100x100x500 mm boyutlarında üretilen prizma numuneler üzerinde, orta noktasından yüklemeli eğilme deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik lifli betonlara % 10 SD katılması, lifli betona göre eğilme dayanımında, 28 günde % 23.5, 90 günde % 30.8 ve 120 günde de % 18.3'lük bir artış sağlamıştır. SD katkılı lifsiz betonların, eğilme dayanımlarında en yüksek değere % 2.5 SD oranında ulaşılmış, % 5 ve 10 oranlarında ise azalma görülmüştür [26].

Şimşek O., Bolat H., çalışmalarında; 300 x 400 cm ebatlarında, 15 cm kalınlığında ve C20 sınıfında referans beton, tam zamanlı vakumlu beton ve yarı zamanlı vakumlu beton olarak üç farklı beton türü kullanılmıştır. Betonlardan dördüncü yılsonunda 7,5 x 15 cm boyutlarında silindirik karot örnekleri alınarak basınç dayanımı ve karbonatlaşma derinliği deneyleri yapılmıştır. Betonlar deneylerin yapıldığı zaman kadar açık hava şartlarında kalmıştır. Elde edilen verilerin karşılaştırılması ile betona vakum uygulanmasının, betonun korozyonuna etkileri belirlenmeye çalışılmıştır [27].

Yaprak, H., Şimşek, O., Sancak, E., Bolat, H., “Vakum Uygulanan Betonlarda Korozyon” isimli çalışmalarında 15 cm yüksekliğinde 2 x 6 m ebatlarda şahit beton, 3 x 4 m ebatlarda tam vakumlu ve 3 x 4 m ebatlarda yarı vakumlu beton alanları oluşturulmuştur. Üretilen üç tip beton üzerinde, 7. ve 28. günlerde ve 36. ayda basınç dayanımları, 36. ayda çekme dayanımı ve elde edilen parçalarda, karbonatlaşma derinliği, yine bu parçalardan elde edilen

toz örneklerinde pH ve Cl⁻ iyon tayini deneyleri yapılmıştır. Elde edilen verilerin karşılaştırılması ile betona vakum uygulanmasının, betonun korozyonuna etkileri belirlenmeye çalışılmıştır [28].

Çivici, F., (2004) “Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu” adlı makalede; tokluk ASTM C 1018 ve JSCE-SF4 ’e göre kiriş testlerinden hesaplanarak, donatısız ve çelik lifli betonun enerji yutma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Tokluk hesabında kullanılan iki metodun birbirine göre değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca, iki eksenli eğilme altında, donatısız ve çelik lifli beton plak numunelerin davranışları her bir numunenin deneylerinden elde edilen yük - sehim diyagramları aracılığıyla karşılaştırılmıştır [29].

Kaltakçı, Y.M., Köken A., Yılmaz Ü, S., (2006) çalışmalarında; eksenel yük altındaki çelik lifli/fiberli ve lifsiz/fibersiz etriyeli betonarme kolonların davranışı, hem deneysel hem de analitik olarak incelenmiştir. Deneysel bölümde 18 adet dikdörtgen kesitli etriyeli betonarme kolon eksenel yük altında test edilmiştir. Deney numunelerinin taşıma güçleri ile eksenel yük-boyuna birim kısalma ilişkisi elde edilmiştir. Analitik çalışmada ise, malzeme için geliştirilmiş olan matematiksel modellerden Saatcioğlu ve Ravzi, Sheikh ve Üzümeri ile Geliştirilmiş Kent ve Park Modelleri ayrıntılı bir şekilde ele alınmış, hesap esasları verilmiştir. Ayrıca, söz konusu bu matematiksel modeller kullanılarak deney numunelerinin analitik çözümü yapılmıştır. Elde edilen deneysel ve analitik sonuçlar karşılaştırılarak irdelenmiştir [30].

2.2. Beton Yollar

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara "Beton Yollar" denir. Beton yolların yapısal ömrü uzundur, uzun yıllar bakım onarım gerektirmeden kullanılabilirler, her mevsimde, her hava koşulunda yapılabilirler. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bu durum, betonun rijitliğinden yararlanmak sonucunu doğurur. Beton, çekme direnci düşük olan bir yapı malzemesidir. Betonda deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki bağıntı lineer değildir. Ayrıca, yükler kalktıktan sonra bir süre, betonda kalıcı deformasyonlar görülür. Daha sonra beton yavaş yavaş ilk duruma döner. Bir tekerlek yükü bir beton plak üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerlek geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Özellikle yoğun ağır taşıt trafiği taşıyan bir beton yolda bu gerilme değişimleri kısa zaman aralıkları ile sürekli olarak kendini gösterir. Bu durumda, beton plakta çekme ile basınç arasında değişen sürekli gerilmeler oluşur, bu da zamanla malzemenin yorulmasına neden olur. O halde bu tip gerilmelerin, betonun sürekli direncinin çok altında bulunması gerekir. Diğer malzemeler gibi beton da sıcaklığın artmasına veya azalmasına bağlı olarak genişlemekte veya büzülmetedir. Buna ek olarak kaplamaların alt ve üst yüzeyleri günlük ve mevsimlik sıcaklık ve nemlilik farkları nedeniyle eğilme ve bükülmelere uğrar.

Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen alt temel ve temel tabakaları ile mevcut taban zemininin özelliklerine bağlı olarak değişir. Bu nedenle, projelendirme sırasında, beton kaplamanın davranışını etkileyen taban toprağı, temel malzemesi, betonu oluşturan kum, çakıl, çimento ve betonarme demiri gibi malzemelerin fiziksel özelliklerinin çok iyi incelenmesi gerekmektedir.

Tanımlar

Bu bölüm içerisinde, üstyapı tipi seçimi metodolojisi konusu için gerekli tanımlar verilecektir

Üst Yapı: Trafik yükünü taşımak üzere tesviye yüzeyine (taban zemini üzerine) yerleştirilen tabakalı yol yapısıdır.

Esnek Üst Yapı: Devamlı olarak her noktada taban yüzeyi ile sıkı temas sağlayan ve yükleri taban yüzeyine dağıtan bir üstyapı şeklidir.

Rijit Üst Yapı: Oldukça yüksek eğilme direncine sahip ve portlant çimentosundan yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipi.

Taban Zemini: Tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapıyı taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar devam eden malzeme.

Üst Yapı: Trafik yükünü taşımak üzere tesviye yüzeyine (taban zemini üzerine) yerleştirilen tabakalı yol yapısıdır.

Esnek Üst Yapı: Devamlı olarak her noktada taban yüzeyi ile sıkı temas sağlayan ve yükleri taban yüzeyine dağıtan bir üstyapı şeklidir.

Rijit Üst Yapı: Oldukça yüksek eğilme direncine sahip ve portlant çimentosundan yapılmış tek tabakalı plak vasıtasıyla yükleri taban zeminine dağıtan üstyapı tipi.

Taban Zemini: Tesviye yüzeyi altında kalan, yarma veya dolgularda üstyapıyı taşıma gücüne etkisi olabilecek bir derinliğe kadar devam eden malzeme.

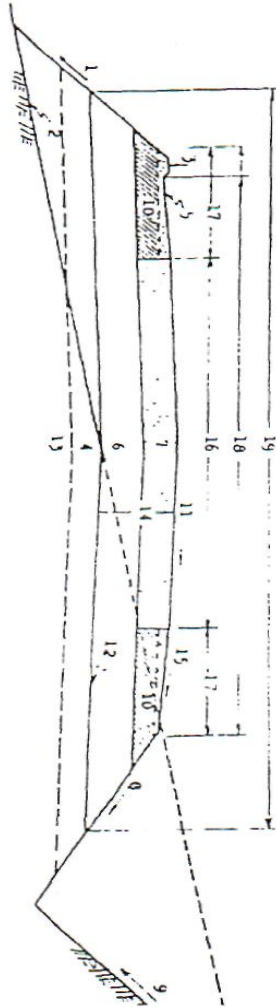
Taban Yüzeyi: Yol üstyapısı ve banketlerin oturduğu yol altyapı zemininin üst düzeyi.

Alt Temel: Temel tabakasının taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen, granülometrisi ve plastisite özellikleri belirli granüler malzemeden oluşmuş üstyapı tabakası.

Temel: Alt temel veya taban üzerine hesaplanan bir kalınlıkta inşa edilen, belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalar, temel tabakasının kaplamayı taşımak, gerilmeleri yaymak, iyi bir drenaj temin etmek ve don etkisini azaltmak gibi işlevleri vardır.

Kaplama Tabakası: Üstyapının en üst tabakası olup genellikle asfalt betonu veya yüzeysel kaplamadan oluşur ve kaymaya, trafiğin aşındırmasına ve iklim koşullarının ayrıştırma etkisine karşı koyar.

Seçme Malzeme: Genellikle yol dolgularında taban zeminini oluşturmak üzere yol yarmasından veya ödünç ocaklarından elde edilen uygun özellikteki doğal malzeme.



- | | |
|---------------------------|--|
| 1. Dolu Şevi | 11. Yolun Ertine Eğimi |
| 2. Doğal Zemin | 12. Taban Yüzeyi (Tesviye Yüzeyi) |
| 3. Eşik | 13. Yol Gövdesi (Taban Zemin) |
| 4. Seçme Malzeme Tabakası | 14. Üst Yapı Kalınlığı |
| 5. Banket Kaplanması | 15. Banket Eğimi |
| 6. Alt temel | 16. Trafik Şeritleri Geniştirliğı |
| 7. Rijit Plak | 17. Banket Geniştirliğı |
| 8. Hendeğin Şevi | 18. Yol Geniştirliğı (Platform Geniştirliğı) |
| 9. Yarın Şevi | 19. Üst Yapı Taban Geniştirliğı |
| 10. Banket Temeli | |

Şekil 2.1. Rijit üst yapı en kesiti

2.2.1. Üst Yapı Seçimi Metolojisi

Günümüzde, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, çabalar, yeni karayolu yapmaktan ziyade, mevcut karayı üstyapılarının, gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek seki yenilenmesi üzerinde yoğunlaşmaktadır. Gerek yeni karayolu yapımında, gerek üstyapı yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Zira, karayollarında üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki kriterlere dayandırılın gereken kapsamlı bir konudur. Seçim yapılırken üstyapı tipleri teknik ve ekonomik yönden karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak karara varılmalıdır. Karayollarında, kaplama tabakası çimento betonundan olan rijit üstyapı, yan rijit üstyapı, karışık üstyapı ve kaplama tabakası asfalt betonu olan esnek üstyapı olmak üzere değişik tipte üstyapılar kullanılır. Burada ara tipler ihmal edilerek, birbirine tamamen farklı yapıda olan esnek ve rijit üstyapılar teknik ve ekonomik seçim ölçütleri çerçevesinde karşılaştırılacaktır.

2.2.2. Üst yapı seçiminde teknik ölçütler

Her iki üstyapı tipinin şartnamelere uygun şekilde gerçekleştirildiği varsayılmakta konuya yedi açıdan bakılmaktadır. Üstyapı tipinin seçilmesinden etkili olabilecek tüm parametreler değerlendirilerek buna göre birbirine alternatif olarak düşünülen esnek ve rijit üstyapının tasarımı yapılmıştır.

2.2.3. Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi

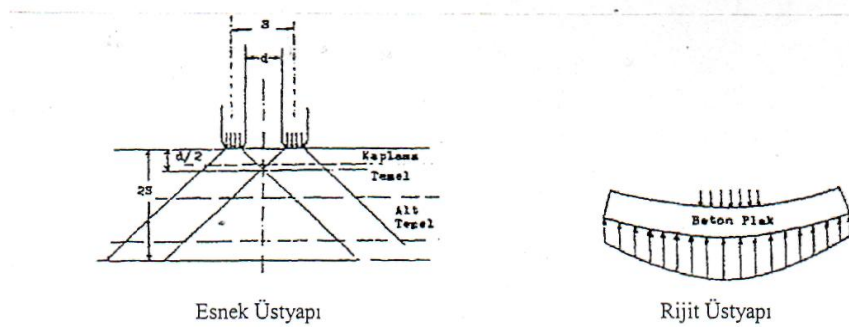
Yol üstyapısı, trafikten gelen yükleri daha geniş alanlara yayarak yolun altyapısı iletir. Üstyapı, belirli trafik yüklerini, taban zemininin taşıma gücünü aşmayacak düzeye indirerek iletirken, kendi içinde de tahribat olmamalıdır.

Yolların tahrip olma mekanizması çok karışık olmakla beraber, bunu başlıca iki ana nedene bağlamak mümkündür;

- Taban zemininde veya yol üstyapısını oluşturan tabakaların birinde meydana gelen gerilmelerin, malzemenin sınır gerilme değerlerini aşması ve iç dengenin bozulması ile ortaya çıkan kaymalar.
- Taban zemininde veya yol üstyapısı tabakalarının birindeki yüksek basınç gerilmeleri ve rutubet oranındaki önemli değişimler altında oldukça büyük oturmaların ortaya çıkması, üst tabakaların oturmalara uymaması sonucunda oluşan çatlaklar ve kopmalar. Yol üstyapısını, esnek ve rijit olmak üzere iki esas gruba ayırmak mümkündür, Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme ve tahrip olma şekilleri yönünden farklılık gösterir. Esnek üstyapı, çekme dirençleri fazla olmayan malzemelerden yapılmış alt temel , kaplama temel ve kaplama tabakalarından oluşur. Kaplama tabakası, aşınma ve binder den oluşan iki tabaka şeklinde sıcak bitümlü karışımdan ya da sathi kaplama şeklinde soğuk bitümlü karışımdan oluşturulur. Diğer tabakalar ise granüler bir malzeme veya az miktar bağlayıcı ile işlem görmüş karışımlardır. Esnek üstyapıda yük iletimi alt tabakalarda daha geniş alana yayılarak taban zemininin taşıyacağı değere indirgeme esasına dayanmaktadır.

Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibidir. Yani tekerlek yükleri altında esnek üstyapı deforme olur ve her tabakada, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletir. Böylece, taban zeminine ulaşan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olur. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilir. Esnek üstyapı iyi projelendirilmezse, yukarıda açıklanan iki nedenden biri yolun tahrip olmasına sebep olur. Bitümlü karışımlardan, asfalt betonundan yapılan kaplama tabakası, trafiğin ve iklimin bozucu etkilerine doğrudan doğruya maruz kaldığı için, yüksek elastisite modülü, kaymaya direnç yanında

geçirimsizlik özelliğine de sahip bulunmalıdır. Rijit üstyapılar, kaplama tabakası, kum, iri agrega, portland çimentosu ve su karışımından oluşan tek veya iki tabaka halinde dökülen bir üst yapı tipi olup gerektiğinde granüler bir kaplama altı tabakası da kullanılabilir. Rijit üstyapıda yük büyük oranda elastik temel üzerine oturan plak tarafından karşılanmaktadır. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise beton kaplama ile taban zemin arasında kaplama altı tabakası yapılır. Beton plağın elastisite modülü taban zemininkinden çok büyüktür. Dolayısıyla beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışır ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletir. Rijit beton plak, taban zemin ile sürekli temas halinde olduğu müddetçe taşıyıcı, bir eleman olarak vazife görür. Taban zemin çeşitli nedenlerle yer yer çökerse, taban zeminin deformasyonuna uyamayan rijit beton plak, bu kısımlarda kiriş gibi çalışmaya başlar, esasen betonun düşük olan çekme direncinin aşılması sonunda kaplama kırılır. Beton kaplamanın bozulması, yukarıda (b) şıkında belirtilen nedene bağlıdır. Buradan görüleceği gibi, esnek üstyapılar (a) ve (b) nedenlerine bağlı olarak bozuldukları halde, rijit üstyapıların bozulması yalnızca (b) nedenine dayanmaktadır. Taban zemin ile sürekli temas halindeyken, beton yol elastik zemine oturan kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı olmayacaktır. Bu nedenle, rijit üstyapılar, zayıf taban zeminleri üzerinde, esnek üstyapılara nazaran daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 2.2. Esnek ve Rijit üst yapılarda yük dağılımı

Üst Yapı Tipi Teknik Parametre	Esnek Üstyapı (Kaplama Asfalt Bet)	Rijit Üstyapı (Kap. Tabakası Çim. Beton)
Taban Zemini Taşıma Değ.	+	-
20>CBR>6	+	-
CBR<6	-	++
Trafik	+	+
Büyük trafik hacmi	-	++
Yüksek yıllık artış oranı	-	-
Düşük yıllık artış oranı	+	++
Yüksek ağır taşıt miktarı	-	+
Yüksek sıcaklık	-	++
Onarım gecikmesi	-	+
Üstyapı kaplama takviyesi	+	-
Üst yapı temel ve kaplama değişimi	-	+

Şekil 2.3. Teknik parametreye göre üst yapı seçimi

2.2.4. Üst yapı seçiminde ekonomik ölçütler

Ekonomik karşılaştırma yapılabilmesi için, farklı zamanlarda yapılan harcamaların aynı yıla dönüştürülmesi, güncellenmesi gerekir. Güncelleştirme için faiz ve indirim hesaplarından faydalanılır. Hangi indirim haddinin kullanılacağı hususu, hükümetin makro-ekonomik politikasına bağlı bir konudur. Endüstrileşmiş ülkeler düşük (%8) indirim oranları tercih ederken, gelişmekte olan ülkeler %12 dolaylarındaki oranlara eğilim göstermektedirler. Ulaştırma kesimi için, Türkiye'de bu değer, son yıllarda %30 civarındadır.

2.2.5. Rijit Üst Yapıların Üstünlükleri Ve Sakıncaları

Rijit üstyapıların üstünlükleri ve sakıncaları incelenirken, esnek üstyapılarla karşılaştırılarak varılan sonuçlar da belirtilecektir.

Rijit üst yapıların üstünlükleri

1) Kayma sürtünme katsayılar yüksektir. Kaymaya karşı direnci fazladır. Güven vericidir. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70; enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Ayrıca, ıslak oldukları zaman, sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan, kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış sulan kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

2) Yuvarlanma sürtünme katsayısı, dolayısıyla harekete karşı direnci düşüktür. Vasıtaların yıpranması azalır, mekanik Ömürleri artar. Motordan tekerleklerle aktarılan kuvvet düzenli olacağından yağ ve yakıt masrafı azalır. Bandaj ve lastik aşınması az olur. Ekonomiktir.

3) Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilirler. Çatlama oluşmasını önlemek için çelik donatı kullanılabilir. Kaplama çatlasa bile çelik donatı sayesinde, çekme gerilmeleri taşınabilir. Çelik donatı uygulanabilen yegane kaplama tipidir.

4) Yüksek kalitesi dikkate alındığında, beton asfalt, parke kaplamalar gibi eşdeğer kaplamalardan daha ekonomiktir.

5) Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığı az emer. Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar. Yüzeyin dayanıklılığı malzemelerin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler. Açık rengi sayesinde gece kolay görünür. Islak olduğu zaman daha tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. Bu olay trafik güvenliği açısından önem taşır.

6) Gereği gibi bakıma tabi tutulduklarında tam bir yüzey geçirimsizliği sağlarlar.

7) Gerekli önlemler alındığında zayıf zeminler üzerinde de iyi hizmet görebilirler.

8) Özenle inşa edilen bir beton kaplamanın bakım masrafları Beton Asfalt kaplamalara oranla daha düşüktür. İyi yapılmış beton yolların hiç bir yüzey bakımı olmadan 20 sene kullanılmaları mümkündür.

9) Plastik bağlayıcılarla yapılan yollarda çok görülen öndülasyonlar beton yollarda görülmez. Sürtünme katsayısı yüksek olduğundan, plastik kaplamalara göre daha dik eğimlere uygulanabilir.

10) Temel görevi yapabilir. Uzun süre kullanıldıktan sonra yüzey çok bozulacak olursa, basit bir tamirle diğer kaplamalara (parke veya asfalt) temel görevi yapabilir.

Diğer kaplama tiplerine göre en önemli özelliklerinden biri de temel ve aşınma tabakasının aynı malzemeden ve genellikle tek tabaka halinde yapılabilmesidir. Ancak bu halde, aşınma tabakasında görülecek herhangi bir bozukluk, beton yol döşemesinin temel ile birlikte değiştirilmesini gerektirir. Hâlbuki temel tabakasının hizmet süresi çok uzun olabilir. Ekonomik düşünceler beton yolu iki tabaka halinde yapmak gereğini ortaya çıkarmıştır. Böylelikle, üst kısmı oluşturan aşınma tabakasının gerek malzeme kalitesine gerekse yapım yöntemine çok özen göstererek hizmet süresinin uzaması sağlanır.

11) Türkiye'nin birçok bölgesinde beton dökümü için inşaat mevsimi daha uzun sürelidir. Asfalt betonunun aksine ıslak zemine de döküm yapılabilir.

12) Betonda kullanılan çimentonun hammaddesi tamamen yerlidir. Ayrıca, çimento fabrikaları %100'e yaklaşan oranda yerli kaynaklarla gerçekleştirilebilmektedir.

Rijit üst yapıların sakıncaları

1) Projede veya inşaatta yapılacak küçük bir hata veya ihmal, trafik ile ilgili olmadan, kaplamanın çabuk harap olmasına yol açan çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Priz arasındaki rötire ve diğer ısı değişiklikleri çatlakların oluş nedenlerindendir. Trafik etkileri olmadan da, don olaylarının tekrarlanması durumunda, çatlamış olan kaplama tamamen harap olabilir.

2) Yapım sırasında ve beton prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır. Bu süre ise yaklaşık olarak bir ay kadardır. Tamir ve bakım işlemleri yapılırken de aynı sakınca ortaya çıkmaktadır. Çabuk sertleşen (supercement) çimento kullanılarak bekleme süresi kısaltabilir veya iki ayrı şerit halinde yapım sürdürülerek bir şerit kısmen trafiğe açık tutulabilir.

3) Asfalt betonunun aksine trafik altında çalışmaya elverişli değildirler. Trafiğe açık bir yolda uygulanmaları durumunda servis yolu inşasını gerektirirler ki bu küçük oranda bile olsa bir takım masraf ve güçlükler doğurur.

4) Beton yollar alt tesisler bakımından güçlük yaratır. Beton yolların yapımından sonra doğal gaz kanalizasyon, su, telefon tesislerinin yapım ve tamirleri çok güçlüklerle yapılır. Yeraltı tesislerinde oluşacak arızaların yerlerini bulmak güçtür. Arıza giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalır. Buna karşılık, suyu geçmemesinin ve homojen olmasının sonucu olarak trafik yük ve sarsıntılarını, titreşim etkilerini her tarafa yayması dolayısıyla beton kaplamalar en iyi koruyucu tabaka görevini yaparlar.

5) Açık rengi dolayısıyla güneşte göz kamaştırmalarına sebebiyet verir. Betona boya karıştırılıp renkli yol yapılarak bu sakıncaları giderilebilir.

6) Derzlerin varlığı ve kaplama yüzeyinde kaymaya karşı direnç sağlanması için oluşturulan yivler gürültü yapmakta ve sürüş konforunu azaltmaktadır.

7) Derzlerin yapımı ve bakımı büyük özen ve deneyim gerektirmektedir.

8) Aşınma etkisi ile kaygan hale gelir. Ancak aşınma, uygun malzeme kullanılarak geciktirilebilir. Ayrıca her tip kaplamada bu sakınca vardır.

9) Temel ve Aşınma tabakası aynı cins malzemeden oluştuğu için, eskiden mevcut bir yolun kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik olarak kullanılamaz.

10) Rijit üst yapıların diğer önemli bir sakıncası da, küçük periyotlu (örneğin günlük) ısı değişikliklerin kaynaklanan, plak içi sıcaklık eşitsizliğidir. Güneş ışığına doğrudan maruz kalan plağın üst yüzeyi alt yüzeye kıyasla daha çabuk ısınır. Isı yükselmesi yavaş yavaş derinliklere doğru iner. Alt yüzeyin sıcaklık derecesi maksimum değerine üst yüzeyden bir kaç saat sonra erişir. Döşemenin kalınlığında ve ısında durumuna göre, plağın alt ve üst yüzeyleri arasındaki sıcaklık farkı 30 °C'ye kadar çıkabilir. Bu durum sonucu iki tip gerilme doğuşu görülür yani sıcaklığın yükselmesi halinde, üst yüzey alt yüzeyden sıcak olacağından plak kabarır, ortası yükselir ve üst kısım çekmeye ait kısmı basınca maruz kalır. Betonun elastisite modülünün $E:100\,000\text{ kg/cm}^2$ dilitasyon derzleri arasındaki uzaklığın 30 m olması halinde, 30°C' lik bir fark için basınç gerilmelerinin değeri 20–30 kg/cm² ye ulaşabilmektedir. Kaplamanın üst ve alt kısımlarındaki nem farkından da buna benzer gerilmeler doğar.

2.2.6. Karayolu kaplama çeşitleri

Bitümsüz hafif kaplamalı ve stabilize yollar

Bu tip yollar günlük trafik hacmi birkaç yüz araç olan yollarda uygulanır. Ayrıca daha fazla trafik geçiren yollarda alt temel tabakası olarak kullanılırlar. Kum kil yollar; Yapay olarak kum ve kil tabakasının yüzeyde oluşturulmasıyla yapılır.

Çakıl Yollar; Genellikle yapımdan hemen sonra bitümlü bir aşınma tabakasıyla örtülürler. Stabilize yollar; Kum ve çakılın granülometrik bileşimi bağlayıcı özellikli zemin ve nem tutucu tuzla yol her türlü hava koşullarında kararlı hale gelir.



Resim 2.4. Bitümsüz hafif kaplamalı yollar

Esnek Kaplamalar

Yüzeysel (sathi) kaplamalar.

Bağlayıcılar ve agrega yol yüzeyine ayrı ayrı serilir. Sıkıştırılır. Karıştırma söz konusu değildir. Trafik yoğunluğu günlük 1000 araca kadar olan yollara uygulanır.



Resim 2.5. Bitümlü bağlayıcılarla yapılan karışımların oluşturduğu kaplamalar

Hafif bitümlü kaplamalar

Beton asfalt: sıcak karışımlıdır, kalitelidir ve yoğun trafikte de uygulanır.



Resim 2.6. Hafif bitümlü kaplamalar

2.2.7. Beton Yollar - Rijit Kaplamalar

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



Resim 2.7. Beton yol çalışmasına ait bir rnek

Beton yollar  çeşide ayrılabilirler;

- a) Derzli donatısız beton kaplama
- b) Derzli donatılı beton kaplam
- c) Derzsiz donatılı beton kaplama



a)



b)



c)

Resim 2.8. Beton yol eşitleri

Beton yolların farklı yapım tekniğine bağlı farklı biçimleri de vardır:

- a) ngermeli beton kaplama



Resim 2.9. Öngermeli beton kaplama

b) Silindirle sıkıştırılabilen beton



Resim 2.10. Silindirle sıkıştırılabilen beton yollara ait fotoğraflar

2.2.8. Beton yolların üstünlükleri

Beton yolların yapısal ömrü fazladır

Beton kaplamanın bilinen en önemli avantajı uzun yapısal ömrü ve üstün dayanımıdır. Kaplamanın ömrü süresince verdiği hizmetin kalitesinin karşılaştırılması bakımından bir puanlama ile yolların yıllara göre "bozunma hızı" dır. Buna göre asfalt yol % 80 performansla yaklaşık 7 yılda inerken, beton yol aynı performans düzeyine yaklaşık 13 yılda inmektedir. Diğer bir ilgi çekici sonuç ise, asfalt tamir kaplamasının "bozunma hızı"nın yeni asfaltın da çok üzerinde olduğu, tamir kaplamasının ömrünün 7 yılda % 70'e indiği ve 20 yılda tamamen ortadan kalktığıdır.

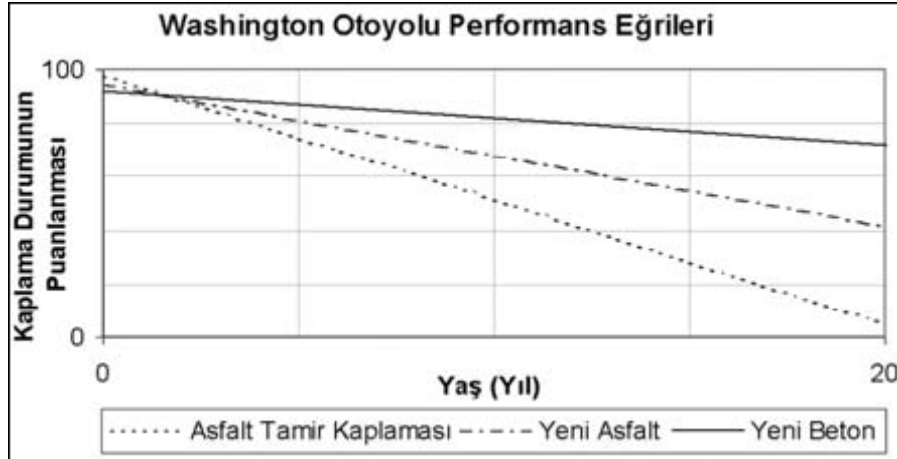
Beton kaplamalarda aşınma miktarı normal dayanımlı betonlarda (20 MPa) kuru halde asfaltın %60'ı, ıslak halde ise 1/3 'ü kadar olmaktadır. Beton dayanımı arttıkça aşınma dayanımı artmaktadır.

Tablo 2.1. Onarılan devlet ve il yollarının uzunlukları

Yıl	Devlet Yolları (Asfalt)	İl Yolları (Asfalt)	Toplam
199	7189 km	4070	11259 km

Türkiye'de 1998 yılında onarılan asfalt yollar 11.259 km dir. Türkiye'de bulunan toplam asfalt yol ise 56.035 km. Yani her sene asfalt yolların %20 'si bakım görmektedir. [31]

Çizelge 2.1. Washington otoyolu performans eğrileri



Beton yollar ekonomiktir

Beton yolun esnek üst yapıya göre ilk yapım maliyeti, bilinenin tersine sadece çok sağlam bir zeminde ve çok düşük trafik hacimleri birlikte olduğu bir koşulda yüksek olduğu ortaya çıkıyor. Bakım ve onarım maliyetleri düşünülmeden ortaya çıkan bu sonuca göre şu söylenebilir. Sırf ekonominin düşünüldüğü durumlarda bile yapılacak yolun koşullarından bağımsız olarak beton yolun tercih edilmesi gerekir. Hele ki ülkemizde yollarda %40 ağır taşıt trafiği olduğu da düşünülürse, beton yolun hem ekonomik olduğu hem de bir zorunluluk olduğu açıktır.

Son yıllarda, bu konu ile ilgili çeşitli Hayat Döngüsü Maliyet Değerlendirmesi (LCCA) çalışmaları yapılmıştır. Bu çalışmaların çoğu beton ve asfalt yollar arasındaki maliyet farkları ile ilgilidir.

Örneğin son yapılan bir araştırmaları sonucunda, Derzli Beton Kaplamalı yollarda, asfalt kaplamalı yollara göre, yapım ve bakım göz önüne alınarak,

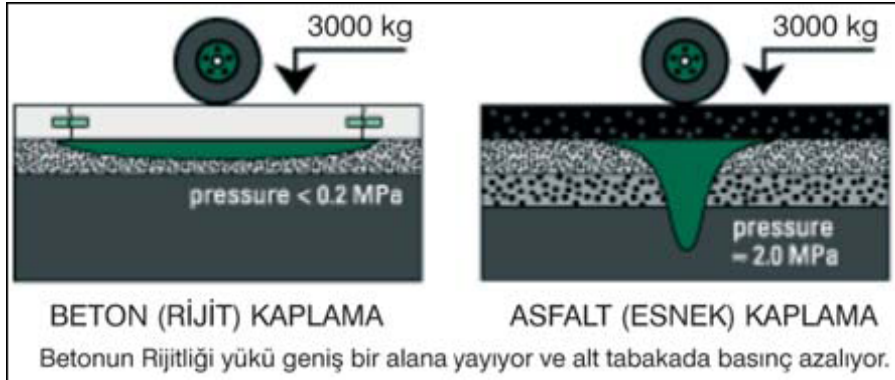
% 13'den % 28'e kadar bir maliyet düşüklüğü bulunmuştur. Sürekli betonarme yollarda ise asfalta göre hiçbir maliyet farkı yoktur. Bu çalışmada gerçek ve historik yapım ve bakım verileri kullanılmıştır.

Bunların yanı sıra bu işin sosyo-ekonomik boyutu da vardır. Sonraki bölümlerde daha değişik ve ayrıntılı yönleriyle ilgilenilecek bu konuda, burada şunlar söylenebilir: Beton yol yapımında daha fazla kişi çalışması gerekmektedir. Maliyet hesaplarında bu göz önüne alınmasına rağmen beton yolun daha ekonomik olduğu ortaya çıkmıştır. Böylece işsizliğin büyük sorun olduğu ülkemizde daha fazla kişiye istihdam sağlanmış olur.

Beton yollar dayanıklıdır

Beton kaplama rijittir. Elastik bir zemine oturan kiriş gibi çalışır ve üzerine gelen yükleri çok daha geniş bir alana yayarak taban zeminine iletir. Beton yolun taşıma gücü taban zeminine bağlı değildir. Bu nedenle rijit üst yapı olan beton kaplama zayıf taban zeminleri üstünde esnek üstyapılara kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir. Çek Cumhuriyeti, Avusturya, Hollanda, ABD, İngiltere gibi birçok ülkedeki teorik çalışmalar bunu ortaya koymuştur. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilir. Asfalt kaplamalar ise, üzerlerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletirler (Şekil 2). Kaplamadan temele, temelden alt temele ve nihayet alt temelden taban zeminine iletilen yükler, her bir tabaka geçişinde gittikçe yayılmakta ve daha geniş bir alana dağılmaktadır. Dolayısıyla her bir tabakada kullanılan malzemenin mekanik özellikleri de, tabakalardan aşağı inildikçe azalan gerilme değerlerine paralellik gösterir. Taban zemini zayıfsa ve çeşitli gerilmeler altında deforme oluyorsa, asfalt kaplama da bu deforme olan bu profili izlemekte ve sonuçta yolun en üst düzeyinde çeşitli oturmalar ve ondülasyonlar gözlenmektedir.

Bunun sonucu olarak ağır trafik altındaki yollarda, beton yol uygulaması, dayanıklılığı sebebiyle çok daha iyi ve uygun olmaktadır [1]



Şekil 2.4. Kaplamalar yükü yasal iletir

Betonun dayanımının en çok önem kazandığı mevsim ilkbahardır. Basitçe beton, alt tabakanın bahar donma ve çözümlerinden etkilenmez. AASHTO tarafından yapılan bir araştırmaya göre, asfalt yolların %61 'i Kanada bahar koşullarında bozulmaktadır. Oysa ki bu oran betonda sadece %5.5'tir.

Beton yollar daha kısa durma mesafesi sağlar

Beton kaplamaların kayma sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı direnci fazladır. Güven vericidir. Boyuna sürtünme katsayısı 0.70; enine sürtünme katsayısı 0.65 civarındadır. Ayrıca, ıslak oldukları zaman, sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

Kullanıcı için kişisel güvenliği düşünülürse, beton kaplamanın rijit yapısı önem kazanır. Asfaltta oluşan tümsekler ve çukurlar yağışlı havalarda ekstra su tutar. Bu da su kazağı etkisi için büyük bir potansiyel oluşturur. Ayrıca bu biriken sular soğuk havalarda don yapabilirler.

Beton yol akaryakıt tasarrufu sağlar

Ağır araçlar esnek kaplamalarda rijit kaplamalara göre daha fazla deformasyona neden olurlar. Kaplamadaki bu deformasyon, taşıt enerjisinin bir kısmını emer. Ve şöyle bir hipotez ortaya çıkar: Esnek kaplamalarda sürüş için daha fazla enerjiye, bu nedenle daha fazla yakıt tüketimine ihtiyaç vardır.

Bu farklılık ilk olarak Dr. John R Zanievski tarafından ortaya çıkarılmıştır. 1982 yılında Dünya Bankası ve Brezilya hükümeti için yapılan bir çalışma ile yol yapımındaki maliyetler incelenmiştir. Yakıt maliyetleri bunlardan biridir ve bu çalışmada beton kaplamalarda asfalt kaplamalara göre yaklaşık % 20 yakıt tasarrufuna ulaşıldığı belirtilmiştir.

Başka çalışmalarda ise % 17.5 ve % 11 gibi rakamlar elde edilmiştir[33].

Kaynak				Taşıt Tipi	Yakıt
Detroit	Diesel	Spec	ManagerTM	Ağır Taşıtlar	% 8-17.5
Programı					
Dr. Zanievski Çalışması				Ağır Taşıtlar	%20'den
NRC				Ağır Taşıtlar	Ortalama

Tablo 2.2. Beton ve Asfalt Kaplama Arasındaki Tahmin Edilen Yakıt Tasarrufu

Beton üstyapıların yuvarlanma sürtünme katsayıları, dolayısıyla harekete karşı dirençleri düşüktür. Vasıtaların yıpranması azalır, mekanik ömürleri artar. Motordan tekerlere aktarılan kuvvet düzenli olacağından yağ ve yakıt masrafı azalır. Bandaj ve lastik aşınması az olur [1].

Beton yollar gece görüşünü kolaylaştırır

Beton doğal olarak açık renklidir ve araçlardan veya sokak lambalarından gelen ışıkları, koyu asfalt kaplamalara göre daha az emerler.¹ Böylece gece görüşü artar. Islak olduğu zaman bile tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. Bu olay trafik güvenliği açısından çok önemlidir. Şerit çizgileri gerektirmez [1]

Beton yolun hammaddesi %100 yerlidir.

Betonda kullanılan çimentonun hammaddesi tamamen yerlidir. Ayrıca çimento fabrikaları üretimlerini %100'e yaklaşan oranlarda yerli kaynaklarla gerçekleştirebilmektedirler.

Petrol üreten veya petrol gereksinimlerinde herhangi bir sorunları bulunmayan ülkelerde asfalt kaplamalı yollar ekonomik olmakta buna karşılık çimento üretimi yönünden ileri düzeyde bulunan ülkelerde, beton yol yapımının daha rantabl olduğu görülmektedir [1].

Petrol damıtan rafinelerin sayısının az olduğu ülkelerde, asfalt kaplamaların bağlayıcı malzemesi olan asfaltın, çeşitli tesis veya santrallere taşınması veya nakledilmesi, yüksek bir ulaşım maliyetini de yanında getirmektedir. Çimento fabrikası sayısının yüksek ve dağılımının da yaygın olduğu ülkelerde taşıma ve ulaşım maliyeti büyük ölçüde düşmektedir[1]

Beton yol her mevsimde her türlü koşulda uygulanabilir

Türkiye'nin birçok bölgesinde beton dökümü için inşaat mevsimi daha uzun sürelidir. Asfaltın aksine ıslak zeminde de döküm yapılabilir.

Asfalt kaplamalarda taban zeminindeki nemin oranının en çok %2 olması istenir. Bunun üzerindeki bir değerde nem oranına sahip taban zeminlerinde,

asfalt uygulaması son derece sakıncalı olup bu durum, üst yapının özellikle de kaplama ömrünü büyük ölçüde azaltır. Beton yollarda ise böyle bir sorun bulunmamakta ve hatta iyi bir kenetlenme için taban zemininde nemlilik, hatta ıslaklık aranmaktadır [1].

Asfalt kaplamalar belirli bir ısıda (125 °C) dökülmesi ve silindirle sıkıştırılması gerekmektedir. Bu ısı değerindeki düşmelerde, sıkıştırma iyi bir şekilde gerçekleşmemekte ve belirli bir sıcaklığın altında asfalt, yumuşaklığını kaybetmekte, kaplamada da boşluk yüzdesi artmaktadır. Bu da sonuç olarak, nitelik yönünden istenen düzeyin altında bir kaplama oluşmasına yol açar. Beton kaplamalar ise vibratörlerle sıkıştırılmakta olup ısı kaybı gibi bir sorun söz konusu değildir. [1]

Ülkemizde mevsimsel olarak asfalt uygulamasına imkan veren süre çok kısıtlıdır. Bu durumda uygulama için çok sayıda ekipmana ihtiyaç duyulmakta ve bu ekipman yılın büyük bir bölümünde atıl kalmaktadır. Ayrıca istihdam edilen işgücü de mevsimsel olacaktır.

Beton yol çevrecidir

Daha önce beşinci maddede açıklandığı üzere beton yollar asfalt yollara göre %20 'ye varan oranlarda akaryakıt tasarrufu sağlar. Beton yollar akaryakıtta sağladığı bu tasarruflarla petrol ithalatçısı olan Türkiye için bir tasarruf kaynağıdır [33]

Beton yollar daha az bakıma ihtiyaç duyacağından bakım nedeniyle oluşacak trafik sıkışıklıklarından doğan akaryakıt sarfiyatını azaltacaktır.

Asfalt kaplamaların yapım ve uygulama aşamalarında, ısıtma ve kurutma işlemlerinin bulunması nedeniyle çevre kirliliğine yol açmaktadır [1]

Bir alt temel, temel ve asfalt kaplamadan oluşan esnek üst yapının toplam kalınlığı, beton plak ve altında kumlu yastık tabakasından oluşan rijit üst-

yapının toplam kalınlığına kıyasla çok daha fazladır. Bütün tabakalarda ana malzeme, agregadan oluşmaktadır. Bu nedenle sonuçta eşdeğer niteliklere sahip olsalar dahi, esnek üstyapı için gerekecek agrega miktarı rijit üst yapıya göre çok daha fazla olmaktadır.

Agrega kalitesi yönünden asfalt kaplamalar için çok kaliteli agreganın kullanılması zorunludur. Buna karşılık beton yollar daha düşük kalitede agreganın kullanımına olanak vermektedir. Kullanılan malzeme miktarı ne kadar fazlaysa çevreye verilen zarar o kadar çok olmaktadır [1]

Asfalt yollarda bağlayıcı olarak kullanılan asfalt malzemesi, bünyesinde çeşitli uçucu maddeler içermekte ve bu uçucu maddelerin zamanla kaybolması sonunda kaplamada yaşlanma adı verilen bir tür gevrekleşme ve eskime görülmektedir. Bu yaşlanma ile niteliklerinin ve özelliklerinin büyük bir kısmını kaybeden asfalt kaplamalar ayrıca benzin, motorin, fuel oil, yağ, tuz gibi maddelerin yol üzerine dökülmesi ile de kimyasal yapılarında değişimler gösterir. Kaplamaların olumsuz yönlerde değişmesine yol açan bu durum, çok kere yol güvenliği açısında büyük tehlikelere yol açacak boyutlara ulaşmaktadır.

Beton yollarda ise kullanılan bağlayıcı çimento olup herhangi bir uçucu madde içermemektedir. Bu nedenle sözü edilen yaşlanma olgusu, beton yol kaplaması için söz konusu değildir. Ayrıca yukarıda söz edilen eritici özelliği bulunan kimyasal maddelerin dökülmesi durumunda da herhangi değişme gözükmemektedir [1]

Beton yolun yatırım maliyeti daha düşüktür

Beton üretimi asfalt üretimine göre daha ucuz santrallerde (plantlerde) yapılabilir. Asfalt kaplamalar beton yollara kıyasla daha fazla enerji harcanması sonunda yapılır. Enerji sorununun bulunduğu yerlerde beton yol uygulanması daha uygundur. Ayrıca yapım ilerleme hızları yönünden asfalt

kaplamalarda bu husus, plent kapasitesine, plent ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm ve sıkıştırmadaki çabukluğa bağlıdır. Beton yolda aynı husus, trans-mikserlerin kapasitesine ve sayısına, imalat yeri ile döküm yeri arasındaki uzaklığa, döküm sırasındaki vibrasyon ve perdahlama işlerinin çabukluğuna bağlı kalmaktadır. Burada ilerleme hızı yönünden asfalt kaplamalar zamanla meydana gelecek ısı kaybının yaratacağı sorunlar da dikkate alınarak, daha çabuk uygulanmak zorundadırlar [1].

Sonuçlar

- Bu inceleme sonunda ulaşılan sonuçlar üç madde halinde özetlenebilir.
- Teknik parametrelere göre seçim yapılırsa, taşıma gücü zayıf taban zemini, büyük hacimli trafikte yüksek artış oranı, yüksek ağır taşıt miktarı, yüksek sıcaklık halinde rijit üstyapılar, büyük trafik hacminde düşük yıllık artış oranı ve takviye çalışmalarında esnek üstyapılar uygun görünmektedir.
- Ekonomik parametrelere göre üstyapı seçimi yapılırsa, bitümlü malzeme azlığı, yüksek kaliteli agrega eksikliği, hidrolik bağlayıcı bulunması ve enerji azlığı halinde rijit üstyapılar, ülkedeki indirim oranının yüksek, yol yatırım kaynağının sınırlı olması halinde ise esnek üstyapılar uygun olmaktadır. Düşük trafik için esnek üstyapı maliyeti (TL/Km olarak) rint üstyapıdan daha ucuzdur. Yüksek trafik için ise, rijit üstyapı maliyeti esnek üstyapı maliyetine nazaran daha ucuzdur. Yani trafiğin artışı ekonomik açıdan rijit üstyapıyı avantajlı hale getirmektedir. Ancak, üstyapı seçimi yapılırken teknik ve ekonomik parametreler birlikte dikkate alınmalıdır. Parametrelerin tek olarak değerlendirilmesi, en uygun çözüm için yetersizdir.
- Karayollarında yalnızca esnek üstyapı uygulanması, rijit üstyapıya yer verilmemesi hatalı olur. Beton yol teknolojisindeki gelişmelerden yararlanılmalı, üstyapının temel ve kaplama tabakalarının değiştirilmesinin gerektiği koruma çalışmalarında, yeni yol ve otoyol

yapılmasında rijit üstyapı seçeneği mutlak surete dikkate alınmalıdır. Ayrıca, iklim koşulları nedeniyle bitümlü kaplama uygulamasında başarısızlığa uğranılan bölgelerde rijit üstyapıyla sorunun çözülmesi mümkündür. Fakat don etkisi bakımından iklim koşullarının hafifi olması durumunda trafik değeri ne olursa olsun esnek üstyapı daha ekonomik olmaktadır. Ancak her yeni tekniğin sunulmasında, her düzeyden personelin en iyi ve yoğun şekilde eğitimi ve ilgili bütün bölümler (yönetim, müteahhitler, laboratuvarlar ve endüstri) arasındaki koordinasyonu ve bilgi alışverişini sağlayan bir politikanın varlığı şarttır. Beton kaplama tekniğinin seçimi bir kalite politikası seçimi demektir.

2.3. Beton yolların tasarımı

Beton yollar genellikle taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşur. Bazı hallerde beton kaplama ile taban zemini arasına kaplama altı (temel altı) ve seçme malzeme tabakaları konur. Beton yolların projelendirilmesinde amaç, analiz süresi boyunca, üzerinden geçen trafiği büyük deformasyonlara, çatlamalara maruz kalmadan, güvenli bir şekilde taşıyabilecek beton plağın ve diğer tabakaların kalınlıklarının belirtilmesi ve üstyapıda kullanılacak malzemelerin özelliklerinin saptanmasıdır. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen yükleri tabanın deforme olmayacağı bir düzeye indirerek tabana iletmektir. Bu durum betonun rijitliğinden yararlanma sonucunu doğurur. Beton yolların (rijit yol üst yapılarının) tasarımında, trafik, iklim koşulları, taban zemininin taşıma gücü, beton plağın mekanik özellikleri, yolun ekonomik hizmet ömrü ve yoldan beklenen hizmet kalitesi gibi proje faktörleri dikkate alınır. Burada rijit yol üstyapıları için geliştirilen aşağıdaki projelendirme yöntemleri üzerinde durulacaktır [34-46].

- Belçika Yol Araştırmaları Merkezi
 - o Analitik Tasarım Yöntemi

- o Katalog Yöntemi
- Amerikan Devlet Karayolları ve Ulaştırma Görevlileri Birliği
 - o Analitik Tasarım Yöntemi
 - o Katalog Yöntemi

2.3.1. Belçika Yol Araştırmaları Merkezince Geliştirilmiş Tasarım Yöntemleri

Belçika, karayolu ağında yüksek oranda beton yol kullanan ülkelerdendir. Beton yollar derzli (kesintili plak) ve sürekli betonarme (kesintisiz plak) yollar olmak üzere, birbirinden farklı iki tipte uygulanmaktadır. Belçika Yol Araştırmaları Merkezinde, 20 seneyi aşan bir süre, araştırma çalışmaları, üstyapının düşey projelendirilmesine ayrılmıştır. Bu çalışmalar sırasında, üstyapıyı değerlendirme ölçütleri (çatlak ve kalıcı deformasyonlar), taşıtlar, trafik, malzemelerin özelliklerini etkileyen iklim koşulları (nem oranı değişimi ve sıcaklık değişimi), gerilme ve şekil değiştirme hesaplama yöntemleri ve malzemelerin mekanik özellikleri dikkate alınarak iki tip projelendirme yöntemi geliştirilmiştir.

Analitik Yöntem

Bu yöntemde üst yapı kompozisyonu, öngörülen servis ömrü boyunca, taban zemininde stabilize yetersizliği olmayacak, beton kaplamada yorulma sebebiyle aşın çatlama oluşmayacak şekilde saptanır.

Katalog Yöntemi

Basit ve hızlı olan bu yöntemde tasarım için değişik tip üstyapı kataloglarından yararlanılır.

2.3.2. AASHTO 86 Tasarım Yöntemi

Bu, analitik – ampirik bir yöntemdir. Araştırmacılar, analitik metotla modelleşmeyen bazı faktörlerin üstyapı performansında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu sebeple analitik modellerin, performans gözlemleri ve ampirik bağıntılarla kalibrasyonu gereklidir. Bu zorunluluk analitik – ampirik yöntemlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, analitik – ampirik yöntemler gerçeğe daha yakın, daha başarılı yöntemler olmaktadır. AASHTO 1972 rehberinde analitik yöntem kullanılmamıştır. AASHTO 1986 rehberinde ise söz konusu yöntemden dolayı olarak yararlanılmıştır.

Bunlar:

- o Yük nakli ve drenaj katsayısı,
- o Resilient modülüdür
- o

Böylece malzemeler hemen hemen (yan) elastik modül ile temsil edilebilmiştir.

$$\log_{10}(W_{18}) = Z_R \cdot S_o + 7,35 \cdot \log_{10}(d+1) - 0,06 + \log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,5-1,5} \right] + \frac{1}{1 + \frac{1,624 \cdot 10^7}{(d+1)^{8,46}}} + (4,22 - 0,32 \cdot p_t) \cdot \log_{10} \left[\frac{S_c' \cdot C_d \cdot (d^{0,75} - 1,132)}{215,63 \cdot J \cdot \left[\frac{d^{0,75} - 18,42}{(E_c / k)^{0,25}} \right]} \right]$$

Şekil 2.5. AASHTO 86 yönteminde kullanılan "Deney Yolu Denklemi"

Rijit üstyapı tasarımı için aşağıdaki veriler gereklidir:

2.3.3. Performans Ölçütü – Servis Yeteneği

Yollarda, başlangıç servis yeteneği indeksi (pO), takviye tabakası yapılacağı tarihe kadar, yani performans periyodu sonuna kadar geçen zaman içinde, trafik yüklerinin ve çevre koşullarının neden olduğu bozulmalar sonucu son servis yeteneği indeksine (pt) düşer.

2.3.4. Zaman Kısıtları

Üstyapı tasarımı için "Performans Periyodu" nun ve "Analiz Periyodu" nun seçimi gereklidir.

2.3.5. Performans Periyodu

Yolun hizmete açıldığı tarihten ilk takviye tabakası yapılacağı tarihe kadar geçen süreyi veya birden fazla takviye yapılmışsa, takviye işlemleri arasındaki süreleri belirtir. Başka bir deyişle, yol üstyapısının başlangıç servis yeteneği indeksinden seçilen son servis yeteneği indeksine düştüğü ana kadar geçen süreyi ifade eder, Tasarımcı, performans periyodunun en küçük ve en büyük değerlerini, karayolu ile ilgili kurumların geçmiş deneyimlerinden yararlanarak tespit etmelidir. Bu arada, performans periyodunun bakımların seviyesinden ve türünden etkilenebileceğini dikkate almalıdır. Minimum performans periyodu, üstyapının hizmet kalitesinin biteceği en kısa süreyi ifade eder. Örneğin, başlangıçtaki üstyapının, büyük iyileştirmelerden, takviyelerden önce en az 10 yılsonunda tükenmesi istenir. Maksimum performans periyodu ise kullanıcının, öngörülen servis derecesine göre bekleyebileceği en uzun süreyi ifade eder. Örneğin, deneyimler, 20 yıl için projelendirilmiş bir üstyapının, başlangıçtan itibaren 15 yıl içinde iyileştirme

veya yüzey yenilemesi gerektiğini göstermiştir. Bu zaman periyodu sınırlaması çevre etkileri ve trafik yüklerine bağlı olarak servis yeteneği indeksinin düşmesinin sonucu olabilir. Verilen üstyapı türü için uygulanabilir periyodu seçmek çok önemlidir.

2.3.6. Analiz Periyodu

Performans periyotlarının toplamı olarak ifade edilebilir. İlk performans periyodu ile devamında yapılan bir veya daha fazla takviyeyi içerir. Geçmişte analiz periyodu genellikle 20 yıl olarak seçiliyordu. Kazanılan deneyimler üstyapı ömrünün 20 yıldan fazla olduğunu göstermiştir. Bu durum analiz periyodunun uzatılması sonucuna götürülmüştür.

2.3.7. Çevresel Etkiler

Çevre, üstyapı performansına birkaç yolla etki edebilir. Sıcaklık ve nem değişiklikleri gerilmeler üzerinde, dengenin sağlanmasında yük taşıma kapasitesinde ve taban zemini malzemesinde etkiler meydana getirebilmektedir. Diğer ana çevresel etkiler de taban zemini şişmesi, üstyapı şişmesi, don kabarması, dağılmalar vb. gibi doğrudan oluşan tesirler seyir kalitesinde ve seriş yeteneği indeksinde kayıplara sebep olur. Taban zemini şişmesi ve don kabarmasının tesirinin değerlendirilmesi gerekmiştir. Bu değerlendirme AASHTO yöntemi içinde ele alınmıştır. Servis yeteneği indeksi kaybının belli oranını oluşturan taban zemini şişmesi ve don kabarması olayları potansiyel etkisi olan önemli bir çevresel faktördür. Şişme, taban zemininin nemi emerek genişlemesi şeklinde olur. Hacim değişikliği meydana gelir. Nemi emmesinin azaltılabilmesi drenaj sisteminin etkili olmasıyla mümkündür. Ancak bu şekilde taban zemini şişmesi azaltılabilir. Don kabarması da taban zemininde birikmiş nemin donması sonucu hacim değişikliğinin oluşmasıyla meydana gelir. Bu hacim değişikliği homojen bir şekilde olmadığından kaplama tabakasında bükülmeler, bozulmalar

oluşturur. Yüzeysel olarak görülebilen bu kabarmalar da taban zemini şişmesinde söylendiği gibi etkili bir drenaj sistemi ile azaltılabilir. Diğer etkili bir yöntemde, üstyapının taban zemininde yeterli bir kalınlıkta dona hassas olmayan malzemeden oluşan bir tabakayla yalıtımı ile mümkündür. Yalnızca don kabarmasına karşı tedbir almak yeterli değildir. Ayrıca çözülmeden kaynaklanan zayıflıklar da yok edilmeli veya azaltılmalıdır. Hem taban zemini şişmesi hem de don kabarması servis yeteneği kaybını artırıcı bir etki yapar, bunun sonucunda erken takviye tabakası yapmak gerekir. Bundan dolayı yapım yönteminde bu etki dikkate alınmış ve işleme katılmıştır. Trafik ve bu çevre etkileri sonucu üstyapının başlangıç servis yeteneği indeksinde azalma görülür.

2.3.8. Boyuna Donatı Tasarımı

1) Aşama:

Tasarım verilen, tasarım ölçütleri ve bunlara göre Şekil 5,4 vb, de verilen Tasarım Çizelgeleri kullanılarak hesaplana minimum ve maksimum donatı oranları tabloya işlenir. Minimum donatı %0,40'dan az olmamalıdır.

2) Aşama:

Eğer $P_{max} \Rightarrow P_{min}$ ise üçüncü aşamaya geçilir. Eğer $P_{max} < P_{min}$ ise aşağıdaki işlemler yapılır. Tasarım verilen tekrar gözden geçirilir ve hangi verinin düzeltilmesi gerektiğine karar verilir.

3) Aşama:

Gerekli çubuk veya tel sayısının alt ve üst sınırı saptanır.

$$N_{min}: 0,01273 \cdot P_{min} \cdot W_s \cdot d / O^2$$

$$N_{max}: 0,01273 \cdot P_{max} \cdot W_s \cdot d / O^2$$

Burada:

N_{min} : Çubuk veya tel donatının gerekli min sayısı

N_{max} : Çubuk veya tel donatının gerekli max sayısı

P_{min} : Gerekli mm çelik donatı oranı

P_{max} : Gerekli max çelik donatı oranı

W : Üstyapı kesitinin toplam genişliği (inç)

d : Beton tabakanın kalınlığı (inç)

O : Çelik çubuk ve tel donatının çapıdır.

4) Aşama:

Sonuç çelik donatı tasarımı, sonuç tasarım kesitindeki çubuk veya tel donatının toplam sayıları seçilerek yapılır. Tasarım, N_{min} , N_{max} ve arasındaki bütün tam sayılardır. Bu tam donatı sayılan (çubuk veya tel halinde) kullanılarak çelik donatı oranı bulunur ve "çatlak aralığı", çatlak açıklığı (genişliği) ve çeliğin hesap gerilmesi tasarım eğrileri geriye doğru kullanılarak kontrol edilir.

2.3.9. Enine Donatı Tasarımı

Taban zeminin sıcaklık ve nem değişimine bağlı olarak büyük değişiklikler gösterdiği ve boyuna çatlaklara sebep olduğu durumlarda hem derzli hem de sürekli kaplamalarda kullanılır. Enine donatı boyuna çatlakların aşın derecede açılmasını önler, yük naklinin maksimum, su girişinin minimum olmasını sağlar.

2.3.10. Gerekli Plak Kalınlığının Bulunması

Tasarımcı, ekonomik koşulları ve yol yaptıran kurumun diğer isteklerini göz önünde alarak, beton plağın ve alttaki tabakaların kalınlıklarının optimum kombinasyonunu seçebilir. Tabaka kalınlıkları en yakın sayıya (inç'e) yuvarlatılır.

Rijit üstyapı projelendirilmesinde (k) değerine ek olarak aşağıdaki parametrelerin bilinmesi gereklidir.

- o Performans periyodu için, tahmini trafik W18(W8,2)
- o Güvenilirlik (R)
- o Genel standart sapma (St)
- o Servis kabiliyeti indeksindeki kayıp $\Delta PSI = P_0 - P_t$
- o Betonun elastisite modülü (E_c)
- o Betonun kopma modülü (S_c)
- o Yük transfer nakil kat sayısı
- o Drenaj katsayısı (cd)

2.4. Vakumlu beton

2.4.1. Vakumlu Beton Özellikleri

Birçok araştırmacı ve uygulayıcı firma tarafından uzun yıllar yapılan araştırmalara göre vakumlu beton özellikleri aşağıdaki başlıklar altında özetlenmiştir.

Vakumlu betonun avantajları

Genel olarak betona vakum uygulanması beraberinde şu avantajları da getirmektedir. Bunlar;

Ekonomi: Normal şartlarda saha betonlarının daha uzun ömürlü ve daha düzgün bir yüzeye sahip olması istenen yerlerde ikinci bir kaplamaya (tesviye betonu, şap, mozaik vb.) ihtiyaç duyulur. Bu kaplamaların işçilik, zaman, malzeme gibi maliyeti artırıcı faktörleri de vardır. Vakumlu beton ile tek seferde dökülen beton üzerine bu işlemler yapılabilir [62,68].

Monolitik özellik: Betonun tek parça ya da kaplamasız haldeki mekanik dayanımları kaplama yapılmış durumundakinden daha fazla olduğu bilinmektedir. Çünkü kaplama olarak uygulanan malzemelerin birçok zaman aşınmaya, darbeye, donma çözölmeye, erozyona maruz kaldığı ve bununla birlikte bu olumsuz durumların betona geçtiği görölmüştür. Vakumlu betonun monolitik özelliği aynı zamanda çok katlı yapıların döşemelerinde ekonomiklik sağladığı gibi bina ölü yükünü azaltarak ta yapının yatay yüklere karşı dayanımını artırmaktadır [47,52].

Aşınma Dayanımı: Beton yüzeyinin vakumla sıkıştırılması ardından disk ve bıçakla perdahlanması sonucu düzgün bir yüzey elde edilmesiyle normal betona göre aşınma dayanımının 3,5 kat arttığı Chalmers Üniversitesinde yapılan bir araştırma da belirlenmiştir. [47,52].

Özdemir'in (1999) çalışmasında sertleşmiş betona aşındırma deneyi tam boy numunelerin üst yüzeylerine döner aşındırıcı kullanılarak uygulanmış ve vakumlu betonun normal betondan 1,5 kat daha aşınmaya dayanıklı olduğu saptanmıştır [50].

Betonun vakumlanması sonucu belirli bir hacim azalması görölür. Bu hacim azalması sonucu özellikle betonun üst tabakasında oluşabilecek kılcal çatlaklar en aza iner ve su emmesi azalır. Buna bağılı olarak beton donma çözölme etkisinden daha az etkilenir [50].

Basınç dayanımı: Vakumlu beton uygulandığı mekânlarda normal betonun asgari mekanik özellikleri üzerinde % 50'ye varan artışlar sağlamaktadır. Diğer bir deyişle basınç mukavemeti üzerinde 25 Mp'ye yakın bir artış gösterir. 5 günde 28 günlük mukavemet sağlar [52].

Bu özelliklerden de anlaşılacağı gibi betonun boşluksuz, yüzeysel çatlaklarının oldukça az ve geçirimsiz olması servis ömrünün daha uzun olacağını göstermektedir [49,52].

Mekanik dayanımlar

Yapılan literatür araştırmasında Türkiye’de vakumlu betonla yapılan ilk çalışma, 1992 yılında Yüksek İnşaat Müh. Ömer Özdemir tarafından DSI laboratuvarlarında yapılan çalışmadır. Yapılan çalışmada 15x15x15 cm ebatlarındaki küp kalıplar üzerinde yapılmıştır. Çalışmada dakikada 33 lt olan , 0,5 BB gücüne sahip vakum pompası, vakum örtüsü olarak ta bronz elek üzerine giydirilmiş bir örtü kullanılmıştır. Beton numunelerine 15-20 dk. boyunca 55-60 mm civa vakum uygulanmış ve betonun basınç dayanımında artış olduğu saptanmıştır. Yapılan deneylerle ilgili farklı dozajlarda üretilmiş betonun fiziksel değerleri ve farklı zamanlarda alınmış ortalama basınç değerleri Çizelge 2.2’te gösterilmiştir [50,52].

Özdemir (1992) belirttiğine göre Garnett tarafından yapılan çalışmada Çizelge 2.3.’de verilen 0,60–0,74 s/ç oranına sahip vakum işlemine tabii tutulmuştur. Bu betonun 28 günlük basınç dayanımları aşağıdaki gibi elde edilmiştir [52].

Çizelge 2.2. Özdemir (1992) tarafından yapılan vakumlu beton deneyleri ile ilgili bazı fiziksel ve mekanik sonuçları.

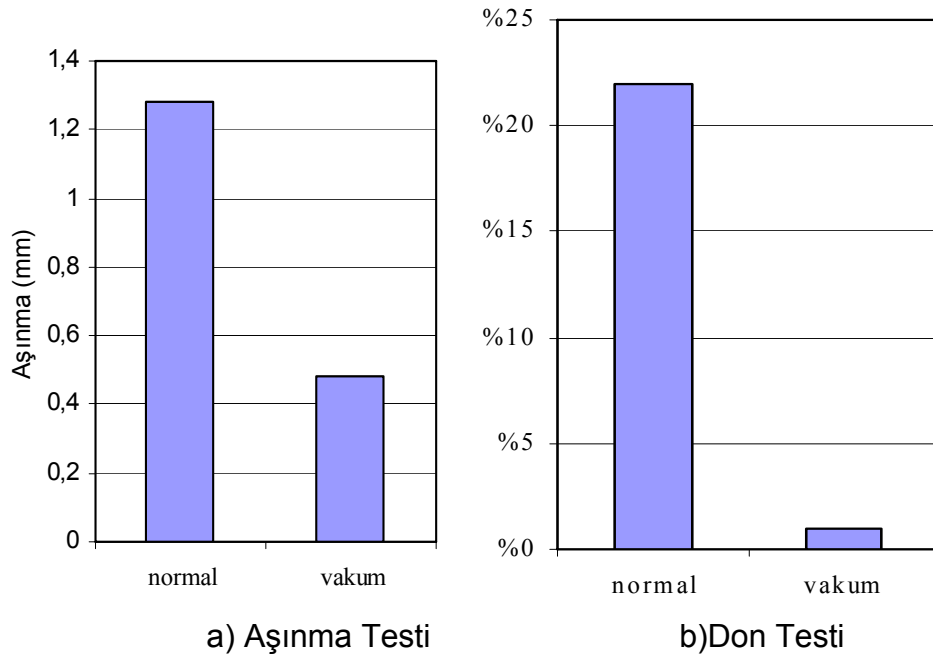
No	doza j	Su miktarı Kg/m3	Çökme değeri (cm)	S/Ç oranı	Vakumla Çekilen su (kg/m3)	Basınç değerleri (kgf/cm2)				
						1.gün	3.gün	7.gün	14.gün	28.gün
1	250	175	8	0,70	23	70	146	176	229	245
2	300	210	20	0,70	41	86	158	196	250	288

Çizelge 2.3. Garnett tarafından yapılan vakumlu beton çalışmasının fiziksel sonuçları.

Vakumdan önceki s/ç oranı	Vakumdan sonraki s/ç oranı	Basınç dayanımı		Basınç dayanımındaki artış %’si
		Referans beton (Mpa)	Vakumlu beton (Mpa)	

0,74	0,68	15,0	22,3	49
0,71	0,59	17,7	23,0	30
0,65	0,57	20,6	27,0	31
0,60	0,55	29,7	32,8	11

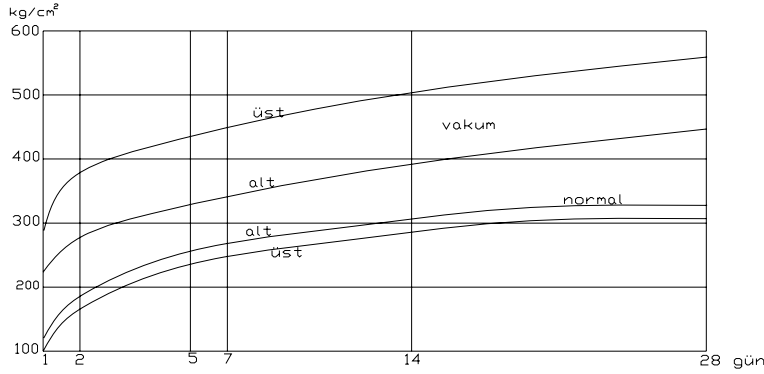
Beton Teknik (2000)'de belirtildiğine göre İsveç Chalmers Üniversitesinde yapılan bir araştırmada, 15 cm'lik küp numuneler halinde hazırlanmış vakumlu ile referans (normal) betonlar “donma ve aşınma” deneylerine tabii tutulmuş. Donma testinde +20 °C ile -15 °C arasında 50 kez ısı şokuna tabii tutularak kayıplar % olarak Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Buna göre; vakumlu beton normal betona göre 23 kat dona ve 3,5 katta aşınmaya karşı daha dayanıklı olduğu belirtilmektedir. Bu değerlerin karşılaştırması grafiksel olarak Şekil 2.6'de görülmektedir [47].



Şekil 2.6. İsveç Chalmers üniversitesinde yapılan vakumlu beton don ve aşınma testi grafikleri

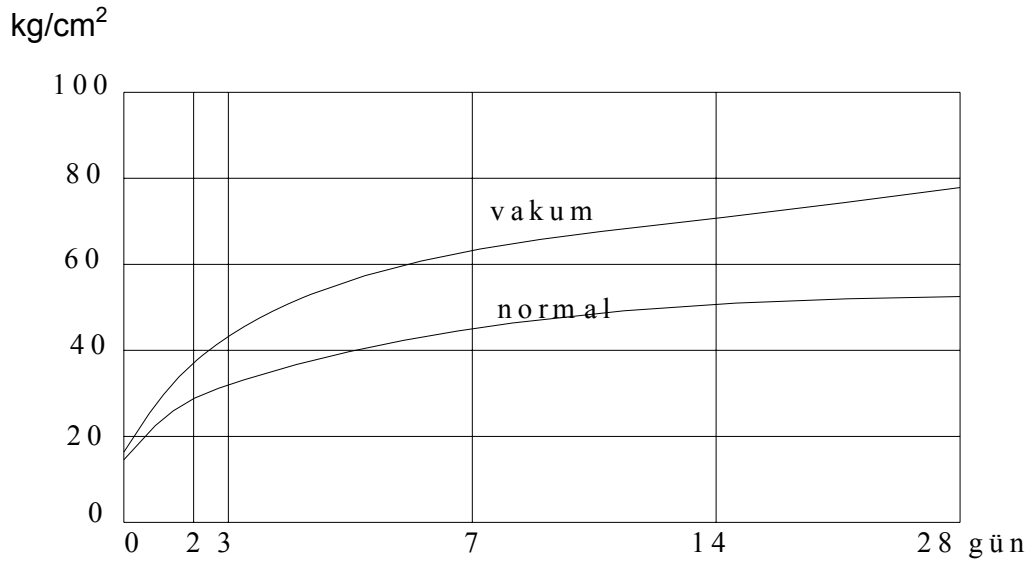
Hanover Üniversitesi tarafından yapılan bir araştırmaya göre de 20 cm'lik vakumlu döşeme betonunun alt ve üst yüzeylerinden alınmış 50 mm

ebatlarında küp numune basınç dayanımlarının normal betonla karşılaştırılmıştır. Buna göre vakumlu döşeme betonunun üst tarafı daha dayanıklı çıkmıştır. Deney sonrası elde edilen sonuçların grafikleri Şekil 2.7'de görülmektedir [52,53].



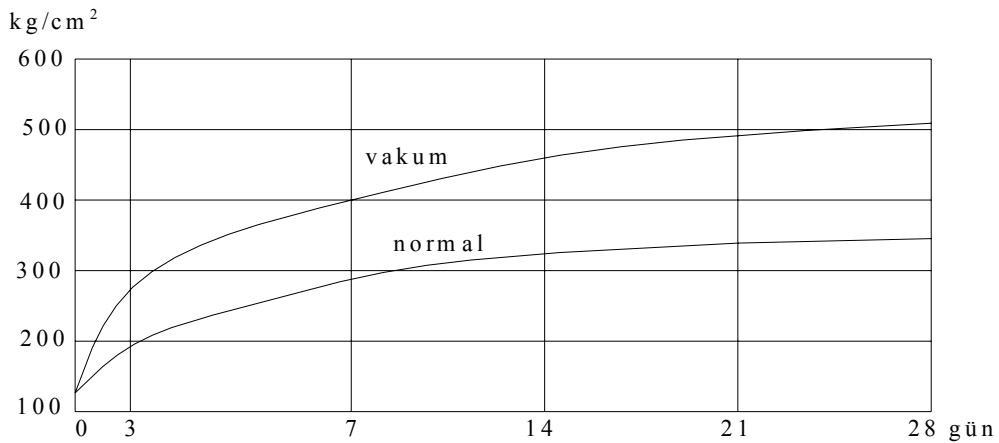
Şekil 2.7. Hanover üniversitesinde yapılan vakumlu beton ve normal beton alt üst mukavemet testi sonuçları

Philadelphia tarafından 350 kg/m^3 çimento dozajı ve 0,52 s/ç oranına sahip betonla yapılan araştırmada vakum uygulanmış ve uygulanmamış prizma numuneler üzerinde yapılan çekme dayanımı deneylerinde; Vakumlu beton çekme dayanımlarında, diğer numunelere oranla; 1 günlük numunelerde % 46, 3 günlük numunelerde % 41, 7 günlük numunelerde % 36, 14 günlük numunelerde % 34 ve 28 günlük numunelerde % 32 artış olduğu saptanmıştır. Elde edilen sonuçların grafiği Şekil 2.8'de görülmektedir [50].



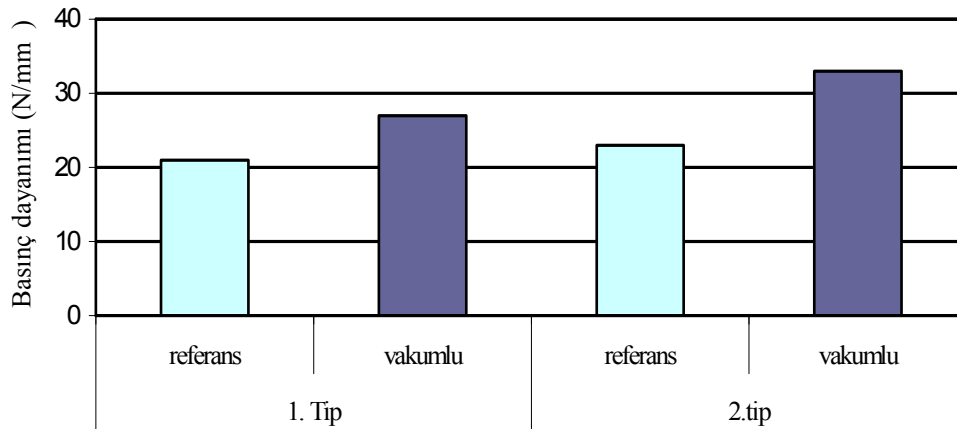
Şekil 2.8. Philadelphia tarafından yapılan vakumlu beton eğilme mukavemeti deney sonuçları

Amerikan Toprak İskan Kurumu tarafından yapılan araştırmaya göre de vakumlu betonun erken priz aldığı ve basınç dayanımında % 40 artış olduğu saptanmıştır. Bu araştırma sonuçlarının basınç dayanımının kırılma (test) günü ilişkisi Şekil 2.9.'deki grafikte görülmektedir [47,52].

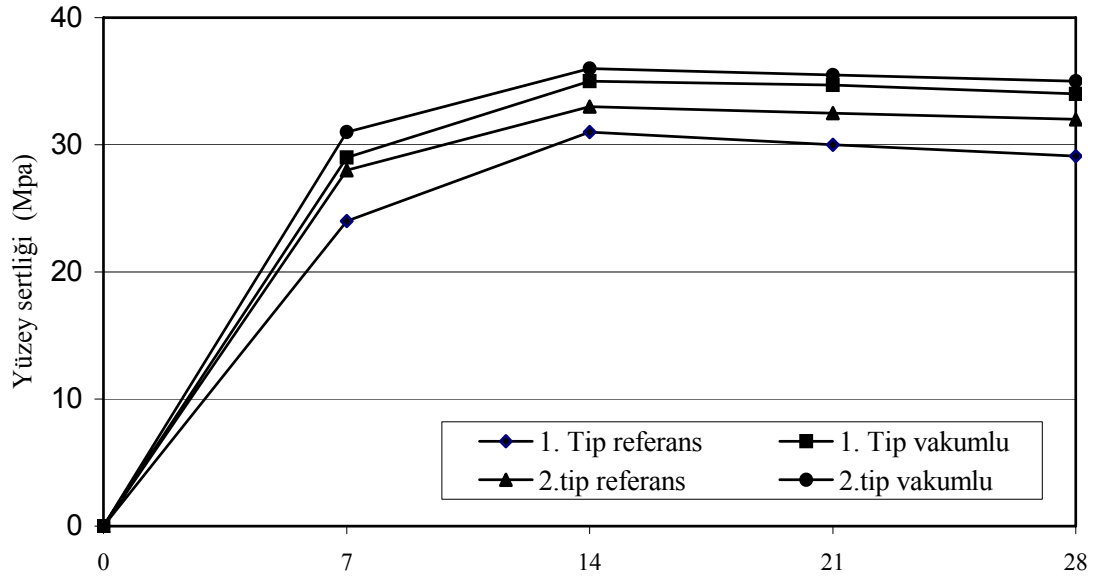


Şekil 2.9. Amerikan Toprak İskan Kurumu tarafından yapılan vakumlu beton basınç mukavemeti deney sonuçları

Yamaguchi ve Muramatsu (1999)'nın C18 beton sınıfına sahip, maksimum tane çapı 20 mm olan agregaların kullanıldığı normal ve vakumlu beton üzerine yaptıkları çalışmalarda, alanlara plastik ayırıcı tabaka serilerek iki tip beton alanı hazırlanmış. 1.tip alana dökülen betonun çökme değeri 18 cm, 2.tip alana dökülen betonun çökme değeri 8 cm çıkmıştır. 1.tip beton döküldükten sonra yüzey el mastarı ile düzeltilip perdah makinesi ile perdahlanmıştır. 2.tip beton döküldükten sonra yüzey mekanik master ile düzeltilip riding (üzerine binilen) perdah makinesi ile perdahlanmıştır. Her iki tip betonun yarısı referans beton olarak kullanılması için vakum işlemi yapılmamış. Bu betonların mastarlama işlemi beton döküldükten 3 saat sonra, perdahlama işlemleri de 7 saat sonra tamamlanmıştır. Diğer betonlara ise beton döküldükten 2,5 saat sonra vakum uygulanmış ve yüzey işlemleri 5 saat sonra tamamlanmıştır. Beton alanlarından basınç dayanımı ve aşınma tayini için 28 gün sonra karot numuneler alınmış ve 56 gün sonra deneylere tabi tutulmuş. Su emme ve foto analiz için de numuneler 1 yıl sonra alınmıştır. Yüzey sertliği deneyinde Schmidt beton çekici 30mm aralıklarla 20 vuruş yapılarak kullanılmış. Basınç dayanımı deneylerinde de referans ve vakumlu bölgelerden 3'er adet alınan çapı 100 mm yüksekliği 130 mm olan karot numuneler kullanılmış. Basınç dayanımı değerleri Şekil 2.10'te, yüzey sertliği değerleri de Şekil 2.11'de gösterilmiştir [51].

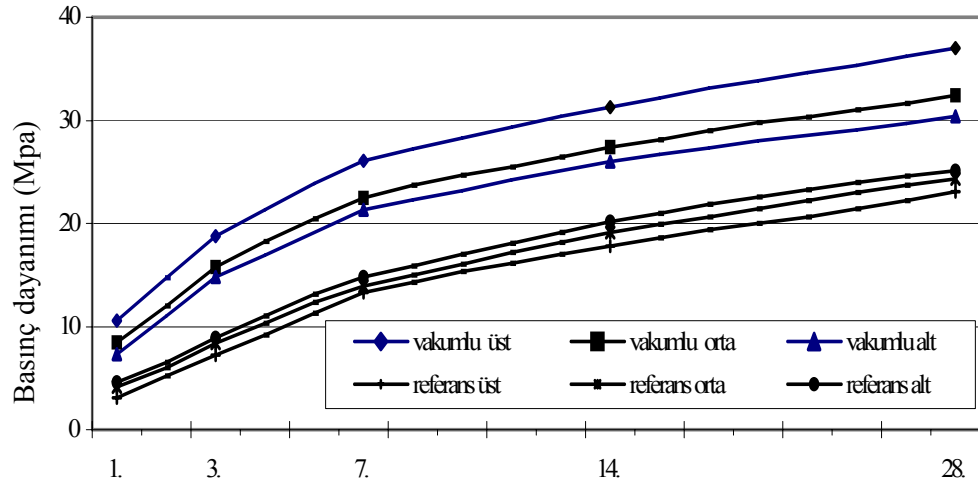


Şekil 2.10. Yamaguchi ve Muramatsu tarafından 56 gün sonra yapılan basınç deneyleri sonuçları

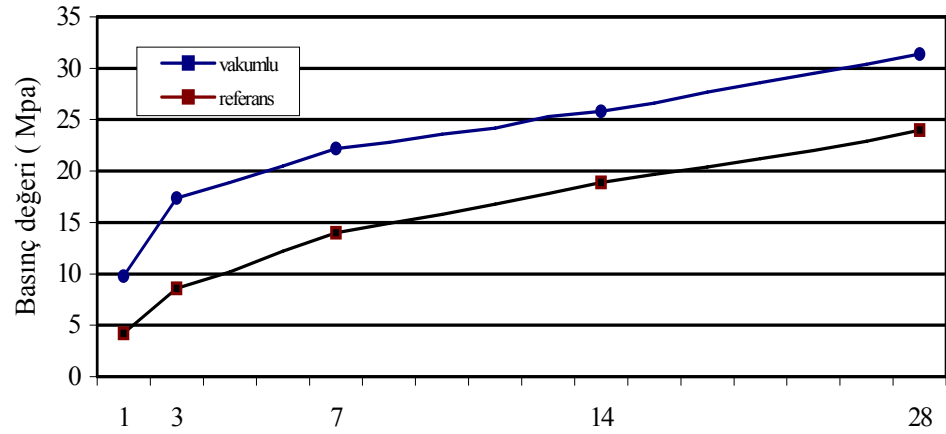


Şekil 2.11. Yamaguchi ve Muramatsu tarafından yapılan yüzey sertliği deneyleri sonuçları grafiği

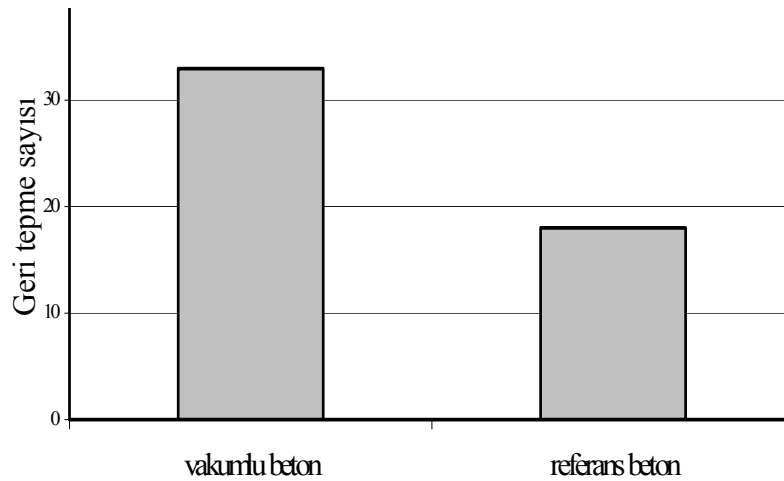
Özdemir (1999) KÇ 32,5 çimentosu, tane çapı maksimum 32 mm olan agrega kullandığı başka bir çalışmada referans ve vakumlu betonları tam boy ve yarım boy olarak incelemiştir. Çalışmada yüksekliği 300 mm, çapı 150 mm olan silindir numuneler kullanılmış. Basınç dayanımı deneyi 1, 3, 7, 14, 28'inci günlerde tamboy numunelere ve yarım boy numunelerin alt, orta, üst bölgelerine uygulanmıştır. Sonuçlar, Şekil 2.12 ve 2.13'de gösterilmiştir. Yüzey sertliği deneyi de 28 günlük tamboy silindir numunelerin üst yüzeyine Schmidth çekici vurularak yapılmıştır. Sonuçlar Şekil 2.15'de gösterilmiştir. Buna göre vakumlu beton yüzey sertliği referans betondan %46 daha fazla çıkmıştır [48].



Şekil 2.12. Özdemir (1999) tarafından yapılan yarım boy vakumlu ve referans betonun basınç dayanımı yaş ilişkisi grafiği

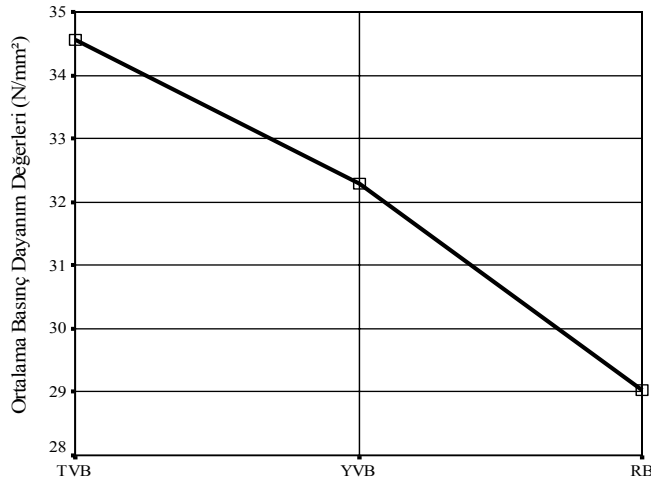


Şekil 2.13. Özdemir (1999) tarafından yapılan tam boy vakumlu ve referans betonun basınç dayanımı yaş ilişkisi grafiği



Şekil 2.14 Özdemir (1999) tarafından yapılan tam boy vakumlu ve referans geri tepme sayısı grafiği

Tam vakumlu, yarım vakumlu ve referans betonların üzerine yaptığı aynı çalışmada tahribatlı deney metodu da uygulayarak, betonların dökümünden bir yıl sonra basınç dayanımlarını ölçmüştür. Buna göre, betonların basınç dayanımları, alınan karotların preste kırılması ile belirlenmiş, ortalama basınç dayanım değerleri grafik haline dönüştürülerek anlaşılmıştır (Şekil 2.15) [52]



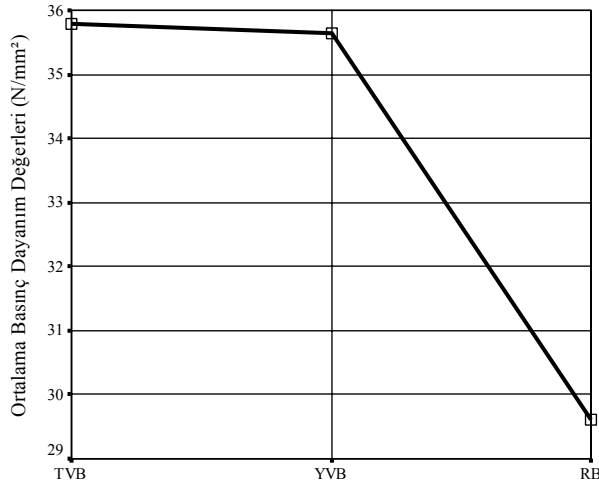
Şekil 2.15. Tam vakumlu (TVB), yarım vakumlu (YVB) ve referans (RB) betonlardan karotlar alınıp preste kırılarak belirlenmiş ortalama basınç dayanım değerleri grafiği

Erdal (2002) aynı araştırmasında tam vakumlu, yarım vakumlu ve referans betonların dökümünden bir yıl sonra, Schmidt Çekici Yüzey Sertliği İle Beton Basınç dayanımlarını ölçmüştür. Yüzey sertliği deneyinde; 0.225 kgm darbe enerjisi olan geri tepmeli çekiç (Schmidt çekici) kullanılmıştır. Schmidt çekici ile, 3 farklı uygulama yapılmış olan her beton blok üzerinde 200 adet okuma gerçekleştirilmiştir. Deneyler sonucunda basınç dayanım değerleri, N/mm² olarak belirlenmiş ve deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge

2.4’da verilmiş, ortalama basınç dayanım değerleri, Şekil 2.16’de grafik haline dönüştürülerek anlaşılmıştır[54]

Çizelge 2.4. Betonların Schmidt çekici testi basınç dayanım değerleri tablosu

Beton Türü	Numune Sayısı	Ortalama (N/mm ²)	Standart Sapma	Minimum Değer	Maksimum Değer
TVB	200	35.7965	3.0205	29.90	43.10
YVB	200	35.6485	3.0515	29.90	43.10
RB	200	29.6045	3.1117	23.10	37.10
Toplam	600	33.6832	4.2044	23.10	43.10



Şekil 2.16. Tam vakumlu (TVB), yarım vakumlu (YVB) ve referans (RB) betonların Schmidt çekici test yöntemiyle belirlenmiş ortalama basınç dayanım değerleri grafiği [54].

Betonun işlenebilirliği

Vakum uygulanacak betonların işlenebilirliğinin fazla olması tercih edilir. Bunun için betonun işlenebilirliğini azaltıcı faktörlerden kaçınılmalıdır. Betonun işlenebilirliği Abrams konisi çökme deneyi ile ölçülür. < 0,55’lik bir s/ç oranı mecburi olup çökme artışı akışkanlaştırıcı ile elde edilmesi

gereklidir. Akışkanlaştırıcı katılmadan önce beton en az +7 cm'lik bir çökme değerine sahip olmalıdır. Betona akışkanlaştırıcı ilavesi ile çökme, herhangi bir dinamik sıkıştırma aracı kullanılmadan elle dökülen beton için 15 ila 25 cm, mekanik araçlar kullanılarak teçhizatla (Laser screed, vibrasyonlu master) dökülen beton için 7 ila 10 cm arasında tutulmalıdır [47]

Farklı oturmalar

Sıkıştırılabilirliği yüksek olan zeminlerde veya uzun süreli olan işletme yüklerinin genellikle rasgele yerleştirilmesi ile zemine oturan plaklarda düzgün olmayan kırılma, çatlama, oturma gibi durumlar görülebilir. Bunların önlenmesi şu metotlar uygulanabilir [53];

Zeminin yeteri kadar stabilize edilmelidir. Zemin suyunun seviyesindeki değişimler, zemindeki kırılma ve çatlamların betona geçebilme ihtimali, zemin ile betonun karışması ve betondaki suyun çekilmesi durumlarına karşı zemin ile dökülecek beton arasına ayırıcı bir örtü yerleştirilmesi

Çok geniş alana yada uzunluğa sahip beton plakaların vakumlamadan sonra gerek zemin problemlerinden gerekse döşemenin kendi ağırlığı yada üstten gelebilecek ağır yükler nedeniyle en fazla 10 metrede bir kalınlığının üstten 1/3'ü kadarı kesilmelidir.

Bunların yanı sıra döşeme derzleri arasındaki mesafeyi azaltmak suretiyle oturma farklılıklarının sebep olduğu eğilme gerilmesi artışlarını en aza indirmek gerekir. Bu uygulama, bütün döşemenin kırılmadan, altındaki zeminin deformasyonuna imkan veren derzlerle aynı hizada eksenler teşkil eder. Vakum uygulanacak betonun çelik tel takviyeli olması da betonun sünekliğini artırarak eğilmeye karşı mukavemetini artırır ve kırılmalar azaltılabilir. Özellikle beklenen farklı oturmalar ve kullanıcının işletme şartlarını dikkate alarak döşemenin elverişliliğinin sağlanması tasarım açısından mühendis yada mimara kalmış bir durumdur. Binanın derin

temeller (kazıklar) üzerinde bulunduğu uygulamalarda, döşemenin oturmadan sonra, üstüne dayanacağı sert noktaların tesirinin önlenmesine dikkat edilmelidir [47,52].

2.4.2. Vakumlu beton uygulamaları

Vakumlu beton özellikle donma çözülme gibi hava şartlarına direkt maruz kalan, erken dayanım istenen, çok ağır yüklerin etkisinde kalan, her zaman için aşınma etkisinde kalabilecek ve vakum örtüsü ile üzeri örtülebilecek kadar alana sahip plaklarda kullanılır. Bu yapılardan bazıları şunlardır [63]:

Ağır iş makinelerinin çalıştığı, aşırı titreşimin olduğu fabrika ve depolar

- Beton karayolları
- Saha betonları
- Benzin istasyonları
- Havaalanları
- Kat döşeme betonları
- Bina şap betonları

Vakum uygulaması beton üst yüzüne veya yan yüzüne yapılabilir. Üst yüzüne uygulanan vakumdan daha fazla su çekilir. Her iki yöntemde de betona vibratör uygulaması gerekir. Betonun su/çimento oranının yüksek olmasıyla daha fazla su çekilebilmektedir. Vakum örtüsünün temas ettiği yüzeyde su/çimento oranı 0,16–0,3 arasında azaltılabilir [53].

Vakumlu beton uygulaması Türkiye’de yakın bir geçmişe sahiptir. Böyle bir yöntemin en olumlu sonuçları verebilmesi için uygulamada kullanılan betonun bazı özelliklere olması gerekmektedir [47,52].

Betonda su/imento oranı yüksek olmamalıdır. Bu s/ oranı ile yeterli işlenebilirliği sağlanmıyorsa işlenebilirliği artırıcı katkı maddeleri kullanılmalıdır.

Rtrenin zararlarını azaltmak için lüzumundan fazla veya inceliği yüksek imento kullanılmamalıdır.

İri agrega miktarı maksimum olmalıdır.

Beton yüzeyinde oluşabilecek rötre çatlaklarını minimuma indirmek için 1m³ betona 750 gr. polipropilen lifler katılabilir.

Vakum uygulanacak betonlarda beton dökülmeden önce bazı hazırlıkların yapılması gerekir. Bunlar; beton dökülecek zemin stabilize edilmesi, stabilize edilmiş zeminin üzerine ayırıcı tabaka (muşamba) serilmesi, kalıplama, beton dökümü, vakumlama, perdahlama ve krdr [50].

Ayırıcı tabaka

Vakum uygulanacak beton, zemine dökülmeden önce bazı işlemler yaparak zeminin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu iyileştirme işlemleri betonun stabilize zemine döküleceği ya da başka bir beton tabakanın üzerine döküleceği zamanlar yapılır. Yapının ara kat döşemelerinde bu işlemler yapılmaz. Beton dökülecek zeminde olması gereken özellikler ve bu zemin üzerinde yapılacak iyileştirme işlemleri çeşitli yöntemlerle oluşturulur. Beton dökülecek zemin mümkün olduğunca stabilize edilir [47].

Alt zeminden gelebilecek kılcal çatlakların, çökmelerin, kırılmaların, yüzeysel faktörlerin etkilerini, alt zemin ile karışımını ve betonun zamanla mukavemetini kazanabilmesi için gerekli olan suyun alt tabakaya geçerek kaybolmasını önlemek için yeni dökülecek beton ile zemin arasına ayırıcı bir tabaka serilir. Bu rt aynı zamanda iki tabaka arasındaki sürtünmeyi,

zeminde veya yüzeyinde mevcut korozyon yapıcı maddelerin etki etmelerini de engeller. Örtü yırtılmaya ve delinmeye dayanıklı, kalınlığı en az 0,2 mm olan polietilen (nylon) örtü tek veya çift katlı olarak kırıksız bir şekilde serilmelidir. Oluşabilecek kırışıklıklar bazen beton dökümü esnasında betonun içine girebilmekte ve özellikle basınç dayanımına önemli etki etmektedir. Eğer transmikserden veya damperli kamyonla boşaltma yoluyla dökülüyorsa araçların hareketi sebebiyle yerinden oynayabilecek olan polietilen örtünün doğru yerleştirilmesine dikkat edilmelidir. Beton pompayla sevk ediliyorsa bağlantı kelepçelerinin örtüyü yırtmasını önlemek için pompalama boruları ahşap takozlar üzerine yerleştirilmelidir [63,66,68].

Belli bazı epoksi reçine kaplamaları su buharına karşı çok hassas olup döşeme altında gerçek bir su tutucuya (bağlanmış, alüminize edilmiş, temiz beton üzerine dökülmüş ve bindirmesi yapılmış asfalt sızdırmazlık elemanı) ihtiyaç gösterirler. Bu sebeple döşemenin inşasından önce kaplamaya ait uygulama tavsiyelerinin bilinmesi gerekmektedir [55].

Beton kalıbı

Betonda meydana gelebilecek sehim veya titreşim onarılması güç bozulmalara neden olabilmektedir. Bu yüzden kalıbın güvenliliğinden emin olunması gereklidir. Bu güvenin sağlanması için kalıplamada bazı hususlara dikkat edilmelidir [47,50,52].

Titreşimli master ve vibratörün kullanıldığı vakumlu beton uygulamalarında kalıp ve kalıplama, sonucu etkileyecek en önemli etkenlerden biridir. Çok az problemlili bir döşeme için çelik kalıp sistemleri kullanılmalıdır.

Çelik kalıp uygulanacaksa bu mutlaka pratik, hafif dikine ve enine sabitlenebilir olmalıdır. Boyuna merkezleme pimi mutlaka kullanılmalıdır. Kalıplar her kullanıldıktan sonra temizlenerek kalıp yağı ile yağlanmalıdır. Kalıplar kurulduktan sonra kotları mümkünse nivo ile kontrol edilmelidir.

Beton dökümü

Vakum uygulanacak betonun dökülmesinde bazı hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir.

Bunlar;

- Eski betonla taze betonun temas edebileceği duvar kenarları, kolon kenarları vs. gibi yerlere 5 mm kalınlığında stropor veya en azından naylon konulmalı.
- Bu ayırıcı tabaka alt zeminin en yüksek noktasından minimum 80 mm yüksekliğinde kotlar alınarak taşıyıcı tabaka betonu naylon üzerine serilmelidir.
- Betonda vibratörler aracılığıyla homojen sıkıştırılmış doku sağlandıktan sonra vibrasyonlu masterlarla düzeltilir.
- Ano ve şerit planlamasını betonun kolay alınacağı biçimde planlanmalıdır. Şeritlerin planlanması alt zeminde bulunan yalancı derzlere dik biçimde olmalıdır.
- Beton sıkıştırılarak, sürekli bir şekilde, zaman aralıkları olmadan dökülmelidir. Vibrasyonlu master kalıp üzerine ya da beton üzerine yerleştirilir ve çalıştırılır. Daha sonra yavaş yavaş çekilerek beton yüzeyi düzgünce masterlanır.
- 15 cm. den kalın betonlarda iç vibrasyon kullanılmalıdır. Genellikle yüzeysel vibrasyon yapan vibrasyonlu masterlar vakumlu betonda yeterli olmayabilir.
- Beton dökülen yerde hava akımlarının olmamasına dikkat edilmelidir. Döşemenin bir tarafından diğer tarafına esen kuru rüzgar (15 km/h'de buharlaşma durgun havadaki 4 katıdır); bundan dolayı döşemelerin etrafı rüzgara karşı korunmalıdır [56,57].

Betona vakum uygulanması

Beton yüzeyine gerekli düzeltme işlemleri yapıldıktan sonra vakum örtüsü serilir. Örtünün tam ortası çapı 3-4 cm olan bir hortum bağlanacak şekilde delik bırakılmıştır. Bu delik ile vakum pompası arasına çekilen suyun dağılmaması için bir hortum sabitlenir. Vakum pompası çalıştırılarak çıkan su pompanın diğer ucundaki tahliye borusundan atılır. Bu örtü birkaç kat filtreden oluşmuş olup serildiği bütün taze beton alanından homojene yakın miktarlarda işlenebilirlik suyunu vakum yoluyla çeker. Vakum örtüsünün serilmesi ve vakumlama da dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar;

Masterlanmış beton yüzeyinin üzerine filtreli vakum örtüleri dış kenarlardan 10-15 cm içeride olacak şekilde yerleştirilir. Filtreli örtüler yanlardan birbirleri üzerine 5-10 cm bindirilir. Üst örtü bütün beton alanını kaplayacak şekilde üste serilir. Kenarlardan vakum kaçağını önlemek için bir tahta mala ile buralar bastırılır. Vakum pompası ve vakum örtüsü arasına vakum hortumu bağlanır. Vakum vanası bir miktar açılarak vakum pompası çalıştırılır. Vakum uygulama süresi hava ısısına, rüzgara, beton kalınlığına bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bu sebeple vakumlama, betondan çekilen suyun atıldığı vakum pompasının tahliye borusundan su yerine buhar çıkana kadar devam ettirilir. Ortaya çıkan buhar ise betonun hidratasyon ısısı ve vakum makinesinin motor ısısıdır [47,50,56,57].

3. Malzeme ve metodlar

3.1. Malzemeler

3.1.1. Beton

Araştırmada hazır beton tesisinden temin edilen C 30 plastik kıvamlı hazır beton kullanılmıştır. Kullanılan betona ait özellikler Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. Çalışmada kullanılan betonun özellikleri

Beton sınıfı	C30
Dmax	22 mm
S/Ç oranı	0.5
Hava içeriği	1.2
Çökme	14 cm

1 m³ beton karışımında kullanılan malzemelere ait özellikler Çizelge 3.2’de, PÇ 42,5 çimentosuna ait özellikleri ise Çizelge 3.3’te verilmiştir.

Çizelge 3.2. İki Karışımında kullanılan malzemelere ait özellikler

Malzeme Bilgileri							
Malzem e Adı	Tip	Kaynak	Özgül Ağ. (Gr/Cm ³)	Ağırlık (Kg)	Hacim (m ³)	Agrega Oranı (%)	Nem Nedeniyle Karışıma Fazla Giren Su (lt)
D. Kum	0-3	-	2.40	0	0.000	0.0	Nem
K. Kum	0-5	TAMTAŞ	2.60	920	0.354	48.7	düzeltilmesi
Mıcır 1	5-15	TAMTAŞ	2.71	400	0.148	21.2	yapılmamıştır
Mıcır 2	15-25	TAMTAŞ	2.74	570	0.208	30.2	
TOPLAM AGREGA (Kg)				1890	0.710	100.0	
Çimento	PÇ 42.5	BAŞTAŞ	3.09	240	0.078	Teorik	Beton İncelik
M.Katkı	U. Kül	TUNÇBİLEK	2.15	50	0.023	Birim	Modülü
						Ağırlık	
K.Katkı (%)	WRDA 90	GRACE	1.18	% 0.50	0.001	2.355	4.26
Su	Kuyu	OSTİM	1.00	173	0.173		
TOPLAM MALZEME (Kg)				2.355	1.000	1.000	

Çizelge 3.3. PÇ 42.5 çimentosuna ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Fiziksel özellikler	
Priz başlangıcı (sa/dk)	01:58
Priz sonu (sa/dk)	02:57
Hacim sabitliği (mm Toplam)	1
Özgül yüzey (cm ² /g)	3642
Mekanik özellikler	
Basınç dayanımı	(MPa)
2. Gün	27
7. Gün	38.5
28.Gün	48
Kimyasal kompozisyon	
SiO ₂ (%)	20.32
Al ₂ O ₃ (%)	5.59
Fe ₂ O ₃ (%)	3.09
CaO (%)	62.50
MgO (%)	1.74
SO ₃ (%)	3.29
Na ₂ O (%)	0.34
K ₂ O (%)	0.91
Kızdırma kaybı (%)	2.73
Çözünmeyen kalıntı (%)	0.61
Serbest CaO (%)	0.93

Kalıplara dökülen betonun 7, 14, 28 günlük basınç ve eğilmede çekme dayanımı değerleri Çizelge 3.4 ve Çizelge 3.5 'te verilmiştir.

Çizelge 3.4. Basınç dayanım değerleri

Numune no	Basınç Dayanımları (MPa)		
	7 Günlük	14 Günlük	28 Günlük
Referans Beton	26,06	32,71	31,86
	32,20	33,24	35,88
	25,99	35,22	40,92
Çelik lif	39,10	38,95	36,58
	42,21	39,62	41,08
	34,25	40,27	41,44
Polipropilen lifli	33,19	37,89	37,83
	38,08	39,04	39,43
	25,88	39,50	42,02
Ortalama Ref.	28,08	33,72	36,22

Çizelge 3.5. Eğilmede çekme dayanım değerleri

Numune no	Eğilmede Çekme Dayanımları (MPa)		
	7 Günlük	14 Günlük	28 Günlük
Referans Beton	0,96	1,01	0,93
	0,97	1,08	1,11
	0,96	1,10	1,13
Çelik lif	0,96	1,06	1,06
	1,04	1,10	1,13
	1,05	1,12	1,17
Polipropilen lifli	1,01	1,13	1,21
	0,99	1,04	1,05
	0,96	1,09	1,07
Ortalama Ref.	0,96	1,06	1,06

3.1.2. Çelik Lif

Beksa firması tarafından üretilen 60 mm uzunluğunda 0.90 mm çapında Uzunluk/çap oranı 67 olan, çekme dayanımı 1000 N/mm² olan çelik lifler beton içerisine 75 kg/m³ olacak şekilde katılmıştır.

3.1.3. Polypropilen lif

Beksa firması tarafından üretilen 6 mm uzunluğunda 0.18 mm çapında, yoğunluğu 0,91 kg/dm³ olan, 3500 N/mm² elastisite modülüne, 300 N/mm² çekme dayanımına sahip Polypropilen lifler beton içerisinde 900 gr/m³ olacak şekilde katılmıştır.

3.2. Metotlar

3.2.1. Deneysel planlama

Araştırmada üç farklı beton türü, iki farklı döküm uygulaması üzerinde yapılmıştır. Dökümü gerçekleştirilen beton türlerine ait özellikler ve kodlamaları Çizelge 3.6.'da verilmiştir.

Çizelge 3.6. Beton türleri ve özellikleri

Beton kodu	Beton türü	Kür uygulaması
Referans	Referans beton	Su ile kür
RFV	Referans vakumlu beton	Su ile kür
ÇL	Çelik lifli beton	Su ile kür
ÇLV	Çelik lifli vakumlu beton	Su ile kür
PL	Polypropilen lifli beton	Su ile kür
PLV	Polypropilen lifli vakumlu beton	Su ile kür

3.2.2. Beton karışımlarının hazırlanması

Alternatif betonların yerleştirilmesi

Hazırlanan referans, çelik ve polipropilen lif katkılı betonları aşağıdaki şekilde kalıplara yerleştirilmiştir. Betonlara üst yüzey işlemi olarak vakumlu veya vakumsuz olarak ikiye ayrılmıştır. Beton döküm işleminden sonra betonlara su kürü uygulanmıştır.(Şekil 3.1).

Standart kür	Referans Beton Vakumlu	Standart kür	Çelik Lifli Vakumlu	Standart kür	Polipropilen Lifli Vakumlu
Standart kür	Referans Beton	Standart kür	Çelik Lifli	Standart kür	Polipropilen Lifli

Şekil 3.1. Alternatif beton türü olarak dökülen beton çeşitleri

Referans beton

Hazırlanacak olan beton TS 802 ‘Beton Karışım Hesap Esasları’ standardında belirtilen kurallara uygun olarak 1x2 m boyutunda 20 cm kalınlığında yerleştirilmiştir.

Çelik lifli beton

Çelik lifli beton karışım tasarımı TS 802 ve TS 10514 ‘Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları’ standartlarında belirtilen kurallara uygun olarak 1x2 m boyutunda 20 cm kalınlığında kalıba yerleştirilmiştir. Çelik lifli katkılı betonu oluşturmak için TS 10513 ‘Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller’ standardında belirtilen özelliklere uygun 60 uzunluk/çap oranına sahip çelik teller kullanılmıştır.

Polipropilen lifli beton

Polipropilen lifli beton karışım tasarımı TS 802 ‘Beton Karışım Hesap Esasları’ standardında belirtilen kurallara uygun olarak hazırlanmıştır. Yüksek

performanslı beton elde etmek ve beton çatlaklarının oluşmasını önleyen, geçirgen olmayan düzgün yüzeyli beton elde edilebilmesi için elastisite modülü 3500 N/mm^2 , çekme mukavemeti 400 N/mm^2 olan polipropilen lifleri beton içerisine 900 gr/m^3 dozajında katılarak $1 \times 2 \text{ m}$ boyutunda 20 cm kalınlığında kalıba yerleştirilmiştir.

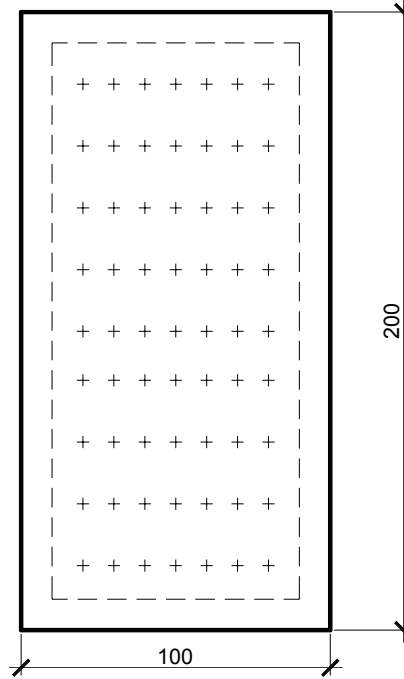


Resim 3.1. Beton dökülmeden önceki kalıp yerleşimi

3.2.3. Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler

Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini

Beton bloklar üzerinde 7, 14., 28. ve 90. günlerde düşey pozisyonda Schmidt yüzey sertliği okumaları yapılmıştır. Bütün betonlarda her bir zaman aralığı için ve beton türüne göre 50 adet yüzey sertliği okuması gerçekleştirilmiştir. Schmidt çekici ile yüzey sertliği deneyinde, beton bloklar Sekil 3.2’de görüldüğü gibi üç bölgeye ayrılmış ve her bölgede 50 ayrı noktaya uygulama yapılmıştır.

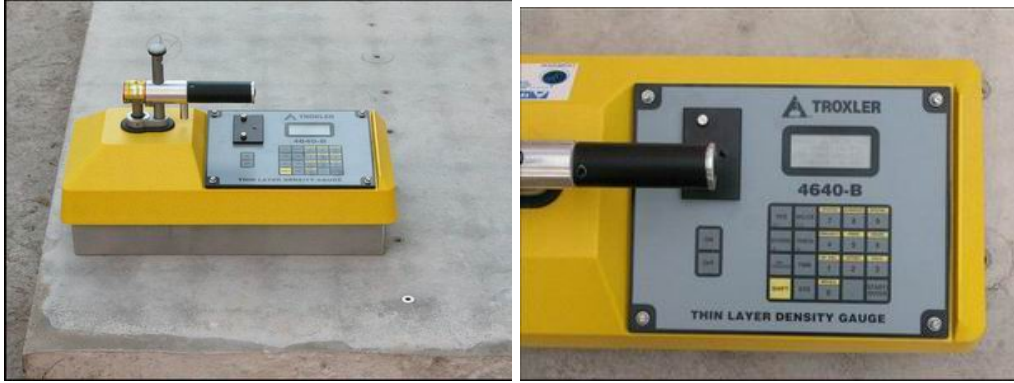


Şekil 3.2. Beton blok yüzeyinde Schmidt çekici uygulama noktaları

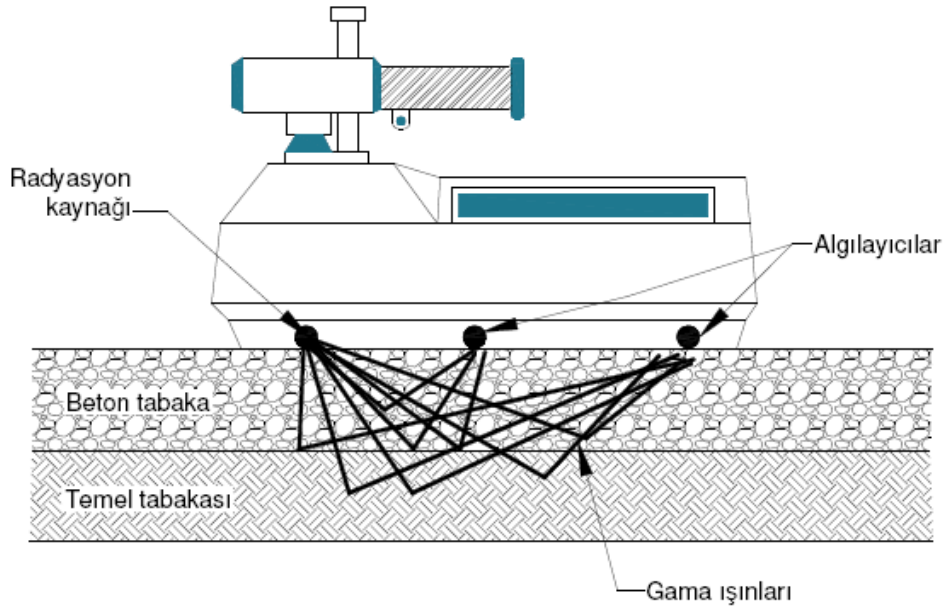
Schmidt yüzey sertliği deneyi, 28 günlük kür işleminden sonra ASTM C805-97 “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete” standardında belirtilen esaslara uygun olarak düşey pozisyonda uygulanmıştır. Her uygulama bölgesinden elde edilen Schmidt yüzey sertliği değerlerinin aritmetik ortalaması düzeltme işlemi yapılmaksızın doğrudan düşey Schmidt yüzey sertliği değerleri olarak istatistik işlemlere alınmıştır.

Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu tayini

Beton bloklar üzerinde 6 farklı bölge üzerinde 2,5 cm, 5 cm ve 7,5 cm derinliklerinde ‘Radyoaktif Yoğunluk Ölçer’ cihazı yardımı ile 7., 14. ve 28. günlerde yoğunluk ölçümleri yapılmıştır (Resim 3.2). Cihaz Sezyum-137 radyoaktif elementinden yayılan gama ısınları aracılığı ile yoğunluk ölçümü yapmaktadır (Sekil 3.3). Deney ASTM C1040-93 “Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. (ASTM C1040-93).



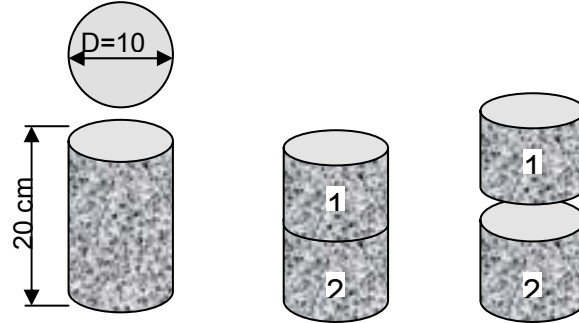
Resim 3.2. Radyoaktif yoğunlukölçer ile beton yoğunluğunun tayini deneyi



Şekil 3.3. Radyoaktif yoğunluk ölçümü

3.2.4. Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

Alınan karot numuneler; 20 cm kalınlığındaki beton bloklarda, vakum uygulamasından dolayı üst tabakadaki beton ile alt tabakadaki betonda meydana gelen fiziksel özelliklerin farklılıklarının gözlenebilmesi için sulu taş kesme makinesi ile kesilerek 10 cm çap ve 10 cm derinlikte karot numuneler elde edilmiştir (Şekil 3.4)(Resim 3.3).



Şekil 3.4. Deney numunesi üretimi (1: Üst bölge, 2: Alt bölge)

Beton bloklardan alınan 10 cm çap ve 20 cm boyundaki karot numuneler üzerinde;

- ✓ Basınç dayanımı tayini,
- ✓ Ultrases geçiş hızı tayini,
- ✓ Yarmada çekme dayanımı tayini

deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Karot numunelerden üretilen 10 cm çap ve 10 cm boyundaki alt ve üst numuneler üzerinde ise;

- ✓ Birim hacim kütlesi tayini,
- ✓ Görünür boşluk oranı tayini,
- ✓ Kapiler su emme miktarı tayini,
- ✓ Aşınma dayanımı tayini

deneyleri gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.3. 7 günlük alınmış karot numunelerin görünüşü

2.1. Basınç dayanımı tayini

Beton bloklar üzerinden 7., 14. ve 28. günlerde iki bölgede 3'er adet olmak üzere her beton bloktan 6 adet ve toplamda 54 adet karot numune alınmıştır. Basınç dayanımı deneyi, karot numuneler üzerinde TS EN 12390–3 “Sertleşmiş beton numunelerinde basınç dayanımı tayini” standardına uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Deneyde, 3000 kN yükleme kapasiteli, dijital kumanda üniteli ve yükleme hızı ayarlanabilen tek eksenli beton basınç test cihazı kullanılmıştır. Beton numunelerin yük altındaki boyuna ve enine deformasyonlarını belirlemek için komparatör düzeneği takılarak data logger ile 1 saniye aralıklarla yük, boyuna deformasyon ve enine deformasyon değerleri es zamanlı olarak kayıt edilmiştir. Yük okumaları 200 ton kapasiteli yük hücresi kullanılarak ölçülmüştür (Resim 3.4). Kırılan karot numunelerin basınç dayanımlarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılacaktır.

$$f_c = \frac{F}{A_c}$$

Formülde;

f_c = Basınç dayanımı, MPa

F= Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c = Numunenin en kesit alanı, mm²

ifade etmektedir.



Resim 3.4. Deformasyon kontrollü beton basınç dayanımı deneyi

Eğilme çekme dayanımı

Hazırlanan referans, çelik lifli ve polipropilen lifli beton karışımlarından alınan kiriş numuneleri üzerinde eğilmede çekme dayanımı deneyi TS EN 12390-5 te belirtilen kurallara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Her bir beton türü ve test zamanı için 100*100*500 mm ebatlarında 3 tane prizma beton hazırlanmıştır. Deney 7., 14. ve 28. günlerde tekrarlanmıştır. Deney numuneleri su içerisinde laboratuvar ortamında kür edilmiştir.

Deney ortadan yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılmıştır. (Şekil 3.5) Eğilmede çekme dayanımı değerlerinin hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$f_{cf} = \frac{(3 * F * \ell)}{(2 * d_1 * d_2^2)}$$

Burada;

f_{cf} = Eğilmede çekme dayanımı, (N/mm²);

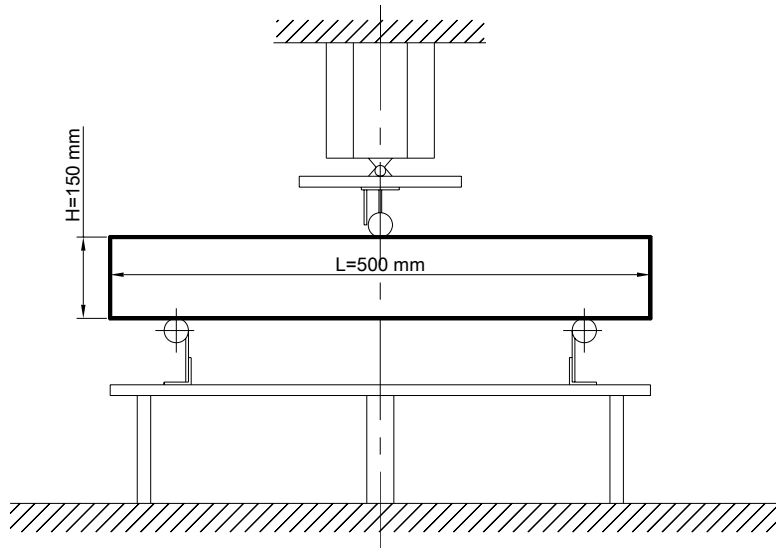
F= Deney makinesinin kırılma anındaki en büyük yük, (N);

ℓ = Yükleme tablası mesnet arasındaki (serbest) açıklık , (mm);

d_1 = Kırılma kesitinin ortalama genişliği, (mm);

d_2 = Kırılma kesitinin ortalama yüksekliği, (mm);

ifade etmektedir.



Şekil 3.5. Ortadan yüklenmiş Basit kiriş

Yarmada çekme dayanımının tayini

Dökülen beton bloklardan alınan karot örnekler üzerinde yarmada çekme dayanımı deneyi uygulanmıştır. Deney TS EN 12390-6 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir. Yükleme hızı 0,04 - 0,06 MPa/s arasında sabit gerilme hızı sağlanacak şekilde ayarlanmıştır. (Şekil 3.6)

Deneyde uygulanacak yükleme hızı, aşağıda verilen eşitlikle bulunmuştur.

$$R = \frac{s * \pi}{2 * L * D}$$

Burada;

R= Gerekli yükleme hızı, N/s;

L=Numune boyu, mm;

D=Numunenin seçilmiş en kesit boyutu, mm;

S= Gerilme artış hızı, MPa/s(N/mm².s)

Yarmada çekme dayanımı ise aşağıda verilen eşitlik kullanılarak hesaplanmıştır.

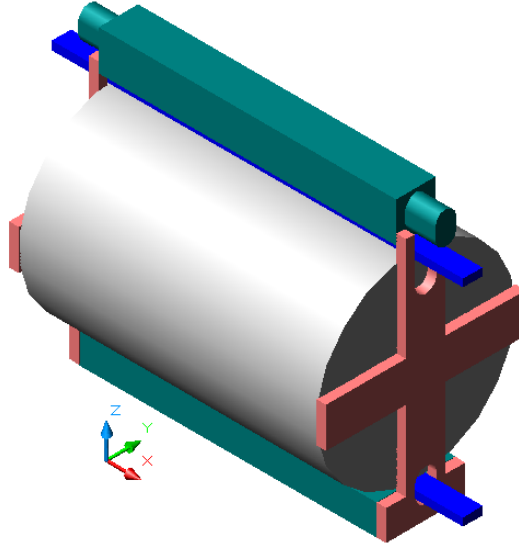
$$f_{cf} = \frac{2 * F}{\pi * L * d};$$

f_{cf} = Yarmada çekme dayanımı, (N/mm²);

F= Deney makinesinin kırılma anındaki en büyük yük, (N);

L= Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, (mm);

d= Numunenin seçilen en kesit boyutu, (mm);



Şekil 3.6. Yarmada çekme deneyinin uygulama görüntüsü

Statik elastisite modülü tayini

Beton basınç dayanımı tayini edilirken elde edilen boyuna ve enine deformasyon değerlerinden yararlanılarak TS 3502 “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini ” standardında belirtilen esaslara uygun olarak elastisite modülü ve poisson oranı değerleri hesaplanmıştır. Statik elastisite modülünün hesaplanmasında sekant yöntemi kullanılmıştır. Gerilme-Birim deformasyon ($\sigma - \varepsilon$) grafiği üzerinde bir ucu 0 noktasında olan diğer ucu ise betonun maksimum gerilme değerinin %40'sine karşılık gelen gerilme değerinde olan doğrunun oluşturduğu eğim elastisite modülünün hesaplanmasında kullanılmıştır

Elastisite modülünün hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Burada;

E= Elastisite modülü, MPa;

σ = Gerilme, MPa;

ε = Birim deformasyonu

ifade etmektedir.

Poisson oranının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$\mu = \frac{\varepsilon_y}{\varepsilon_e}$$

Burada;

μ = Poisson oranı;

ε_y = Eksenel yük nedeniyle oluşan yanal birim deformasyonu;

ε_e = Eksenel yük nedeniyle oluşan eksenel birim deformasyonu;

Beton yoğunluğun tayini

Sertleşmiş betonun yoğunluğu deneyi TS EN 12390–7 standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Beton yoğunluğun hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$D = \frac{m}{V}$$

Burada;

D= numunenin yoğunluğu, gr/cm³;

m= Numunenin, deney esansındaki kütlesi, gr;

V= Numunenin, özel metotla tayin edilen hacmi, cm³;

Görünür boşluk oranı tayini

Görünür boşluk oranı tayini deneyi TS 3624 “Sertleşmiş Betonda Özgül ağırlık Su Emme ve Boşluk Oranı Tayini Metodu” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

Boşluk oranının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$B_0 = \frac{C - A}{C - D} * 100$$

Burada;

B_0 = Görünür Boşluk oranı, %

A=Etüv kurusu ağırlığı, gr;

C= Kaynatmadan sonraki Doygun kuru yüzey ağırlığı, gr;

D= Kaynatmadan sonraki sudaki ağırlığı, gr;

Ultrases geçiş hızı tayini

Beton numunelerinde ultrases geçiş hızı ölçümü, verici ve alıcı uçların arasında yerleştirilmiş ve örnek boyunca ultrases geçiş süresi mikro saniye cinsinden ölçülmüştür. Deney 28. günde ASTM C597–83 “Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete” standardında belirtilen esaslara göre gerçekleştirilmiştir.

Beton örneklerin ultrases geçiş hızı (V) hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$V = \frac{L}{t}$$

Burada;

V = Ultrases geçiş hızı, km/sn;

L =Numune boyu, km;

t =Numune boyunca ultrases geçiş süresi, sn

ifade etmektedir.

Kapiler su emme deneyi

Kapiler su emme deneyi Şekil 3.4'te verilen plana uygun olarak 10 cm çapında 20 cm boyunda karot numunelerden kesilerek elde edilmiş olan 10 cm çap ve 10 cm boyundaki Resim 3.5'te gösterilen 1 (üst) ve 2 (alt) nolu numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir.



Resim 3.5. Kapiler su emme deneyi

Numuneler sabit ağırlığa gelinceye kadar $105^{\circ}\text{C} \pm 5'$ de hava dolaşımli etüvde bekletilmiştir. Daha sonra numuneler 5 mm batacak şekilde saf su içerisine yerleştirilmiş ve 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 240, 270, 300, 330 ve 360 dk lık sürelerde, numunelerin yüzeylerindeki serbest su nemli bir bez ile alınarak, 0,01 gr hassasiyetle tartılarak kütle artışları belirlenmiştir.

Numunelerin başlangıçtaki ağırlıklarına göre, ağırlık farkları hesaplanarak kapiler su emme değeri belirlenmiştir. Kapilarite katsayılarının hesaplanmasında aşağıdaki denklem kullanılmıştır. Deneyin

gerçekleştirilmesinde TS 4045, “Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini” standardında belirtilen esaslara uyulmuştur. Kapilarite katsayısının hesaplanmasında aşağıdaki formül kullanılmıştır.

$$F = \frac{Q^2}{A^2 \cdot t}$$

Formülde;

K= Kapilarite katsayısı, cm²/sn

Q= Kılcallık yoluyla emilen su miktarı, cm³

A= Suyla temas eden alan, cm²

t = Kılcal su emmenin tamamlandığı zamanı, sn

ifade etmektedir.

Aşınma dayanımı tayini deneyi

Aşınma dayanımı deneyi 28. günde beton bloklardan alınan karot numunelerden elde edilen Şekil 3.4’te gösterilen 1 (üst) ve 2 (alt) nolu numunelerde üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deney ASTM C 944-99 “Standard test method for abrasion resistance of concrete or mortar surfaces by the rotating-cutter method” standardında belirtilen esaslara uygun olarak gerçekleştirilmiştir

Numuneler 197 N’luk kuvvet oluşacak şekilde ağırlık altında 200 devir/dakika hızında dönen aşındırıcılara 6.32 dakika boyunca maruz bırakılmıştır (Resim 3.6). Deney sonunda numunelerdeki kütlece ağırlık kayıpları ölçülerek sonuçlar “% ağırlık kaybı” olarak hesaplanmıştır.



Resim 3.6. Aşınma dayanımı deney cihazı ve aşındırma aparatı

4. Bulgular ve Tartışma

4.1. Beton bloklar üzerinde gerçekleştirilen deneyler

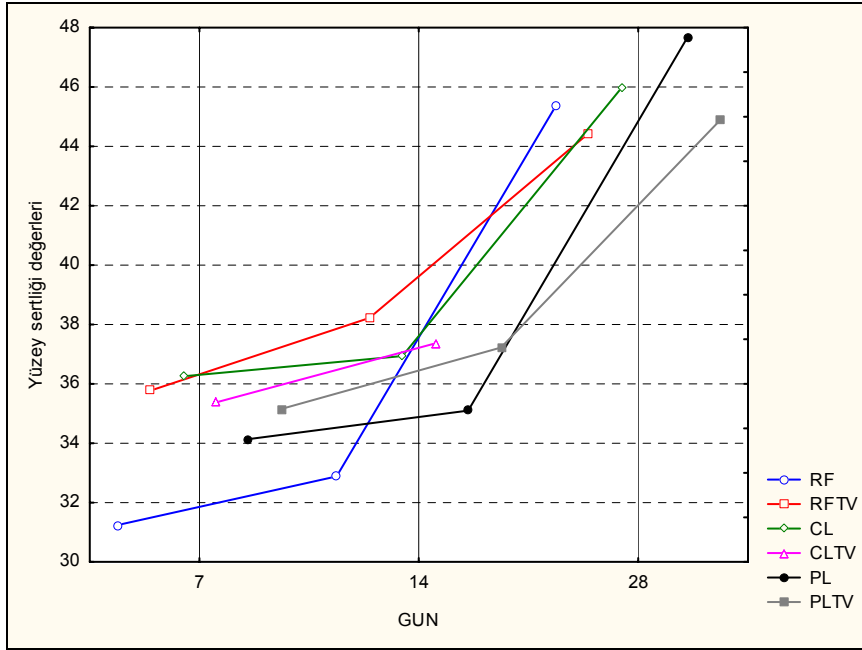
4.1.1. Schmidt çekici ile yüzey sertliği tayini

Schimit çekici ile yüzey sertliği deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.1 verilmiştir. Analize tabii tutulan verilerin dağılımını gösteren grafik Şekil 4.1 de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Yüzey sertliği veriliğine ait açıklayıcı istatistikler

Beton Türü	Gün	N	Ortalama	Standart hata	En küçük	En büyük
RF	7	50	31,22	0,522	24	38
	14	50	32,88	0,690	24	42
	28	50	45,32	0,347	40	49
RFV	7	50	35,80	0,318	28	41
	14	50	38,22	0,514	30	44
	28	50	44,46	0,461	34	50
ÇL	7	50	36,34	0,497	29	44
	14	50	36,94	0,558	30	46
	28	50	45,94	0,357	40	52
ÇLV	7	50	35,32	0,516	27	42
	14	50	37,36	0,518	32	46
	28	50	48,12	0,466	40	54
PL	7	50	34,10	0,468	26	41
	14	50	35,10	0,464	28	41
	28	50	47,70	0,419	42	54
PLV	7	50	35,20	0,720	5	40
	14	50	37,22	0,433	30	44
	28	50	44,96	0,401	40	52

Deney sonucunda elde edilen veriler üzerinde numune yaşları arasında gerçekleştirilen varyans analizine göre yüzey sertliği değerleri bakımından grup ortalamalarının istatistiki anlamda birbirinden farklı olduğu görülmüştür ($p=0,001$)(Çizelge 4.2).



Şekil 4.1. Ortalama yüzey sertliği verileri

Çizelge 4.2. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Beton türü	Varyansın Kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi (p)
RF	Gruplar içi	5938,7	2	2969,3	204,85	0,000
	Gruplar arası	2130,7	147	14,5		
	Toplam	8069,4	149			
RFTV	Gruplar içi	1996,5	2	998,2	103,70	0,000
	Gruplar arası	1415,0	147	9,6		
	Toplam	3411,5	149			
ÇL	Gruplar içi	2892,0	2	1446,0	126,46	0,000
	Gruplar arası	1680,9	147	11,4		
	Toplam	4572,9	149			
ÇLV	Gruplar içi	4729,7	2	2364,8	188,76	0,000
	Gruplar arası	1841,7	147	12,5		
	Toplam	6571,3	149			
PL	Gruplar içi	5745,3	2	2872,7	282,37	0,000
	Gruplar arası	1495,5	147	10,2		
	Toplam	7240,8	149			
PLV	Gruplar içi	2654,1	2	1327,0	91,91	0,000
	Gruplar arası	2122,5	147	14,4		
	Toplam	4776,6	149			

Ortalamalar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır (Çizelge 4.3). Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçlarına göre Schimidt yüzey sertliği değerleri bakımından;

- 7. ve 28. günlerde bütün beton türlerinde yapılan ölçümlerin farklı olduğu,
- ÇL betonda 7. ve 14. gündeki sonuçların birbirinden farksız olduğu,
- PL betonda 7. ve 14. gündeki sonuçların birbirinden farksız olduğu,
- 7.,14. ve 28. günlerde en yüksek yüzey sertliği sırasıyla ÇL, RFV ve ÇLV olduğu

olduğu görülmüştür.

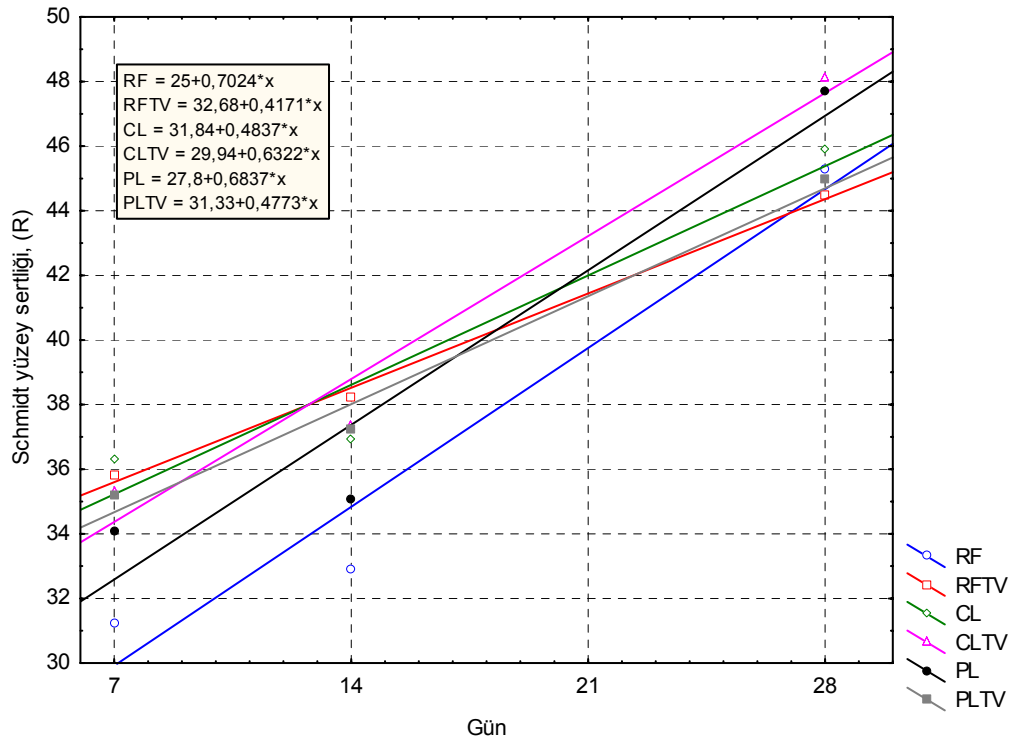
Çizelge 4.3. Yüzey sertliğine ait Duncan testi sonuçları

Beton Türü	Gün	Ortalama	Farklı olan gruplar		
			1	2	3
RF	7	31,24	****		
	14	32,88		****	
	28	45,37			****
RFV	7	35,76	****		
	14	38,22		****	
	28	44,45			****
ÇL	7	36,25	****		
	14	36,94	****		
	28	45,98		****	
ÇLV	7	35,37	****		
	14	37,36		****	
	28	48,06			****
PL	7	34,14	****		
	14	35,10	****		
	28	47,69		****	
PLV	7	35,16	****		
	14	37,22		****	
	28	44,90			****

Yüzey sertliği değerlerini zamana bağlı değişimini belirlemek amacıyla yüzey sertliği ile uygulanan zaman arasında regresyon analizi gerçekleştirilmiştir. Beton türüne göre oluşturulan regresyon modeline ilişkin istatistikler Çizelge 4.4 de, regresyon eğrilerine gösteren grafik Şekil 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.4.Yüzey sertliği-Beton yaşı ilişkisi gösteren regresyon modelleri

Beton Türü	Regresyon katsayısı (r2)	Kolerasyon katsayısı (r)	Regresyon denklemleri
RF	0,950	0,975	$Y=25+0,7024 \cdot X$
RFV	0,996	0,998	$Y=32,68+0,4171 \cdot X$
ÇL	0,925	0,962	$Y=31,84+0,4837 \cdot X$
ÇLV	0,966	0,983	$Y=29,94+0,6322 \cdot X$
PL	0,930	0,964	$Y=27,8+0,6322 \cdot X$
PLV	0,982	0,991	$Y=31,33+0,4773 \cdot X$



Şekil 4.2. Yüze sertliği ve beton yaşı arasındaki ilişkiye ait regresyon grafiği

Üretimi yapılan beton türlerinin yüzey sertliği verileri bakımından değerlendirmek için 28 günlük yüzey sertliği verileri üzerinde beton türleri arasında varyans analizi gerçekleştirilmiştir. Gerçekleştirilen varyans analizi sonucuna göre beton türleri arasında $p < 0,5$ anlamlılık düzeyinde farklılık olduğu görülmüştür (Çizelge 4.5). Ayrıca bu farklılığın hangi beton türlerinden kaynaklandığını tespit etmek amacıyla Duncan çoklu karşılaştırma testi

uygulanmıştır (Çizelge 4.6). Beton türüne göre 28 günlük ortalama yüzey sertliği değerlerini gösteren grafik Şekil 4,3'te görülmektedir.

Çizelge 4.5. Yüzey sertliği verilerine ait varyans çözümleme tablosu

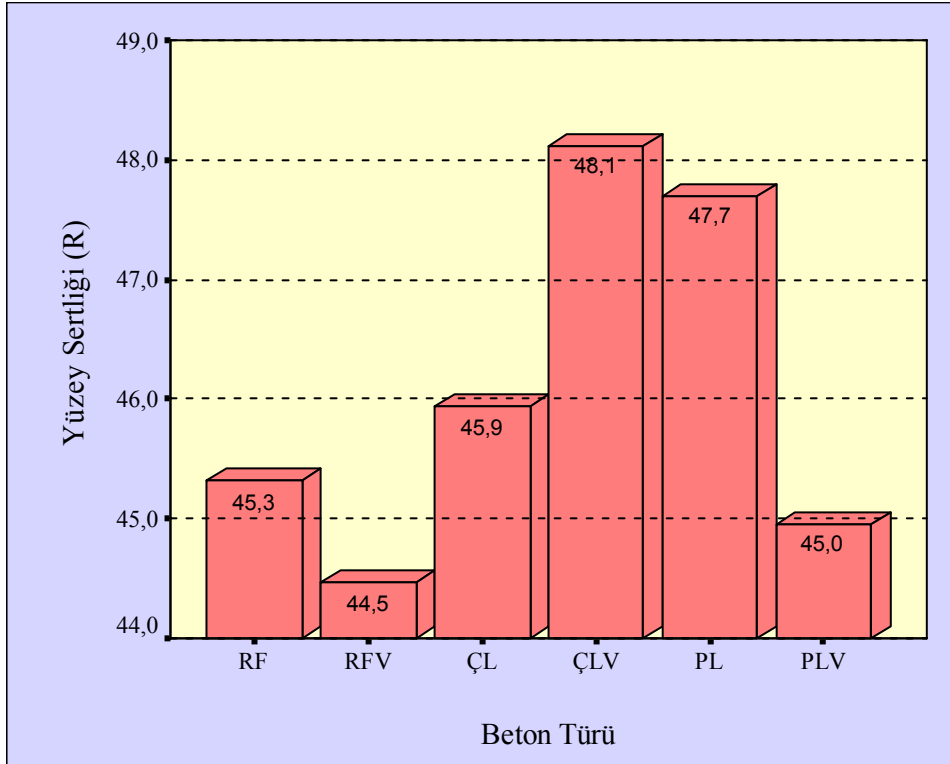
Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi (p)
Gruplar içi	563,097	5	112,619	13,330	0,000
Gruplar arası	2483,820	294	8,448		
Toplam	3046,917	299			

Çizelge 4.6. Yüzey sertliği verilerine ait Duncan çoklu karşılaştırma tablosu

Beton Türü	N	Farklı olan Gruplar (p<0,05)		
		1	2	3
RFV	50	44,46		
PLV	50	44,96	44,96	
RF	50	45,32	45,32	
ÇL	50		45,94	
PL	50			47,70
ÇLV	50			48,12

Gerçekleştirilen Duncan testi sonuçlarına göre yüzey sertliği değerleri bakımından;

- PL ve ÇLV betonlarının birbirinde farklı olmadığı,
- Betonlar arasında PL ve ÇLV betonlarının en yüksek yüzey sertliği değerlerine sahip olduğu
- En düşük yüzey sertliği değerine ise RFV betonunun sahip olduğu,
- ÇLV betonunun RF betona göre yaklaşık %8 oranında daha büyük yüzey sertliğine sahip olduğu görülmüştür.



Şekil 4.3. Beton türlerinin 28 günlük ortalama yüzey sertliği değerleri

4.1.2. Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu tayini

Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.7 te verilmiştir. Zaman faktörünün üç seviyede (7., 14. ve 28 .gün) derinlik faktörünün üç seviyede (2,5, 5 ve 7,5 mm) de gerçekleştirilen analiz sonucunda Zaman*Derinlik etkileşimi istatistiksel olarak önemli olduğu, $p < 0,5$ anlamlılık düzeyinde gerçekleştirilen tekrarlanan ölçümlü varyans analizi Çizelge 4.8'de gösterilmiştir. Benzer şekilde derinlik arasında gözlenen farkların deneyin yapıldığı zamana bağlı olarak derinlik değişmektedir.

Çizelge 4.7. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Veri Türü	Gün Fak.	Derinlik Faktörü (cm)	N	RF Ort.	RFV Ort.	CL Ort.	ÇLV Ort.	PL Ort.	PLV Ort.
Gün	7		9	2,37	2,40	2,41	2,35	2,40	2,39
Gün	14		9	2,33	2,42	2,36	2,30	2,38	2,43
Gün	28		9	2,36	2,40	2,43	2,37	2,39	2,40
Derinlik (mm)	2,5		9	2,42	2,36	2,43	2,37	2,43	2,36
Derinlik (mm)	5,0		9	2,38	2,40	2,41	2,35	2,40	2,40
Derinlik (mm)	7,5		9	2,38	2,39	2,41	2,35	2,40	2,39
Gün*Derinlik	7	2,5	3	2,36	2,39	2,41	2,34	2,39	2,40
Gün*Derinlik	7	5,0	3	2,35	2,43	2,38	2,33	2,38	2,43
Gün*Derinlik	7	7,5	3	2,32	2,42	2,35	2,29	2,38	2,43
Gün*Derinlik	14	2,5	3	2,33	2,42	2,36	2,29	2,37	2,42
Gün*Derinlik	14	5,0	3	2,37	2,41	2,41	2,34	2,39	2,39
Gün*Derinlik	14	7,5	3	2,37	2,39	2,45	2,38	2,40	2,40
Gün*Derinlik	28	2,5	3	2,35	2,39	2,44	2,38	2,39	2,41
Gün*Derinlik	28	5,0	3	2,41	2,36	2,43	2,37	2,43	2,38
Gün*Derinlik	28	7,5	3	2,43	2,35	2,43	2,37	2,42	2,35

Ortalamlar arasındaki farkın belirlenmesinde çoklu karşılaştırma yöntemlerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.9) Ayrıca derinliğe ve günler bağlı grafikler Şekil 4.4 ve 4.5 de verilmiştir.

Çizelge 4.8. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Beton türü	Varyansın kaynağı	Kareler toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalaması	F	Sig.
RF	Gruplar içi	0,05	2	0,025	27,3	0,00
	Gruplar arası	0,02	24	0,001		
	Toplam	0,07	26			
RFV	Gruplar içi	0,02	2	0,010	25,5	0,00
	Gruplar arası	0,01	24	0,000		
	Toplam	0,03	26			
CL	Gruplar içi	0,04	2	0,019	48,1	0,00
	Gruplar arası	0,01	24	0,000		
	Toplam	0,05	26			
ÇLV	Gruplar içi	0,05	2	0,023	58,2	0,00
	Gruplar arası	0,01	24	0,000		
	Toplam	0,06	26			
PL	Gruplar içi	0,01	2	0,005	14,7	0,00

	Gruplar arası	0,01	24	0,000		
	Toplam	0,02	26			
PLV	Gruplar içi	0,03	2	0,015	21,5	0,00
	Gruplar arası	0,02	24	0,001		
	Toplam	0,05	26			

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre radyoaktif yöntemle yoğunluk değerleri bakımından;

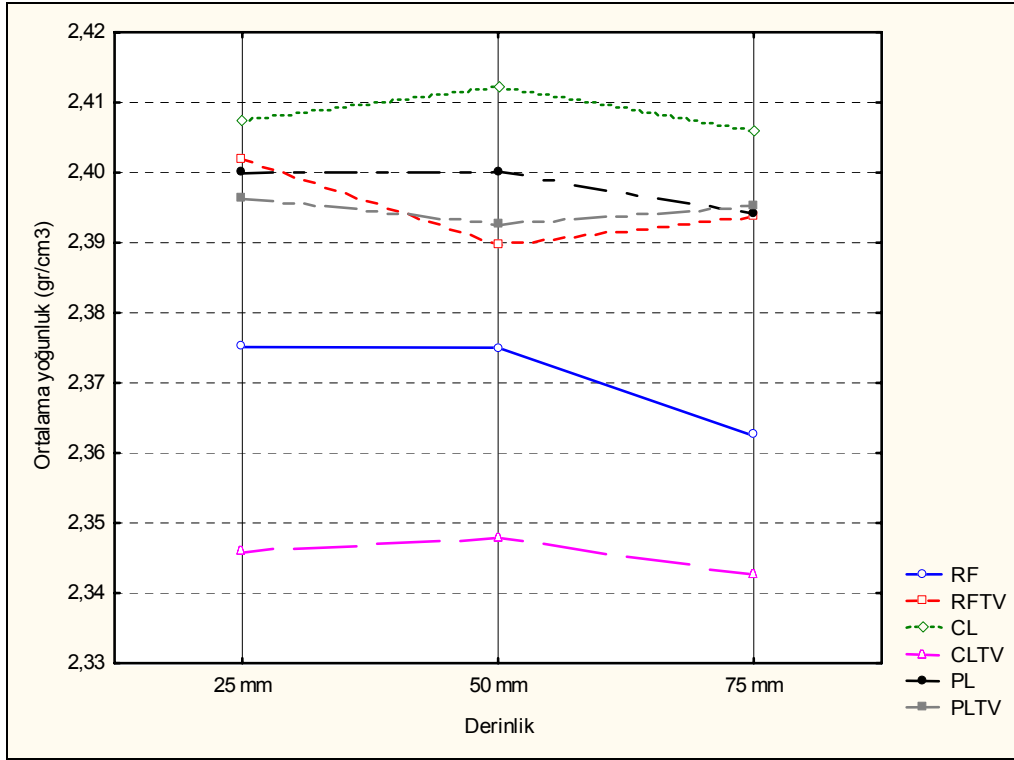
- 25mm, 50mm ve 75mm derinlikte ortalama yoğunluğun CL beton türünde en büyük, her üç derinlikte ortalama yoğunluğun CLV türünde en küçük olduğu,
- PL, PLV ve RFV beton türleri için, 75mm derinlik değerinde ortalama yoğunluk ölçümlerinin çok yakın olduğu,
- 7,14 ve 28. günlerde en büyük ortalama yoğunluğa sırasıyla PLV, CL ve PL sahip olduğu,
- 14. gündeki ortalama yoğunluk değerlerinin RFV ve PLV beton türleri için farksız olduğu,
- 28. gündeki ortalama yoğunluk değerlerinin RFV ve ÇLV, CL ve PL beton türleri için farksız olduğu,

olduğu görülmüştür.

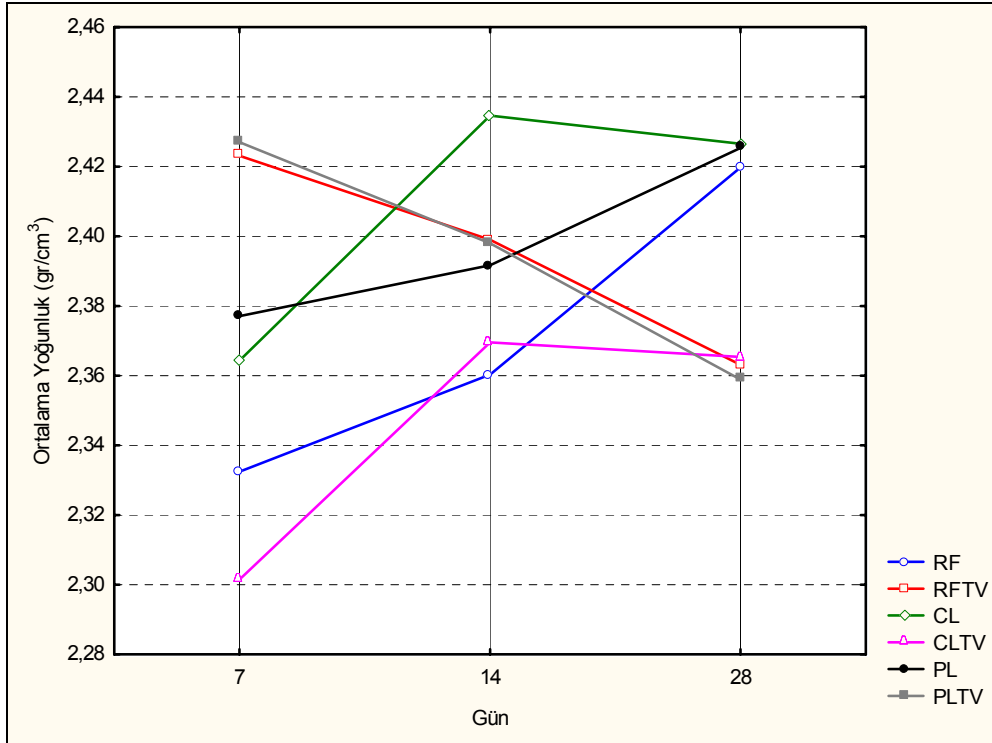
Çizelge 4.9. Radyoaktif yöntemle yoğunluk verilerine ait Duncan Testi sonuçları

Beton Kodu	Gün	Derinlik (mm)	Ortalama	Farklı olan gruplar			
				1	2	3	4
RF	7	50	2,32	****			
	7	75	2,33	****			
	14	75	2,35	****	****		
	7	25	2,35	****	****		
	14	25	2,37	****	****	****	
	14	50	2,37	****	****	****	
	28	25	2,41		****	****	
	28	75	2,41		****	****	
	28	50	2,43			****	
	28	50	2,35			****	
RFV	28	25	2,36			****	****
	28	75	2,37			****	****
	14	75	2,39	****		****	****
	14	50	2,39	****	****		****
	14	25	2,41	****	****		

	7	75	2,42	****	****		
	7	50	2,42	****	****		
	7	25	2,43		****		
CL	7	50	2,35				****
	7	75	2,36		****	****	
	7	25	2,38	****		****	****
	14	25	2,41	****	****	****	
	28	75	2,42	****	****	****	
	28	25	2,43	****	****		
	28	50	2,43	****	****		
	14	75	2,44	****	****		
	14	50	2,45		****		
ÇLV	7	75	2,29		****		
	7	50	2,29		****		
	7	25	2,33	****	****		
	14	25	2,34	****	****		
	28	75	2,36	****			
	28	50	2,37	****			
	28	25	2,37	****			
	14	75	2,38	****			
	14	50	2,38	****			
PL	7	75	2,37	****			
	7	25	2,38	****			
	7	50	2,38	****	****		
	14	75	2,39	****	****	****	
	14	25	2,39	****	****	****	
	14	50	2,40	****	****	****	****
	28	75	2,42		****	****	****
	28	50	2,42			****	****
	28	25	2,43				****
PLV	28	50	2,35			****	
	28	75	2,35	****		****	
	28	25	2,38	****	****	****	
	14	25	2,39	****	****	****	
	14	50	2,40	****	****	****	
	14	75	2,41	****	****	****	
	7	75	2,42	****	****		
	7	25	2,43	****	****		
	7	50	2,43	****	****		



Şekil 4.4. Derinlik faktörüne bağlı ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik



Şekil 4.5. Gün faktörüne bağlı ortalama yoğunluk değerlerine ait grafik

4.2. Beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde gerçekleştirilen deneyler

4.2.1. Basınç dayanımı

Beton basınç dayanımı deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.10'da verilmiştir. Zaman faktörünün dört seviyede(7., 14., 28. ve 90. gün) gerçekleştirilen tekrarlanan ölçülü varyans analizi sonucunda gün faktörünün beton türleri ne göre basınç dayanım değerleri üzerinde ayrı ayrı etkisini olduğu ve bu etkilerin istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür ($p < 0,05$).

Çizelge 4.10. Beton basınç dayanımına verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Gün	N	Ortalama (Mpa)	Std. Hata
RF	7	3	18,7767	2,3326
	14	3	19,2167	2,4212
	28	3	22,2467	$9,815 \cdot 10^{-2}$
	90	3	22,4133	,1721
	Toplam	12	20,6633	2,2633
RFV	7	3	19,4533	1,3894
	14	3	20,0167	1,5186
	28	3	22,0867	1,3985
	90	3	32,4500	1,9676
	Toplam	12	23,5017	5,6565
CL	7	3	18,3767	4,8191
	14	3	22,4200	1,7614
	28	3	24,8567	3,2910
	90	3	33,9467	,5201
	Toplam	12	24,9000	6,5122
ÇLV	7	3	21,9533	3,7651
	14	3	22,3533	,9056
	28	3	33,9667	5,1232
	90	3	34,1733	3,8766
	Toplam	12	28,1117	6,9991
PL	7	3	18,8567	1,3979
	14	3	21,0900	1,4004
	28	3	25,1600	2,9651
	90	3	26,9267	1,7028
	Toplam	12	23,0083	3,7406
PLV	7	3	20,4267	2,3882
	14	3	21,7167	1,0770
	28	3	30,7967	2,8263
	90	3	32,2300	1,0596
	Toplam	12	26,2925	5,7573

Diğer taraftan beton türünde zaman faktörünün istatistik olarak önemli olduğu görülmüştür. ($p < 0.05$)(Çizelge 4.11). Zaman faktörünü seviyeleri arasındaki farkları belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.12). Ayrıca beton basınç dayanımlarına ilişkin grafik Şekil 4.6 da verilmiştir.

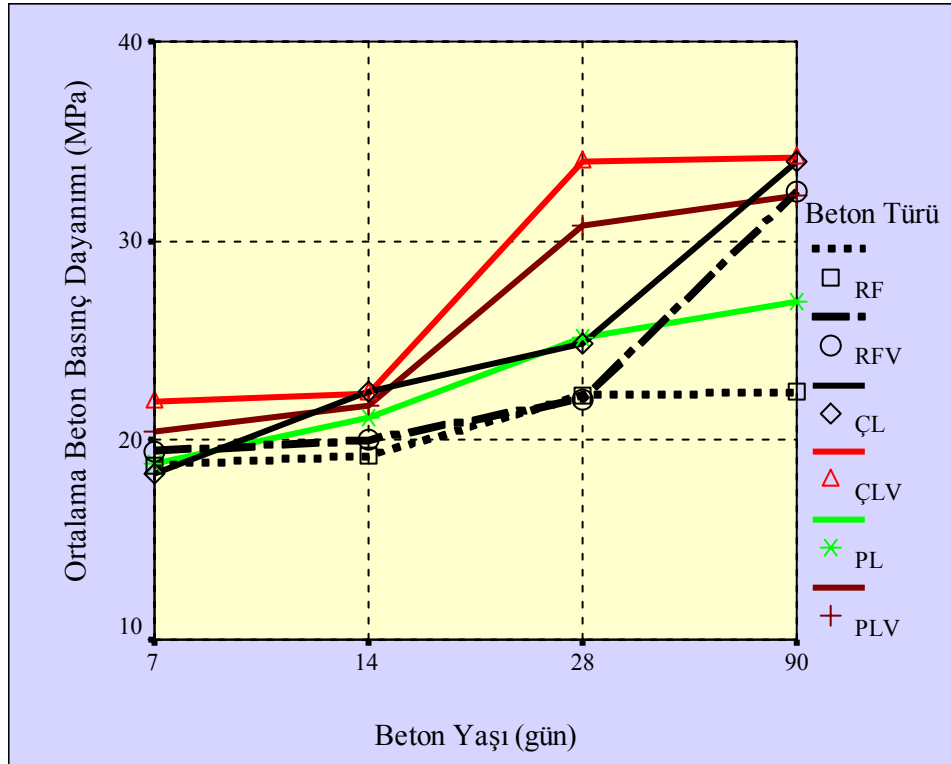
Çizelge 4.11. Beton basınç dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Beton türü	Varyansın kaynağı	Kareler Toplamı	Serbestlik derecesi	Kareler Ortalama	F	Anlamlılık düzeyi
RF	Gruplar içi	33,665	3	11,222	3,958	,053
	Gruplar arası	22,684	8	2,836		
	Toplam	56,350	11			
RFV	Gruplar içi	331,827	3	110,609	43,963	,000
	Gruplar arası	20,128	8	2,516		
	Toplam	351,955	11			
ÇL	Gruplar içi	391,645	3	130,548	13,952	,002
	Gruplar arası	74,855	8	9,357		
	Toplam	466,500	11			
ÇLV	Gruplar içi	426,325	3	142,108	10,102	,004
	Gruplar arası	112,543	8	14,068		
	Toplam	538,868	11			
PL	Gruplar içi	122,698	3	40,899	10,483	,004
	Gruplar arası	31,213	8	3,902		
	Toplam	153,911	11			
PLV	Gruplar içi	332,663	3	110,888	27,766	,000
	Gruplar arası	31,949	8	3,994		
	Toplam	364,612	11			

Çizelge 4.12. Beton basınç dayanımı verilerine ait Duncan Testi sonuçları

Beton Kodu	Gün	N	Farklı olan gruplar		
			1	2	3
RF	7	3	18,7767		
	14	3	19,2167	19,2167	
	28	3		22,2467	
	90	3		22,4133	
RFV	7	3	19,4533		
	14	3	20,0167		
	28	3	22,0867		
	90	3		32,4500	

ÇL	7	3	18,3767	
	14	3	22,4200	22,4200
	28	3		24,8567
	90	3		33,9467
ÇLV	7	3	21,9533	
	14	3	22,3533	
	28	3		33,9667
	90	3		34,1733
PL	7	3	18,8567	
	14	3	21,0900	
	28	3		25,1600
	90	3		26,9267
PLV	7	3	20,4267	
	14	3	21,7167	
	28	3		30,7967
	90	3		32,2300



Şekil 4.6. Basınç dayanımına ait ortalama verilerin grafiği

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton Eğilme dayanım değerleri bakımından;

- Hazırlanan bütün beton karışımlarının RF betona göre basınç dayanımlarının daha fazla olduğu,
- ÇLV betonun basınç dayanımının bütün beton yaşlarında en yüksek dayanım değerine sahip olduğu,
- Bütün beton türlerinde 7 ve 14. günlerdeki basınç dayanımlarının birbirine yakın olduğu, ancak 28 ve 90. günlerde beton türleri arasında basınç dayanımlarının farklılık gösterdiği,
- RF ve ÇL beton haricinde diğer bütün beton türlerinin 28. günden sonra basınç dayanımı değerlerinde fazla değişmediği,

görülmüştür.

Beton türleri arasında basınç dayanımı değerlerindeki farklılıkların değerlendirilmesi amacıyla gerçekleştirilen Duncan çoklu karşılaştırma testi sonuçları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13. Beton türleri arasında gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları

Beton Türü	N	Farklı olan gruplar ($p < 0,05$)			
		1	2	3	4
RF	12	20,6633			
PL	12		23,0083		
RFV	12		23,5017		
ÇL	12		24,9000	24,9000	
PLV	12			26,2925	26,2925
ÇLV	12				28,1117

Beton türleri arasında gerçekleştirilen Duncan testi sonuçlarına göre basınç dayanımı değerleri bakımından;

- RF betonun 20,66 MPa ile en küçük değere sahip olduğu,
- ÇLV betonun 28,11 MPa ile en büyük değere sahip olduğu,
- PLV ve ÇLV betonlarının basınç dayanımı değerleri bakımından birbirinden farklı olmadığı,

- ÇLV betonunun RF betona göre %26 oranında daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu, görülmüştür.

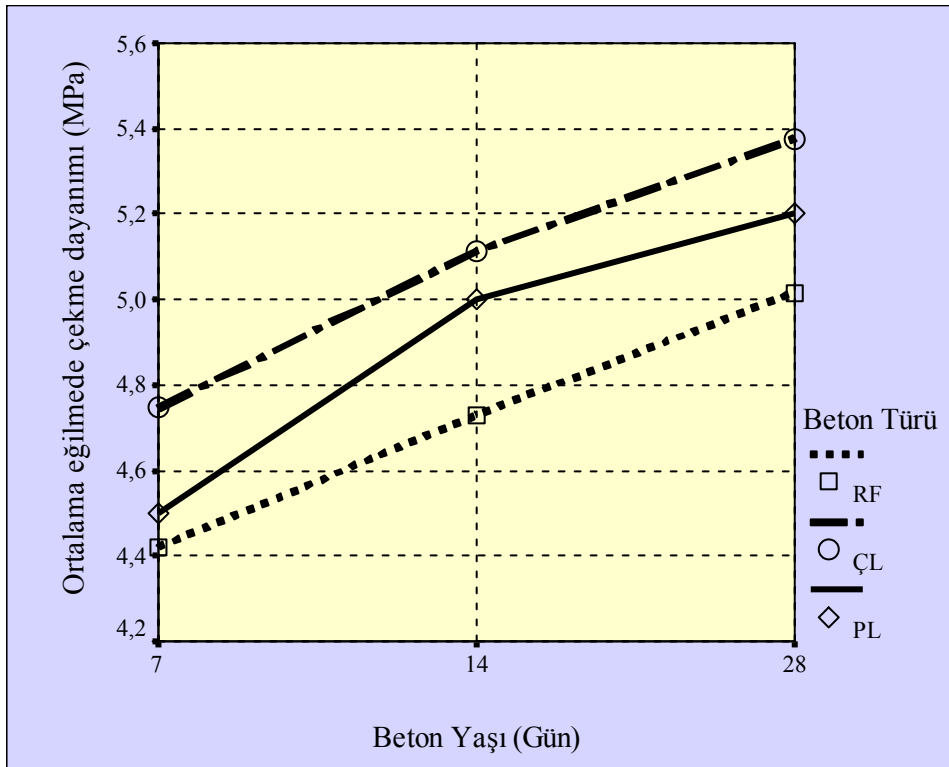
4.2.2. Eğilmede çekme dayanımı

Eğilmede çekme deneyi sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.14 verilmiştir. Bu deney 150*150*500 mm boyutlarındaki prizmalarda üzerinde yapılmıştır. Elde edilen deney sonuçlarına grafik Şekil 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.14. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Beton Yaşı	N	Ortalama	Std. Hata	En küçük	En büyük
RF	7	3	4,42	0,03606	4,39	4,46
	14	3	4,73	0,1058	4,61	4,81
	28	3	5,01	0,07371	4,96	5,10
	Toplam	9	4,72	0,2670		
ÇL	7	3	4,74	0,07767	4,66	4,81
	14	3	5,11	0,06658	5,04	5,17
	28	3	5,37	0,1650	5,21	5,54
	Toplam	9	5,07	0,2907		
PL	7	3	4,50	0,04000	4,46	4,54
	14	3	5,00	0,06557	4,94	5,07
	28	3	5,20	0,07000	5,12	5,25
	Toplam	9	4,90	0,3165		

Veriler üzerinde gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucunda beton türüne bağlı olarak eğilmede çekme dayanımlarında meydana gelen değişimin istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür. Diğer taraftan zaman faktörünün istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür. ($p < 0.05$)(Çizelge 4.15).



Şekil 4.7. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait çizgi grafiği

Çizelge 4.15. Eğilmede çekme dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	2,487	8	0,311	42,123	0,000
İntercept	648,368	1	648,368	87837,11	0,000
Beton türü	0,572	2	0,286	38,776	0,000
Gün	1,886	2	0,943	127,777	0,000
Beton türü*Gün İnteraksiyonu	0,02861	4	0,007154	0,969	0,448
Gruplar içi	0,133	18	0,007381		
Toplam	650,988	27			
Düzeltilmiş Toplam	2,620	26			

Beton türleri arasındaki farklılıkları belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.16).

Çizelge 4.16. Eğilmede çekme dayanımlarına ilişkin Duncan testi sonuçları

Beton Türü	N	Farklı Olan Gruplar		
		1	2	3
RF	9	4,7222		
PL	9		4,9000	
ÇL	9			5,0789
Sig.		1,000	1,000	1,000

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre beton eğilme çekme dayanımı değerleri bakımından;

- En büyük değere 5,07 MPa ile ÇL betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,7 MPa ile RF betonun sahip olduğu,
- ÇL betonunun RF betona göre yaklaşık %8 oranında daha büyük değere sahip olduğu,

görülmüştür.

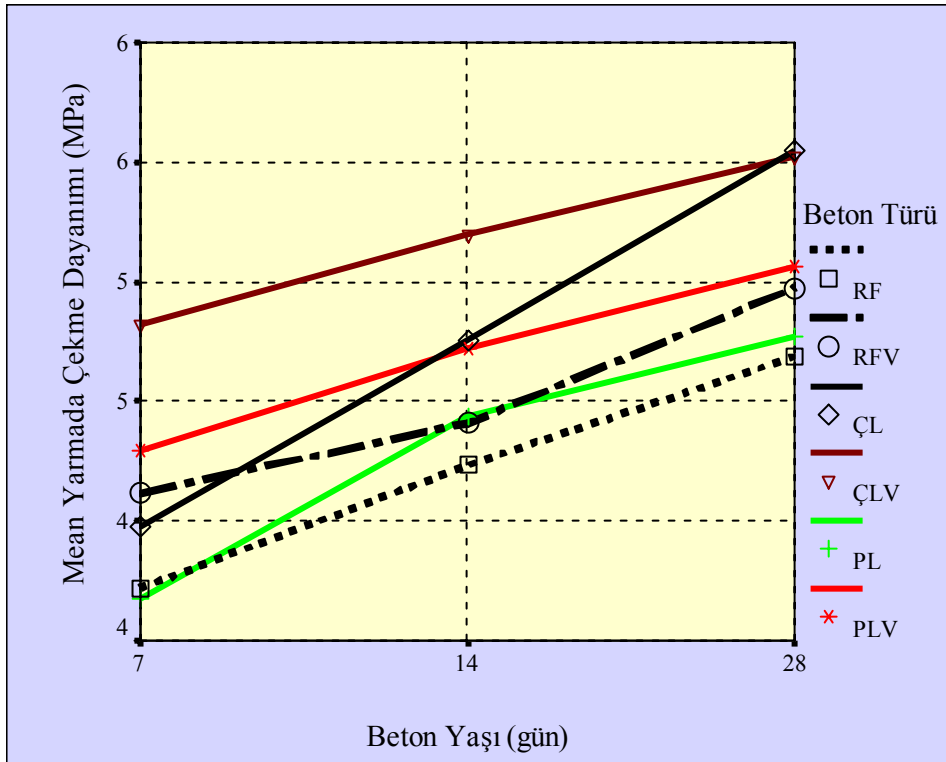
4.2.3. Yarmada çekme dayanımı

Yarmada çekme dayanımı deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.17’de verilmiştir. Ayrıca ortalama yarmada çekme dayanımı verilerine ait grafik Şekil 4.8’te görülmektedir.

Çizelge 4.17. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton Yaşı (gün)	Beton Türü	N	Ortalama Y.Çekme Dayanımı (MPa)	Standart Sapma
7	RF	3	3,7197	0,2694
	RFV	3	4,1183	0,1308
	ÇL	3	3,9773	0,2706
	ÇLV	3	4,8243	0,1552
	PL	3	3,6793	0,6960
	PLV	3	4,2917	0,2876
	Toplam	18	4,1018	0,4972
14	RF	3	4,2327	0,1760
	RFV	3	4,4087	0,1722
	ÇL	3	4,7533	2,887E-02

	ÇLV	3	5,1983	7,983E-02
	PL	3	4,4327	7,551E-02
	PLV	3	4,7210	0,1615
	Toplam	18	4,6244	0,3409
28	RF	3	4,6877	3,250E-02
	RFV	3	4,9753	0,3364
	ÇL	3	5,5443	0,6885
	ÇLV	3	5,5193	0,1625
	PL	3	4,7703	0,1278
	PLV	3	5,0603	0,1195
	Toplam	18	5,0929	0,4404
Toplam	RF	9	4,2133	0,4495
	RFV	9	4,5008	0,4272
	ÇL	9	4,7583	0,7729
	ÇLV	9	5,1807	0,3240
	PL	9	4,2941	0,6005
	PLV	9	4,6910	0,3769
	Toplam	54	4,6064	0,5880



Şekil 4.8. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait çizgi grafiği

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve beton yaşına bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, beton türleri ve yaşları arasında yarmada çekme dayanımı değerlerinin istatistiksel olarak

anlamlı bir şekilde değiştiği, ancak Beton yaşı*Beton türü interaksiyonunun önemli olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.18).

Çizelge 4.18. Yarmada çekme dayanımı verilerine ait çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	15,327	17	,902	10,827	,000
İntercept	1145,807	1	1145,807	13758,878	,000
Beton türü	8,850	2	4,425	53,133	,000
Gün	5,609	5	1,122	13,470	,000
Beton türü*Gün İnteraksiyonu	,869	10	8,690E-02	1,043	,429
Gruplar içi	2,998	36	8,328E-02		
Toplam	1164,132	54			
Düzeltilmiş Toplam	18,325	53			

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.19).

Çizelge 4.19. Yarmada çekme değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton Türü	N	Farklı olan gruplar (p<0,05)		
		1	2	3
RF	9	4,2133		
PL	9	4,2941		
RFV	9	4,5008	4,5008	
PLV	9		4,6910	
ÇL	9		4,7583	
ÇLV	9			5,1807

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yarmada çekme dayanımı değerleri bakımından;

- En büyük değere 5,18 MPa ile ÇLV betonunun sahip olduğu,
 - En küçük değere ise 4,2 MPa ile RF betonun sahip olduğu,
 - ÇLV betonunun RF betona göre yaklaşık %19 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
 - Lif katkılı ve vakumlu betonların tamamının RF betona göre daha büyük değerlere sahip olduğu,
 - Lifli betonlarda ise çelik lif katkılı betonların polipropilen lif katkılı betonlara göre %10 daha büyük değere sahip olduğu,
- görülmüştür.

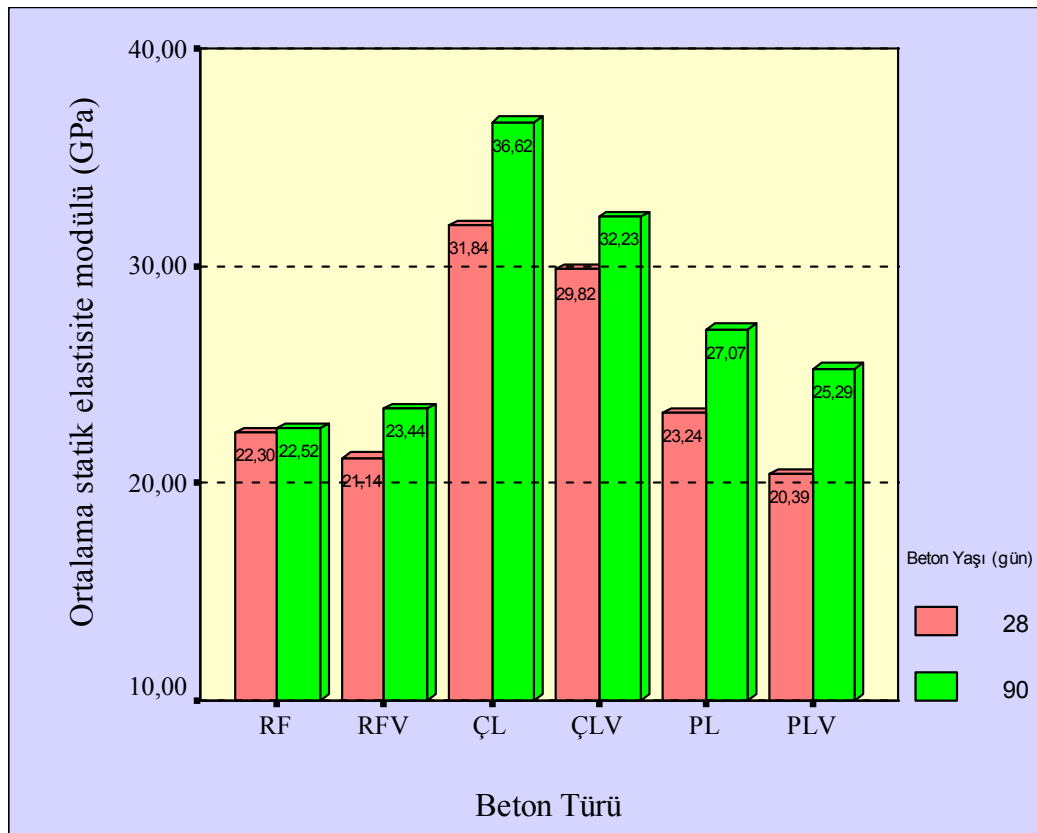
4.2.4. Statik elastisite modülü

Statik Elastisite modülü deney sonuçlarına ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.20'de verilmiştir. Ayrıca ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik Şekil 4.9'da görülmektedir.

Çizelge 4.20. Elastisite modülü verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton Türü	Beton Yaşı (gün)	N	Ortalama Elastisite Modülü (GPa)	Standart Sapma
RF	28	3	22,3033	,1443
	90	3	22,5233	4,619E-02
	Toplam	6	22,4133	,1540
RFV	28	3	21,1400	,5164
	90	3	23,4433	,4669
	Toplam	6	22,2917	1,3362
ÇL	28	3	31,8433	3,6950
	90	3	36,6167	,1443
	Toplam	6	34,2300	3,5079
ÇLV	28	3	29,8167	2,0512
	90	3	32,2300	1,0596
	Toplam	6	31,0233	1,9696
PL	28	3	23,2433	,9151

	90	3	27,0733	2,4018
	Toplam	6	25,1583	2,6539
PLV	28	3	20,3900	2,1703
	90	3	25,2933	2,1262
	Toplam	6	22,8417	3,3023
Total	28	18	24,7894	4,8277
	90	18	27,8633	5,2927
	Toplam	36	26,3264	5,2303



Şekil 4.9. Ortalama statik elastisite modülü değerlerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre elastisite modülü değerlerinin beton türüne ve beton yaşına göre değiştiği, ancak beton türü*beton yaşı interaksiyonunun istatistik olarak önemli olmadığı görülmüştür (Çizelge 4.21). Diğer bir ifadeyle elastisite modülü değerlerinin beton türü ve beton yaşına bağlı olarak değiştiği görülmüştür.

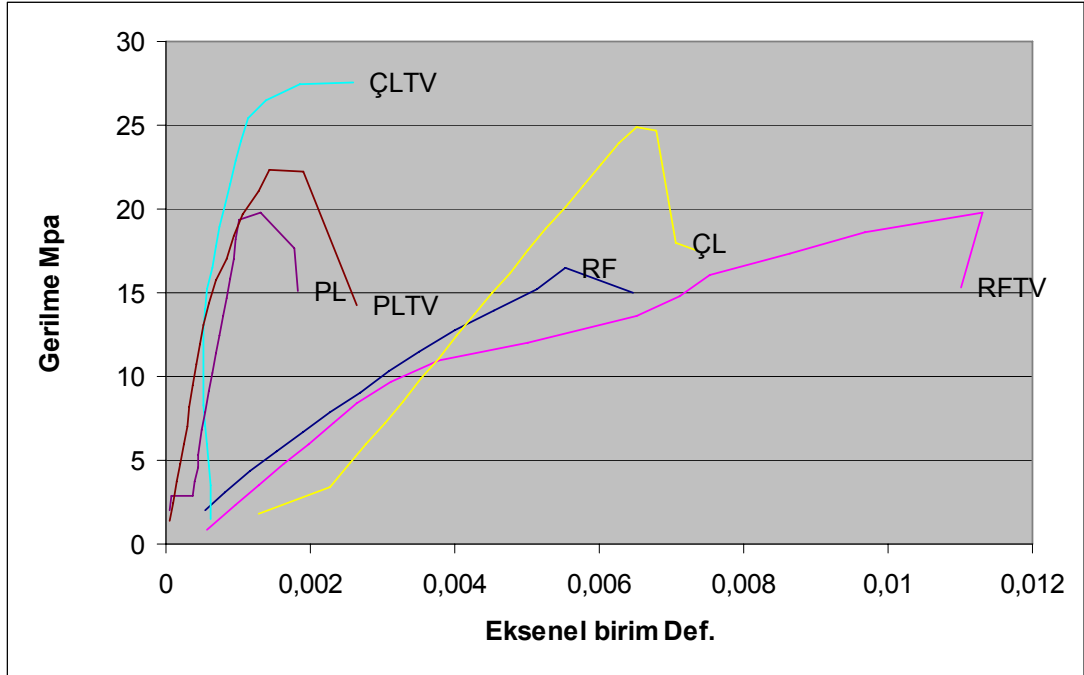
Çizelge 4.21. Elastisite modülü verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	886,773	11	80,616	27,367	,000
İntercept	24950,835	1	24950,835	8470,137	,000
Beton türü	777,762	5	155,552	52,806	,000
Gün	85,039	1	85,039	28,868	,000
Beton türü*Gün İnteraksiyonu	23,972	5	4,794	1,628	,191
Gruplar içi	70,698	24	2,946		
Toplam	25908,306	36			
Düzeltilmiş Toplam	957,471	35			

Statik elastisite modülü değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.22). Ayrıca her bir beton türü için elde edilen gerilme-birim deformasyon eğrilerine tipik bir örnek seçilerek Şekil 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.22. Beton türleri arasında gerçekleştirilen Duncan testi sonuçları

Beton Türü	N	Farklı olan gruplar ($p<0,05$)			
		1	2	3	4
RFV	6	22,2917			
RF	6	22,4133			
PLV	6	22,8417			
PL	6		25,1583		
ÇLV	6			31,0233	
ÇL	6				34,2300



Şekil 4.10. Beton türlerine ait gerilme birim deformasyon grafiği

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre statik elastisite modülü değerleri bakımından;

- En büyük değere 34,23 GPa ile ÇL betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 22,29 GPa ile RFV betonun sahip olduğu,
- ÇL betonunun RFV betona göre yaklaşık %35 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- Lif katkılı betonların tamamının RF betona göre daha büyük değerlere sahip olduğu,
- Lifli betonlarda ise çelik lif katkılı betonların polipropilen lif katkılı betonlara göre %26 daha büyük değere sahip olduğu,
- RF, RFV ve PLV betonlarının elastisite modülü değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı,

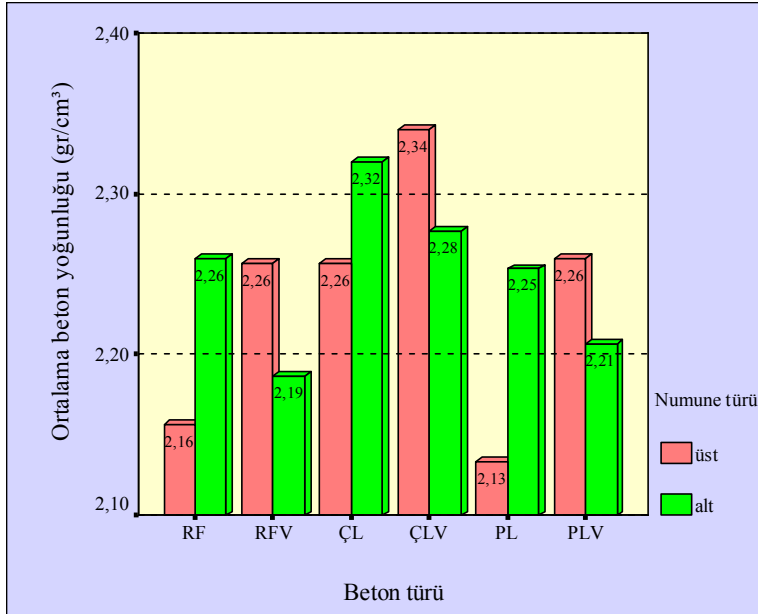
görülmüştür.

4.2.5. Beton yoğunluğu

Beton yoğunluğu deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.23'de verilmiştir. Ayrıca ortalama beton yoğunluğu verilerine ait grafik Şekil 4.11'te görülmektedir.

Çizelge 4.23. Beton yoğunluğu verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Numune türü	N	Ortalama Yoğunluk (gr/cm ³)	Standart sapma
RF	üst	3	2,1567	2,082E-02
	alt	3	2,2600	4,583E-02
	Total	6	2,2083	6,494E-02
RFV	üst	3	2,2567	1,528E-02
	alt	3	2,1867	3,055E-02
	Total	6	2,2217	4,401E-02
ÇL	üst	3	2,2567	4,041E-02
	alt	3	2,3200	1,000E-02
	Total	6	2,2883	4,355E-02
ÇLV	üst	3	2,3400	2,646E-02
	alt	3	2,2767	3,055E-02
	Total	6	2,3083	4,309E-02
PL	üst	3	2,1333	7,506E-02
	alt	3	2,2533	1,155E-02
	Total	6	2,1933	8,140E-02
PLV	üst	3	2,2600	1,000E-02
	alt	3	2,2067	2,887E-02
	Total	6	2,2333	3,502E-02
Total	üst	18	2,2339	7,845E-02
	alt	18	2,2506	5,139E-02
	Total	36	2,2422	6,591E-02



Şekil 4.11. Ortalama Yoğunluk değerlerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve numune türüne bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, Beton türü*Numune türü interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.24). Diğer bir ifadeyle beton yoğunluk değerlerindeki değişim beton türü ve numune türünün ortak etkisi ile değişmektedir.

Çizelge 4.24. Yoğunluk verilerine ait çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	0,124	11	1,132E-02	9,865	,000
İntercept	180,992	1	180,992	157765,579	,000
Beton türü	6,322E-02	5	1,264E-02	11,022	,000
Numune türü	2,500E-03	1	2,500E-03	2,179	,153
Beton*Numune türü İnteraksiyonu	5,877E-02	5	1,175E-02	10,245	,000
Gruplar içi	2,753E-02	24	1,147E-03		
Toplam	181,144	36			
Düzeltilmiş Toplam	,152	35			

Beton yoğunluğu değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.25).

Çizelge 4.25. Yoğunluk değerlerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	N	Farklı olan gruplar ($p<0,05$)	
		1	2
PL	6	2,1933	
RF	6	2,2083	
RFV	6	2,2217	
PLV	6	2,2333	
ÇL	6		2,2883
ÇLV	6		2,3083

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre yoğunluk değerleri bakımından;

- En büyük değere 2,30 gr/cm³ ile ÇLV betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 2,19 gr/cm³ ile PL betonun sahip olduğu,
- ÇLV betonunun PL betona göre yaklaşık %5 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- ÇL ve ÇLV betonların birbirinden farklı olmadığı ancak diğer bütün beton türlerinden farklı oldukları,
- PL, RF, RFV ve PLV betonlarının yoğunluk değerlerinin birbirinden farklı olmadığı,
- Vakum uygulanan betonlarda aynı türde olupta vakum uygulanmayanlara göre daha büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
- Yoğunluk değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha büyük, alt numunelerde ise daha küçük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise yoğunluk değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

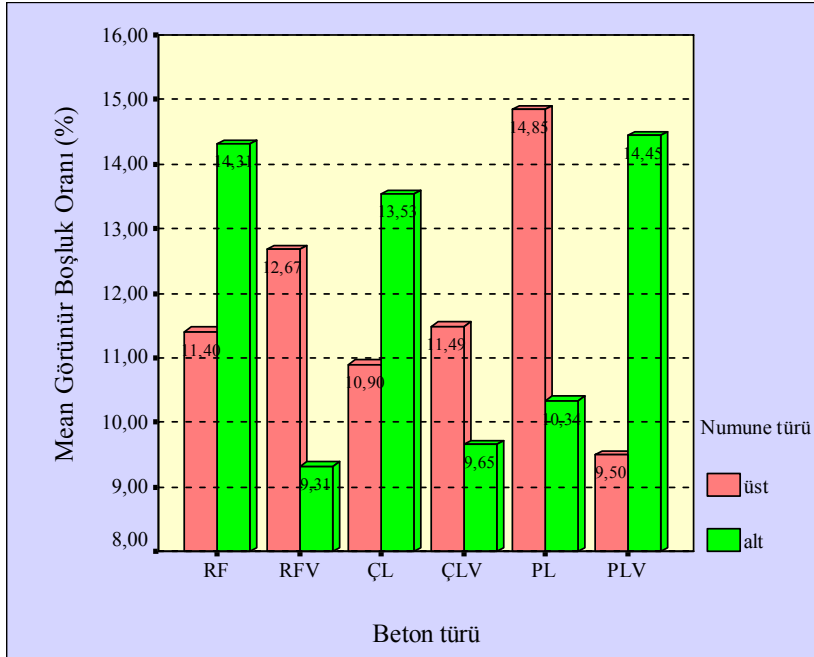
görülmüştür.

4.2.6. Görünür boşluk oranı

Görünür boşluk oranı deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.26’de verilmiştir. Ayrıca ortalama görünür boşluk oranı verilerine ait grafik Şekil 4.12’te görülmektedir.

Çizelge 4.26. Görünür boşluk oranı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Numune türü	Ortalama Boşluk oranı (%)	Std. Sapma	N
RF	üst	11,4033	,9655	3
	alt	14,3067	2,0470	3
	Total	12,8550	2,1395	6
RFV	üst	12,6733	,5463	3
	alt	9,3133	1,1265	3
	Total	10,9933	2,0035	6
ÇL	üst	10,9000	,6286	3
	alt	13,5300	,8584	3
	Total	12,2150	1,5899	6
ÇLV	üst	11,4867	1,3131	3
	alt	9,6533	,5659	3
	Total	10,5700	1,3513	6
PL	üst	14,8500	2,3244	3
	alt	10,3400	,4551	3
	Total	12,5950	2,8889	6
PLV	üst	9,4967	1,7403	3
	alt	14,4500	,8408	3
	Total	11,9733	2,9757	6
Total	üst	11,8017	2,0704	18
	alt	11,9322	2,4520	18
	Total	11,8669	2,2376	36



Şekil 4.12. Ortalama görünür boşluk oranı değerlerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve numune türüne bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, Beton türü*Numune türü interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.27). Diğer bir ifadeyle görünür boşluk oranı değerlerindeki değişim beton türü ve numune türünün ortak etkisi ile değişmektedir.

Çizelge 4.27. Görünür boşluk oranı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	136,813	11	12,438	7,769	,000
İntercept	5069,677	1	5069,677	3166,663	,000
Beton türü	24,504	5	4,901	3,061	,028
Numune türü	,153	1	,153	,096	,760
Beton*Numune türü İnteraksiyonu	112,155	5	22,431	14,011	,000
Gruplar içi	38,423	24	1,601		
Toplam	5244,913	36			
Düzeltilmiş Toplam	175,236	35			

Görünür boşluk oranı değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.28. Görünür boşluk oranına ait Duncan test sonuçları

Beton türü	N	Farklı olan gruplar ($p<0,05$)		
		1	2	3
ÇLV	6	10,5700		
RFV	6	10,9933	10,9933	
PLV	6	11,9733	11,9733	11,9733
ÇL	6		12,2150	12,2150
PL	6		12,5950	12,5950
RF	6			12,8550

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre görünür boşluk oranına değerleri bakımından;

- En büyük değere %12,85 ile RF betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise %10,57 ile ÇLV betonun sahip olduğu,
- RF betonunun ÇLV betona göre yaklaşık %17 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- RFV, PLV ve ÇLV betonların birbirinden farklı olmadığı,
- RF betonun ÇLV ve RFV betondan farklı olduğu diğer beton türlerinden ise farklı olmadığı,
- Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük görünür boşluk oranlarına sahip olduğu,
- Görünür boşluk oranı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise görünür boşluk oranı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

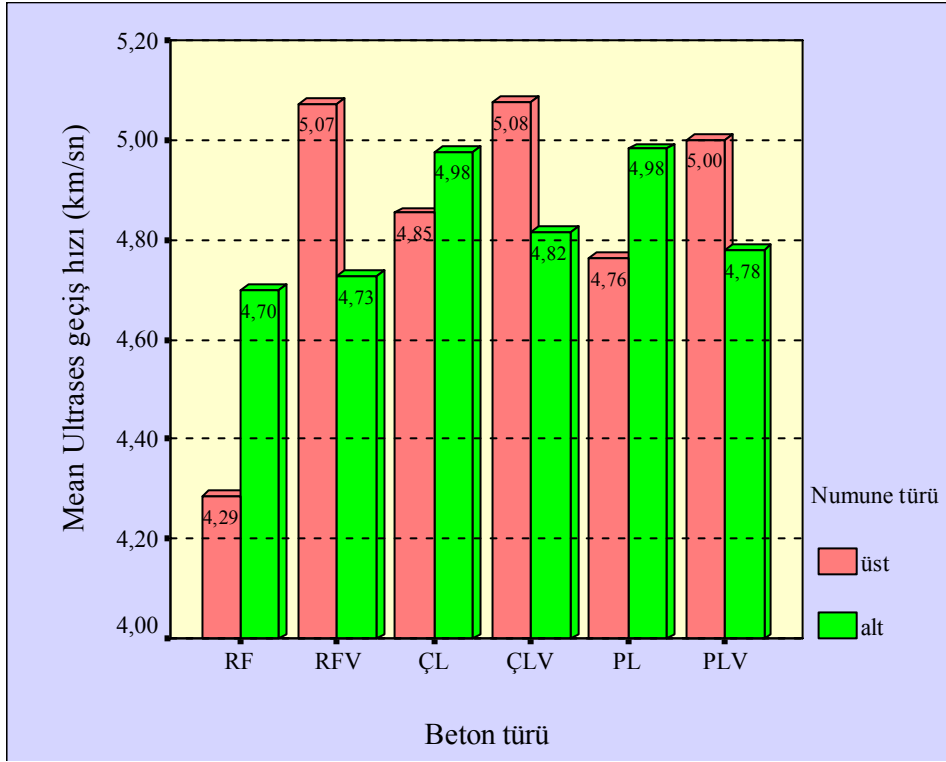
görülmüştür.

4.2.7. Ultrases geçiş hızı

Ultrases geçiş hızı deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.29’de verilmiştir. Ayrıca ortalama ultrases geçiş hızı verilerine ait grafik Şekil 4.13’te görölmektedir.

Çizelge 4.29. Ultrases geçiş hızı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Numune türü	N	Ortalama U.ses Geçiş Hızı (km/sn)	Std. Sapma
RF	üst	3	4,2867	,1861
	alt	3	4,7000	,1127
	Total	6	4,4933	,2649
RFV	üst	3	5,0733	,2458
	alt	3	4,7267	4,726E-02
	Total	6	4,9000	,2472
ÇL	üst	3	4,8533	8,327E-02
	alt	3	4,9767	2,517E-02
	Total	6	4,9150	8,712E-02
ÇLV	üst	3	5,0767	6,658E-02
	alt	3	4,8167	,1002
	Total	6	4,9467	,1615
PL	üst	3	4,7633	5,132E-02
	alt	3	4,9833	7,024E-02
	Total	6	4,8733	,1325
PLV	üst	3	5,0000	,1400
	alt	3	4,7800	4,583E-02
	Total	6	4,8900	,1523
Total	üst	18	4,8422	,3070
	alt	18	4,8306	,1309
	Total	36	4,8364	,2327



Şekil 4.13. Ortalama Ultrases geçiş hızı verilerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve numune türüne bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, Beton türü*Numune türü interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.30). Diğer bir ifadeyle ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişim beton türü ve numune türünün ortak etkisinden kaynaklanmaktadır.

Çizelge 4.30. Ultrases geçiş hızı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	1,572	11	,143	10,631	,000
İntercept	842,064	1	842,064	62645,778	,000
Beton türü	,866	5	,173	12,884	,000
Numune türü	1,225E-03	1	1,225E-03	,091	,765
Beton*Numune türü İnteraksiyonu	,705	5	,141	10,486	,000

Gruplar içi	,323	24	1,344E-02
Toplam	843,958	36	
Düzeltilmiş Toplam	1,894	35	

Ultrases geçiş hızı değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.31).

Çizelge 4.31. Betonlar arasında gerçekleştirilen ait Duncan test sonuçları

Beton türü	N	Farklı olan gruplar ($p < 0,05$)	
		1	2
RF	6	4,4933	
PL	6		4,8733
PLV	6		4,8900
RFV	6		4,9000
ÇL	6		4,9150
ÇLV	6		4,9467

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre ultrases geçiş hızı değerleri bakımından;

- En büyük değere 4,94 km/sn ile ÇLV betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,49 km/sn ile RF betonun sahip olduğu,
- RF betonunun ÇLV betona göre yaklaşık %10 oranında daha küçük değere sahip olduğu,
- RF betonun diğer beton türlerinden ise farklı olduğu, diğer beton türlerinin ise birbirinden farklı olmadığı,
- ÇL beton hariç vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha büyük ultrases geçiş hızı değerlerine sahip olduğu,
- Ultrases geçiş hızı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha büyük, alt numunelerde ise daha küçük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

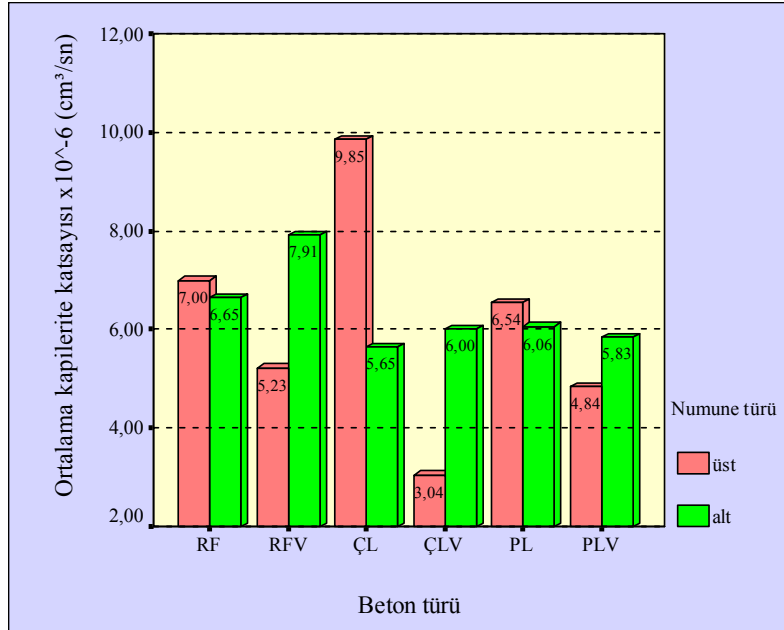
görülmüştür.

4.2.8. Kapiler su emme

Kapiler su emme deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.32’de verilmiştir. Ayrıca ortalama kapilarite katsayısı verilerine ait grafik Şekil 4.14’te görülmektedir.

Çizelge 4.32. Kapilarite katsayısı verilerine ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Numune türü	N	Ortalama Kapilarite Katsayısı x 10 ⁻⁶ (cm ³ /sn)	Std. Sapma
RF	üst	3	6,9967	,4972
	alt	3	6,6500	,2858
	Total	6	6,8233	,4094
RFV	üst	3	5,2267	,4188
	alt	3	7,9067	,6962
	Total	6	6,5667	1,5552
ÇL	üst	3	9,8500	,2207
	alt	3	5,6467	,8766
	Total	6	7,7483	2,3722
ÇLV	üst	3	3,0433	,6476
	alt	3	6,0033	,8632
	Total	6	4,5233	1,7591
PL	üst	3	6,5400	,1058
	alt	3	6,0600	,3439
	Total	6	6,3000	,3477
PLV	üst	3	4,8433	,3089
	alt	3	5,8333	,4829
	Total	6	5,3383	,6523
Total	üst	18	6,0833	2,1993
	alt	18	6,3500	,9487
	Total	36	6,2167	1,6747



Şekil 4.14. Ortalama kapilerite katsayısı verilerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve numune türüne bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, Beton türü*Numune türü interaksiyonunun ve beton türleri arasındaki farkın istatistiksel olarak önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.33). Diğer bir ifadeyle kapilerite katsayısı değerleri beton türü ve numune türünün ortak etkisine bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 4.33. Kapilerite katsayısı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	91,308	11	8,301	29,051	,000
İntercept	1391,290	1	1391,290	4869,238	,000
Beton türü	38,894	5	7,779	27,224	,000
Numune türü	,640	1	,640	2,240	,148
Beton*Numune türü İnteraksiyonu	51,774	5	10,355	36,240	,000
Gruplar içi	6,858	24	,286		
Toplam	1489,456	36			
Düzeltilmiş Toplam	98,166	35			

Kapilerite katsayısı değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.34).

Çizelge 4.34. Kapilerite katsayısı verilerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	N	Farklı olan gruplar ($p<0,05$)			
		1	2	3	4
ÇLV	6	4,5233			
PLV	6		5,3383		
PL	6			6,3000	
RFV	6			6,5667	
RF	6			6,8233	
ÇL	6				7,7483

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre kapilerite katsayısı değerleri bakımından;

- En büyük değere 7,74 cm³/sn ile ÇL, 6,82 cm³/sn ile RF betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,52 cm³/sn ile ÇLV betonun sahip olduğu,
- RF betonunun ÇLV betona göre yaklaşık %34 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- PL, RFV ve RF betonların birbirinden farklı olmadığı,
- Diğer beton türlerinin ise birinden farklı olduğu,
- Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük kapilerite katsayısı değerlerine sahip olduğu,
- Kapilerite katsayısı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise kapilerite katsayısı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

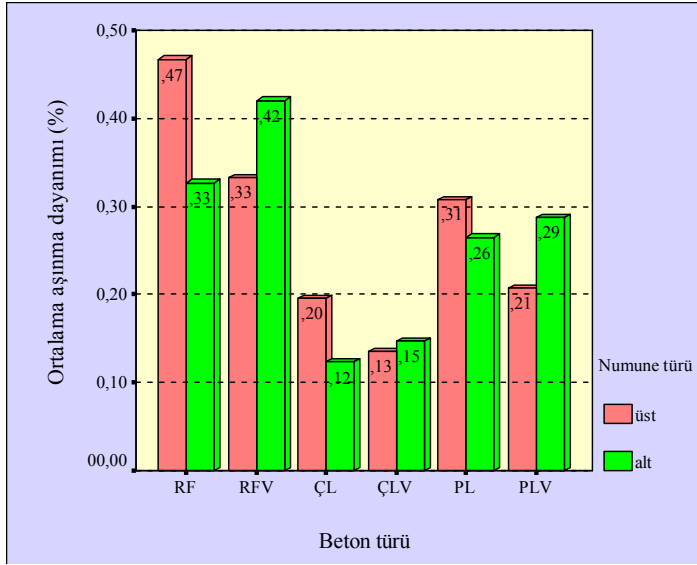
görülmüştür.

4.2.9. Aşınma dayanımı

Aşınma dayanımı deneyi sonucunda elde edilen verilere ait açıklayıcı istatistikler Çizelge 4.35’de verilmiştir. Ayrıca ortalama aşınma dayanımı verilerine ait grafik Şekil 4.15’te görülmektedir.

Çizelge 4.35. Aşınma dayanımına ait açıklayıcı istatistikler

Beton türü	Numune türü	N	Ortalama Aşınma Dayanımı (%)	Std. Sapma
RF	üst	3	0,4668	0,3945
	alt	3	0,3264	0,1505
	Total	6	0,3966	0,2779
RFV	üst	3	0,3328	3,445E-02
	alt	3	0,4204	8,028E-02
	Total	6	0,3766	7,318E-02
ÇL	üst	3	0,1951	1,575E-02
	alt	3	0,1229	3,212E-02
	Total	6	0,1590	4,556E-02
ÇLV	üst	3	0,1347	6,703E-03
	alt	3	0,1464	8,237E-03
	Total	6	0,1406	9,274E-03
PL	üst	3	0,3073	8,634E-02
	alt	3	0,2646	9,258E-02
	Total	6	0,2860	8,341E-02
PLV	üst	3	0,2074	3,974E-02
	alt	3	0,2876	2,842E-02
	Total	6	0,2475	5,371E-02
Total	üst	18	0,2740	0,1795
	alt	18	0,2614	0,1253
	Total	36	0,2677	0,1527



Şekil 4.15. Aşınma dayanımı değerlerine ait grafik

Elde edilen veriler üzerinde Beton türü ve numune türüne bağlı olarak gerçekleştirilen iki faktörlü varyans analizi sonucuna göre, Beton türü*Numune türü interaksiyonunun istatistiksel olarak önemli olmadığı, beton türleri arasındaki farkın önemli olduğu görülmüştür (Çizelge 4.27). Diğer bir ifadeyle aşınma dayanımı değerlerindeki değişim beton türüne bağlı olarak değişmektedir.

Çizelge 4.36. Aşınma dayanımı verilerine ait varyans çözümleme tablosu

Varyansın kaynağı	Kareler ortalaması	Serbestlik derecesi	Kareler ortalaması	F	Anlamlılık düzeyi
Düzeltilmiş model	,405	11	3,679E-02	2,146	,057
İntercept	2,580	1	2,580	150,490	,000
Beton türü	,343	5	6,864E-02	4,003	,009
Numune türü	1,434E-03	1	1,434E-03	,084	,775
Beton*Numune türü İnteraksiyonu	6,004E-02	5	1,201E-02	,700	,629
Gruplar içi	,412	24	1,715E-02		
Toplam	3,397	36			
Düzeltilmiş Toplam	,816	35			

Görünür boşluk oranı değerlerinin beton türleri arasındaki farklılıklarını belirlemek için çoklu karşılaştırma tekniklerinden Duncan testi kullanılmıştır. (Çizelge 4.28).

Çizelge 4.37. Aşınma dayanım verilerine ait Duncan testi sonuçları

Beton türü	N	Farklı olan gruplar ($p < 0,05$)	
		1	2
ÇLV	6	,1406	
ÇL	6	,1590	
PLV	6	,2475	,2475
PL	6	,2860	,2860
RFV	6		,3766
RF	6		,3966

Gerçekleştirilen çoklu karşılaştırma testi sonuçlarına göre aşınma dayanımı değerleri bakımından;

- En büyük değere %0,39 ile RF betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise %0,14 ile ÇLV betonun sahip olduğu,
- RF betonunun ÇLV betona göre yaklaşık %64 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- PLV, PL, ÇL ve ÇLV betonların birbirinden farklı olmadığı,
- RF betonun ÇLV ve ÇL betondan farklı olduğu diğer beton türlerinden ise farklı olmadığı,
- Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük aşınma dayanımı değerlerine sahip olduğu,
- Aşınma dayanımı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise aşınma dayanımı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

görülmüştür.

5. Sonuçlar

Farklı karışım özelliklerine sahip vakumlu ve vakumsuz olarak üretilen beton bloklar üzerinde; Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu deneyleri ve bu beton bloklardan alınan karot numuneler üzerinde ise; basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, statik elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Deneylerden elde edilen veriler üzerinde yapılan istatistik değerdendirmeler sonucunda aşağıda belirtilen sonuçlara ulaşılmıştır.

Schmidt çekici ile yüzey sertliği değerdlerinin;

- 7. ve 28. günlerde bütün beton türlerinde yapılan ölçümlerin farklı olduğu,
- Çelik lif betonda 7. ve 14. gündeki sonuçların birbirinden farksız olduğu,
- Polipropilen lif betonda 7. ve 14. gündeki sonuçların birbirinden farksız olduğu,
- 7.,14. ve 28. günlerde en yüksek yüzey sertliği sırasıyla Çelik lif, Polipropilen lif vakumlu ve Çelik lif vakumlu olduğu
- Polipropilen lif ve Çelik lif vakumlu betonlarının birbirinde farklı olmadığı,
- Betonlar arasında Polipropilen lif ve Çelik lif vakumlu betonlarının en yüksek yüzey sertliği değerdlerine sahip olduğu
- En düşük yüzey sertliği değerdine ise Polipropilen lif vakumlu betonunun sahip olduğu,
- Çelik lif vakumlu betonunun Referans betona göre yaklaşık %8 oranında daha büyük yüzey sertliğine sahip olduğu

görülmüştür.

Radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu değerlerinin;

- 25mm, 50mm ve 75mm derinlikte ortalama yoğunluğun Çelik lif beton türünde en büyük, her üç derinlikte ortalama yoğunluğun CLV türünde en küçük olduğu,
- Polipropilen lif, Polipropilen lif vakumlu ve Polipropilen lif vakumlu beton türleri için, 75mm derinlik değerinde ortalama yoğunluk ölçümlerinin çok yakın olduğu,
- 7,14 ve 28. günlerde en büyük ortalama yoğunluğa sırasıyla Polipropilen lif vakumlu, ÇL ve Polipropilen lif sahip olduğu,
- 14. gündeki ortalama yoğunluk değerlerinin Polipropilen lif vakumlu ve Polipropilen lif vakumlu beton türleri için farksız olduğu,
- 28. gündeki ortalama yoğunluk değerlerinin Polipropilen lif vakumlu ve Çelik lif vakumlu, Çelik lif ve Polipropilen lif beton türleri için farksız olduğu,

görülmüştür.

Basınç dayanımı değerlerinin;

- Hazırlanan bütün beton karışımlarının Referans betona göre basınç dayanımlarının daha fazla olduğu,
- Çelik lif vakumlu betonun basınç dayanımının bütün beton yaşlarında en yüksek dayanım değerine sahip olduğu,
- Bütün beton türlerinde 7 ve 14. günlerdeki basınç dayanımlarının birbirine yakın olduğu, ancak 28 ve 90. günlerde beton türleri arasında basınç dayanımlarının farklılık gösterdiği,
- Referans ve Çelik lif beton haricinde diğer bütün beton türlerinin 28. günden sonra basınç dayanımı değerlerinde fazla değişmediği,
- Referans betonun 20,66 MPa ile en küçük değere sahip olduğu,
- Çelik lif vakumlu betonun 28,11 MPa ile en büyük değere sahip olduğu,

- Polipropilen lif vakumlu ve Çelik lif vakumlu betonlarının basınç dayanımı değerleri bakımından birbirinden farklı olmadığı,
- Çelik lif vakumlu betonunun Referans betona göre %26 oranında daha büyük basınç dayanımı değerine sahip olduğu,

görülmüştür.

Eğilmede çekme dayanımı değerlerinin;

- En büyük değere 5,07 MPa ile Çelik lif betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,7 MPa ile Referans betonun sahip olduğu,
- Çelik lif betonunun Referans betona göre yaklaşık %8 oranında daha büyük değere sahip olduğu,

görülmüştür.

Yarmada çekme dayanımı değerlerinin;

- En büyük değere 5,18 MPa ile Çelik lif vakumlu betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,2 MPa ile Referans betonun sahip olduğu,
- Çelik lif vakumlu betonunun Referans betona göre yaklaşık %19 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- Lif katkılı ve vakumlu betonların tamamının Referans betona göre daha büyük değerlere sahip olduğu,
- Lifli betonlarda ise çelik lif katkılı betonların polipropilen lif katkılı betonlara göre %10 daha büyük değere sahip olduğu,

görülmüştür.

Statik elastisite modülü değerlerinin;

- En büyük değere 34,23 GPa ile Çelik lif betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 22,29 GPa ile Polipropilen lif vakumlu betonun sahip olduğu,
- Çelik lif betonunun Polipropilen lif vakumlu betona göre yaklaşık %35 oranında daha büyük değere sahip olduğu,

- Lif katkılı betonların tamamının Referans betona göre daha büyük değerlere sahip olduğu,
- Lifli betonlarda ise çelik lif katkılı betonların polipropilen lif katkılı betonlara göre %26 daha büyük değere sahip olduğu,
- Referans, Polipropilen lif vakumlu ve Polipropilen lif vakumlu betonlarının elastisite modülü değerlerinin istatistiksel olarak birbirinden farklı olmadığı,

görülmüştür.

Beton yoğunluğu değerlerinin;

- En büyük değere 2,30 gr/cm³ ile Çelik lif vakumlu betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 2,19 gr/cm³ ile Polipropilen lif betonun sahip olduğu,
- Çelik lif vakumlu betonunun Polipropilen lif betona göre yaklaşık %5 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- Çelik lif ve Çelik lif vakumlu betonların birbirinden farklı olmadığı ancak diğer bütün beton türlerinden farklı oldukları,
- Polipropilen lif, Referans, Polipropilen lif vakumlu ve Polipropilen lif vakumlu betonlarının yoğunluk değerlerinin birbirinden farklı olmadığı,
- Vakum uygulanan betonlarda aynı türde olupta vakum uygulanmayanlara göre daha büyük yoğunluk değerlerine sahip olduğu,
- Yoğunluk değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha büyük, alt numunelerde ise daha küçük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise yoğunluk değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

görülmüştür.

Görünür boşluk oranı değerlerinin,

- En büyük değere %12,85 ile Referans betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise %10,57 ile Çelik lif vakumlu betonun sahip olduğu,
- Referans betonunun Çelik lif vakumlu betona göre yaklaşık %17 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
- Polipropilen lif vakumlu, Polipropilen lif vakumlu ve Çelik lif vakumlu betonların birbirinden farklı olmadığı,
- Referans betonun Çelik lif vakumlu ve Polipropilen lif vakumlu betondan farklı olduğu diğer beton türlerinden ise farklı olmadığı,
- Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük görünür boşluk oranlarına sahip olduğu,
- Görünür boşluk oranı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise görünür boşluk oranı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

görülmüştür.

Ultrases geçiş hızı değerlerinin,

- En büyük değere 4,94 km/sn ile Çelik lif vakumlu betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise 4,49 km/sn ile Referans betonun sahip olduğu,
- Referans betonunun Çelik lif vakumlu betona göre yaklaşık %10 oranında daha küçük değere sahip olduğu,
- Referans betonun diğer beton türlerinden ise farklı olduğu, diğer beton türlerinin ise birbirinden farklı olmadığı,
- Çelik lif beton hariç vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha büyük ultrases geçiş hızı değerlerine sahip olduğu,

- Ultrases geçiş hızı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha büyük, alt numunelerde ise daha küçük değerler aldığı,
 - Vakum uygulanmayan betonlarda ise ultrases geçiş hızı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,
- görülmüştür.

Kapiler su emme değerlerinin,

- En büyük değere 7,74 cm³/sn ile elik lif, 6,82 cm³/sn ile Referans betonunun sahip olduğu,
 - En küçük değere ise 4,52 cm³/sn ile elik lif vakumlu betonun sahip olduğu,
 - Referans betonunun elik lif vakumlu betona göre yaklaşık %34 oranında daha büyük değere sahip olduğu,
 - Polipropilen lif, Polipropilen lif vakumlu ve Referans betonların birbirinden farklı olmadığı,
 - Diğer beton türlerinin ise birinden farklı olduğu,
 - Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük kapilarite katsayısı değerlerine sahip olduğu,
 - Kapilarite katsayısı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
 - Vakum uygulanmayan betonlarda ise kapilarite katsayısı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,
- görülmüştür.

Aşınma dayanımı değerlerinin,

- En büyük değere %0,39 ile Referans betonunun sahip olduğu,
- En küçük değere ise %0,14 ile elik lif vakumlu betonun sahip olduğu,
- Referans betonunun elik lif vakumlu betona göre yaklaşık %64 oranında daha büyük değere sahip olduğu,

- Polipropilen lif vakumlu, Polipropilen lif, Çelik lif ve Çelik lif vakumlu betonların birbirinden farklı olmadığı,
- Referans betonun Çelik lif vakumlu ve Çelik lif betondan farklı olduğu diğer beton türlerinden ise farklı olmadığı,
- Vakumlu betonların, vakumsuz betonlardan daha küçük aşınma dayanımı değerlerine oranlarına sahip olduğu,
- Aşınma dayanımı değerlerinin vakum uygulamasına bağlı olarak üst numunelerde daha küçük, alt numunelerde ise daha büyük değerler aldığı,
- Vakum uygulanmayan betonlarda ise aşınma dayanımı değerlerindeki değişimin tam tersi olduğu,

görülmüştür.

Sunuç olarak üretimi gerçekleştirilen beton türlerinin içerisinde lif katkılı olan betonların mekanik ve fiziksel özellikler bakımından katkısız betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği, bütün beton türlerinde vakum uygulamasının özellikle beton üst yüzeyinde malzeme özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Hazırlanan beton karışımları içerisinde beton yol kaplamalarında kullanılabilirlik bakımından sırasıyla çelik lifli ve polipropilen lifli betonların en iyi beton türü olduğu, vakum uygulanmasıyla birlikte yüzey özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.

6. Kaynaklar

1. Açar, E., Öztaş, G., Sütaş, İ., Beton Yollar, İstanbul Teknik Üniversitesi Yayınları, 1998, İstanbul
2. Uçar, S., 'Yol Üstyapıları Yapım Maliyetleri Araştırması', Ulusal Beton Yollar Kongresi, Ankara, 2002.
3. Ilıcalı, M., 'Uygun Karayolu Üstyapı Tipi Seçiminin Önemi', Hazır Beton Dergisi, yıl:9, sayı:51, Mayıs, 2002.
4. Taşdemir, Y., Açar, E., 'Silindir İle Sıkıştırılabilen Beton Yollar', Hazır Beton Dergisi, yıl:9, sayı:51, Mayıs, 2002.
5. O. A. Düzgün, R. Gül, A. C. Aydın, "Effect of steel fibers on the mechanical properties of natural lightweight aggregate concrete" Materials Letters 59 (2005) 3357 – 3363.
6. Ö. Eren, T. Çelik, "Effect of silica fume and steel fibers on some properties of high-strength concrete" Construction and Building Materials, Vol. 11. Nos I-8, PP. 373-382. 1997.
7. M.C. Nataraja, N. Dhang, A.P. Gupta. "Stress±strain curves for steel-Fiber reinforced concrete under compression" Cement & Concrete Composites 21 (1999) 383-390
8. C.X. Qian, P. Stroeven "Development of hybrid polypropylene-steel fibre-reinforced concrete" Cement and Concrete Research 30 (2000) 63–69.
9. R.V. Balendran, F.P. Zhou, A. Nadeem, ve A.Y.T. Leung. "In uence of steel "bres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete" Building and Environment 37 (2002) 1361 – 1367.
10. S.P. Snigh, S.K. Kaushik., "Fatigue strength of steel fibre reinforced concrete in flexure" Cement & Concrete Composites 25 (2003) 779–786.
11. P.S. Song, S. Hwang. "Mechanical properties of high-strength steel fiber-reinforced concrete" Construction and Building Materials 18 (2004) 669–673.

12. A.R. Khaloo, M. Afshari, "Flexural behaviour of small steel fibre reinforced concrete slabs" *Cement & Concrete Composites* 27 (2005) 141–149.
13. Houssam A. Toutanji, "Properties of polypropylene fiber reinforced silica fume expansive-cement concrete" *Construction and Building Materials* 13 1999 171]177
14. Salah, A. Altoubat, J. R. Roesler, D. A. Lange , K. A.Rieder, "Simplified method for concrete pavement design with discrete structural fibers" *Construction and Building Materials* xxx (2006) xxx–xxx
15. P.S. Song, S. Hwang, B.C. Sheu., "Strength properties of nylon- and polypropylene-fiber-reinforced concretes" *Cement and Concrete Research* 35 (2005) 1546– 1550.
16. İ. Bekir Topçu, Mehmet Canbaz. "Effect of different fibers on the mechanical properties of concrete containing fly ash" *Construction and Building Materials* xxx (2006) xxx–xxx.
17. Sofren Leo Suhaendi, Takashi Horiguchi., "Effect of short fibers on residual permeability and mechanical properties of hybrid fibre reinforced high strength concrete after heat exposition" *Cement and Concrete Research* 36 (2006) 1672–1678.
18. ACI Committee 544 "State-Of-The-Art Report On Fiber Reinforced Concrete" *ACI Manual Of Concrete Practice*, 1990, Part 5, 22 Pp.
19. Al-Tayyib, A-H. J., And Al-Zahrani, M. M. "Corrosion Of Steel Reinforcement In Polypropylene Fiber Reinforced Concrete Structures" *ACI Materials Journal*, Mar-Apr 1990, Vol. 87, No. 2, Pp 108-113.
20. Al-Tayyib, A-H. J. And Al-Zahrani, M. M. "Use Of Polypropylene Fibers To Enhance Deterioration Resistance Of Concrete Surface Skin Subjected To Cyclic Wet/Dry Sea Water Exposure" *ACI Materials Journal*, Jul-Aug 1990, Vol. 87, No. 4, Pp 363-370.
21. Beaudoin, J. J. "Handbook Of Fiber-Reinforced Concrete. Principles, Properties, Developments And Applications" Noyes Publications, Park Ridge, NJ, 1990, xvii, 332 pp.

- 22.S. T. Yıldırım ve C. E. Ekinci, "Çelik, Cam ve Polipropilen Lifli Betonlarda Donma-Çözülme Etkilerinin Araştırılması" Fırat Üniv. Fen ve Müh. Bil. Dergisi 18 (3), 359-366, 2006.
- 23.Şimşek, O., Bolat, H., Erdal, M., Sancak, E., Durmuş, G., "Vakum uygulamasının betonun özelliklerine etkisi", Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri, Proje No: 07/2001-12, Ankara (2004).
24. Mehmet Yerlikaya, "Çelik Tel Donatılı Yol Betonları" Beksa AŞ, 2002.
- 25.Çivici F., "İki Eksenli Eğilme Altında Lifli Betonların Davranışı" Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Balıkesir,2002
- 26.Şimşek O., Erdal, M., ve Sancak E., "Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi" Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt:20, No:2,211-215, 2005.
- 27.Bolat H., "Vakum uygulamasının betonun özelliklerine etkisi", Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enst.. Yüksek lisans tezi. 2003 Ankara
- 28.Yaprak, H.,Şimşek, O.,Sancak, E.,Bolat, H., ""Effect of vacuum application on the corrosion behaviour of concrete -Vakum Uygulanan Betonlarda Korozyon" IV. ICCP 2004 International Corrosion and Concrete Protection Symposium -Uluslararası Korozyon ve Beton Koruma Sempozyumu, 453-464, 22-25 Eylül 2004 Ankara.
- 29.Çivici, F., "Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu" Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Yıl: 2006, Cilt: 12, Sayı: 2, Sayfa: 183-188
- 30.Kaltakçı, Y,M., Köken A., Yılmaz Ü, S., "Eksenel Yük Altındaki Çelik Lifli ve Lifsiz Etriyeli Betonarme Kolonların Davranışının Deneysel ve Analitik Olarak İncelenmesi" Deü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt: 8 Sayı: 1 S. 65-85 Ocak 2006.
31. Türkiye Cumhuriyeti Karayolları, 1998
- 32.Gültekin A.B., "Yaşam Döngüsü Değerlendirme" Yöntemi Kapsamında Yapı Ürünlerinin Çevresel Etkilerinin Değerlendirilmesine Yönelik Bir Model Önerisi" Gazi Üniversitesi Fen bilimleri, Doktora tezi, Aralık 2006
- 33.Benefits of Concrete-Cement Association of Canada

34. "U.S. Tour of European Concrete Highways" , US TECH Team Report. (1992)
35. "Benefits Of Concrete Highways " , Cement Association of Canada, (2001).
36. "Afyonkarahisar'daki Beton Yolun Hikâyesi" TÇMB (2005)
37. " Afyon – Emirdağ yolu bilgileri " KGM 3. Bölge MD. (2002)
38. 2006 Karayolları Teknik Şartnamesi (syf 577–602)
39. "Ulusal Beton Yollar Kongresi " TÇMB (2002)
40. Akıllı T. "Beton Yollar" (yüksek lisans tezi)
41. "9. Uluslar Arası Beton Yollar Sempozyumu " Çimento ve Beton Dünyası Dergisi (2002)
42. <http://www.afyon-bld.gov.tr>
43. <http://www.meka.biz/tr/units.asp>
44. <http://www.thbb.org/>
45. <http://www.arkitera.com/>
46. " Beton Yol " Çimento ve Beton Dünyası Dergisi (2002)
47. Beton Teknik A.Ş., 2000, Vakumlu beton tanıtım kitapçığı, Ankara
48. Özdemir, Ö. 1999, Experimental Study on vacuum processed concrete for floor constructions, İndustrial Floors sempozyumu bildiri notları, Stutgard, Almanya.
49. Şimşek, O., 2000, Yapı Malzemesi 2, Gazi Üni. T.E.F. Yapı Eğitimi, Ankara.
50. Özdemir, Ö., 1992, Vakumlu Beton., Bayındırlık Bakanlığı DSİ Müdürlüğü Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı., Yayın No:MIz 817, Ankara.
51. Muramatsu A., Yamaguchi T., 1999, Finishing concrete floor by modified vacuum dewatering, İndustrial Floors sempozyumu bildiri notları, Stutgard, Almanya.
52. Bolat, H., "Vakumlu betonun basınç dayanımı üzerine bir araştırma" Yüksek lisans tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, mayıs 2002, Ankara
53. Neville, A., 1981., Properties of concrete, Pitman, Londra.

- 54.Erdal, M., Şimşek, O., “Bazı tahribatsız deney metotlarının vakum uygulanmış betonların basınç dayanımlarının belirlenmesindeki performanslarının incelenmesi”, *G. Ü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21 (1): 65-73 (2006).
- 55.Çetmeli, E. 1985, Vacuum Processed Concrete, Proceedings of the First International Conference on Concrete Technology for Developing Countries, Yarmouk University, Irbid, Ürdün.
- 56.Grace, 2001, Yapı Kimyasalları ürün klavuzu, İstanbul.
- 57.Orchard, D.F., 1979, The Vacuum Concrete Process, Concrete Technology Volume 2, Londra.
- 58.ASTM C1040-93, “Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods”, American Society For Testing And Materials, USA, (1993).
- 59.TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- 60.ASTM C805-97, “Standard Test Method for Rebound Number of Hardened Concrete”, American Society For Testing And Materials, USA, (1997).
- 61.ASTM C1040-93, “Standard Test Methods for Density of Unhardened and Hardened Concrete In Place By Nuclear Methods”, American Society For Testing And Materials, USA, (1993).
- 62.TS EN 12390-3, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (2002).
- 63.TS EN 12390-6, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Deney Numunelerinin Yarmada Çekme Dayanımının Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002).
- 64.TS 12390-7, “Beton-Sertleşmiş Beton Deneyleri-Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (2002).
- 65.TS 3502, “Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini”, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1981).

66. TS 3624, "Sertleşmiş Betonda Özgöl Ağırlık, Su Emme ve Boşluk Oranı Tayin Metodu", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1981).
67. ASTM C597-97, "Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete", American Society For Testing And Materials, USA, (1997).
68. Malhotra, V.M., "Significance of test and properties of concrete and concrete making materials", Editors: Klieger P. and Lamond, J.F., ASTM Publication, ASTM-STP 169C, 326-327, USA (1994).
69. TS 4045, "Yapı Malzemelerinde Kapiler Su Emme Tayini", Türk Standartları Enstitüsü, Ankara (1984).
70. ASTM C944-99, "Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating-Cutter Method", American Society For Testing And Materials, USA (1999).