

138917

T. C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK TEL VE POLİPROPİLEN LİF İÇERİKLİ BETON
YOLLARIN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN
ARAŞTIRILMASI

Tezi Hazırlayan
Burhan ÜNAL

Tezi Yöneten
Prof. Dr. Cemal EYYUBOV

İnşaat Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi

Haziran 2003
KAYSERİ

138917

Bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi İnşaat Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

07/07/2003

JÜRİ:

Başkan: Prof. Dr. Cemal EYYUBOV

Üye : Yrd. Doç. Dr. H. Bekir KARA

Üye : Yrd. Doç. Dr. Canan YILMAZ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 10-07-2003 tarih ve
03 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

15 EKİM 2003



TEŞEKKÜR

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof. Dr. Cemal EYYUBOV'a, çalışmalarımda ilgi ve yardımları dolayısıyla sayın Öğr. Gör. Fuat KÖKSAL'a , deneysel çalışmalarım sırasındaki yardımları için Arş. Gör. Mustafa VEKLİ'ye, Arş. Gör. Volkan BAHAR'a, Arş. Gör. V.Emre UZ'a, Arş. Gör. Mehmet ÖZCAN'a, Arş. Gör. Yüksel TAŞDEMİR'e ve Arş. Gör. Murat ÇOBANER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarım süresince bana gösterdikleri ilgi ve destekleri için aileme sonsuz teşekkür ederim.

Haziran 2003

Burhan ÜNAL

ÇELİK TEL VE POLİPROPİLEN LİF İÇERİKLİ BETON YOLLARIN MEKANİKSEL ÖZELLİKLERİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Esnek üstyapıların servis ömrünü kısaltan, sık sık onarım ve takviyesine gereksinme gösteren, gerek hacim gerekse ağırlık olarak sürekli artış gösteren trafik, bir noktadan sonra esnek üstyapılı karayollarında büyük sorunlar düzeye gelirken, bu trafiğin beton kaplamalı yollarda daha sorunsuz taşınabilecek olması ve üstyapı bakım ve onarım giderlerinin, esnek kaplamalı yollarda daha yüksek olması sebebiyle daha az bakım ve onarım masrafı gösteren beton yol yapımı ön plana çıkmaktadır.

Ayrıca 40~50 yıllık hizmet ömrüne sahip beton yollar, 20 yıllık hizmet ömrüne sahip esnek üstyapılı yollara göre tercih edilmelidir. Petrol ürünü olan asfalt ülkemizi dışa bağımlılığı devam ettirirken, beton yol yapımında kullanılacak hammaddeler ülkemiz kaynaklı ve dolayısıyla beton yollar ülkemizi dışa bağımlılıktan kurtarmış olacaktır.

Bu çalışmada, beton yollarda uygulanabilecek, 30 ± 10 mm çökmeye sahip ve su/çimento oranı 0.47 betonlara, narinliği 65 olan çelik tellerin 20 kg/m^3 ve 40 kg/m^3 oranlarda ve polipropilen lifin 300 g/m^3 ve 600 g/m^3 katılmasıyla elde edilen betonların mekanik ve fiziksel özellikleri araştırılmıştır. Biri kontrol grubu olmak üzere beş grup beton üretildi. Su/çimento oranı sabit olup, çelik tel ve polipropilen lifin betona katılma oranları bu çalışmada değişken parametreler olarak alınmıştır. Bu parametrelerin betonun basınç dayanımına, eğilme dayanımına, aşınma direncine, donma-çözünme direncine ve kuruma- büzülme direncine etkisi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Çelik tel, polipropilen lif, beton yol, mekanik özellikler

INVESTIGATION OF MECHANICAL PROPERTIES OF STEEL AND POLYPROPYLENE FIBER REINFORCED CONCRETE PAVEMENTS

ABSTRACT

The fact that the volume and weight of traffic has been increasing continuously decreases the service life of asphalt pavements. This results in the repair and maintenance problems on asphalt pavements on after certain service. the use of concrete pavements, accordingly, has become an an alternative to asphalt pavements due to their lower cost of repair and maintainence. Concrete roads also have longer srvice life; they have a service life of 40 to 50 years, where asphalt pavements have a sevice life of 20 years.

Being a petroleum product, asphalt is imported into Turkey. Therefore, the use of concrete pavements decreases Turkey's material dependencing on abroad.

In this study, concrete mixes, which may be utilized in concrete pavement, with water cement ratio of 0.47 and a reference slump of 30 ± 10 mm were produced by adding polypropylene and/or steel fiber to mix. Polypropylene fiber was used as 300 g/m^3 and 600 g/m^3 . and steel fibers were used as 20 kg/m^3 and 40 kg/m^3 . Total five concrete series were produced so that one was control group. Effects of polypropylene and/or steel fiber on the some mechanical properties and durability were investigated. Compressive strength, elastic modulus, flexural tensile strength, abrasion resistance, freeze-thaw resistance and drying shrinkage tests were carried out on specimens. Also, first crack strength, first crack energy and toughness indexes were obtained from flexure tensile tests. Depending on this research, the the concrete type for concretepavement has been selected

Keywords: Steel fiber, polypropylene fiber, concrete pavement, mechanical properties

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR	iv	
ÖZET	v	
ABSTRACT	vi	
İÇİNDEKİLER.....	vii	
KISALTMALAR	ix	
TABLolar LİSTESİ	x	
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi	
BÖLÜM 1		
GİRİŞ.....		1
BÖLÜM 2		
LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....		4
2.1. Beton Yollar	4	
2.1.1. Genel	4	
2.1.2. Beton Yollar İle Asfalt Yolların Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi.....	5	
2.1.2.1. Yol Üstyapısı Malzemeleri.....	5	
2.1.2.2. Üst Yapı Davranışı	6	
2.1.2.3. Yol Üstyapısı Yapım Teknikleri	8	
2.1.2.4. Sürüş Güvenliği Ve Konforu.....	10	
2.1.2.5. Yol Üstyapı Dayanıklılığı	14	
2.1.2.7. Yol Üstyapısının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi	16	
2.2. Beton Yol Kaplamaları.....	18	
2.2.1. Sürekli Betonarme Kaplama	18	
2.2.2. Betonarme Yol Zemini.....	19	
2.2.3. Derzli Donatısız Beton Kaplama.....	20	
2.2.4. Derzli Betonarme Kaplama	21	
2.3. Lif Takviyeli Beton Yollar	22	
2.4. Beton Yollarda Kullanılan Polipropilen ve Çelik Lifler	24	
2.4.1. Çelik Teller.....	24	
2.4.2. Polipropilen Lifler	28	
2.5. Lifli Betonların Kullanım Alanları.....	30	

2.6. Lifli Betonların Mekanik Davranışı	31
---	----

BÖLÜM 3

BETON YOLLARDA UYGULANAN LİFLİ BETONLARIN MEKANİK

ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

3.1. Malzemeler	36
3.1.1. Çimento	36
3.1.2. Agrega	36
3.1.3. Lifler	39
3.1.4. Akışkanlaştırıcı	39
3.2. Beton Karışımları	39
3.3. Deneyler	43
3.3.1. Basınç Dayanımı Tayini	43
3.3.2. Elastisite Modülü Tayini	44
3.3.3. Eğilme Dayanımı ve Eğilme Tokluğu Tayini	45
3.3.4. Aşınma Direnci Tayini	46
3.3.5. Kuruma Büzülmesi Tayini	48
3.3.6. Donma Çözünme Direnci Tayini	49
3.4. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	51
3.4.1. Basınç Dayanımı	51
3.4.2. Eğilme Dayanımı	52
3.4.3. Elastisite Modülü	59
3.4.4. Aşınma Direnci	60
3.4.5. Kuruma-Büzülme	61
3.4.6. Donma Çözünme	63

BÖLÜM 4

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

KAYNAKLAR	66
ÖZGEÇMİŞ	71

KISALTMALAR

msa: Millions of Standard Axles (milyon standart dingil yükü)

ASTM: American Society for Testing and Materials (Amerika Standartları Kurumu)

ACI: American Concrete Institute (Amerika Beton Enstitüsü)

CBR: California Bearing Ratio (Kaliforniya Taşıma Oranı)

KİP: Küresel Isınma Potansiyeli

CRCP: Continuously Reinforced Concrete Pavement (sürekli beton kaplama)

URC: Unjointed Reinforced Concrete Pavement (derzli donatısız beton kaplama)

JRC: Jointed Reinforced Concrete Pavement (derzli betonarme kaplama)

CRCR: Continuously Reinforced Concrete Roadbase (sürekli betonarme yol zemini)



TABLolar LİSTESİ

Tablo 2.1. Pürüzlülük Tablosu.....	10
Tablo 2.2. Pürüzlülük Derinliği Tablosu	11
Tablo 2.3. Tokluk Sınıflandırması.....	35
Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri.	36
Tablo 3.2. Agregaların Fiziksel özellikleri	37
Tablo 3.3. Karışım da Kullanılan Agregaların Granülometrileri.....	37
Tablo 3.4.a. Kullanılan Çelik Telin Özellikleri	39
Tablo 3.4.b. Kullanılan Polipropilen Lifin Özellikleri	39
Tablo 3.5. Agrega Karışım Oranları (ağırlıkça)	40
Tablo 3.6. Betonların Karışım Miktarları	41
Tablo 3.7. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları.....	44
Tablo 3.8. Elastisite Modülü Deney Sonuçları	44
Tablo 3.9. Eğilme Dayanımı Sonuçları.	46
Tablo 3.10. Tokluk İndeksi Değerleri.....	46
Tablo 3.11. Aşınma Yüzdeleri	47
Tablo 3.12. Kuruma Büzülme Miktarları (0~70 Günler Arası).....	49
Tablo 3.13. Kuruma Büzülme Miktarları (77~140 Günler Arası).....	49
Tablo 3.14. Donma- Çözünme Deneyi Sonuçları.....	50

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1. Rijit Üstyapı ve Esnek Üstyapıların Tabaka Şeması	6
Şekil 2.2. Kaplamalarda Yük Dağılımı.....	7
Şekil 2.3. Tipik Rijit Kaplama Şeması	9
Şekil 2.4. Yüzey Pürüzlülükleri [10]	11
Şekil 2.5. Kaplamalarda Fren Mesafesi	12
Şekil 2.6. Kaplamalarda Sürüş Rahatlığı [11]	13
Şekil 2.7. Kaplamalarda Gece Görüş Rahatlığı [5]	13
Şekil 2.8. Kaplamalarda Mevsim Koşullarına Göre Hasara Uğrama Oranları.....	15
Şekil 2.9. Asfalt ve Beton Yolda Ağır Vasıta Tekerleği [6, 18].....	17
Şekil 2.10. Sürekli Betonarme Kaplama Tipik Enkesiti.....	19
Şekil 2.11. Betonarme Yol Zemini Tipik Enkesiti	20
Şekil 2.12. Derzli Donatısız Beton Kaplama Tipik Enkesiti	21
Şekil 2.13. Derzli Betonarme Kaplama Tipik Enkesiti	22
Şekil 2.14. Düz, Pürüzsüz Yüzeyle Teller.....	25
Şekil 2.15.a. Üzerinde Girintiler (Çentikler) Açılmış Teller	25
Şekil 2.15.b. Uzunluğu Boyunca Dalgalı Teller.....	25
Şekil 2.15.c. Ay Biçimi Dalgalı Teller	25
Şekil 2.16.a. İki Ucu Kıvrılmış Teller	26
Şekil 2.16.b. Bir Ucu Kıvrılmış Teller.....	26
Şekil 2.17. Çelik Tel Donatılı Plaklarda Tipik Yük-Sehim Eğrisi [58].....	34
Şekil 3.1. Karışımda Kullanılan Agregaların Granülometre Eğrileri	38
Şekil 3.2. Karışım Agregasının Granülometrisi.....	42
Şekil 3.3. Beton Basınç Deney Düzeneği.....	43
Şekil 3.4. Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği	45
Şekil 3.5. Aşınma Direnci Tayini Deney Düzeneği.....	47
Şekil 3.6. Kuruma Büzülmesinin Belirlenmesi.....	48
Şekil 3.7. Pundit Cihazı ile Ultrases Hızının Belirlenmesi.....	50
Şekil 3.8. Basınç Dayanımları Sonuçları	51
Şekil 3.9. Eğilme Dayanımları Grafiği	53
Şekil 3.10. Tokluk İndeksleri Grafiği	53
Şekil 3.11. 40 kg/m ³ Çelik Tel İçerikli ÇT beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri... 54	54

Şekil 3.12. 20 kg/m ³ Çelik Tel ve 300 g/m ³ Polipropilen Lif İçerikli K1 Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri	55
Şekil 3.13. 40 kg/m ³ Çelik Tel ve 600 g/m ³ Polipropilen Lif İçerikli K2 Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri	56
Şekil 3.14. 600 g/m ³ Polipropilen Lif İçerikli PL Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri.....	57
Şekil 3.15. Kontrol Grubu Beton Numunelerinin Yük-Sehim Grafikleri.....	58
Şekil 3.16. Deney Numunelerinin Yük – Sehim Grafiği.....	59
Şekil 3.17. Elastisite Modülü Sonuçları.....	60
Şekil 3.18. Numunelerin Aşınma Direnci Oranları.	61
Şekil 3.19. Kuruma Büzölmeleri Grafiği.....	62
Şekil 3.20. Donma – Çözünme Deneyi Deney Sonuçları.....	63



BÖLÜM 1

GİRİŞ

Yolların insanlık tarihinde önemli bir yeri vardır. “Yol gitmeyen yere medeniyet ulaşamaz” sözü bu önemin bir ifadesidir. Kültürel zenginliklere sahip Anadolu toprakları tarihin her döneminde önemli yollara geçit verdiği gibi, kültürümüzde de şarkılardan masallara kadar uzanmıştır [1].

Ekonominin can damarları olan yollar, ülkenin gelişmesine imkan sağlayacak alt yapı yatırımlarının şüphesiz ilk ve en önemli olanıdır. Sosyal hayatımızda, zamanın büyük çoğunluğu ev, işyeri ya da yollarda geçmektedir. Dolayısıyla, sosyal anlamda da yollar, yaşam kalitesini önemli ölçüde etkiler. Tüm bunların sonucu olarak, bir ülkenin varlıkları arasında yollar her zaman söz konusu edilmektedir [1].

Ülkemizde karayollarının gelişimi 1950'li yıllardan sonra başlamıştır ve bu dönemde kurulan Karayolları Genel Müdürlüğü teşkilatı, seçkin kuruluşlarımızdan birisi olarak hizmet vermektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü, kuruluşunu takip eden dönemde, öncelikli olarak ülkenin her yerine ulaşmayı hedefleyerek, birçok devlet yolunun yapımını gerçekleştirmiştir. 1980'li yıllarda ise, ülkemizde büyük bir atılımla birçok otoyol yapılmıştır [1].

Büyük projeler ülke ekonomisine katkı sağlaması için önemli kaynaklar ayrılarak gerçekleştirilirler. Ancak, GAP enerji santralleri, asma köprüler gibi büyük projelere ülkemizde kaynak israfını önlemeye yönelik projeleri de eklemek gerekir. Örneğin, başta elektrik ve ısı olmak üzere enerji kayıplarının önlenmesi, atıkların değerlendirilmesi, ekme israfı, tarımda ve sanayide verimliliğin artırılması. beton kalitesinin yükseltilmesi, yolların korunması gibi uzun bir liste yapılabilir. Bunlar da birer büyük proje olarak düşünülmelidir. Çünkü gerçekleştirilecek küçük tasarruflar ülke genelinde çok büyük boyutlara ulaşacaktır. Bu projeler sağlayacakları getirilere

oranla küçük yatırımlar ile, bazen de sadece önleyici tedbirler alınarak gerçekleştirilebilir [1].

Bu nedenle, sınırlı ülke kaynaklarının akılcı kullanılması için ülkemizin özellikle enerji tasarrufu işletmelerde verimlilik gibi yollar ve diğer altyapı yatırımlarındaki tasarruflar da büyük önem arz etmektedir [1].

Yatırımlarda öngörülen tasarruf ilk yatırım maliyetiyle sınırlı kalmayıp, uzun dönemde ekonomik olması hedeflenmelidir. Fakat geleneksel olarak, ülkemizde yatırım projelerinde değişik seçenekler arasında ilk yatırım maliyetleri düşük olanlara yönelmek gibi bir eğilim vardır. Paranın pahalı olduğu ve kronik enflasyon ortamına bir de belirsizlik ve istikrarsızlığın getirdiği kısa vadeli düşünme alışkanlığı bu yaklaşımı ilk bakışta haklı kılmaktadır. Ancak unutmamak gerekir ki, özellikle boyutları açısından altyapı yatırım projelerine uzun vadeli düşünerek karar verilmelidir [1].

Gerçekten; en önemli altyapı projelerinden olan yollarımızın uzun ömürlü olabilmesi için yol yapım teknolojimizin çağdaş hale getirilmesi ülke ekonomisine büyük yararlar sağlayacaktır. Beton yollar bu bağlamda önem kazanmaktadır ve beton yolların ilk yatırımının yüksek olduğu varsayımı artık geçersizdir [1].

Öncelikle belirtilmesi gereken husus, asfalt yolların tamamen terk edilmesi gibi bir iddianın olmadığıdır. Fakat gerek asfaltın petrole, dolayısıyla dışa bağımlılığına karşı çimento ve betonun tamamen milli ekonomimizde üretilmesi, gerekse beton yolların çok daha uzun ömürlü olması ve daha az bakım gerektirmesi konunun en önemli yönüdür. Asfalta karşı betonun gerek teknik özellikleri gerekse yatırım maliyetleri açısından farklı görüş ve yaklaşımlar vardır. Gerçekte yolların kullanım amaçları şehir içi ve şehirlerarası gibi uygulama yerlerine bağlı olarak asfalt ve beton karşılaştırmalarından farklı sonuçlara varmak mümkündür. Ancak teknolojik açıdan, betonda sağlanan gelişme asfaltda sağlanabilmiş değildir. Bugün beton, yol uygulamalarında tartışmasız asfaltdan çok daha üstündür. Dahası beton, geleceğin malzemesi olarak yerini güçlendirerek korumaktadır. Ayrıca sağlık açısından özellikle şehir içi yollarda asfaltın bilinen ve bilinmeyen zararları da tartışma konusudur [1].

Ülkemizde yük taşıtları, öngörülen dingil yüklerinin çok üstünde yüklendikleri için, özellikle yaz aylarında sıcaklığın etkisiyle gevşeyen asfalt deforme olmakta ve yollar

bozulmaktadır. Bu nedenle, ya yük sınırlaması gerçek anlamda uygulanmalı ya da yolların yük taşıma kapasiteleri artırılmalıdır. Birinci seçeneğin uygulanabilme imkanı oldukça zordur, çünkü bu durumda nakliye maliyetleri ciddi bir şekilde artacaktır. Türkiye bu maliyet artışına katlanamadığından bu uygulamayı hayata geçirememektedir. Halbuki yolların beton yapılması asfalta oranla birçok avantajının yanı sıra daha yüksek dayanım ve uzun bir ekonomik ömür sağlayacaktır. Yollarda dingil yükü asfaltta 13 ton iken, birçok ülkedeki beton yollarda 35 tona kadar artırılabilirdiği kanıtlanmıştır [1].

Amerika'da 100 yılı, Avrupa'da 75 yılı aşkın süredir kullanılan beton yollar, az sayıdaki bazı kent içi ve köy yolları çalışmaları dışında, ülkemizde ise beton yol çalışmaları ile ilgili devlet kayıtlarında herhangi bir belge yoktur. Beton yol yapım hususunda ilk adım Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği'nden gelmiştir. 9 Nisan 2002 tarihinde düzenlenen protokol ile deneme amaçlı 5 km'lik beton yol yapımını üstlenmiştir [2].

Konunun ekonomik boyutuna gelince, 2002 yılı verilerine göre Türkiye'de otoyollar, devlet yolları, il yolları toplamından oluşan karayolları ağı 63156 km'dir [3]. Şehir içi yolları da düşünecek olursak yaklaşık 100.000 km'lik bir şebeke ortaya çıkar. Milyonlarca m²'ye varan yüzey kaplamasında uzun vadeli bir yaklaşımla, yapılabilecek her kuruluş tasarruf çok büyük boyutlara ulaşacaktır. Tüm bunların ötesinde eğer her geçen gün araç sayısı artıyorsa ve yolların kalitesi sürekli bozuluyorsa alternatifleri düşünmek, önerileri değerlendirmek zorundayız [1].

BÖLÜM 2

LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Beton Yollar

2.1.1. Genel

Çimento betonu ile yapılan kaplamalara “Beton Yollar” denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmamasını sağlamaktır. Bu durum, betonun rijitliğinden faydalanma 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 durumuna döner. Bir tekerlek yükü bir beton plak üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerlek geçtikten sonra gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. Özellikle yoğun kamyon trafiği taşıyan bir beton yolda bu gerilme değişiklikleri 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 büzülmemektedir. Buna ek olarak kaplamanın alt ve üst yüzeyleri günlük ve mevsimlik sıcaklık ve nem farkları nedeniyle eğilme ve bükülmelere uğrar [4].

Bir beton kaplamanın davranışı, dökülen beton tabakalarının özelliklerinin yanı sıra, kaplama altına serilen alt temel ve temel tabakaları ile mevcut taban toprağının 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 [4].

Burada karayolu üst yapı kaplamalarında en çok kullanılan iki malzeme, asfalt betonu (asfalt) ile çimento betonu (beton) yukarıdaki faktörler dikkate alınarak kısaca karşılaştırılacaklardır. Üst kaplama tabakasını oluşturan her iki malzemedede de hacimce % 60~95 oranlarında bulunan agrega ortak bileşen olduğundan karşılaştırmalarda asfalt yol ile beton yol deyimleri de kullanılır. Bu arada ülkemizde az bilinen beton yolların özellikleri üzerinde biraz daha fazla durulacaktır [5].

2.1.2. Beton Yollar İle Asfalt Yolların Karşılaştırılmalı Olarak İncelenmesi

2.1.2.1. Yol Üstyapısı Malzemeleri

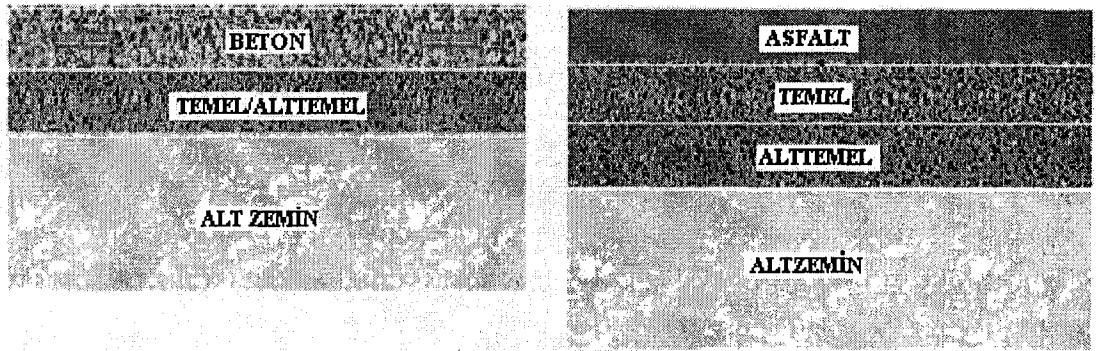
Bitümlü malzeme grubuna dahil olan asfalt, doğada serbest olarak nadiren bulunur ve genellikle ham petrolden elde edilir. Rafinerilerde ısıtma derecelerine bağlı olarak nafta, benzin, gazyağı, motorin ve madeni yağlar ayrıldıktan sonra kalan karışımdan fuel oil de ayrıştırıldıktan sonra geriye asfalt kalır. Bileşiminin hemen tümü hidrokarbonlardan oluşan, organik kökenli, koyu kahve ile siyah arası renklerde bir malzemedir. Oda sıcaklığı civarında yarı katı ve katı hallerde bulunduğundan ısıtılarak sıvılaştırıldıktan sonra uygulanır (sıcak karışım). Viskoelastik ve termoplastik bir malzeme olarak özellikleri yükleme hızı ve süresi ile sıcaklığa karşı çok duyarlıdır. Katı asfaltlar penetrasyon ve viskosite değerlerine bağlı olarak sınıflandırılırlar. Asfalt, birtakım çözeltiler katılarak da sıvılaştırılabilir. Bu şekilde elde edilen katbek asfaltlar ve asfalt emülsiyonları soğuk olarak uygulanabilirler ve daha ziyade sathi kaplamalarda, astar tabakalarında ve onarım işlerinde kullanılırlar [4, 8].

Portland çimentosunun ana hammaddeleri doğada bol miktarda bulunan kalker ve kildir. Gerektiğinde alüminyum ve demir oksitler de katılarak belirli oranlarda birleştirilip öğütülen hammaddeler (farin) döner fırında pişirilirlir. Fırından çıkan klinker az bir miktar alçıtaşı ile öğütülerek portland çimentosu elde edilir. Portland çimentosu su ile karıştırıldığında ortaya çıkan hamur reolojik olarak bir "rijit jel" dir. Yani önce plastik halde iken zamanla katılaşılarak (priz alarak) sertleşir ve bir süre dayanım kazanmaya devam eder. Asfalt ve diğer jel türleri gibi ısıtılınca veya karıştırılınca sıvılaşmaz. Hidrolik özelliği dolayısı ile su içinde de priz alabilir ve suya karşı dayanıklıdır. Ham madde karışım oranları ve tane incelikleri ayarlanarak değişik dayanım sınıflarında çimentolar elde edilir ve yüksek erken dayanım sağlanabilir. Ayrıca bu şekilde priz sürelerini, hidratasyon ısılarını ayarlamak ve sülfatlara karşı direnci artırmak da

mümkündür. Klinkerin bir bölümü endüstriyel atıklar olmak üzere çeşitli mineral katkılarla öğütülmesi sonucu elde edilen katkılı çimentolar yaygınlaşmış olup çeşitli teknik, ekonomik ve çevresel avantajlar sağlamaktadırlar. Çimento betonu genellikle açık gri renktedir [5].

2.1.2.2. Üst Yapı Davranışı

Karayolu üstyapıları trafik yüklerini zemine ileten ve çevre etkilerine karşı dayanıklı olan mühendislik yapılarıdır. Üst kaplama tabakasında bağlayıcı olarak asfalt kullanılanlara esnek, çimento kullanılanlara ise rijit üstyapı denilir. Ayrıca her iki bağlayıcının birlikte kullanıldığı durumlarda kompozit üst yapılar ortaya çıkar. Üstyapılar trafik türü, hacmi ve ileriye dönük beklentiler ile sürüş güvenliği ve konforu zemin ve çevre koşulları gibi faktörlere bağlı olarak tasarlanır. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi üstyapılar esnek veya rijit oluşlarına bağlı olarak farklı tabakaları içerirler [8]. Esnek olanlarda tabaka sayısı fazladır. Tabaka kalınlıkları üstyapı tipine ve tasarım yüküne bağlı olarak değişir. Alttemel tabakası üstyapıya gerekli drenajı sağlamak üzere geçirgenliği yüksek taneli malzemelerden yapılır. Üst tabakalar kadar gerilmeye maruz kalmamakla beraber doğrudan temas halinde olduğu zemindeki muhtemel hacim değişimlerine karşı koyacak dayanım ve stabilitede olmalıdır. Rijit üstyapılarda ise ilaveten doğrudan altına yerleştirildiği beton kaplamaya düzgün ve stabil bir yüzey teşkil eder ve aynı zamanda temel tabakası işlevini görür [7].



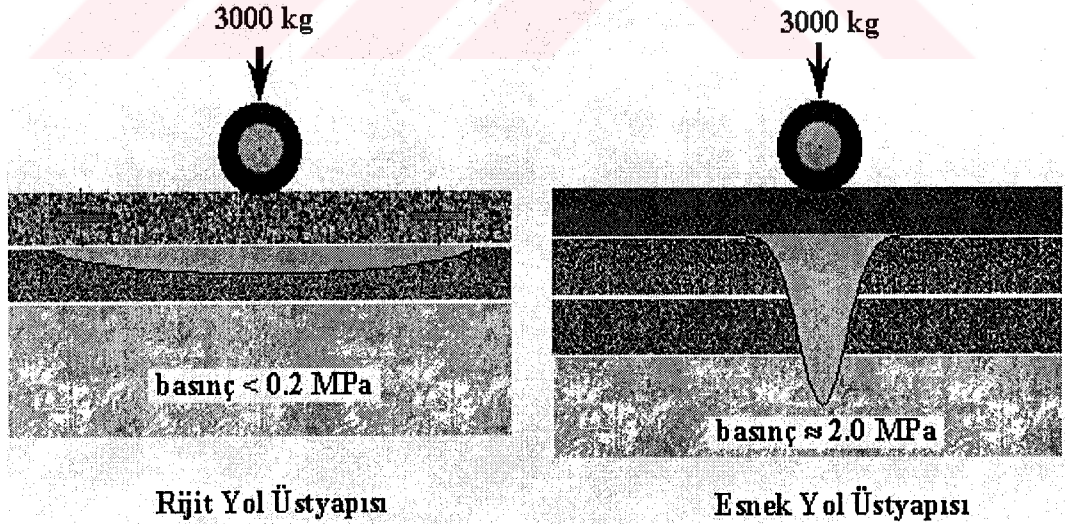
Şekil 2.1. Rijit Üstyapı ve Esnek Üstyapıların Tabaka Şeması

Temel tabakası üst kaplama tabakası ve banketler için temel işlevini görür, yeterli drenajı sağlar. Bu amaçla uygun taneli malzemeler kullanılır. İstenilen stabilite düzeyine

bağlı olarak bağlayıcısız veya bağlayıcı olarak (asfalt veya çimento hamuru ile karıştırılarak) yerleştirilir [5].

Üst kaplama tabakası trafikte sürüş güvenliği ve konforunu sağlayacak yüzeyi oluşturur. Trafik yükü ve çevre koşullarına doğrudan maruz kaldığı için yeterli dayanım ve dayanıklılıkta olmalıdır. Esnek üst yapılarda sıcak karışım asfalt ile aşınma ve binder tabakaları olarak uygulanır. Düşük standartlı yollarda ise sathi kaplama yapılır. Rijit üst yapılarda beton kaplama betonun yüksek dayanımı ve elastisite modülü dolayısı ile rijit bir plak gibi çalışır. Beton kaplamalar donatısız, kısmen donatılı, sürekli donatılı olarak dökülebilir. Temel tabakası ile birlikte, bileşik veya iki tabakalı, derzli veya derzsiz döküm yöntemleri vardır [3].

Şekil 2.2'de de görüldüğü gibi, esnek ve rijit üstyapılarda trafik yükü sırası ile temel ve alttemel tabakalarına yayılarak altyapıya, yani doğal zemine intikal eder. Bu nedenle yükün taşınmasında her tabaka önemlidir. Tabaka kalınlıkları yüke ve zemin özelliklerine bağlı olarak belirlenir. Aynı koşullarda esnek üstyapı toplam kalınlığı rijit üstyapınınkinden daha fazla olmak zorundadır [9].



Şekil 2.2. Kaplamalarda Yük Dağılımı

Rijit üstyapılar da ise beton kaplama tabakası (beton plak) betonun yüksek elastisite modülü ve rijitliği sayesinde yükü büyük ölçüde karşılar. Doğal zemine göreceli olarak çok daha küçük gerilme intikal eder. Zemin özellikleri tabaka kalınlığının

belirlenmesinde kritik bir rol oynamaz. Temel tabakası beton plak için düzgün bir taban oluşturulması ve yeterli drenaj sağlanması amacı ile hazırlanır [5].

2.1.2.3. Yol Üstyapısı Yapım Teknikleri

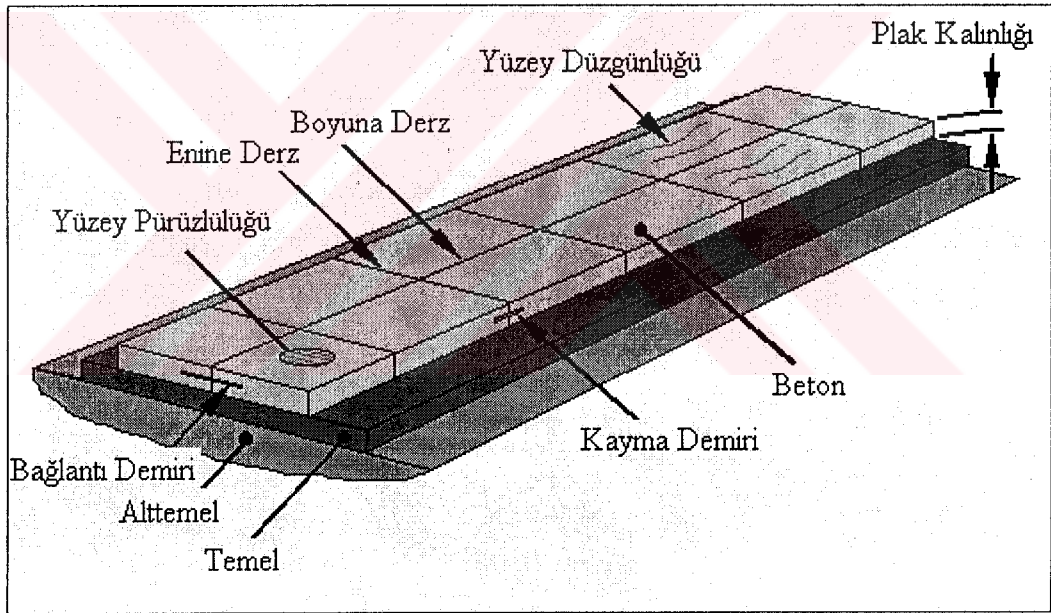
Esnek kaplamaların bağlayıcısı olan asfalt rafinerilerde büyük çoğunluğu yurt dışından ithal edilen ham petrolden elde edildikten sonra taşınır ve inşaat mahalline getirilir. Türkiye’de 5 rafineri faaliyet göstermektedir. Sıcak karışimli kaplamalar için asfalt ısıtılarak, özel araçlarla yola serilip sıkıştırılarak uygulanır. Zeminin kuru (veya en fazla %2 oranında nemli) olması, hava sıcaklığının düşük olmaması (15°C üstü) gerekir. Bu da ülkenin birçok yöresinde asfalt yol inşaat mevsiminin kısılmasına neden olmaktadır. Çimento betonuna oranla asfalt betonunda kullanılacak agreganın da daha kaliteli olma zorunluluğu vardır [4, 8].

Rijit kaplamalarda kullanılan beton, betoniyerden veya transmikserden betonu yola serip sıkıştıran ve perdahlayan özel araçlara aktarılır. Beton kaplama için sabit veya kayar kalıp kullanılmaktadır. Döküm tek veya iki tabaka halinde olabilir. Betonun bağlayıcısı olan çimento yurt düzeyine yayılmış 39 çimento fabrikası ve 18 öğütme tesisinde tamamen yerli hammaddelerden üretilmektedir. Zeminin ıslak oluşu beton için problem teşkil etmez. İnşaat mevsimi gerekli önlemleri alarak anormal hava koşullarını da içerecek şekilde uzatılabilir. Ancak her beton yapı için gerekli olan kür uygulamasının yapılması ve beton yeterli dayanım kazandıktan sonra yolun hizmete açılması gerekmektedir. Rijit kaplamalar çeşitli amaçlara göre tasarlanıp kullanılabilirler. Örnek olarak, yollara ilaveten sadece yaya trafiği taşıyan kaldırımlar ve 175 tonluk bir uçağın dinamik etkilerini karşılayabilen hava meydanı pistleri verilebilir. Hizmet ömürleri 50 yıla kadar varan süreler için tasarlanabilmektedir [5].

Her beton yapıda olduğu gibi rijit kaplamalarda da betonun priz alarak plastik kıvamdan rijit hale geçişi sırasında ve sonraları meydana gelebilecek hacim değişimleri, sıcaklık ve rutubet farkları, zemin hareketleri ve yükler bir takım çatlama meydana getirebilir. Bu tür çatlamalara karşı beton yol yapımında derz sistemleri ve çelik donatı kullanılır. Derzler yol eksenine göre enine, boyuna veya çapraz olabilirler. Tam derzler plak kalınlığı boyunca oluşturulurken, yarım derzler plak kalınlığının sadece bir bölümüne kadar açılırlar ve çatlakların zayıflatılmış kesitte toplanmasını sağlarlar. Tam derzler birlikte dökülmeyen plaklar veya kaplama ile diğer yapılar arasında yer alırlar. Gene

tam derz olan genleşme derzleri sayesinde plaklar sıcaklık değişimlerinde serbest hareket edebilirler. Derzler yol eksenine göre enine, boyuna veya çapraz olabilirler. Derzler yol yüzeyinde kesiklilik meydana getirirler ve alt tabakalara su sızmasına yol açabilirler. Bu nedenlerle uygun ve elastik dolgu malzemeleri ile doldurulup düzlenmeleri gerekir [5].

Rijit kaplamalarda donatı olarak çelik çubuklar ve/veya hasır çelik kullanılır. Derzlerde kullanılan bağlantı ve kayma demirleri yükün plaktan plaka yayılmasını ve plakların, sürüş rahatlığı için, birlikte deforme olmasını sağlar. Bazı yarım derzlerde donatı bulunmayabilir. Şekil 2.3’de tipik bir rijit üstyapıda derzler ve donatı çubukları ile diğer özellikler gösterilmiştir [5, 10].



Şekil 2.3. Tipik Rijit Kaplama Şeması

Derz sıklığına bağlı olarak rijit plaklarda sadece çubuk donatı bulunur veya ilaveten çelik hasır yerleştirilir. Diğer taraftan, sürekli betonarme yönteminde derz kullanılmadan sürekli hasır çelik serilmektedir [4, 10].

Esnek veya rijit üstyapıların yapımında kaplama yüzeyinin geometrik düzgünlüğü ile pürüzlülük derecesi, sürüş güvenliği ve konforu ile ekonomi yönlerinden önemlidir. Bu tür yüzey özelliklerini belirlemek amacı ile pürüzler (girinti-çıkıntılar) arası mesafe

“dalga boyu” olarak ölçülür, düzlemden ortalama düşey sapmalar “genlik” olarak belirlenir [4].

Tablo 2.1. Pürüzlülük Tablosu [4, 5]

Pürüzlülük	Dalga boyu	Genlik
Geometrik düzgünlük	50-0.5 m	20-0.1 cm
Megapürüzlülük	50-5 cm	50-10 mm
Makropürüzlülük	50-0.5 mm	10-0.2 mm
Mikropürüzlülük	<0.5 mm	<0.2 mm

Tablo 2.1’de pürüzlülüklere göre genlik ve dalga boyu miktarları verilmiştir. Geometrik düzgünlükten sapmalar ve megapürüzlülük istenmeyen yüzey özellikleridirler. Diğer taraftan yüzeyde uygun ölçülerde makro ve mikro pürüzlülük bulunması özellikle sürüş güvenliği yönünden gereklidir. Olumsuz yüzey özellikleri yalnız yapım sırasında değil, hizmet süreci içinde de ortaya çıkabilir. Burada kaplama malzemesinin (asfalt veya beton) özellikleri de rol oynar [4, 5].

Kaplama betonunda sürtünme katsayısı 0.65~0.70 olarak asfalttakinden fazladır. Bu nedenle beton yollar daha dik eğimlere uygulanabilir [4].

2.1.2.4. Sürüş Güvenliği ve Konforu

Olumsuz özellikleri olmayan (ve uygun pürüzlülükteki) asfalt ve beton kaplama yüzeyleri kuru halde iken sürüş güvenliği açısından problem yaratmazlar. Ancak yağmur veya başka bir nedenle yol ıslandığında taşıt tekerlekleri ile kaplama arasındaki aderans azalır. Ayrıca tekerlekler ile kaplama yüzeyi arasında bir su filmi oluştuğunda “su kızağı etkisi” sonucu film kalınlığı ve taşıt hızı ile artan sürüş güvensizlikleri baş gösterir. Islak beton kaplamalarda sürtünme katsayısının küçülmesi asfalt kaplama oranla daha azdır. Ayrıca düzgün yüzeylerinde sular kolayca akar ve su kızağı etkisi daha seyrek oluşur. Kaplamaların yüzeyindeki mikropürüzlülük, su filmini dağıtarak aderansı kuvvetlendirir. Makropürüzlülük bu konularda daha etkilidir ve ilaveten taşıtlardan su sıçramasını da azaltır [4, 8].

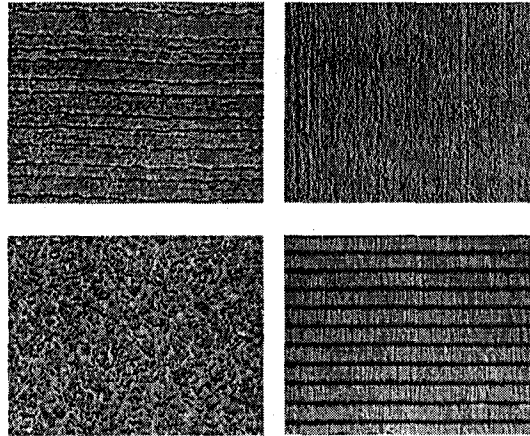
Kaplama yüzeylerinde oluşturulan pürüzlülükler asfalta oranla betonda daha etkili ve kalıcıdır. Normal koşullarda genel olarak asfalt kaplamalar için 1.2mm, beton kaplamalar için ise 0.8mm derinlikteki pürüzlülük sürüş emniyeti bakımından yeterli olmaktadır. Tablo 2.2'den makropürüzlülüğün kayma direnci üzerindeki olumlu etkisinin beton yüzeylerde daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır [8].

Asfaltın ağır yükler ve/veya yüksek sıcaklıklarda kolay deforme oluşu ve yumuşaması pürüzlülük özelliklerini olumsuz etkiler. Ayrıca böyle koşullar altında asfaltta oluşabilen derin tekerlek izleri ve çukurlar geometrik düzgünlüğü de bozarak sürüş güvensizliği yaratır. Beton kaplamalarda ise pürüzlülük genellikle prizden önce beton

Tablo 2.2. Pürüzlülük Derinliği Tablosu [8]

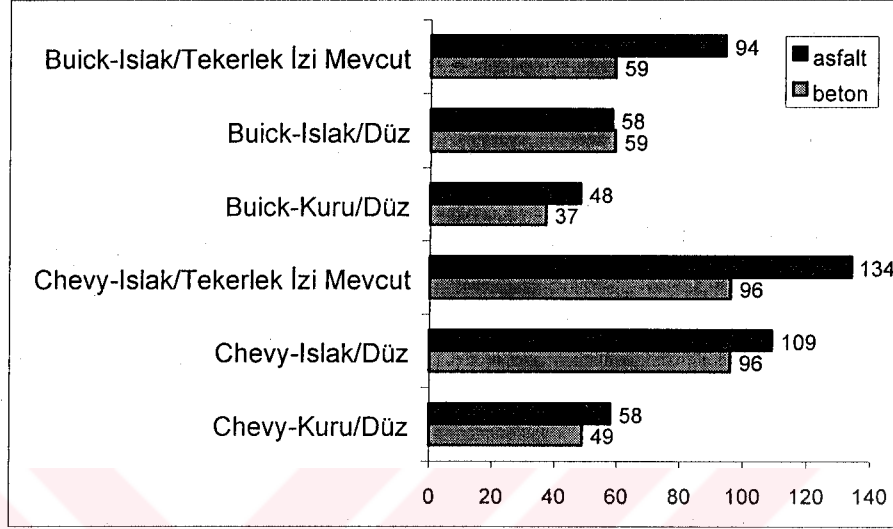
Kayma direncinde azalma (%)	Pürüzlülük derinliği (mm)	
	Asfalt	Beton
Hız:50-130 km/saat		
0	2.0	0.8
10	1.5	0.7
20	1.0	0.5
30	0.5	0.4

yüzeyinde çeşitli yöntemlerle oluşturulur ve daha kalıcı olur. Bazı örnekler Şekil 2.4'te gösterilmiştir [10]. Taze beton yüzeyinde yiv açılması yöntemi son yıllarda yerini yüzeyde agrega tanelerini kısmen soyarak açığa çıkaran yöntemlere bırakmaktadır [5].



Şekil 2.4. Yüzey Pürüzlülükleri [10]

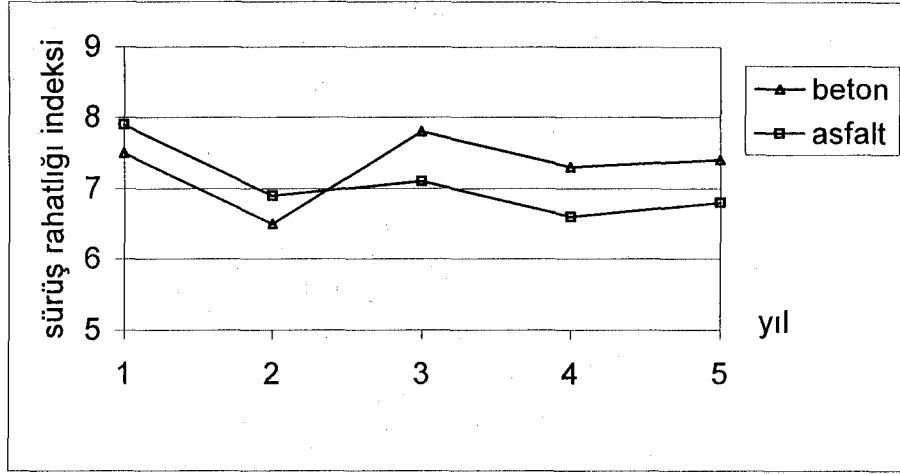
Illinois Üniversitesinde yapılan bir araştırmada farklı modellerde iki otomobilin saatte 100 km hızla giderken asfalt ve beton yollardaki fren mesafeleri karşılaştırılmıştır [6].



Şekil 2.5. Kaplamalarda Fren Mesafesi

Denemelerde yolların kuru ve ıslak durumları ile asfalt kaplamalarda tekerlek izi bulunan haller kapsamıştır. Şekil 2.5’de görüldüğü gibi beton kaplamada duruş mesafeleri genellikle daha kısa olmuştur [6].

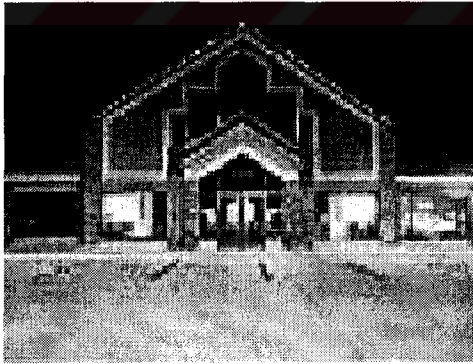
Kanada’nın Nova Scotia Eyaleti Ulaştırma ve Bayındırlık Bakanlığı tarafından beş yıl süre ile yürütülen bir araştırmada 104 numaralı otoyolun 1994 yılında yapılan ve birbirine komşu asfalt ve beton bölümleri üzerinde sürüş rahatlığı incelendi. Deneme sürüşlerinde toplanan bilgiler kaplama yüzeyinin geometrik düzgünlüğü ve oluşan bozulmalarla ilişkili bir “sürüş rahatlığı indeksi” ne çevrildi [11].



Şekil 2.6. Kaplamalarda Sürüş Rahatlığı [11]

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, ilk iki yıl asfalt yolda sürüş daha rahat iken sonraki yıllarda üstünlük daha dayanıklı olan betona geçmiştir.

Şekil 2.7'de doğal olarak daha açık renkli olan beton, taşıt farları veya yol lambalarından çıkan ışığı, siyah renkli asfalttan daha iyi yansıttığı ve geceleri çok daha iyi görüş kolaylığı sağladığı görülmektedir [5].



Beton



Asfalt

Şekil 2.7. Kaplamalarda Gece Görüş Rahatlığı [5]

Bu husus, sürüş güvenliği ile de yakından ilgilidir. Kanada'nın Ontario eyaletindeki otoyollar üzerinde yapılan bir araştırmadaki ışık ölçümlerine göre 1 km uzunluğundaki yolun standart yüzeyde aydınlatılabilmesi için asfalt kaplamada 20 lamba gerekirken beton kaplamada 14 lamba yeterli olmaktadır [12]. Güneşli günlerde ise beton yolların göz kamaştırma gibi olumsuz etkisi olabilir. Ancak burada güneş gözlüğü takmak gibi

basit önlemler yeterli olmaktadır. Yağmurlu havalarda, ıslak yollarda makropürüzlülük taşıtlardan su sıçramasını ve görüş şartlarının bozulmasını önlemektedir [4]. Bu konuda makropürüzlülüklerini daha uzun süre koruyabilen beton yolların daha uzun süre koruyabilen beton yolların daha avantajlı olduğu söylenebilir [5].

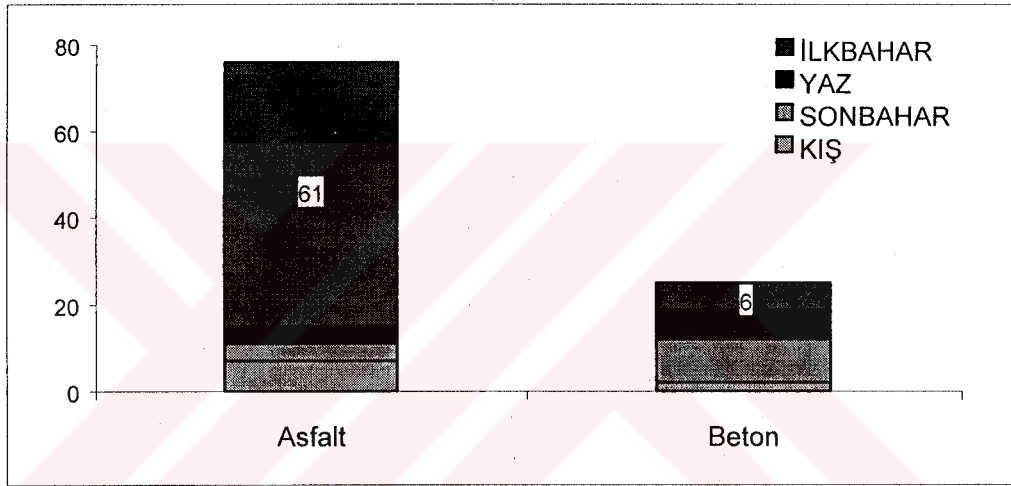
Taşıt sürerken duyulan gürültü tekerlek lastiklerinin yol kaplaması üzerinde yuvarlanırken çıkardıkları sesi de içerir. Bu ses taşıtın ağırlığı ve hızı, lastik ve kaplama yüzeyi özellikleri ile yüzeyin kuru veya ıslak olması gibi faktörlere bağlı olarak değişir. Ayrıca beton yollarda derz bulunması ve derz dolgularının, plak bağlantılarının yetersiz olması durumlarında sürüş sırasında periyodik sesler oluşacaktır. Kaplama yüzeyinde sürüş güvenliğine yardımcı olan makropürüzlülük arttıkça lastiklerin çıkardığı gürültü de artar. Beton kaplamalarda ince asfalt kaplamadan biraz daha fazla, bitümlü yüzeysel kaplamaya kıyasla ise biraz daha az gürültü meydana gelmektedir [4, 5].

Nova Scotia'daki 5 yıllık araştırmanın sonuçlarına göre beton yoldan çıkan gürültü asfalt yoldakinden ortalama 2~4 desibel daha fazladır. İlave bilgi olarak normal konuşma sesinin 60~70 desibel, fısıltının ise 20 desibel olarak ölçüldüğüne yer verilmekte, 5 desibelden az farklılıkların önemli olmadığı bildirilmektedir [11]. A.B.D. Ulaştırma Bakanlığı'nın bir yayını, asfalt ve beton yollar arasında gürültü faktörü yönünden önemli bir farklılık bulunmadığını belirtmektedir [13]. Wisconsin Karayolları İdaresi uygun yüzey pürüzlülüğü sağlayarak ve maliyeti artırmadan güvenli ve "vınlamayan" beton yolların kolayca yapılabileceğini bildirmektedir [14]. İngiltere'de yapılan bir araştırmada halk arasından seçilen 40 kişiye kontrollü laboratuvar koşullarında çeşitli asfalt ve beton yollarda trafiğin meydana getirdiği sesler dinletilmiştir. Uygun yüzey pürüzlülüğü olan beton yollar ile asfalt yollar arasında belirgin bir ses farkı işitilmemiş, bazı beton yollardan ise daha fazla gürültü çıktığı ifade edilmiştir [15]. Beton kaplama yüzeyinin kısmen soyulmuş ve 4~8 mm boyutlarındaki agregalar ile pürüzlendirilmesi ses düzeyini 3~4 desibel azaltarak asfalttan daha sessiz "fısıltı" betonları elde edilmekte ve birçok ülkede uygulanmaktadır [15, 16].

2.1.2.5. Yol Üstyapı Dayanıklılığı

Diğer mühendislik malzemesinde olduğu gibi yol kaplamalarında kullanılan asfalt ve betonu yıpratıcı faktörler arasında sıcaklık ve nem değişimleri ve farklılıkları, donma-çözünme, aşırı yükler, tekrar eden yükler ve zararlı kimyasallar sayılabilir [5].

Termoplastik bir malzeme olarak asfalt sıcaklık değişimlerine karşı daha duyarlıdır. Yazın yumuşayarak tekerlek izi oluşturur, kışın da gevrekleşerek çatlayabilir. Rijit beton kaplamalarda sıcaklık değişimleri, plak içinde sıcaklık ve nem farklılıkları çatlama ve deformasyonlara neden olabilir. Önlem olarak derz sistemi ve/veya çelik donatı uygulanmaktadır. Soğuk ve yağışlı iklimlerde donma-çözünme etkisine karşı beton karışımına kimyasal katkılarla hava sürüklemek etkili korunma sağlamaktadır. Şekil 2.8’de beton ve asfalt yolların mevsimsel hasara uğrama oranları görülmektedir [5].



Şekil 2.8. Kaplamalarda Mevsim Koşullarına Göre Hasara Uğrama Oranları

Malzeme olarak asfaltın zamanla “yaşlanması” söz konusudur. Bu olayda oksidasyon, uçucu madde kaybı ve polimerleşme gibi faktörler rol oynar. Yaşlanan asfalt sertleşerek bağlayıcılık özelliğini kaybetmeye başlar, agrega ile aderansı azalır, çatlaklar ve suda çözünürlüğü artar [4, 8]. Betonda rastlanmayan bu olay asfalt kaplamalarda görece olarak yorulmaya karşı direncin az, faydalı ömrün kısa oluşunda önemli bir etkidir [5].

Buzlanmaya karşı, yollara dökülen tuzların her iki kaplama türünde de benzer olumsuz etkileri vardır. Uygun tasarım ve geçirgenliği düşük kaplama yüzeyi oluşturularak önlem alınabilir. Diğer taraftan, taşıtlardan dökülebilecek benzin, motorin ve yağ gibi maddeler asfaltın kimyasal yapısında değişikliklere neden olurlar [4].

Beton yolların faydalı ömürleri asfalt yollardan birkaç kat daha fazla olmaktadır. Nitekim asfalt yollar genellikle en fazla 20 yıllık hizmet süreleri için projelendirilirken beton yollarda bu süre 40~50 yıla ulaşabilmektedir [4, 6, 10].

2.1.2.7. Yol Üstyapısının Ekonomik Olarak Değerlendirilmesi

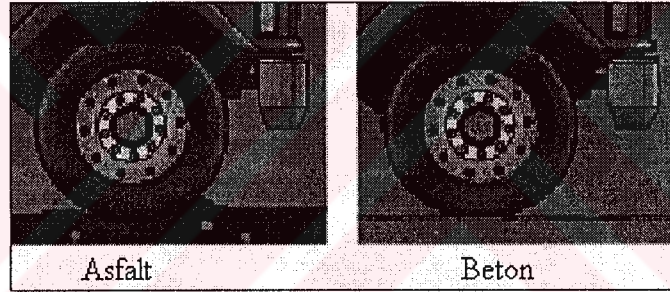
Esnek veya rijit yol üstyapılarının ilk maliyetlerinin karşılaştırılmaları, zemin ve trafik özelliklerine, hizmet sürelerine bağlı olarak farklılık gösterebilir. Ülkemizde bu amaçla yapılan kapsamlı bir çalışmada 1998 yılı birim fiyatları ve 20 yıllık hizmet ömrü esas alınarak zayıf ve iyi zemin (CBR %3 ve %10) üzerinde değişik proje trafiği değerlerine göre esnek ve rijit üst yapıların ilk maliyetleri karşılaştırılmıştır. Taban zemininin zayıf olması durumunda beton kaplama düşük trafik hacimlerinde bile asfalt kaplamalardan daha ekonomik olmaktadır. Zeminin daha kuvvetli olması durumunda asfalt kaplama belirli bir trafik değerine kadar daha ucuza mal olmakta, daha yüksek trafik hacimlerinde ise yine beton kaplama daha ekonomik olmaktadır [17].

Mühendislik yapılarında ekonomik analizlerin yaşam döngüsü (veya hizmet ömrü) maliyeti esasına göre yapılması gerekir. Asfalt ve beton yolların böyle bir analizle karşılaştırılmalarında ilk maliyete ilaveten hizmet ömrü boyunca bakım ve onarım sıklıkları ile bunların teknik ve sosyal maliyetleri, aydınlatma masrafları, taşıtların yakıt sarfiyatı gibi hususlar ve çevresel etkiler itibara alınır. Bu amaçla yapılan çalışmalar özellikle trafik hacmi yüksek yollarda ilk maliyetin daha fazla olması durumunda bile hizmet ömrü sonunda beton yolların asfalt yollardan daha ekonomik olduğunu ortaya koymaktadır. Günlük ticari taşıt trafiğinin 5.000'den fazla olması durumunda beton yol tercih edilmektedir [8].

Asfalt yollarda yapımlarından 3~5 yıl sonradan itibaren bakım ve onarım çalışmalarına gerek duyulmakta, 10 yıl sonra kaplama yüzeyinin yenilenmesi yoluna gidilmektedir. Artan onarım çalışmaları ve maliyetleri 17~20 yıl sonra ekonomik ömrün sonunu yaklaştırmaktadır. Toplam bakım ve onarım maliyetinin ilk maliyeti geçmesi de mümkündür. Sık yapılan bakım ve onarım işlemleri sırasında yolda trafiğin kısıtlanması, iş ve zaman kaybına neden olmakta, yakıt sarfiyatını ve dolayısı ile hava kirlenmesini artırmakta, kullanıcı üzerinde olumsuz psikolojik etki yaratmaktadır [4, 6, 7, 8,].

Beton yollar hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler. Derz dolgularının 4~5 yılda bir kontrolü yapılır. Genellikle ilk ufak onarımlar 10~12 yıl sonra gerekebilir. Yüzey pürüzlülükleri 17~18 yıl sonra elden geçirilmektedir [4, 6, 8]. Beton yollarda onarımlar asfalt yollara göre çok daha seyrek yapılmakla birlikte onarım başına maliyet genellikle daha fazla olabilmektedir [5].

Yapılan araştırmalara göre asfalt ve beton kaplamalarda yuvarlanma direnci faktörleri sırası ile 0.12 ve 0.10 olarak belirlenmiştir. Bu da beton yolda giden bir taşıtın daha az yakıt sarf edeceğini göstermektedir. Şekil 2.9'da görüldüğü gibi özellikle ağır vasıta tekerlekleri esnek olan asfalt kaplamaya gömülerek sürüş sırasında zorlanmaktadırlar. Bu tür taşıtlar için beton kaplama ortalama %6~11 arası yakıt tasarrufu sağlamaktadır [6, 18].



Şekil 2.9. Asfalt ve Beton Yolda Ağır Vasıta Tekerleği [6, 18]

Kanada'nın Ontario eyaletinde asfalt ve beton yolları sosyo-ekonomik yönlerden karşılaştırarak değerlendiren bir araştırmada üzerinden günde ortalama en az 1500 kamyon geçen 4.105 km'lik bir yol kesimi ele alınmıştır [12]. Sonuçlara göre yolun asfalt yerine betondan yapılması ile kamyonların yakıt gideri %11'e varan oranlarda azalmakta, aydınlatılacak kesimler için gerekli elektrik sarfiyatı ise %45 daha az olmaktadır [5].

Asfalt ve beton yolların 50 yıllık bir hizmet süresi bazında yapılan karşılaştırmalarında çevre ve enerji konularına ağırlık verilmiştir [19]. Asfalt ve çimentonun üretimi, yolun yapımı, bakımı ve onarımı için gerekli enerjiler ve ortaya çıkan sera gazı emisyonları dikkate alınmıştır. Maliyet olarak düşük trafik hacimli yolda asfalt %8, yüksek trafik hacimli yolda ise beton %13.8 daha ucuzdur. Yol için harcanan enerji yapım sırasında düşük ve orta trafik hacimli beton yollarda biraz daha fazla, yüksek trafik hacimli beton

yolda daha azdır. Hizmet süresi bazında ise her türlü trafik için asfalt yol yapımı için gereken enerji beton yol için gerekenden %54'e varan oranlarda daha fazladır. Asfaltın enerji veren bir malzeme kabul edilmesi durumunda ise bütün aşamalarda asfalt yolun enerji tüketimi beton yolunkinin 2~3 katı olabilmektedir. Çalışmada her iki kaplama türü için yapım, bakım ve kullanım süreçlerinde meydana gelecek sera gazı emisyonları da CO₂ eşdeğeri "küresel ısınma potansiyeli" (KIP) olarak hesaplanmıştır. Hizmet süreci sonunda bu değer düşük trafik hacimli yolda ise %2 daha fazladır. Ancak beton yollarda taşıt yakıt tüketiminde %5'lik bir azalma bile bu farkı kapatmakta ve yüksek trafik hacimli beton yollarda KIP değeri ihmal edilebilir düzeye inmektedir. Bu aynı zamanda bu tür beton yollarda maliyetin düşmesini de sağlamaktadır [5].

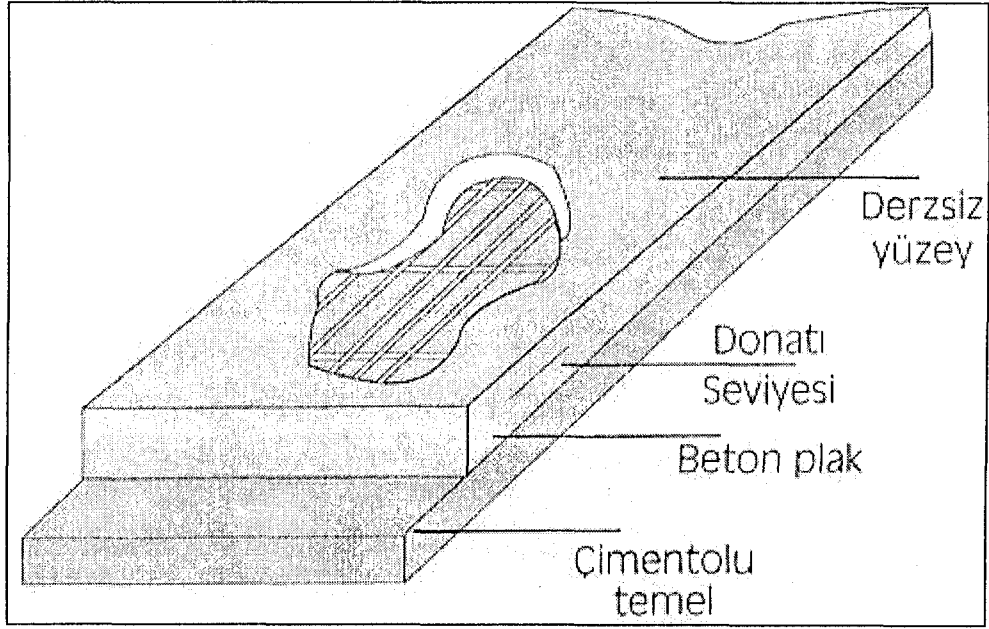
2.2. Beton Yol Kaplamaları

Günümüzde beton yüzeyli yolların inşası için başlıca; sürekli betonarme kaplama (CRCP, Continuously Reinforced Concrete Pavement), derzli donatısız beton kaplama (URC, Unjointed Reinforced Concrete Pavement), derzli betonarme kaplama (JRC, Jointed Reinforced Concrete Pavement) olmak üzere üç seçenek vardır. Ayrıca dördüncü seçenek olarak da rijit kompozit kaplama, sürekli betonarme yol zemini (CRCR, Continuously Reinforced Concrete Roadbase), sayılabilir [20].

2.2.1. Sürekli Betonarme Kaplama

Sürekli betonarme kaplamanın özellikleri aşağıdaki gibidir:

Plak kalınlığı; trafik yükü 110 msa için 200 mm, 500 msa için ise 270 mm olmalıdır. Plak takviyesi ise; plak kalınlığının ortasında; uzunlamasına donatı, $\Phi 16$ 'lık ve plak en yüzeyinin (minimum) % 0.6'sı, enine donatı ise 600 mm merkezde $\Phi 12$ 'lik uzunlamasına donatıya ya dik açı ya da 60°'lik açı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir. Ankraj üst kaplamada süreksizlik durumunda uygulanır. Donatılar, prefabrike veya yerinde hazırlanmış hasır demiri şeklinde olabilir. Beton, bir veya iki tabaka halinde sabit kalıp veya kayar kalıp teknikleri kullanılarak yerleştirilebilir. Kullanılmış eski beton yeniden agrega şeklinde kullanılabilir. Şekil 2.10'da sürekli betonarme kaplamanın tipik enkesiti görülmektedir [20].



Şekil 2.10. Sürekli Betonarme Kaplama Tipik Enkesiti

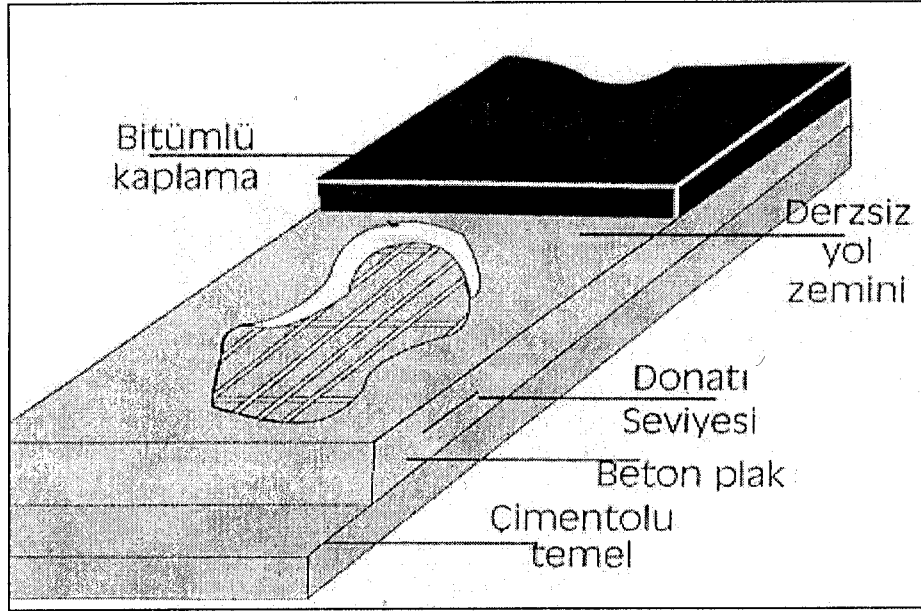
Avantajları ise;

- Enine derzlerin olması nedeniyle üstün konfor sağlaması ve bakım masraflarının azaltılması,
 - Farklı jeolojik yapıya ve zemin şartlarında kullanılabilmesi,
 - Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyapılardan 180 mm daha ince olması,
 - Ses azaltıcı yüzey doku malzemesi kullanılabilmesi
- olarak sıralanabilir [20].

2.2.2. Betonarme Yol Zemini

Betonarme yol zemini özellikleri aşağıdaki gibidir:

Plak kalınlığı; trafik yoğunluğu 50 msa için 150 mm, 100 msa için 180 mm, 500 msa için 260 mm, 1000 msa için 280 mm olmalıdır. Plak takviyesi ise; plak kalınlığının ortasında, uzunlamasına donatı, $\Phi 12$ 'lik ve plak en yüzeyinin %0.4'ü, enine donatı ise 600 mm merkezde $\Phi 12$ 'lik uzunlamasına donatıya ya dik açı ya da 60° 'lik açı oluşturacak şekilde yerleştirilmelidir. Ankraj yapılmasına gerek yoktur. Donatı, prefabrike veya yerinde hazırlanmış hasır demiri şeklinde olabilir. Beton, bir veya iki tabaka halinde sabit kalıp veya kayar kalıp teknikleri kullanılarak yerleştirilmelidir [20].



Şekil 2.11. Betonarme Yol Zemini Tipik Enkesiti

Şekil 2.11’de betonarme yol zeminin tipik enkesiti görülmektedir.

Avantajları ise;

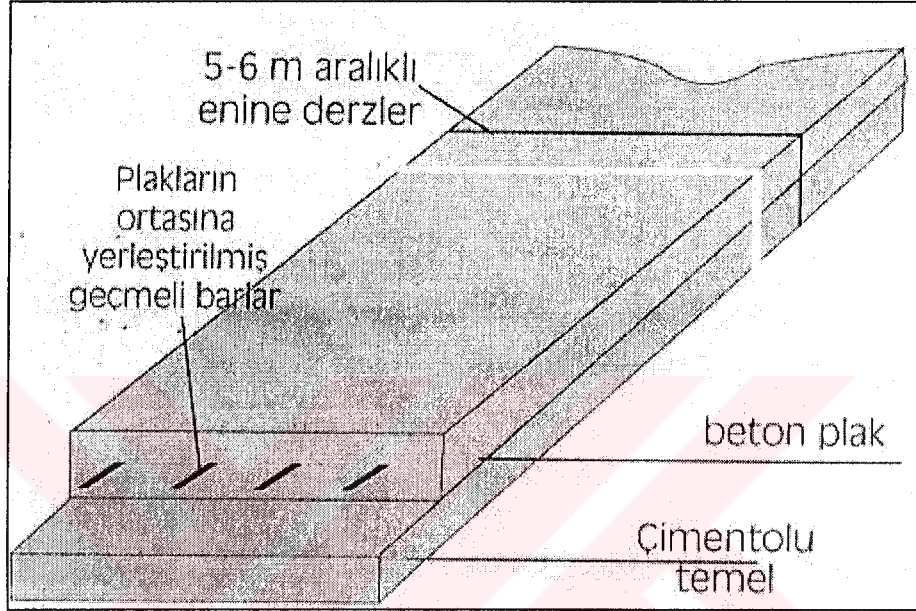
- Tüm uygulamalarda ve esnek üstyapıları takviyesinde dolgu malzemesi olarak kullanılabilmesi,
- Enine derzlerin olması nedeniyle üstün konfor sağlaması ve bakım masraflarının azalması,
- Geçirimsiz veya gözenekli, bitümlü yüzey gerektiğinde yenilenebilmesi,
- Kademeli inşaatlarda CRCR’ye dönüştürülebilmesi,
- Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyaplardan 100 mm daha ince olması, olarak sıralanabilir [20].

2.2.3. Derzli Donatısız Beton Kaplama

Sürekli derzli donatısız beton kaplamanın özellikleri aşağıdaki gibidir:

Plak kalınlığı; trafik yoğunluğu 8 msa için 150 mm, 50 msa için 230 mm, 100 msa için 260 mm, 500 msa için 340 mm olmalıdır. Enine derzler; 5 m aralıklarla enine geçmeli dilatasyon derzi ve gerekirse, 60 m aralıklarla genişleme derzi yapılmalıdır. İri kalker agregalı beton kullanılırsa, her iki aralık da % 20 oranında arttırılmalıdır. Beton, bir veya iki tabaka halinde sabit kalıp veya kayar kalıp teknikleri kullanılarak

yerleştirilmelidir. Geçmeli donatı ya mekanik olarak yerleştirilmeli ya da hasır olarak önceden hazırlanmalıdır. Kayar kalıp kalınlığında ve filiz demiri mekanik olarak yerleştirildiğinde, üst kaplama, aynı yoldan elde edilen çimento ile tam olarak inşa edilir. Şekil 2.12’de dersiz donatısız beton kaplamanın tipik enkesiti görülmektedir [20].



Şekil 2.12. Derzli Donatısız Beton Kaplama Tipik Enkesiti

Avantajları ise;

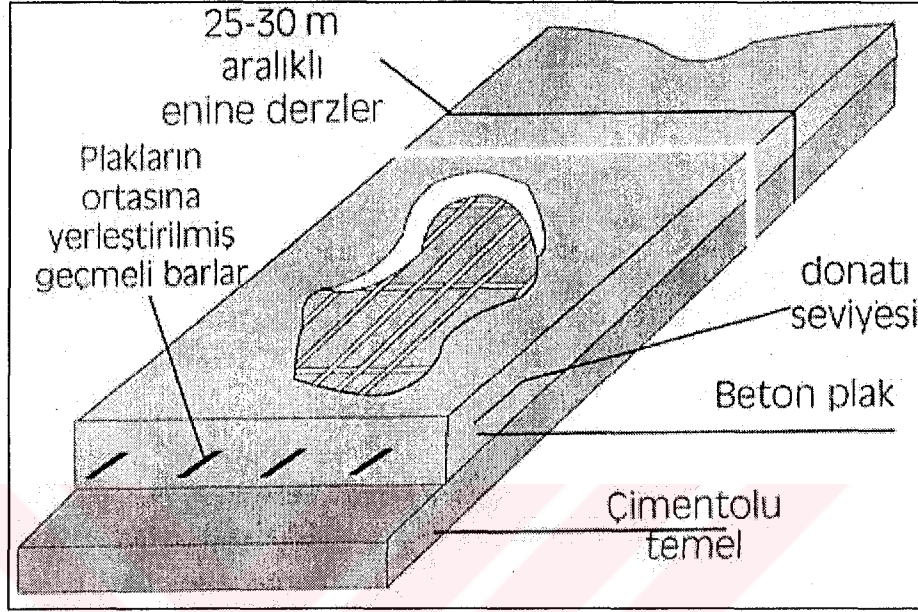
- Beton üst kaplaması 20 yıllık esnek üstyapılardan 100 mm daha ince olması,
 - Ses azaltıcı yüzey doku malzemesi kullanılabilmesi,
- olarak sıralanabilir [20].

2.2.4. Derzli Betonarme Kaplama

Sürekli derzli betonarme kaplamanın özellikleri aşağıdaki gibidir:

Plak kalınlığı; trafik yoğunluğu 25 msa için 150 mm, 50 msa için 180 mm, 100 msa için 210 mm, 500 msa için 280 mm olmalıdır. Enine derzler; 25 m aralıklarla enine geçmeli dilatasyon derzi olarak düzenlenir, gerekirse, 75 m aralıklarla genişleme derzi yapılmalıdır. İri kalker agregalı beton kullanılırsa, her iki aralık da % 20 oranında artırılabilir. Beton, bir veya iki tabaka halinde sabit kalıp veya kayar kalıp teknikleri kullanılarak yerleştirilir. Geçmeli donatı ya mekanik olarak yerleştirilmeli ya da hasır

olarak önceden hazırlanmalıdır. Şekil 2.13'de derzli betonarme kaplamanın tipik enkesiti görülmektedir [20].



Şekil 2.13. Derzli Betonarme Kaplama Tipik Enkesiti

Avantajları ise;

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

2.3. Lif Takviyeli Beton Yollar

Beton yollarda lif içerikli beton kullanımı 1970'li yılların ilk dönemlerinde başlamıştır. Lif içerikli beton yollar ve takviye tabakaların sahadaki uygulamaları ve sahadaki deneysel çalışmaları rapor halinde düzenlenmiştir [21, 22, 23]. Bu kaplama uygulamaları; köprü plak kaplamaları, karayolu kaplama ve kaplama takviye tabakaları, havaalanları, taxi yolları, havayolu apronları ve endüstriyel zemin kaplamalarını da içermektedir. Lankard ve Shrader (1983) tarafından ABD'de 1983 yılında, 22 havaalanı kaplama projesinin tamamlandığı belirtilmiştir. 1984'ten beri, Avrupa'da endüstriyel alanlarda 1 milyon m³ lif içerikli beton kaplama uygulamalarının hemen hemen tümünde çelik lif kullanılmıştır [25]. Uygulamalarda, polipropilen, karbon ve cam lifler ve bu liflerin birleşimi yaklaşık olarak hiç kullanılmamıştır. Deneysel çalışmalarda ve

kaplama uygulamalarında kullanılan çelik lif miktarı en düşük 36 kg/m^3 , en yüksek 157 kg/m^3 ve ortalama 104 kg/m^3 olarak değişmektedir. Bağlayıcı malzeme (çimento, uçucu kül veya silis dumanı) oranı; en düşük 330 kg/m^3 en yüksek 575 kg/m^3 olmuştur [22].

Beton kaplama ve kaplama takviye tabakalarında kullanılan çelik lif içerikli betonun malzeme özellikleri tipik olarak aşağıdaki şekildedir:

Eğilme dayanımı	= 6 MPa ~ 8 MPa
Basınç dayanımı	= 42 MPa
Poisson oranı	= 0.2
Elastisite modülü	= 28 GPa [22].

İlk deneysel ve sahadaki lif içerikli beton kaplama ve kaplama takviye tabakalarının bir çoğunda, yerleştirildikten 24~36 saat içerisinde boydan boya enine çatlaklar, köşe çatlakları ve kıvrımlar oluşmuştur. Kıvrım miktarı, 0 ile 16 m arasında, ortalama 3 mm olarak belirlenmiştir. Kenar çatlakları, 1 yıllık servis sonunda, köşelerin boyuna ve enine derz yakınlarında, 0.3~1.2 m yarıçapında ortaya çıkmaktadır [24].

Kullanılan geleneksel beton veya lif içerikli betona bağlı olmayan kıvrılma, beton kaplamalarda önemli bir sorundur. Kıvrılma ve çatlakları azaltmak için araştırmacılarca aşağıdaki öneriler sunulmuştur:

Bunlar;

1. Betonda agrega oranını arttırmak ve çimento oranını azaltmak,
2. Kullanılacak çimento oranının bir kısmını uçucu kül ile yer değiştirmek,
3. Büzülmeyi dengeleyici beton kullanılması,
4. Su kullanımını azaltıcı katkı maddelerinin kullanılması [25, 26, 27].

Eski beton kaplaması, çelik lif içerikli beton takviye tabakası ile kaplanan Transcanadian karayolu üzerinde deneysel rehabilitasyon projesi uygulanmıştır [28]. Eski kaplamanın yüzeyi, kumla kaplanmış veya yivlendirilmiştir. Üç tip çelik lif kullanılmış ve tüm takviye tabakaları ince çimento şerbeti (harcı) ile alt tabakaya bağlanmıştır. İlave olarak, 37.5 mm uzunluğundaki çelik çiviler kullanılarak iki şerit arasında mekaniksel bağ oluşturulmuştur. 1989'da, Japonya'da derzli portland çimento

betonu kaplamalar ve sürekli donatılı beton kaplamalar üzerine ince takviye tabakası kullanılmıştır [29].

Lifli beton yol yapımı klasik betonunkinden farklılık göstermemektedir. Ancak liflerin miktarının saptanmasında ve beton içinde homojen dağılımında güçlükler görülmektedir. Liflerin bir arada kalmasının, yani topaklaşmanın önlenmesi için özel önlemlerin alınması gerekir [4].

2.4. Beton Yollarda Kullanılan Polipropilen ve Çelik Lifler

2.4.1. Çelik Teller

Betonun zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi için kullanılan çelik telin tanımı ACI 544 [30] göre tel boyunun eşdeğer tel çapına bölünmesiyle elde edilen boy/çap oranı olarak kabul edilmektedir. Bu oran aynı zamanda telin narinliği ifade etmektedir. Beton takviyesinde genellikle daire kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra dikdörtgen kesitli çelik teller de bulunmaktadır. Boyları 30~60 mm, çapları ise 0.5~1.0 mm arasında değişen çelik tellerin yük etkisiyle kopmadan matrizen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm² olması istenmektedir [30]. Uçları kancalı üretilen çelik tellerin çekip-çıkarma dayanımları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır. Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik teller genellikle; soğukta çekilen tellerin kesilmesi, çelik plakaların kesilmesi ve erimiş haldeki çelik potasından çıkarılması olarak üzere üç farklı şekilde elde edilmektedir. TS 10153'e göre çelik tel sınıfları ve tipleri şu şekilde verilmektedir [31].

Çelik Sınıfları ve Tipleri;

A Sınıfı: Düz, pürüzsüz yüzeyle teller. Şekil 2.14'de tipik enkesiti görülmektedir.

B Sınıfı: Bütün uzunluğu boyunca deforme olmuş teller;

Tip 1: Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller,

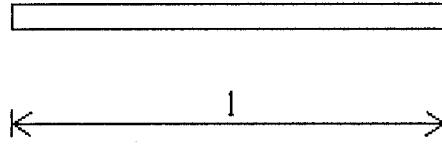
Tip 2: Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) teller

Tip 3: Ay biçimi dalgalı teller. Şekil 2.15.a, Şekil 2.15.b ve Şekil 2.15.c'de B sınıfı çelik tellerin tipik enkesitleri görülmektedir.

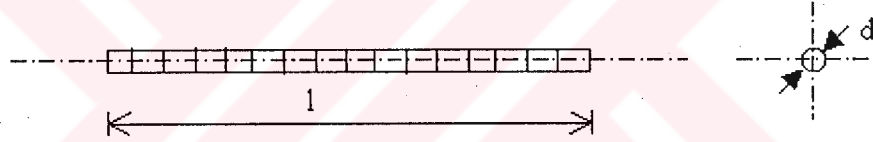
C Sınıfı: Sonu kancalı teller

Tip 1: İki ucu kancalı teller

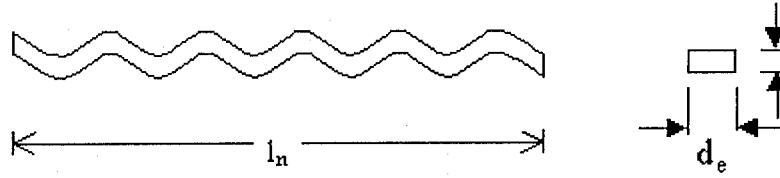
Tip 2: Tek ucu kancalı teller. Şekil 2.16.a ve Şekil 2.16.b'de C sınıfı çelik tellerin tipik enkesitleri görülmektedir.



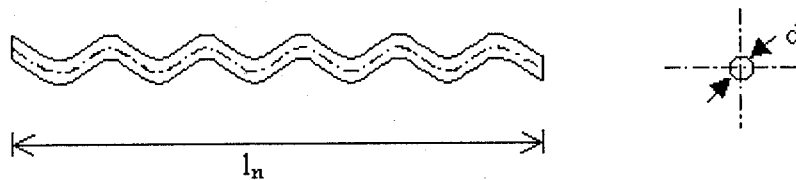
Şekil 2.14. Düz, Pürüzsüz Yüzeyle Teller



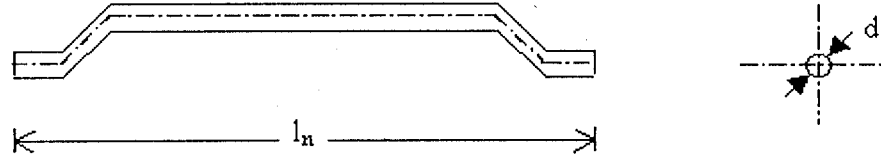
Şekil 2.15.a. Üzerinde Girintiler (Çentikler) Açılmış Teller



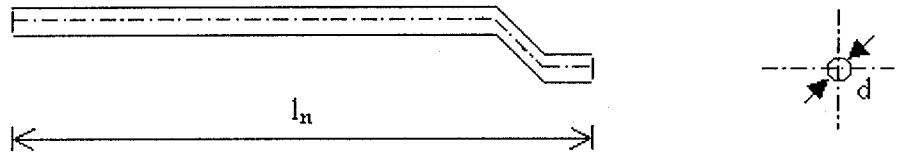
Şekil 2.15.b. Uzunluğu Boyunca Dalgalı Teller



Şekil 2.15.c. Ay Biçimi Dalgalı Teller



Şekil 2.16.a. İki Ucu Kıvrılmış Teller



Şekil 2.16.b. Bir Ucu Kıvrılmış Teller

Lifli betonlar üzerine ilk çalışmalar 1963'lü yıllarda beton içerisine cam liflerin katılmasıyla başlamıştır. Daha sonraları farklı lif tipleri kullanılarak beton mukavemeti üzerine liflerin etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda süreksiz dağılı bulunan liflerin genellikle betonda oluşan çatlakları en aza indirerek lifli betonun şekil değiştirme özelliğini artırmakta olduğu görülmüştür [32].

Ezeldin ve Balaguru (1992), basınç dayanımları 35 MPa'dan 84 MPa'a değişen basınç dayanımlı, çelik lif içerikli betonların tamamlanmış gerilme-şekil değiştirme eğrisini elde etmek için testler yapmışlardır. Matrisin, harçtan daha çok beton içerdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar, üç farklı hacimsel oranda lif (30 kg/m^3 , 45 kg/m^3 , 60 kg/m^3) ve üç farklı narinlik oranı (60, 75, 100) kullanmışlardır. Silis dumanı içeren ve içermeyen betonlara kancalı çelik lif ilave edilmesinin, basınç dayanımını ve tepe dayanımına karşılık gelen şekil değiştirmeyi arttırdığını açıklamışlardır [33].

Otter ve Naaman (1988), çelik lif kullanılan düşük dayanımlı betonların basınç dayanımlarındaki artış katkısız betonlarla karşılaştırıldığında daha belirgin ve bu artış doğrudan kullanılan çelik liflerin hacimsel oranıyla ilişkili olduğunu göstermiştir. Bu artış, düz çelik lifler, cam veya polipropilen liflere göre kancalı liflerde daha fazladır [34].

Barr ve diğ. 1982 yılında yaptıkları çalışmalarda çelik lifli betonların, özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterdiğini, bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisinde de artış olduğunu göstermişlerdir [35].

Arslan ve diğerleri 1991 yılında, çelik lifli betonun kesme dayanımının oldukça yüksek olduğunu ve kesme elemanlarında kullanımda avantajlı olduğunu yapmış oldukları çeşitli çalışmalarda göstermişlerdir [36].

Shah ve Rangon 1971 yılında rasgele olarak beton içerisine dağılmış farklı narinlikteki liflerden lif güçlendirme mekanizmasını pratikte kullanılan çelik çubuklar arasındaki farkları incelemişlerdir. Çekme, basınç ve eğilme etkileri altındaki liflerle güçlendirilmiş betonlarda liflerin matriste çatlak oluşturduktan sonra etkinliğinin daha fazla olduğu çatlama sonrası dayanımının ise lif özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır [37].

Bartos 1981 yılındaki çalışmalarında çimento kökenli matrislerde liflerin değişik tiplerinin kenetlenme karakteristiklerini değerlendirdi. Liflerle güçlendirilmiş betonlarda lif ile beton arasındaki kenetlenmeyi açıklayan teorileri grafiksel olarak ifade etti [38].

Evans 1974 yılındaki çalışmasında dinamik yükler altında yavaş çatlak gelişim nedeni ile göçmeye maruz kalan malzemeleri, çatlak gelişim hızı ve gerilme şiddeti faktörüne bağlı olarak analiz etmiştir [39].

Robins ve Calder Wood 1978 yılındaki çalışmalarında çelik ve polipropilen lifli olarak imal edilen döşemelerin patlama tesirinde daha az parçalandığı gözlemiştir [40].

Ezeldin ve Lowe (1991), basınç altındaki sekant elastisite modülünü elde etmek için dayanımları 35MPa ile 85 MPa arasında değişen betonlarda üç farklı miktarda (30, 45, 60 kg/m³) çelik lif kullanmışlardır. Çelik lif ilavesinin başlangıç elastisite modülünde artış sağladığını bulunmuştur [41].

Normal olarak uygulamada kullanılan hacimsel lif oranlarında, lif içerikli betonun dinamik modülü, katkısız betonunkinden çok az farklıdır. Swamy ve Mangat (1974) tarafından yapılan testler %2'den yüksek hacimsel oranda çelik lifli betonun dinamik modülünün, katkısız (kontrol) betonunkinden %5 farklı olduğu göstermiştir. Bu

nedence, statik elastisite modülü için kullanılan geleneksel çözümler, lif içerikli betonun dinamik modülü için de uygulanır [42].

Çelik lifli betonlar konusunda halen araştırmalar halen devam etmektedir. Fakat şu ana kadar yapılan çalışmalar; lifli betonların tek başına klasik donatılı betonarme betonunun yerini tutmayacağı görülmüştür. Bununla beraber çelik lifli beton teknik yönden normal betona göre önemli yapılarda normal donatı ile kullanılması halinde bazı yapısal davranış bozukluklarının önüne geçilebilmektedir.

2.4.2. Polipropilen Lifler

Polipropilen lifler, polimer liflerden betona katılan ve en iyi sonuç veren liftir. Tıpkı çelik lifler gibi polipropilen lifler de betonun bazı özelliklerini arttırabilir. Polietilen ve Naylon 6 katılsa da kullanımları polipropilen kadar yaygın değildir. şimdiye kadar yapılmış çoğu araştırmalarda da polipropilenler kullanılmıştır [43].

Kullanılan polipropilen liflerin hacimce katılma oranları düşüktür. Çoğu durumlarda %0.1 gibi sınırlanır. Lif katma oranı ve hava miktarı, minimum işlenebilirlikle değişir. Lifler hazır karışım tesislerinde yada şantiyede eklenebilir. Lifler katıldıktan sonra en az 10 dakika karıştırılmalıdır. Bazı araştırmacılar %2 hacim oranında da denemeler yapmışlardır. Fazla oranlarda katıldığında çeşitli önlemler alınmalıdır. Eğer önlem alınmazsa betonun işlenebilirliği azalır ve hava miktarı artar. İşlenebilme problemi su azaltıcı katkıların dozajını arttırmakla çözülebilir. Hava miktarı kontrol edilebilir. İşlenebilirlik, tekil lif formundaki liflere kıyasla hamur lif formundaki liflerde daha azalır. Çünkü tekil lif formundaki liflere karışıma daha kolay, homojen dağılabilir ve işlenebilirlik daha iyi olur. Lif uzunluğu önemli rol oynar. Lifler hamur formundayken uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Hacimce katılma oranı karışımın %5'dir. Genelde kullanılanlar 12~50 mm olanlardır [43].

Polipropilen, plastik rötreyi azaltırlar. Lif hacim oranları %0.1~%0.05 olarak kullanılırlar. Polipropilen lifler hem lif hamuru hem de tekil halde bulunurlar. Polimer lifli betonların işlenebilmesi, liflerin tipine, uzunluklarına, içeriklerine ve betonun mukavemetine bağlıdır [43].

Hava miktarı liflerde ayırıcı bir özellik değildir. Polipropilen lif içeren betonun vibrasyon altında normal betondan daha kohezif olduğu görölür [44].

Beton veya sıvada polipropilen lifli betonun en önemli etkisi, sermeden sonraki ilk birkaç saat içinde plastik büzölmelerden dolayı oluşacak çatlakları kontrol altına almasıdır. Sertleşme prizlenmenin ilk safhasında beton mukavemetinin oluşma hızı, büzölmelerden dolayı meydana gelen iç çekme gerilmelerinin oluşum hızından daha yavaştır. Bu plastik büzölme esas itibariyle su ve çimento arasında kimyasal reaksiyon ve su buharlaşmasının tabii bir sonucudur. Polipropilen lifler, büzölme gerilmelerine karşı bir direnç meydana getirir ve büzölmelerden dolayı oluşacak çatlak tehlikesini asgari düzeye indirir [44].

Polipropilen lifler sertleşmiş betonda mukavemet artırıcı bir donatı etkisi yaratmazlar. Etkileri betonun plastik safhasında geçerlidir ve bir nevi katkı malzemesi görevi görürler [44].

Polipropilen lifler çelik liflere nazaran betonun mekanik mukavemetlerini arttırmada çok etkili olmazlar. Ama yinede az da olsa betonun enerji yutma özelliği kazandırır ve özellikle de plastik rötrede çok etkili olurlar [43].

Sentetik lif içerikli betonların özellikleri üzerinde silis dumanının etkisi, Bayasi ve Çelik (1993) tarafından 150x300mm silindirler üzerinde araştırılmıştır. 12mm uzunluğundaki liflendirilmiş polipropilen lifler ve polietilen-terphalete polyester lifler, %0 ve %0.6 arasında değişen hacimsel oranlarda kullanılmışlardır. Portland çimentosunun ağırlıkça % 0, % 5, % 10, % 25'i silis dumanı ile yer değiştirecek şekilde silis dumanı ilave edilmiştir. Lifler, basınç dayanımı üzerinde oldukça küçük etkiye sahip olmuştur. Her iki tip lif, tokluktaki artış sayesinde basınç davranışını geliştirmiştir. Ayrıca, her iki lif tipinin de tepe basınç dayanımındaki şekil değiştirmeyi arttırdığı gözlenmiştir. Sırasıyla, yüzde 0.35 ve 0.30, polyester ve polipropilen lif oranlarında, çimento ağırlığının %5 ile %10'u arasında silis dumanı kullanımı optimum olmakta ve bu oranlarda lifli betonun basınç dayanımını ve tokluğunu arttırmaktadır. Yine aynı çalışmada, sentetik lif içerikli betonların eğilme dayanımı üzerinde silis dumanının etkisi araştırılmıştır. 100x100x350mm boyutlu numunelere ASTM C 78 ve C 1018'de üçte bir noktalarında yükleme testi uygulanmışlardır. Sonuçlar, polyester lifler ve polipropilen liflerin eğilme dayanımı üzerinde kararsız bir etkiye sahip olduğu ve tepe sonrasındaki direncini belirgin şekilde arttırdığını göstermektedir. Bu iyileşme, lif oranı arttıkça devam etmektedir. Fakat hacimsel lif oranı %0.35'i aştığında kırılma

dayanımı azalmaya başlamaktadır. Bunların yanı sıra, silis dumanı kullanımı, plastik lif içerikli betonların tepe sonrası dayanımını ve tokluğunu yükseltmektedir [45].

Bayasi ve Zeng (1993), 12.5 ve 19mm uzunluğundaki polipropilen liflerin %0.1; %0.3; %0.5 hacimsel oranlarda kullanıldığında, basınç dayanımına önemli bir etkisinin olmadığını belirtmişlerdir. Polipropilen liflerin eğilme davranışının, tepe sonrası eğilme direnci ile karakterize edilebileceğini ileri sürmüşlerdir. %0.3'e eşit ve daha az hacimsel oranlı ve 19mm uzunluğundaki liflerin, tepe sonrası direnci artırmak için daha uygun olduğu saptanmıştır. %0.5 hacimsel oran için 12mm uzunluğundaki lifleri daha etkilidir [46].

Polimer lifler için hacim oranı %0.1 olmasına rağmen bazı durularda yüksek dozajda kullanılır. Bu düşük lif haciminde lifler sertleşmiş betonun hiçbir özelliğini eksiltmez. Elastisite modülündeki değişiklik belirgin olmaz. Liflerin artırılması basınç mukavemetini etkilemez [43].

Polipropilen liflerin çekme gerilmesine etkileri çelik liflerden daha azdır. İri daneli agregalı beton ve lif hacmi %0.5'den az olan çimento ve harç numuneleri, %2 ve %7 polimer lif içerenlerin davranışı, %0.5'den az lif içerenlerinkinden çok farklıdır. Hacimce katılma oranı %0.2'den az olduğunda betona lif katılımı çatlak gerilim mukavemetinde etkili olmaz [43].

Polipropilen lifler basınç dayanımına etkileri zayıftırlar ama yüksek çekme dayanımları vardır ve diğer malzemelerle kombinasyonları sayesinde bazı mukavemet özellikleri iyileştirilmiş malzemeler oluştururlar [47].

2.5. Lifli Betonların Kullanım Alanları

Lif içeren betonlar normal betonlara oranla sağladıkları belirgin avantajlarından dolayı oldukça geniş kullanım alanına sahiptirler. Bu kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir:

- Tünellerde püskürtme beton kaplamalarında,
- Yol kaplamalarında,
- Endüstri yapılarında,
- Su yapılarında,

- Şevlerin stabilizasyonu ve istinat duvarı yapımında,
- Kabuk yapılarda,
- Depreme dayanıklı yapılarda kullanılmaktadır [48].

2.6. Lifli Betonların Mekanik Davranışı

Beton, büyük basınç kuvvetlerini iyi taşıyan bir yapı malzemesidir. Betonun dayanımı tokluğu ve birim boy değişimi çekme etkisine karşı açıkça görülebilen bir düzeltme ve kullanım özelliği sağlar. Lifli beton hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süreksiz dağılı liflerin suyla karıştırılmasından meydana gelen bir yapıya sahiptir. Ayrıca hidrolik çimento ve liflerden oluşan birleşime de “lifli beton” adı verilmektedir. Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş lifli beton, ilk görüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özelliğe sahiptir. Liflerin beton içerisinde gelişi güzel dağılmasına rağmen lifli beton yük altında homojen bir davranış gösterir.

Lifli betonların üretiminde bugüne kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland çimentosu kullanılmıştır. Ancak çimento hamuru kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden %0.02~%0.06 mertebesinde düşük olması sonucu bir yükleme durumunda elastik limitin ötesinde çimento hamurunun matris’inde çatlakların oluşmasından dolayı matris olarak sadece çimento hamurunun kullanılması hacim kararsızlığı nedeni ile zararlı olduğu söylenmektedir. Lifli beton kompozitlerinde matris’in fonksiyonu lifleri bir arada tutmak, onları korumak ve liflere veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır.

Williamson (1974) ve Naaman ve diğ. (1974) çalışmalarını içeren, 1988 öncesi çalışmalar, harç karışımlarında lif ilavesi ile oluşan dayanım artışı ihmal edilebilecek düzeyde olduğunu göstermiştir. Buna karşın beton karışımlardaki dayanım artışı % 23 kadardır [49, 50].

Katkısız betonun büzülmesini etkileyen faktörlerle, lif içerikli betonların büzülmesini etkileyen faktörler aynıdır. Bunlar; sıcaklık, bağıl nem, malzeme özellikleri, kür süresi ve numune boyutudur. Lif ilave edilmesi (özellikle çelik lif), büzülmenin katkısız betonlara göre daha kısa zamanda tamamlanmasını sağlamaktadır. Kuruma büzülmesi

sınırlandırıldığında liflerin etkisinin olmadığı (Lim ve diğ. (1987)) veya katkısız betondan daha az büzülmeye sebep olduğu (Paul ve diğ. (1981), Balaguru ve Ramakrishnan (1988)) saptanmıştır. Sadece kuruma büzülmesini sınırlamak amacıyla lif katılacaksa kısa ve rasgele dağılmış liflerin; beton hacmi içerisinde mevcut lif sayısının fazla olmasından dolayı, uzun liflerden daha faydalıdır [51, 52, 53].

Büzülme ile ilgili liflerin ilk avantajı, büzülme çatlaklarının genişliklerini azaltmasıdır [51]. Büzülme çatlakları, betonda büzülme çatlakları, betonda büzülme hareketi sınırlandırıldığında ortaya çıkmaktadır. Çelik lif kullanımı, ilk çatlağın oluşumunu geciktirmekte, birden fazla çatlak oluşmasını sağlamakta, dolayısıyla çatlak genişliğini azaltmaktadır [42]. Lif içerikli betonun sınırlandırılmış büzülme davranışı konusunda yapılan testler, az miktarda (hacimce %0.25) çelik lif ilavesinin çatlak genişliğini ortalama yaklaşık %20 maksimum %50 azalttığını göstermektedir [50].

Çelik lif katkılı beton numunelerin CRD-C-63-80 test yöntemine göre erozyon ve aşınma direnci ve Böhme test yöntemine göre aşınma direnci Susteric ve diğ. (1991) tarafından çalışılmıştır. Dokuz karışım oranı kullanılmıştır. Su/çimento oranları 0.30 ile 0.65 arasında değiştirilmiştir. 0.30 su/çimento oranında kancalı çelik liflerin oranları %0.25 ile %2.0 arasında seçilmiştir. Diğer su/çimento oranlarında lif miktarı sabit tutulmuştur. Karşılaştırma amacıyla, her bir su/çimento oranında lifsiz karışımlar yapılmıştır. Her iki test yönteminde de betona çelik lif ilavesinin aşınma direncini iyileştirdiği görülmüştür. Lif oranının artışı ve dolayısıyla basınç dayanımının artışı ile erozyon – aşınma direnci iyileştirmektedir [54].

Lif ilavesinin kendi başına, betonun donma çözünme direncine belirgin etkisinin olmadığı ACI Committee 544 (1982, 1988) tarafından vurgulanmıştır [21, 22]. Donma-çözünmeye karşı dirençli olmayan betonlar, lif ilavesi ile de donma- çözünme direncine sahip olmayacaklardır [55].

Çelik lif katkılı betonun mikro yapısının üzerinde Dramix çelik liflerinin etkisi ve donma direnci üzerinde mikro yapısının etkisi Vares (1994) tarafından araştırılmıştır. %2 ve %4 çelik lif içeren lifli betonların donma direnci suda bekletilen numunelerin mikro yapısının tokluğunun ve değişikliklerin karşılaştırılması ile beton 100 ve 200 donma - çözünme çevrimine maruz bırakıldıktan sonra belirlenmiştir. 200 donma

çözünme çevriminden sonra çelik lif içerikli betonun mikro yapısında ciddi bir hasar gözlenmemiştir [56].

Lifli betonlarda beton bileşimine giren parametreler içerisinde beton özelliklerini önemli ölçüde etkileyen faktörler narinlik oranı ile lif miktarıdır. Lifli betonun üretilmesinde karıştırma ve yerleştirme gibi aşamalarında lifin narinlik oranı önemli olmaktadır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 50 ile 100 arasında değişmektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa karışım içerisinde topaklanma oluşması ve liflerin homojen dağılmadığı yapılan çalışmalarda gözlenmiştir. Öte yandan karışıma katılan lif miktarı da betonun işlenebilme özelliğine önemli ölçüde etkilemektedir. Genellikle beton karışımlarda en uygun lif yüzdeleri toplam beton karışımının %0.5~ %2.5 arasında değişmektedir. Beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonrada bozulmaması gerekmektedir [57].

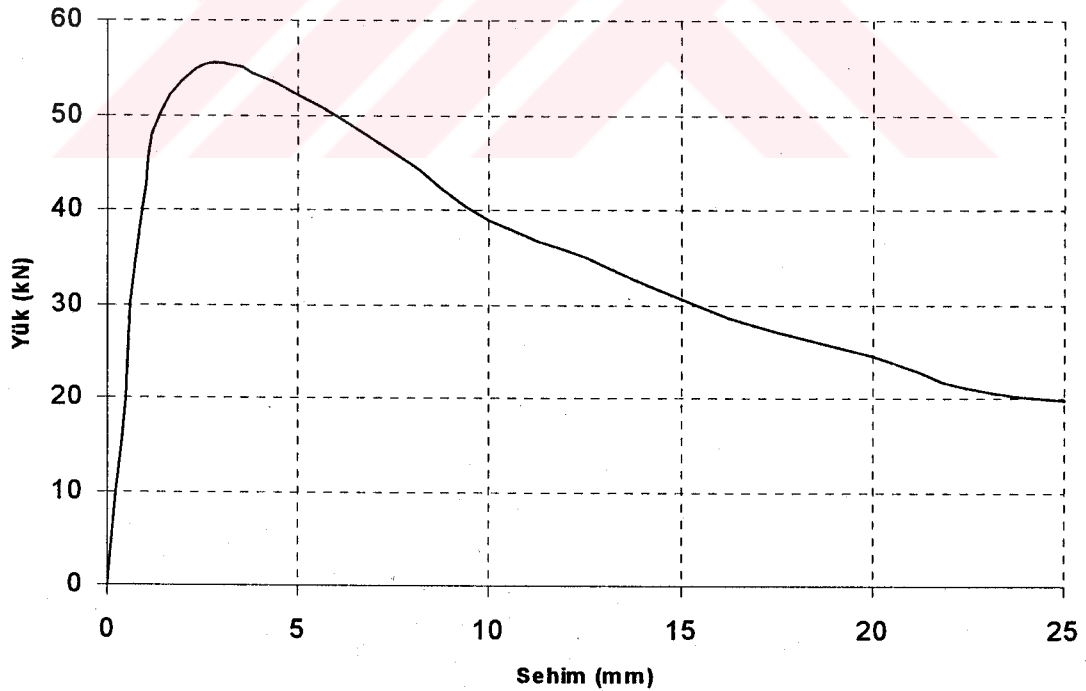
Lifli betonlarda yük iki faz tarafından taşınmaktadır. Çekme gerilmelerini karşılayan ve süreksiz dağılı faz olarak adlandırılan lif fazının, yükün sürekli fazı teşkil eden matris tarafından aktarıldığı kabul edilmektedir. Lif ile matris arasındaki aderanstan aktarılan kuvvetten meydana gelmektedir. Diğer taraftan liflerin süreksiz dağılı olmalarının yanı sıra kuvvet eksenine doğrultusuna paralel bulunmamaları halinde de etkinlikleri azalmaktadır [57].

Özellikle çelik liflerin betona belirli oranda karıştırılması ile elde edilen yeni betonun çekme dayanımının yanında birçok mühendislik özelliklerinde de iyileşmeler gözlenmiştir. Çelik liflerin basınç ve çekme kuvvetleri etkisi altında liflerin çekme mukavemeti tam olarak kullanılmadan önce beton matrisinde çok sayıda kılcal çatlakların meydana gelmesini önlemektir [57].

Çelik lifli beton özellikle ilk kırılma yükünden sonra oldukça yüksek bir düktilite gösterir. Bu da kırılma enerjilerinin yüksek olması neden olmaktadır. Şekil 2.17'de çelik tel donatılı bir plakta tipik yük-sehim eğrisi görülmektedir [58]. Bu nedenle lif oranı arttıkça kırılma enerjisi de artış kaydetmektedir. Çelik lifli betonların gerilme, birim, boy, değişimi eğrisinin ilk kırılma yüküne kadar olan kısmının altında kalan toplam alanı tokluk indeksi olarak tanımlanmıştır. Çelik tel donatılı betonların kırılma enerjilerini veya enerji yutma kapasitelerinin ifadesi için ortaya konulan tanımlamalar

için verilen ampirik bağıntılardan en sık kullanılanı Barr'ın önerdiği "Tokluk İndeksi" tanımlamasıdır. Bu tanımlamada tokluk indeksi lifli betonun eğrinin altında kalan toplam alana oranı olarak ifade edilmektedir. Tokluk değerinin kadar yutulan enerji esas alınmaktadır [35].

Yapılan çalışmalarda dairesel kesitli düz ve kancalı çelik tellerin betonun bahsedilen özelliklerinde en etkin iyileştirmeyi yaptığı gözlenmiştir. Beton karışında kullanılan bu tür tellerin narinlik oranı 50 ile 100 arasında ve katılma oranı ise hacimsel olarak %0.5 ile %2.5 arasında değişebilmektedir. Katılım oranı artıkça çelik telin karışım içerisinde topaklandığı ve homojen bir dağılım göstermediği, hatta basınç dayanımının normal betonun basınç dayanımına oranla düşük olduğu gözlenmiştir [42]. Basınç dayanımındaki bu düşmeye topaklaşmadan dolayı beton içerisinde meydana gelen zayıf bölgelerin ve hava boşlukların sebep olduğu söylenebilir.



Şekil 2.17. Çelik Tel Donatılı Plaklarda Tipik Yük-Sehim Eğrisi [58]

Tablo 2.3'de ise EFNARC' a tarafından çelik tel donatılı betonlar için belirtilen tokluk sınıflandırması verildi [58].

Tablo 2.3. Tokluk Sınıflandırması [58]

Tokluk Sınıfı	25 mm'e Kadar Yutulan Enerji (joule)
a	500
b	700
c	100

BÖLÜM 3

BETON YOLLARDA UYGULANAN LİFLİ BETONLARIN MEKANİK ÖZELLİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK ARAŞTIRILMASI

3.1. Malzemeler

Deneysel numunelerinin hazırlanmasında aşağıdaki özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır.

3.1.1. Çimento

Numunelerin hazırlanmasında Yibitaş-Lafarge Çimento fabrikasından temin edilen PÇ42.5 Portland Çimentosu kullanıldı. Bu çimentoya ait fiziksel ve mekanik özellikler Tablo 3.1’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Çalışmada Kullanılan Portland Çimentosunun Özellikleri.

Çimento Tipi PÇ42.5			
Çözünmeyen Kalıntı	0.2	Blaine cm^2/g .	3003
MgO, %	1.67	Su/çimento, %	27.4
SO ₃ , %	3.24	Priz başı dk.	177
K ₂ O, %	0.58	Priz sonu, dk.	223
Kızdırma Kaybı, %	1.02	Le Chatelier, mm	1
Cl, %	0.01	Basınç Dayanımı, N/mm^2	
serbest CaO, %	0.4	1 gün	17.9
C ₃ A, %	9.2	2 gün	27.5
C ₃ S, %	50.7	7 gün	41.9
Özgül ağırlık g/cm^3	3.16	28 gün	58.7

3.1.2. Agrega

Numunelerin hazırlanmasında agrega olarak Yerköy (Yozgat’a 30 km.) bölgesinden elde edilen dere kumu ve Alaca (Çorum) bölgesinden Öngün İnşaat A.Ş. firmasına ait kırmataş ocağından alınan kırmataş kullanıldı. Agregalara ait fiziksel özellikler Tablo

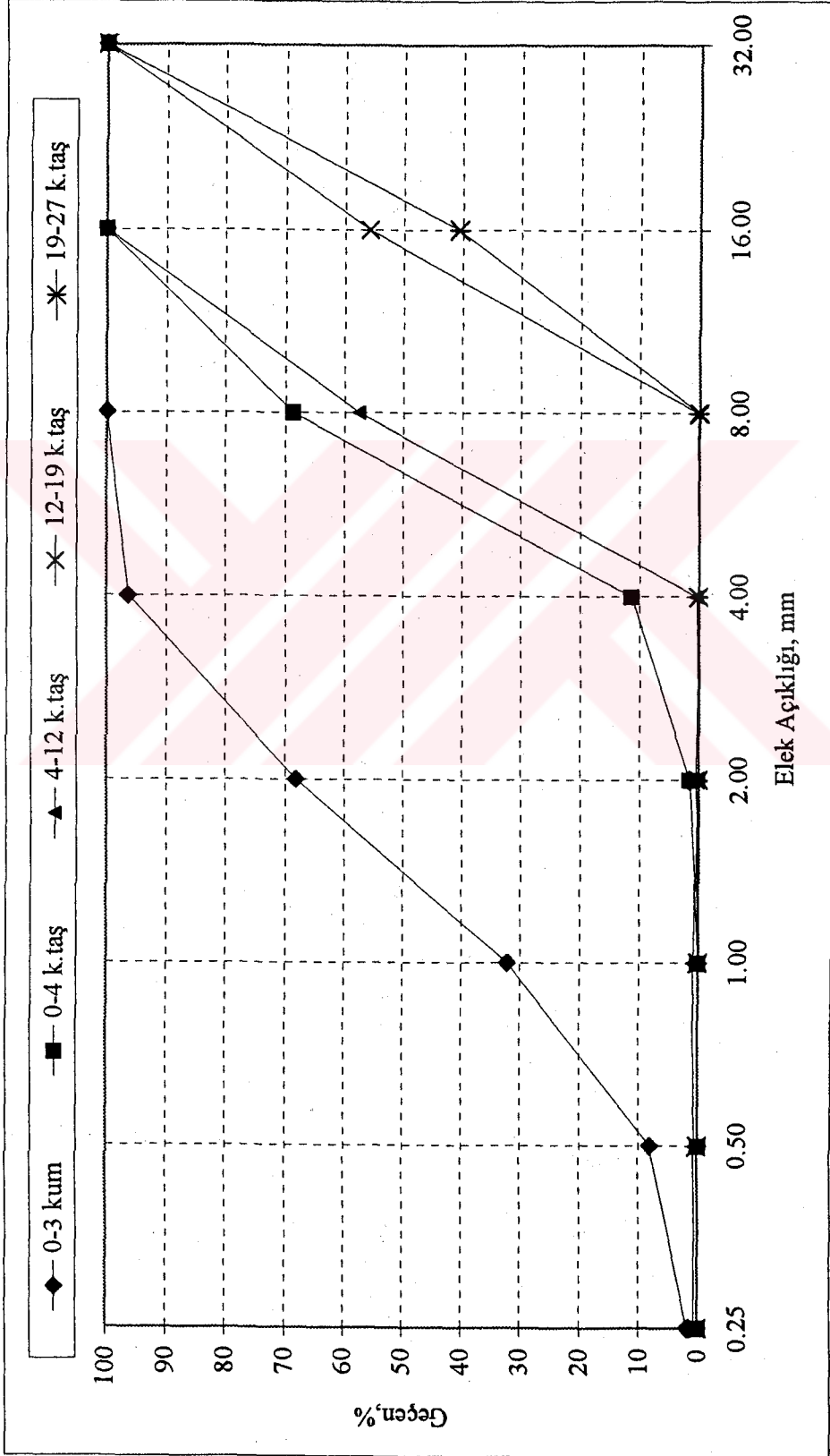
3.2'de verilmektedir. Agregaların granülometrileri ise Tablo 3.3'de verilmektedir. Karışımda kullanılan agregaların granülometrileri eğrileri Şekil 3.1'de verilmektedir.

Tablo 3.2. Agregaların Fiziksel özellikleri

Agrega	Su emme, Ağırlıkça, %	Tane Birim Ağırlığı (kg/m ³)	Özgül Ağırlık (g/cm ³)
0-3 Kum	2.98	2478	2.55
0-4 Kırmataş	0.81	2617	2.638
4-12 Kırmataş	1.56	2594	2.635
12-19 Kırmataş	3.17	2686	2.694
19-27 Kırmataş	3.04	2716	2.724

Tablo 3.3. Karışımda Kullanılan Agregaların Granülometrileri

Elek Göz Boyutu (mm)	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
0-3 Kum	100	100	100	96	68	32	8	2
0-4 Kırmataş	100	100	69	11	2	0	0	0
4-12 Kırmataş	100	100	58	0	0	1	1	1
12-19 Kırmataş	100	56	0	0	1	0	0	0
19-27 Kırmataş	100	41	0	0	0	0	0	0
Karışım	100	79	46	24	16	8	2	1



Şekil 3.1. Karışımda Kullanılan Agregaların Granülometre Eğrileri

3.1.3. Lifler

Numunelerin hazırlanmasında Beksa Çelik Tel ve Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. firmasından temin edilen RC 65/60 BN tipi iki ucu kancalı çelik tel ve Duomix M13 tipi polipropilen lif kullanıldı. Kullanılan çelik tel ve polipropilen lifin özellikleri Tablo 3.4.a ve Tablo 3.4.b' de verilmektedir.

Tablo 3.4.a. Kullanılan Çelik Telin Özellikleri

Çelik Tel Tipi	Boy mm.	Çap mm.	Narinlik (uzunluk/çap)	Yoğunluk, (g/cm ³)
Dramix RC 65/60 BN	60	0.90	67	7.85

Tablo 3.4.b. Kullanılan Polipropilen Lifin Özellikleri

Polipropilen Lif Tipi	Boy mm.	Çap μ .	Lif sayısı (milyon/kg)
Duomix M 13	13	0.022	590

3.1.4. Akışkanlaştırıcı

Numunelerin hazırlanmasında Sikament-MR 50SR akışkanlaştırıcı katkı maddesi kullanılmıştır. Katkının miktarı 1 m³ betondaki çimento ağırlığının % 0.8'i olarak belirlenmiştir. Katkının yoğunluğu da 1.18 ± 0.02 kg/lt'dir.

3.2. Beton Karışımları

Üretilen betonlarda kullanılan agrega oranları (ağırlıkça) Tablo 3.5.'de ve karışım agregasına ait tane dağılımı eğrisi Şekil 3.2.'e verilmektedir. Taze beton özellikleri ve gerçek karışım miktarları ise Tablo 3.6.'da verildi.

Bu çalışmada su/çimento oranı 0.47 sabit tutularak; betonlara 20 kg/m³ ve 60 kg/m³ oranlarında çelik tel, 300 g/m³ ve 600 g/m³ oranlarında polipropilen lif katılmasıyla elde edilen beton karışımlarına ait betonlar üretildi.

Tablo 3.5. Agrega Karışım Oranları (ağırlıkça)

Agrega	Karışım %'si (ağırlıkça)
0-3 Kum	0.23
0-4 Kırmataş	0.16
4-12 Kırmataş	0.20
12-19 Kırmataş	0.21
19-27 Kırmataş	0.20

Betonların çökme değerleri ise akışkanlaştırıcı kullanılarak 3 ± 1 cm olacak şekilde sabit tutuldu. Betonlar üretildikten bir gün sonra kalıptan çıkarılarak laboratuvar ortamında 28 gün boyunca 20 ± 5 °C sıcaklıkta su tankında tutuldu.

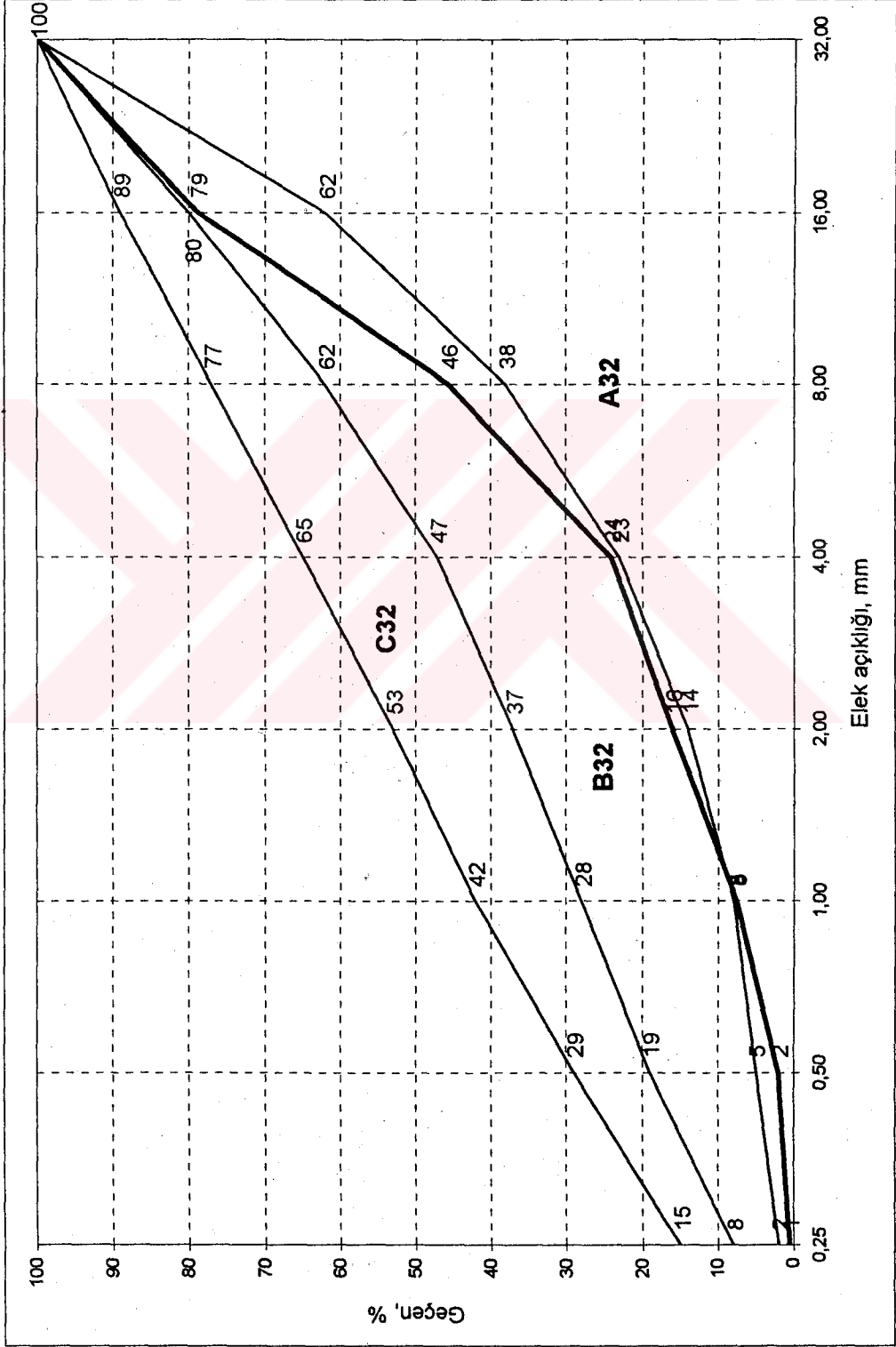
Üretilen betonların kodlamasında, sadece çelik tel içeren betonlar ÇT, sadece polipropilen lif içeren betonlar PL, 20 kg/m^3 çelik tel ve 300 g/m^3 polipropilen lif içeren karışım beton K1 ve 40 kg/m^3 çelik tel ve 600 g/m^3 polipropilen lif içeren karışım beton K2 olarak adlandırılırken referans betonlar REF olarak adlandırılmıştır.

Üretilen betonlarda 1 m^3 'te kullanılan gerçek malzeme miktarları Tablo 3.6'de gösterilmiştir.

Numuneler her bir grup için üçer adet üretilmiş, hesaplarda bunların ortalamaları alınmıştır.

Tablo 3.6. Betonların Karışım Miktarları

Karışım Kodu	Çimento Miktarı, (kg/m ³).	Su Miktarı, (kg/m ³)	Akışkanlaştırıcı, (%)	Polipropilen Lif Miktarı (g/m ³)	Çelik Tel Miktarı (kg/m ³)	0-3 Kum Miktarı (kg/m ³)	0-4 Kırma Taş Miktarı (kg/m ³)	4-12 Kırma Taş Miktarı (kg/m ³)	12-19 Kırma Taş Miktarı (kg/m ³)	19-27 Kırma Taş Miktarı (kg/m ³)
REF	355	167	0.8	0	0	404	297	368	400	385
PL	355	167	0.8	600	0	404	297	368	400	385
ÇT	355	167	0.8	0	40	404	297	368	400	385
K1	355	167	0.8	300	20	404	297	368	400	385
K2	355"	167	0.8	600	40	404	297	368	400	385

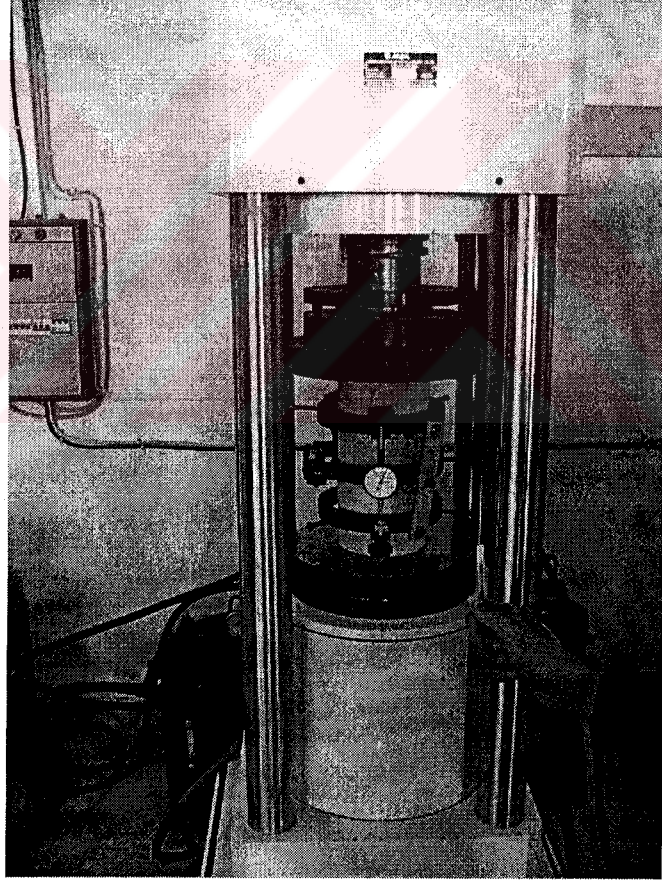


Şekil 3.2. Karışım Agregasının Granülometrisi

3.3. Deneyler

3.3.1. Basınç Dayanımı Tayini

Basınç deneyleri 28 günlük standart kür uygulanan silindir beton numuneleri (çap=150mm, yükseklik=300mm) üzerinde TS 3114 [59] bağı olarak her grup için 3 numune üzerinde yapıldı. Betonların düşey deformasyon ve yanal deformasyonları yük değişimine bağı olarak numune başlıkları üzerine monte edilen deformasyon saatleri vasıtasıyla deney süresince ölçüldü. Deney düzeneği Şekil 3.3'de verildi. Basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 3.7'de verildi.



Şekil 3.3. Beton Basınç Deney Düzeneği.

Tablo 3.7. Basınç Dayanımı Deney Sonuçları

Karışım Kodu	Numune No	Lif İçeriği		Kırılma Yüğü, ton	Basınç Dayanımı, Mpa	Ortalama Basınç Dayanımı, Mpa
		Çelik Tel kg/m ³	Polipropilen Lif, g/m ³			
REF	1	0	0	82.43	46.6	49.0
	2			90.72	51.3	
PL	1	0	600	93.79	53.1	50.5
	2			94.61	53.5	
	3			79.53	45.0	
ÇT	1	40	0	99.87	56.5	52.3
	2			84.20	47.6	
	3			93.20	52.7	
K1	1	20	300	81.67	46.2	46.5
	2			80.94	45.8	
	3			83.76	47.4	
K2	1	40	600	80.55	45.6	44.3
	2			78.97	44.7	
	3			75.59	42.8	

3.3.2. Elastisite Modülü Tayini

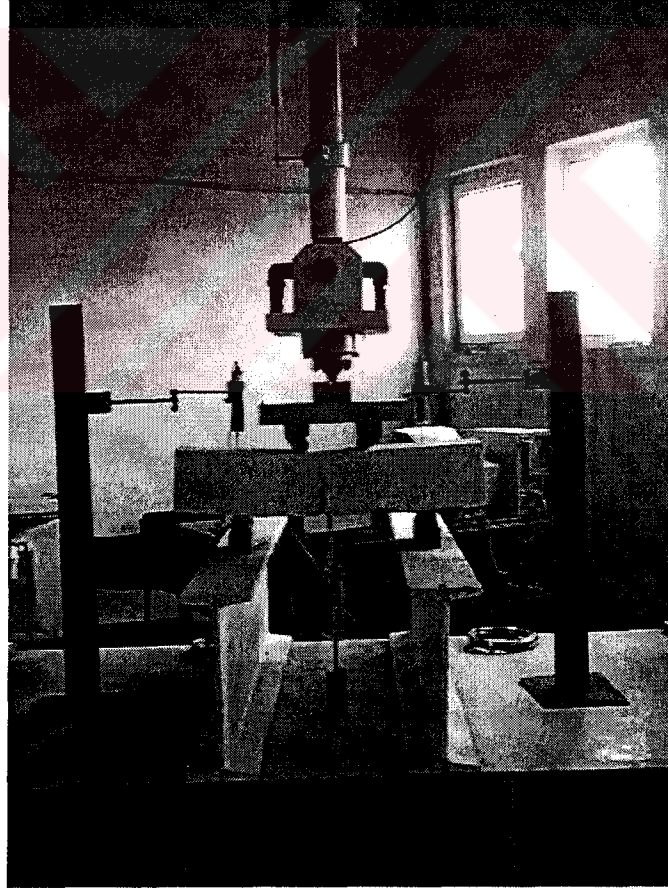
Elastisite modülü tayini, TS 3502 [60]'e uygun olarak her grup için 3 adet standart silindir numunesi (15x30) üzerinde yapıldı. Elastisite modülü, gerilme-şekil değiştirme eğrisinden elde edilen maksimum yükün %5 ve %45' aralıklarına düşen gerilme-şekil değiştirme noktalarının doğrusal kabul edilmesiyle elde edilen doğrunun eğimi olarak alındı. Deney sonuçları Tablo 3.8'de verildi

Tablo 3.8. Elastisite Modülü Deney Sonuçları

Tel Tipi	Seri Kodu	Lif İçeriği		Ortalama E, kN/mm ²
		Çelik Tel kg/m ³	Polipropilen Lif, g/m ³	
Referans	REF	0	0	41.75
Çelik	ÇT	40	0	36.52
Polipropilen	PL	0	600	41.50
Karma1	K1	20	300	40.87
Karma2	K2	40	600	42.10

3.3.3. Eğilme Dayanımı ve Eğilme Tokluğu Tayini

Betonların tokluk veya enerji yutma kapasiteleri ve eğilmede çekme dayanımlarını belirlemek için, ASTM C 1018 [61] standartlarına uygun olarak her grup için 2 adet 150x150x750mm boyutlarındaki kiriş numuneler üzerinde üçte bir noktalarından yüklenen kiriş metodu ile kapalı çevrim sehim kontrollü yükleme cihazında yapıldı. Yükleme 0.1mm/dk sehim hızında yapıldı. Mesnet çökmeleri sehim hesaplamalarında dikkate alındı. Deney düzeneği Şekil 3.4'de verildi. Numunelerin tokluk indeksleri ASTM C 1018'e göre belirlendi [61]. Deney sırasında ilk çatlak yükleri dikkatli bir şekilde belirlendi. Eğilme deney sonuçları Tablo 3.9'da verildi. Ayrıca bulunan tokluk indeksleri deney sonuçları Tablo 3.10'da verildi



Şekil 3.4. Eğilme Dayanımı Deney Düzeneği

Tablo 3.9. Eğilme Dayanımı Sonuçları.

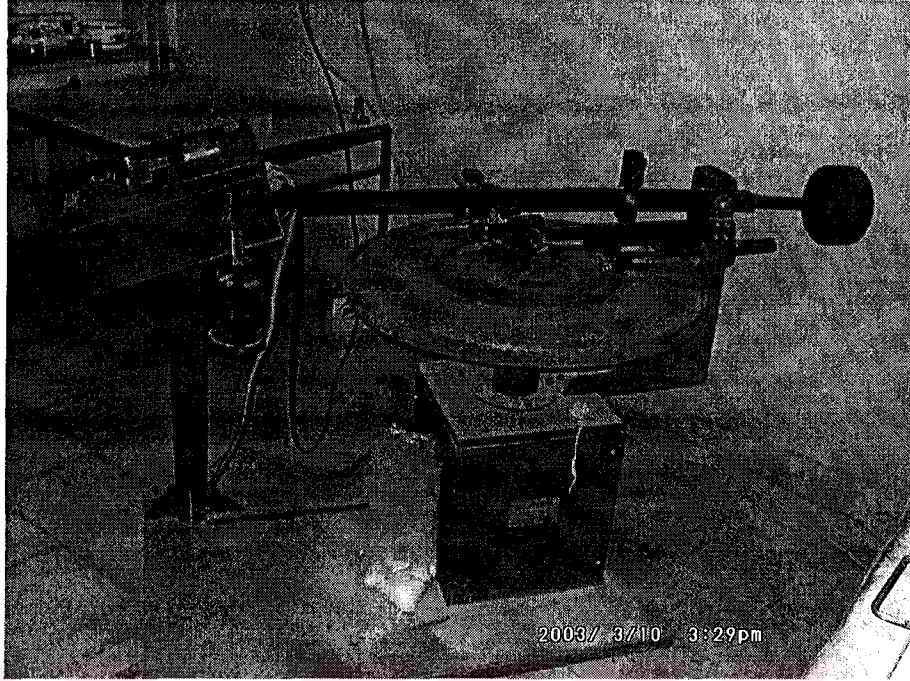
Karışım Kodu	Lif İçeriği		Numune No	İlk Çatlak Yükü, kN	İlk Çatlak Enerjisi, Joule	Maksimum Yük, kN	Nihai Eğilme Day. Mpa	Ort. Nihai Eğilme Day. Mpa
	P.pilen gr.	Çelik Tel, Kg						
REF	0	0	1	-	9.00	36.2	4.83	4.87
			2	-	13.02	36.8	4.91	
ÇT	0	40	1	40.5	27.41	40.5	5.39	5.83
			2	47.0	24.31	47.0	6.27	
PL	600	0	1	34.7	8.98	34.7	4.63	4.92
			2	39.1	11.96	39.1	5.21	
K1	300	20	1	43.4	15.65	43.4	5.78	5.54
			2	39.8	15.56	39.8	5.31	
K2	600	40	1	43.9	13.47	43.9	5.85	5.90
			2	44.6	11.20	44.6	5.95	

Tablo 3.10. Tokluk İndeksi Değerleri

Karışım Kodu	Lif İçeriği		Numune No	Tokluk İndeksleri			Ortalama Tokluk İndeksleri		
	P.pilen gr.	Çelik Tel kg.		I ₅	I ₁₀	I ₂₀	I ₅	I ₁₀	I ₂₀
REF	0	0	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00
			2	1	1	1			
CT	0	40	1	3.53	5.67	7.97	3.78	6.06	8.53
			2	4.03	6.45	9.09			
PL	600	0	1	1	1	1	1.00	1.00	1.00
			2	1	1	1			
K1	300	20	1	1.98	2.79	3.60	1.95	2.67	3.57
			2	1.93	2.56	3.54			
K2	600	40	1	4.47	6.95	10.61	4.34	7.23	11.08
			2	4.21	7.51	11.56			

3.3.4. Aşınma Direnci Tayini

Betonların aşınma direnci; TS 699'a [62] uygun olarak Böhme yüzeysel aşındırma cihazında her bir grup için 3 adet 71x71x71 ±1.5mm küp numuneleri üzerinde yapıldı. Her bir deney numunesi, Şekil 3.5'de verilen deney düzeyinde aşınma yüzeyi miktarının tayini için numuneler toplam 440 devir yapacak şekilde zımpara tozu ile aşınmaya maruz bırakıldı. Daha önceden numune yüzeyinde işaretlenen 9 noktadan kalınlıklar ölçüldü. Deney sonuçları Tablo 3.11'de verildi.



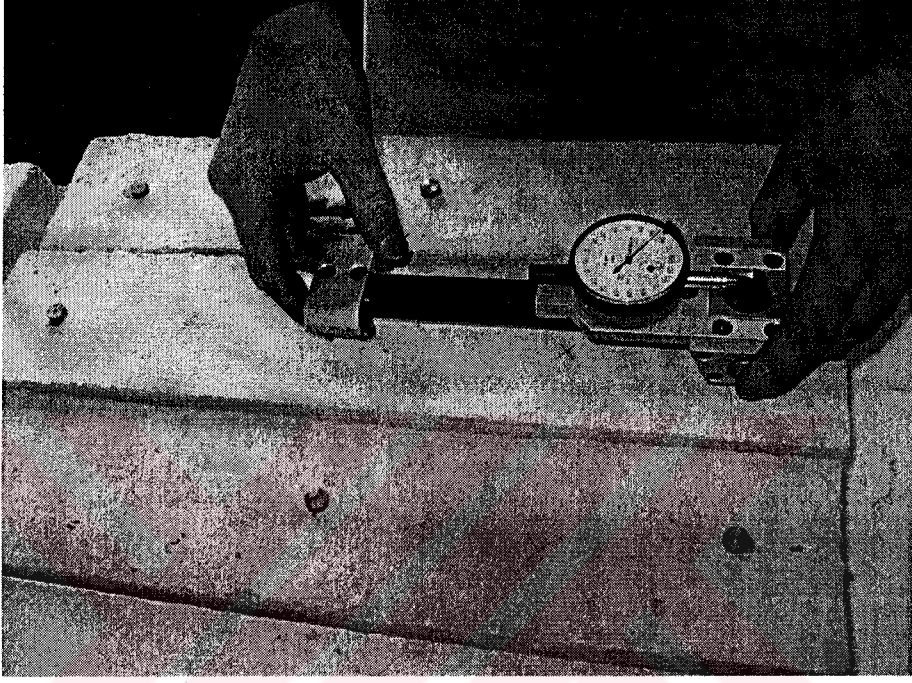
Şekil 3.5. Aşınma Direnci Tayini Deney Düzenegi.

Tablo 3.11. Aşınma Yüzdeleri

Karışım Kodu	Numune No	Lif İçeriği		Aşınma Miktarı, mm	Ortalama Aşınma Miktarı, mm	Aşınma Yüzdesi %
		Çelik Tel kg/m ³	Polipropilen Lif g/m ³			
REF	1	0	0	2.98	2.92	4.10
	2			3.14		
	3			2.63		
PL	1	0	600	3.83	3.49	5.07
	2			3.35		
	3			3.29		
ÇT	1	40	0	2.48	2.74	3.84
	2			3.02		
	3			2.73		
K1	1	20	300	2.64	2.54	3.58
	2			2.47		
	3			2.51		
K2	1	40	600	3.20	2.76	3.89
	2			2.83		
	3			2.27		

3.3.5. Kuruma Büzülmesi Tayini

Betonların kuruma-büzülme tayini TS 3453'e [63] uygun olarak her bir grup için 100x100x500mm'lik kiriş numuneleri üzerinde yapıldı.



Şekil 3.6. Kuruma Büzülmesinin Belirlenmesi.

Her bir deney numunesi üzerine 200mm açıklıkta disk pullar epoksi ile tutturuldu. Her bir numuneden iki ölçüm, her bir grup için ise toplam 4 ölçüm yapıldı. Numunelerin kuruma büzülme ölçümleri 4 ölçümün ortalaması olarak alındı. 28 gün standart bakıma tabii tutulan numuneler daha sonra $20^{\circ}\pm 5^{\circ}\text{C}$ laboratuvar sıcaklığında kurumaya maruz bırakıldı. Numunelerdeki büzülme ölçümleri standart kür sonrası 7 gün aralıklarla 140 gün boyunca kaydedildi. Ölçümler 0.001mm hassasiyetli deformasyon saatine sahip Şekil 3.6'da görülen Demec Strain Gauge aleti ile yapıldı. Ölçümler Tablo 3.12 ve Tablo 3.13'de verildi.

Tablo 3.12. Kuruma Büzülme Miktarları (0~70 Günler Arası)

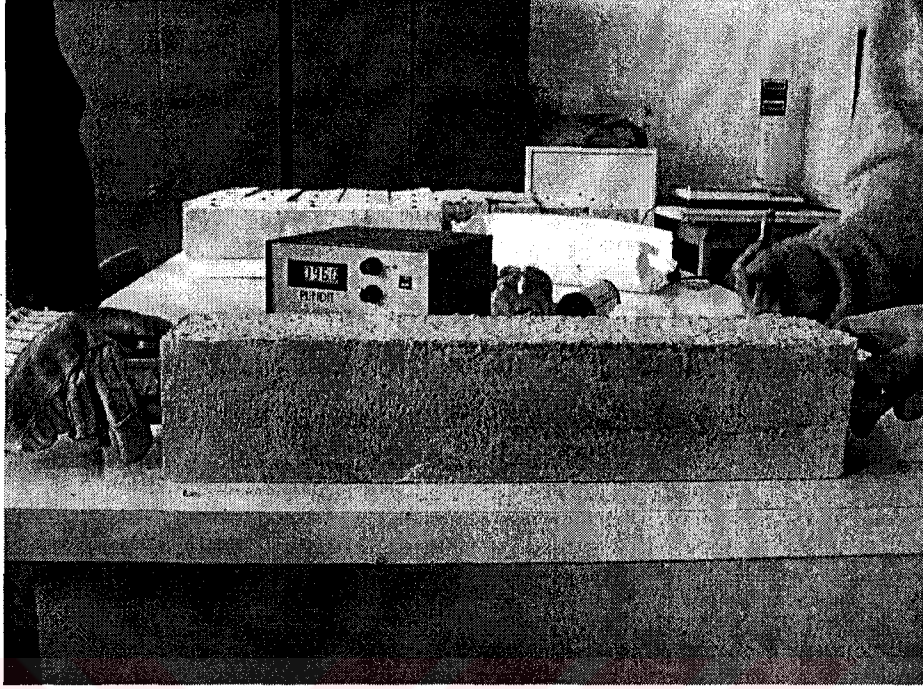
Numune	Büzülme, $\times 10^{-6}$ mm										
	Yaş, gün										
	0	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70
REF	0	80	102	160	178	196	202	236	240	246	254
PL	0	100	130	154	172	180	194	196	200	202	208
ÇT	0	40	54	90	104	122	128	130	132	132	138
K2	0	40	84	116	154	154	164	172	180	184	196
k12	0	80	160	200	240	240	248	256	264	264	280

Tablo 3.13. Kuruma Büzülme Miktarları (77~140 Günler Arası)

Numune	Büzülme, $\times 10^{-6}$ mm									
	Yaş, gün									
	77	84	91	98	105	112	119	126	133	140
REF	258	262	268	276	278	280	280	284	288	292
PL	214	228	230	234	236	238	238	238	240	244
ÇT	142	148	148	156	156	156	158	160	162	166
K1	296	296	296	296	304	304	304	312	312	312
K2	206	210	214	220	222	224	228	232	234	236

3.3.6. Donma Çözünme Direnci Tayini

Betonların donma-çözünme direnci tayini için TS 699'a [62] uygun olarak her bir grup için 100x100x500mm'lik kiriş numuneler üzerinde yapıldı. -60°C dondurma kapasitesine sahip derin dondurucuda 2 saat boyunca -20°C' de bekletilen numuneler daha sonra 20°C'deki suya konuldu ve bu işlem 25 kez tekrarlandı. Daha sonra numuneler üzerinde gözle görülür değişiklikler olup olmadığı incelendi. Ayrıca deney öncesi ve sonrası numuneler üzerinde Şekil 3.7'de görülen pundit aleti ile ultrases hızı ölçümleri yapıldı. Donma-çözünme deney sonuçları Tablo 3.14'de verildi.



Şekil 3.7. Pundit Cihazı ile Ultrases Hızının Belirlenmesi.

Tablo 3.14. Donma- Çözünme Deneyi Sonuçları

Kodu	Num. No	İLK OKUMA				SON OKUMA			
		Süre (µsn)	Uzunluk (cm)	Ultrases Hızı (km/sn)	Ort. Hız	Süre (µsn)	Uzunluk (cm)	Ultrases Hızı (km/sn)	Ort. Hız
REF	1	94.50	49.90	5.28	5.226	96.30	49.90	5.18	5.186
	2	96.50	49.90	5.17		96.15	49.90	5.19	
PL	1	95.10	49.95	5.25	5.248	96.45	49.95	5.18	5.202
	2	95.55	50.10	5.24		95.90	50.10	5.22	
ÇT	1	96.40	49.80	5.17	5.146	96.55	49.80	5.16	5.124
	2	97.35	49.90	5.13		98.05	49.90	5.09	
K1	1	96.15	49.70	5.17	5.176	96.75	49.70	5.14	5.126
	2	96.10	49.80	5.18		97.35	49.80	5.12	
K2	1	98.15	49.90	5.08	5.108	99.35	49.90	5.02	5.085
	2	96.65	49.60	5.13		96.35	49.60	5.15	

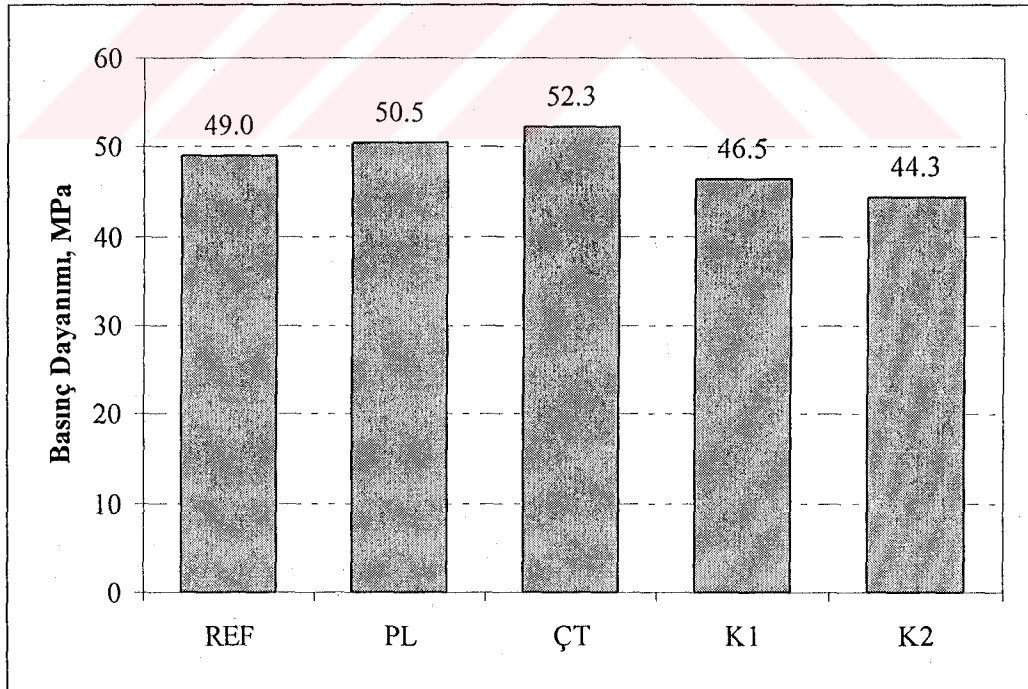
3.4. Deneysel Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Farklı betonların grupları üzerinde yapılan deneysel çalışmaların sonuçları betonun mekaniksel ve fiziksel özelliklerine bağlı olarak aşağıdaki gibi değerlendirilebilir:

3.4.1. Basınç Dayanımı

Basınç deneyi sonuçlarına bağlı olarak elde edilen polipropilen lif ve çelik tel içerikli beton numunelerinin basınç dayanımları karşılaştırmalı olarak Şekil 3.8'de verilmektedir.

Bu diyagrama bağlı olarak polipropilen, çelik lif ve karma lif içeren betonların basınç dayanımlarındaki değişiklik şu şekilde sıralanabilir: 600 gr/m³ polipropilen lif içeren PL grubu betonların ve 40 kg/m³ çelik tel içeren ÇT grubu betonların basınç dayanımları kontrol grubuna oranla sırasıyla %3.06 ve % 6.73 artış gözlemlendi. Buna karşılık karma lif içeren K1 ve K2 grubu betonların basınç dayanımları kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %5.10 ve %9.59 azalma gözlemlendi.



Şekil 3.8. Basınç Dayanımları Sonuçları

Basınç dayanımı sonuçlarına göre çelik tel içerikli betonlar, beton yol kaplaması için kullanılabilir.

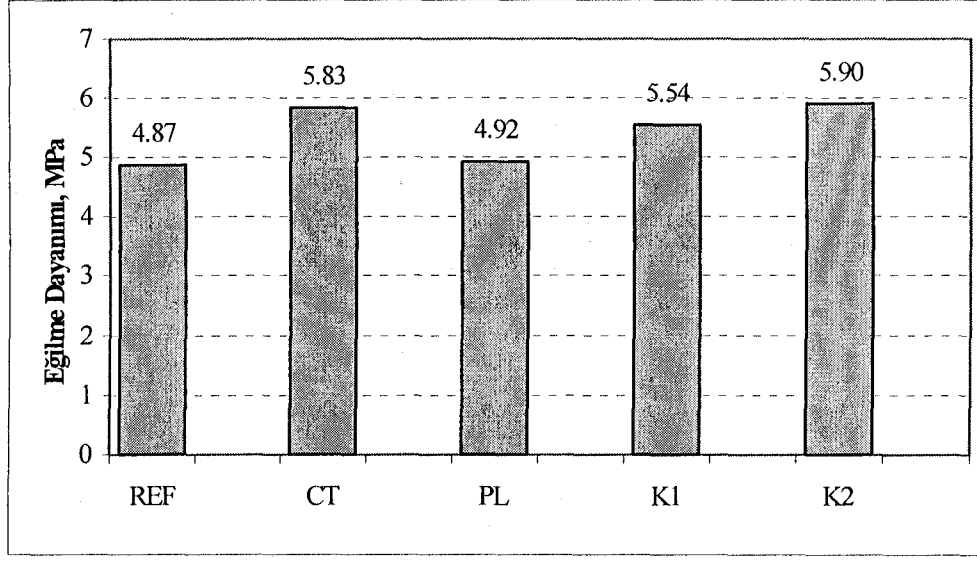
3.4.2. Eğilme Dayanımı

Eğilme deneyi sonuçlarına bağlı olarak elde edilen polipropilen lif-çelik tel-eğilme dayanımı ilişkisi Şekil 3.9'da verildi. Ayrıca numunelere ait yük-sehim eğrileri ise Şekil 3.11 ~ Şekil 3.16 arasında verildi.

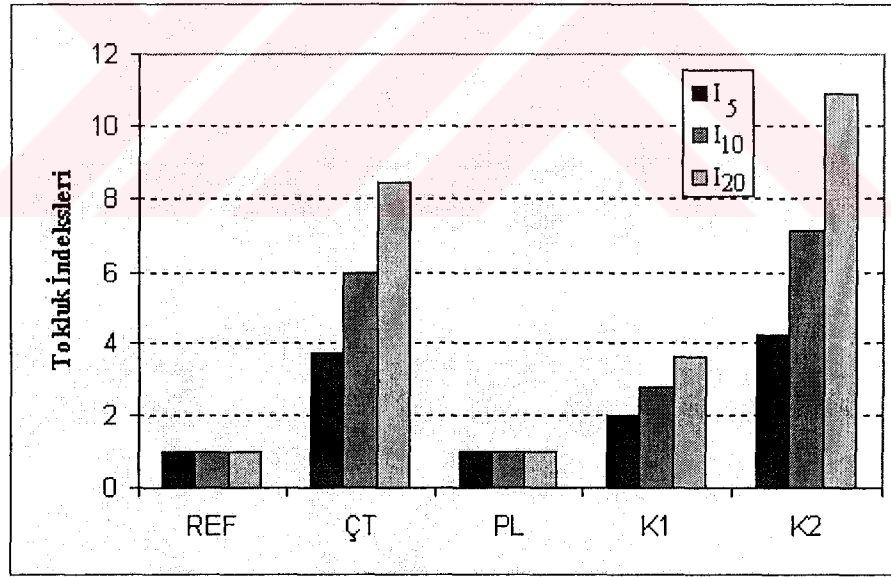
Polipropilen, çelik lif ve karma lif içeren betonların nihai eğilme dayanımları ve ilk çatlak yükleri kontrol grubuna kıyasla daha yüksek elde edildi. En büyük artış 40 kg/m^3 çelik tel içeren ÇT beton grubu ile 600 gr/m^3 polipropilen ve 40 kg/m^3 çelik lif içeren K2 grubu beton numunelerde sırasıyla %19.71 ve %21.15 olarak elde edildi.

Eğilme deneyi sonuçlarına bağlı olarak elde edilen polipropilen lif - çelik tel - tokluk indeksleri ilişkisi Şekil 3.10' da verildi. Çelik lif ve karma lif içeren betonların tokluk indeksleri I_5 , I_{10} ve I_{20} değerleri kontrol grubuna kıyasla daha yüksek elde edildi. Tokluk indekslerindeki en yüksek değerleri 600 gr/m^3 polipropilen ve 40 kg/m^3 çelik lif içeren K2 grubu beton numunelerde I_5 , I_{10} ve I_{20} için sırasıyla 4.34, 7.23 ve 11.91 olarak elde edildi. 40 kg/m^3 çelik tel içeren ÇT grubu numunelerde ise tokluk değerleri sırasıyla 3.78, 6.06 ve 8.53 olarak elde edildi. K1 grubu karma lif içeren betonlarda ise sırasıyla 1.95, 2.67 ve 3.57 olarak belirlendi. Polipropilen lif içeren ve kontrol grubu numunelerde ise ani gevrek kırılma gözlemlendi.

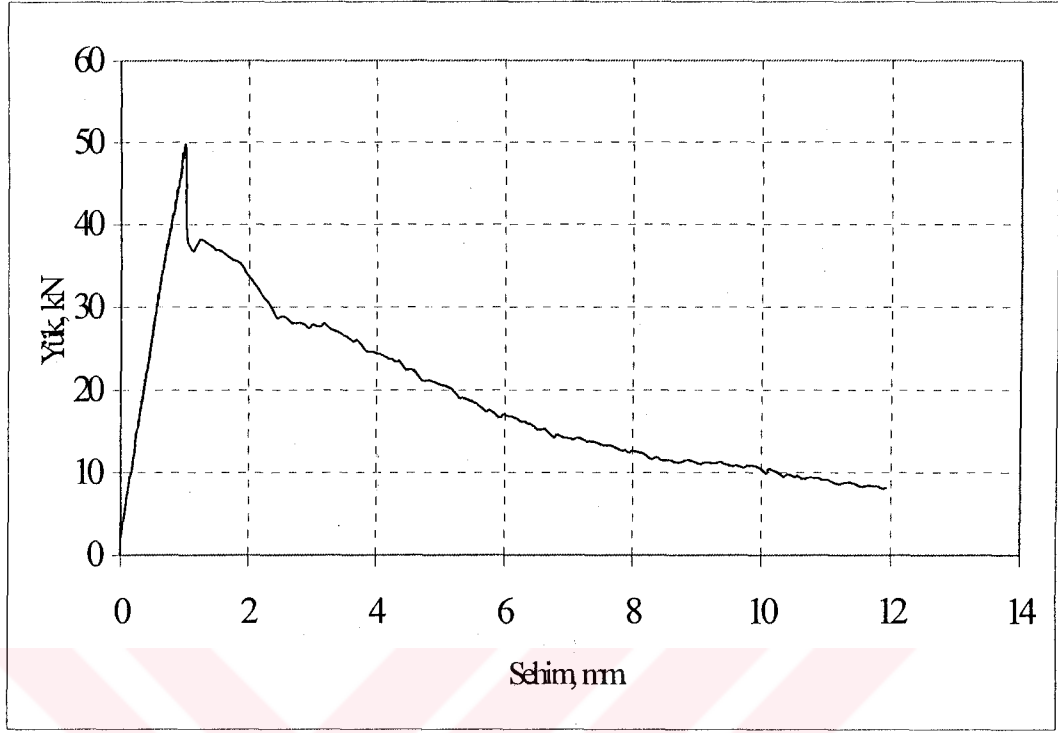
Polipropilen, çelik lif ve karma lif içeren betonların ilk çatlak enerjileri ve ilk çatlak yükleri kontrol grubuna kıyasla daha yüksek elde edildi. En büyük artış 40 kg/m^3 çelik tel içeren ÇT beton grubu ile 300 g/m^3 polipropilen ve 20 kg/m^3 çelik lif içeren K1 grubu beton numunelerde sırasıyla %135.74 ve %38.56 olarak elde edildi. 600 gr/m^3 polipropilen ve 40 kg/m^3 çelik lif içeren K2 grubu betondaki artış ise %13.21 olarak elde edildi.



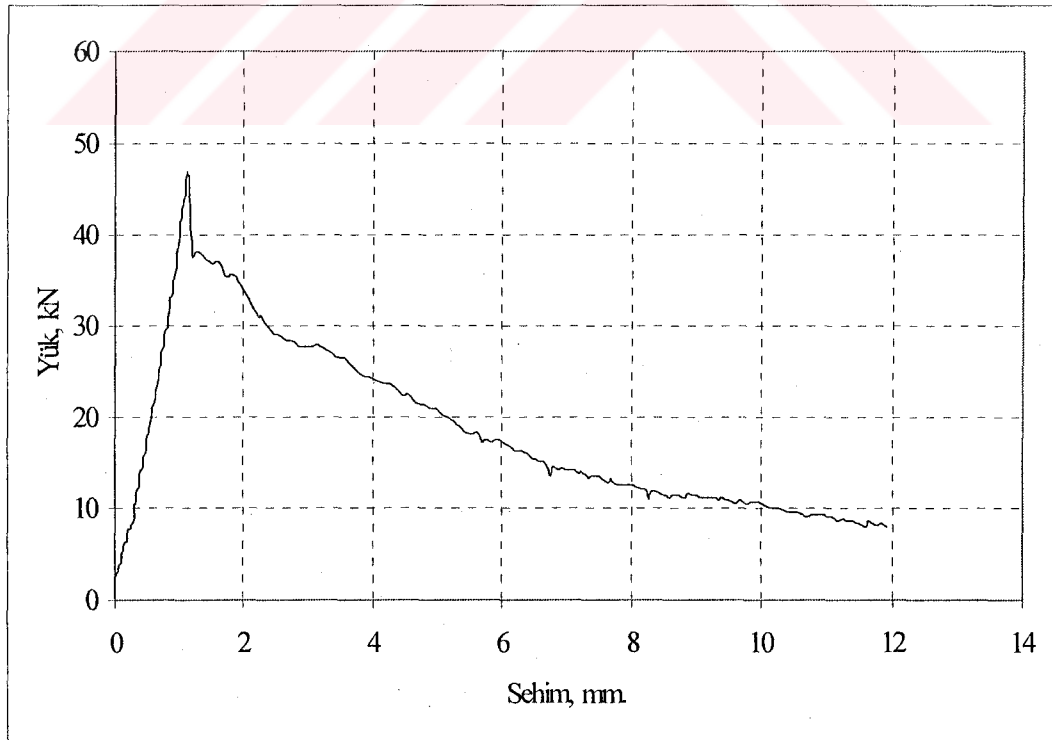
Şekil 3.9. Eğilme Dayanımları Grafiği



Şekil 3.10. Tokluk İndeksleri Grafiği

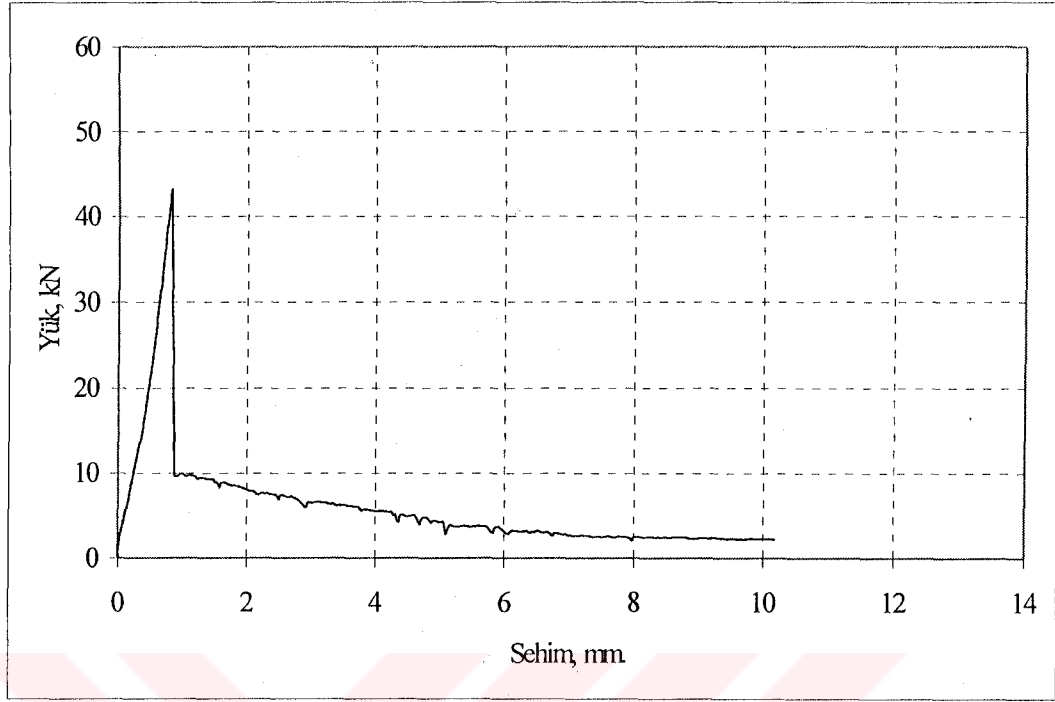


a) ÇT 1 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

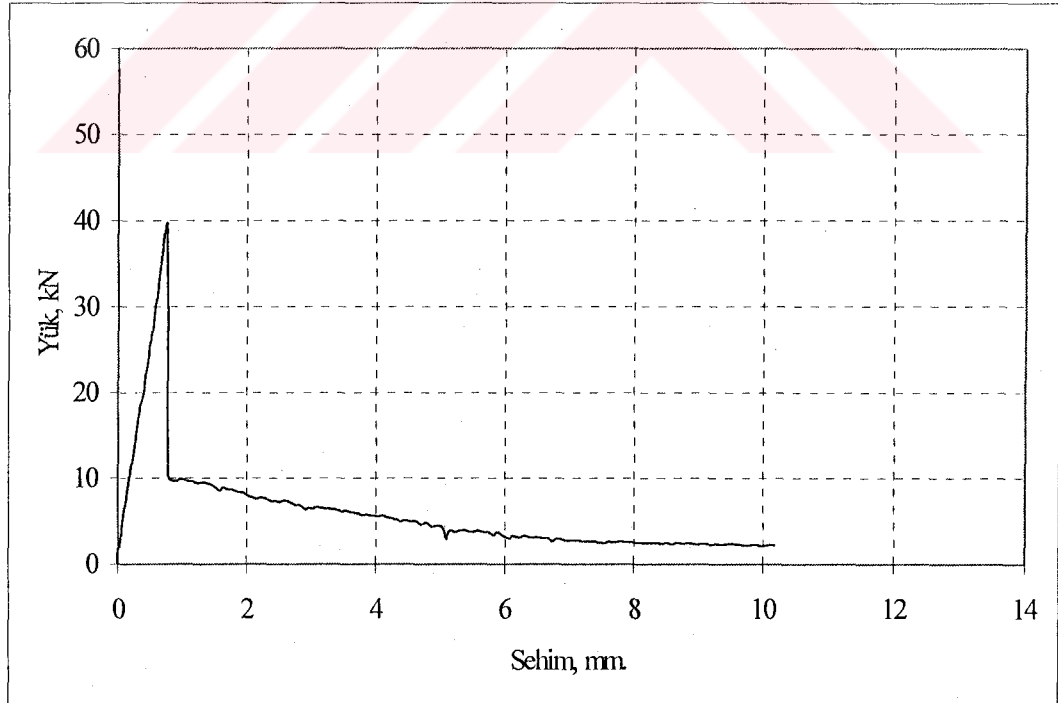


b). ÇT-2 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

Şekil 3.11. 40 kg/m³ Çelik Tel İçerikli ÇT beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri

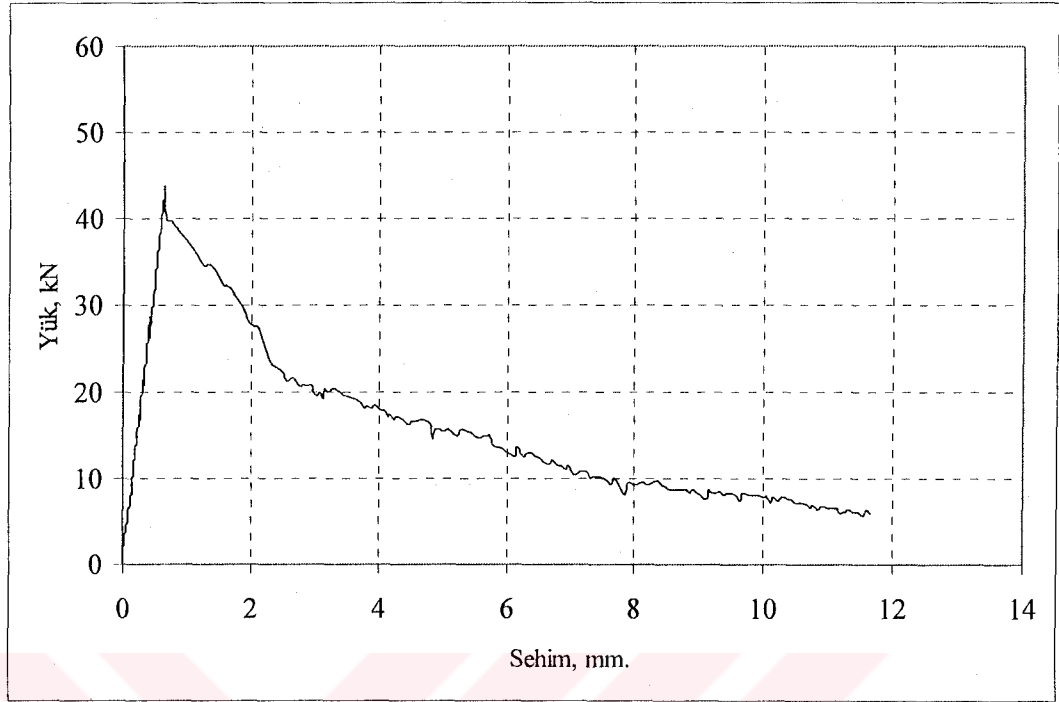


a) K1-1 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

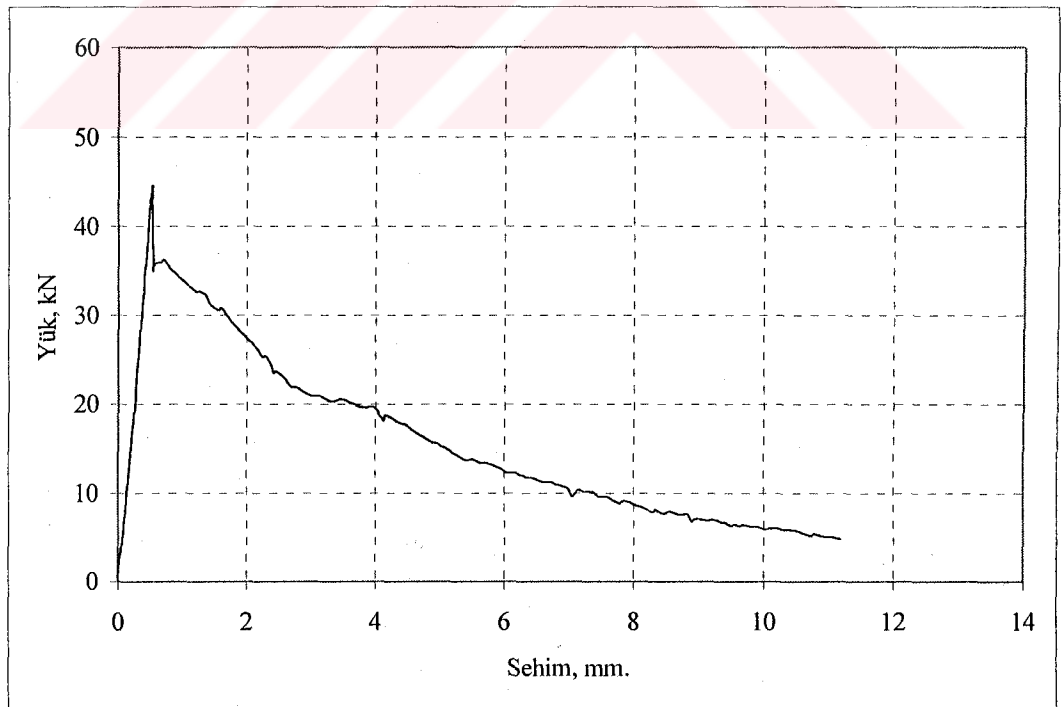


b) K1-2 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

Şekil 3.12. 20 kg/m³ Çelik Tel ve 300 g/m³ Polipropilen Lif İçerikli K1 Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri

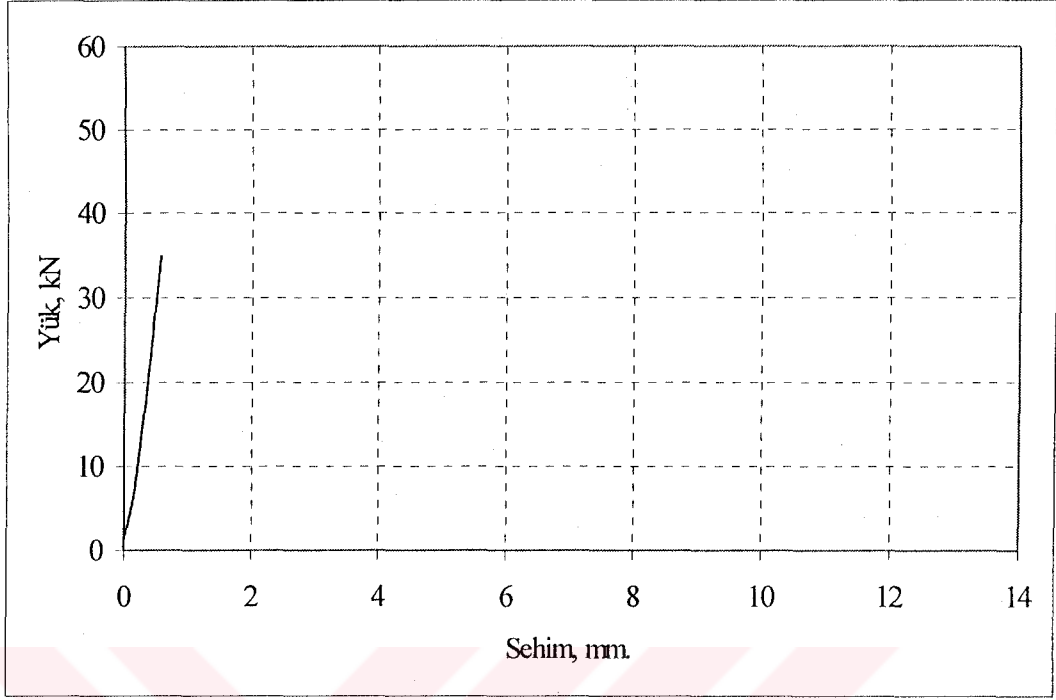


a) K2-1 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

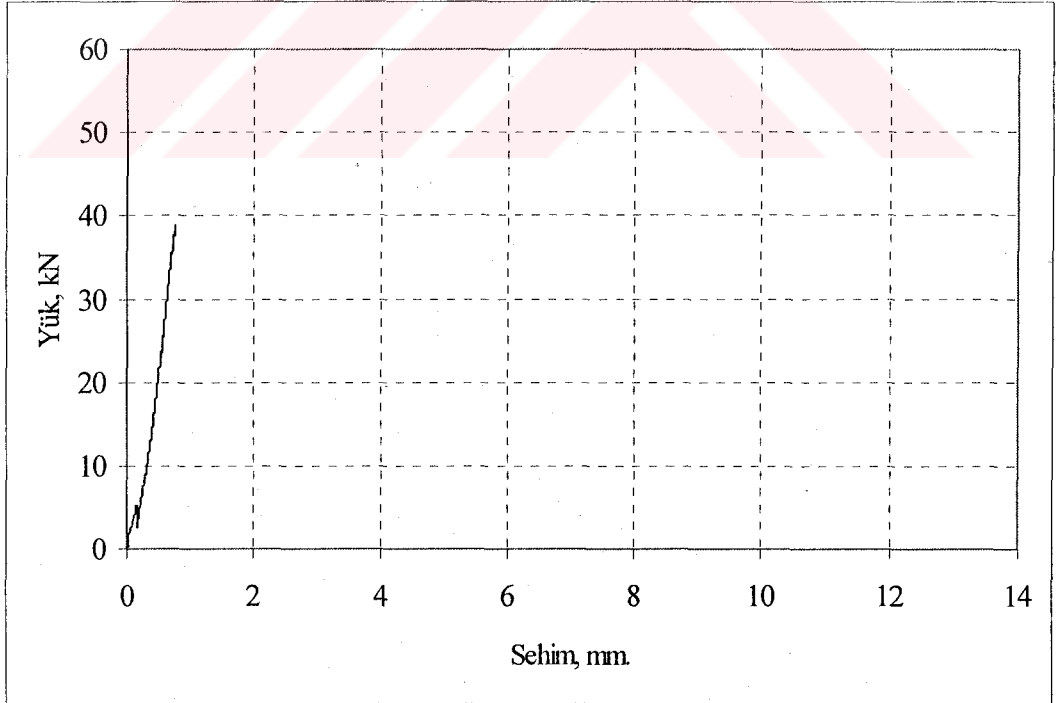


b). K2-2 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

Şekil 3.13. 40 kg/m³ Çelik Tel ve 600 g/m³ Polipropilen Lif İçerikli K2 Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri

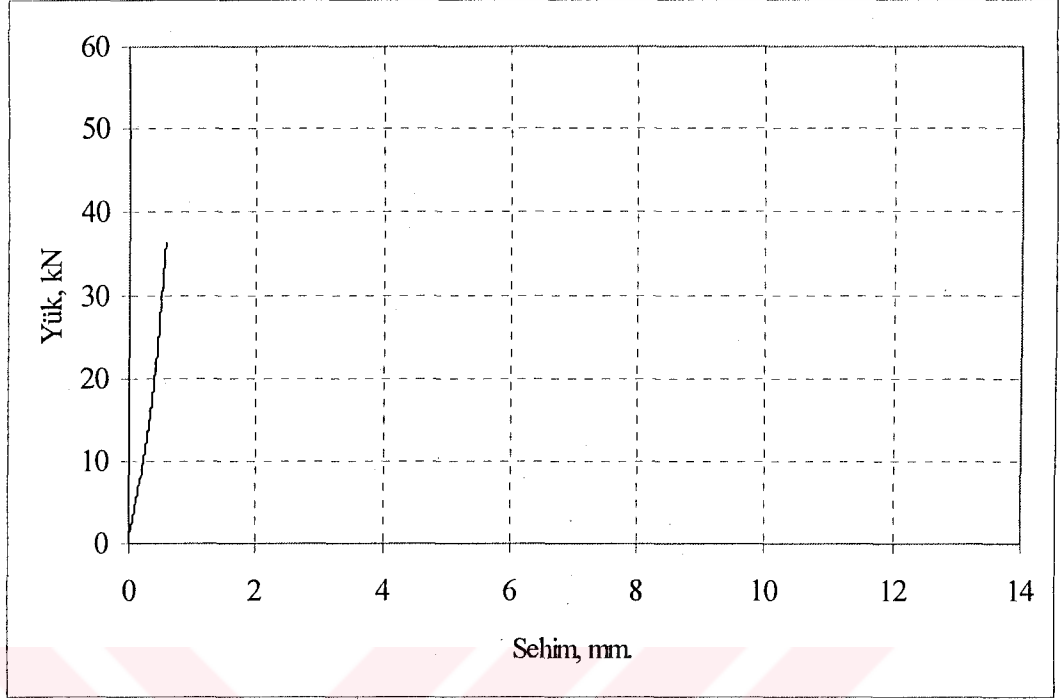


a) PL-1 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

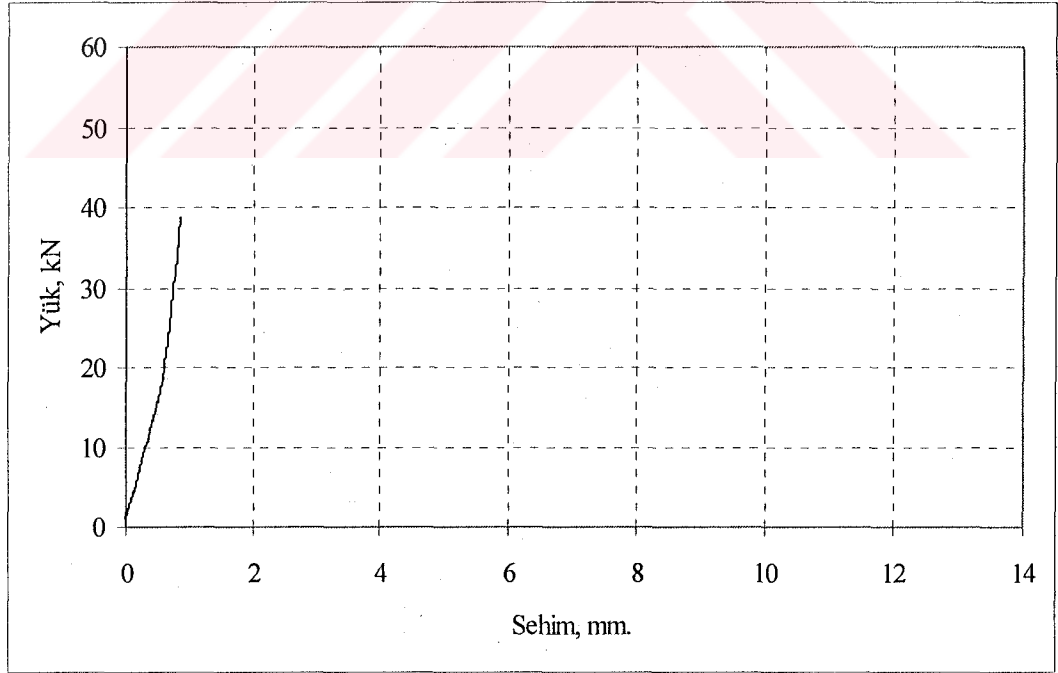


b) PL-2 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

Şekil 3.14. 600 g/m³ Polipropilen Lif İçerikli PL Beton Grubunun Yük – Sehim Grafikleri

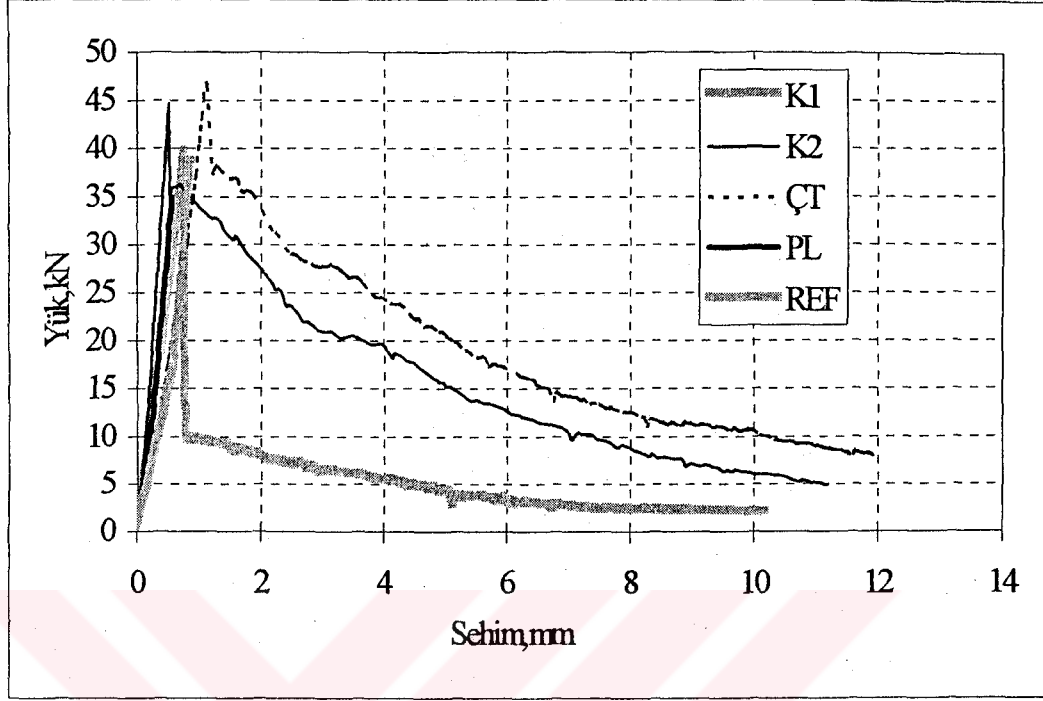


a) REF-1 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği



b) REF-2 Numunesinin Yük – Sehim Grafiği

Şekil 3.15. Kontrol Grubu Beton Numunelerinin Yük-Sehim Grafikleri



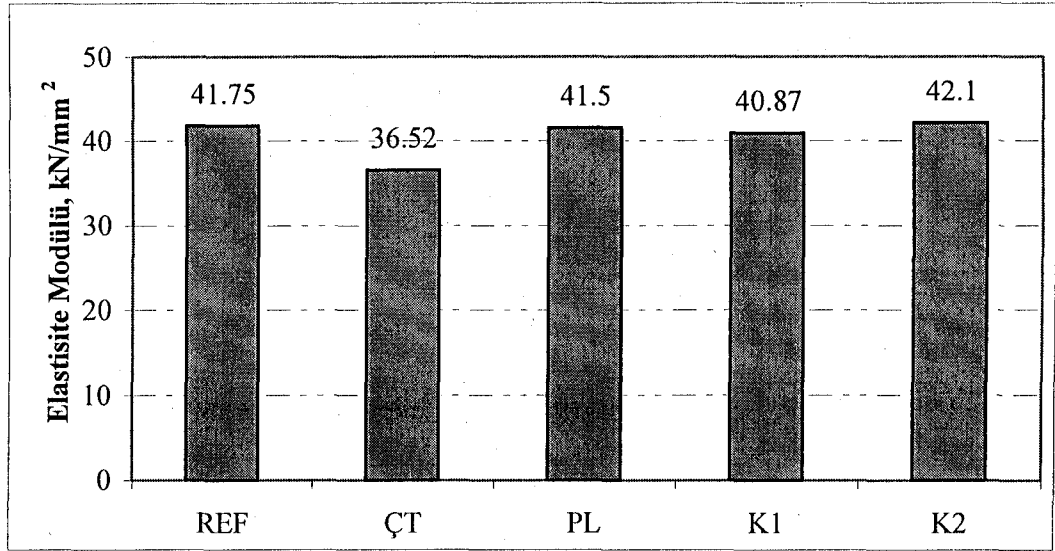
Şekil 3.16. Deney Numunelerinin Yük – Sehim Eğrisi Grafiği

Eğilme dayanımı sonuçlarına göre; daha yüksek dayanım ve tokluk değerlerine sahip çelik tel ve karma tel içerikli betonlar, beton yol kaplaması için daha uygun bir malzeme niteliğindedir.

3.4.3. Elastisite Modülü

Basınç deneyi sonuçlarına bağlı olarak elde edilen polipropilen lif-çelik tel-elastisite modülü ilişkisi Şekil 3.17' de verilmektedir.

Çelik lif içeren betonların elastisite modülünde düşüş gözlemlendi. 600 gr/m^3 polipropilen lif ve 40 kg/m^3 çelik tel içeren K2 grubu betonların elastisite modülü kontrol grubuna oranla %0.83 artış gözlemlendi. Buna karşılık diğer ÇT, PL ve K1 grubu betonların elastisite modülleri kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %12.53, %0.60 ve %2.11 azalma gözlemlendi.



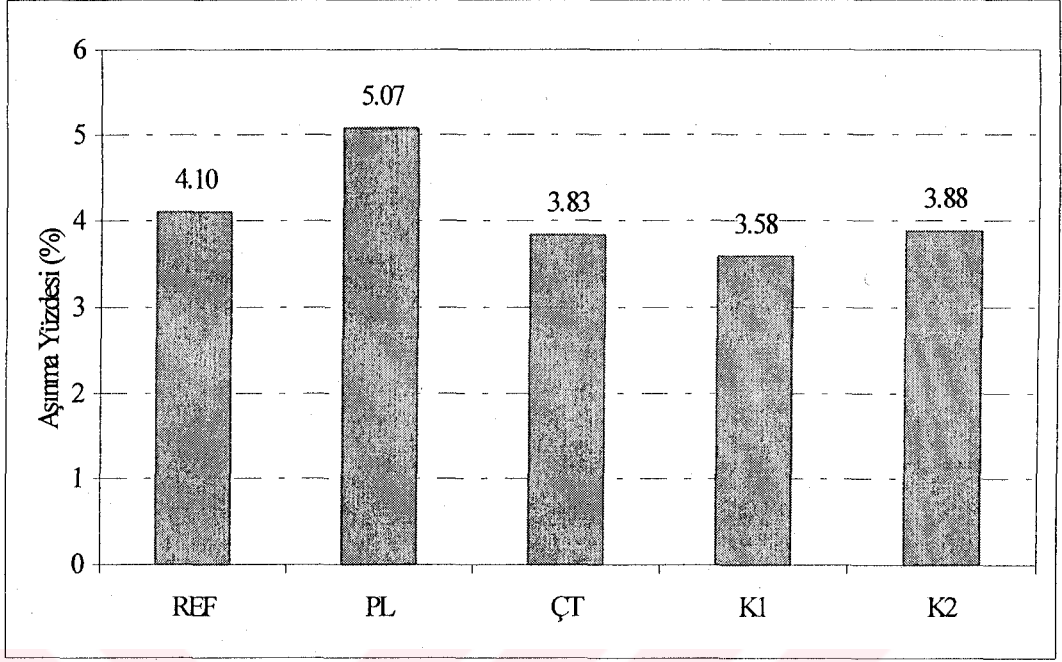
Şekil 3.17. Elastisite Modülü Sonuçları

Çelik tel içerikli betonların elastisite modülü araştırmaya tabii tutulan diğer beton gruplarına oranla daha düşük olması nedeniyle; çelik tel içerikli betonlar, beton yol kaplaması için daha uygun malzemedir.

3.4.4. Aşınma Direnci

Aşınma deneyi sonuçlarına bağlı olarak çelik lif içeren ÇT grubu beton numuneler ve karma lif içeren K1 ve K2 grubu beton numunelerin aşınma dirençleri, kontrol grubuna göre daha yüksek elde edildi. Polipropilen lif içeren beton numunelerinin aşınma direnci ise kontrol grubuna göre daha düşük elde edildi. En yüksek aşınma direnci 20 kg/m^3 çelik tel ve 300 g/m^3 polipropilen lif içeren K1 grubu numunelerinde gözlemlendi.

K1, ÇT ve K2 grubu numunelerin aşınma dirençleri kontrol grubuna göre sırasıyla %12.7, %6.6 ve %5.4 fazla elde edilirken, PL grubu numunelerin aşınma direnci kontrol grubuna göre %23.7 düşük olarak elde edildi. Deney sonuçları Şekil 3.18'de verildi.

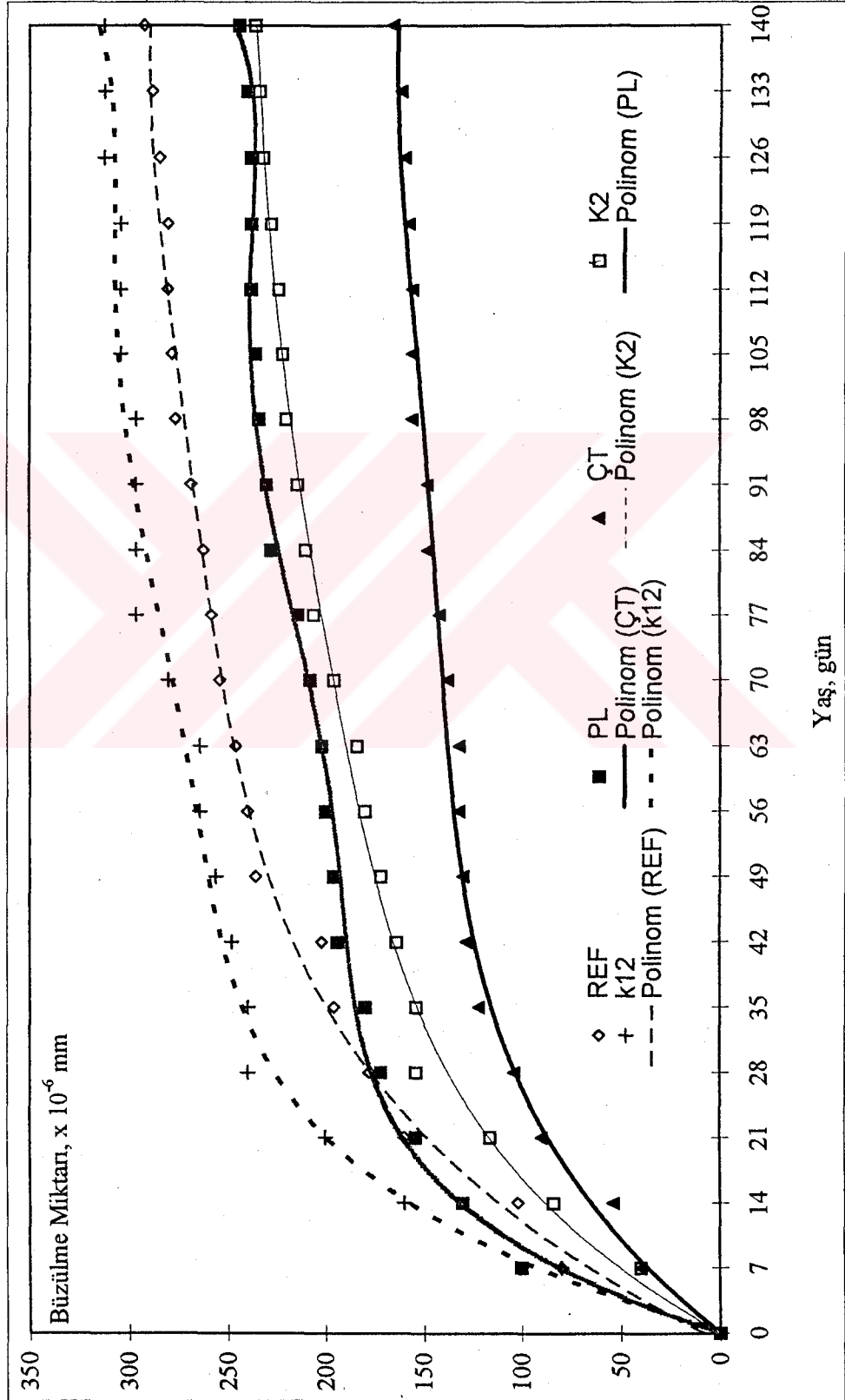


Şekil 3.18. Numunelerin Aşınma Direnci Oranları.

Bu deney sonucu bağı olarak çelik tel ve karma lif içerikli betonlar yol üst kaplaması olarak uygulanabilir.

3.4.5. Kuruma-Büzülme

140 gün süreyle ölçülen kuruma büzülmesi deney sonuçlarına bağı olarak ÇT, K2 ve PL grubu numunelerin büzülme değerleri kontrol grubu numunelere kıyasla daha düşük elde edildi. Buna karşılık K1 grubu numunelerin büzülme değerleri kontrol grubu numuneler göre daha yüksek olduğu gözlemlendi. 140 gün sonunda ÇT, K2 ve PL grubu numunelerin büzülme değerleri kontrol grubuna kıyasla %43, %19 ve %16 olarak belirlendi. K1 grubu numunelerin büzülme değerleri ise kontrol grubuna göre %6.85 olarak belirlendi. Kuruma büzülme grafiği Şekil 3.19'da verildi.



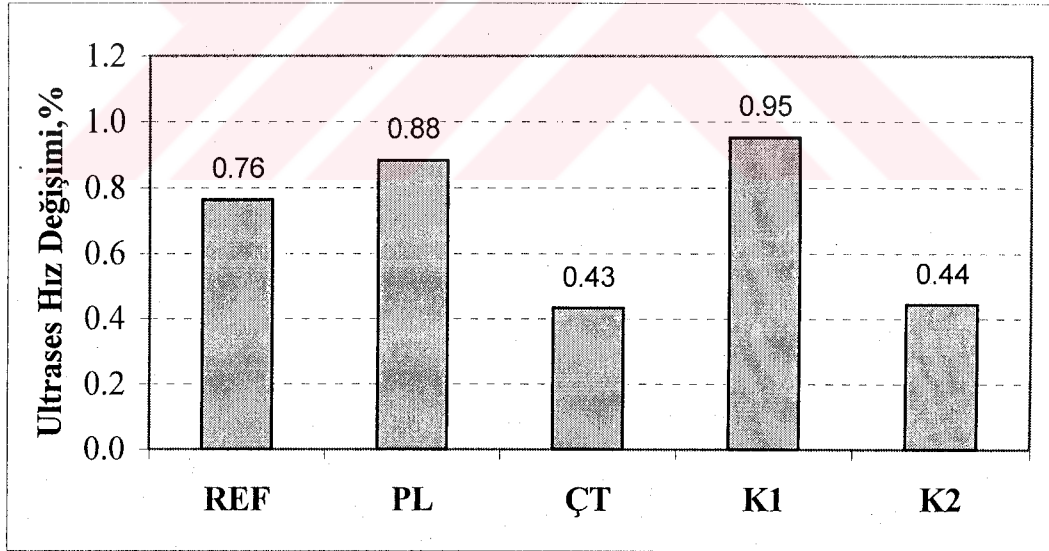
Şekil 3.19. Kuruma Büzülmeleri Grafiği

Kuruma büzülme deney sonuçlarına göre çelik tel içerikli betonların yol kaplaması olarak daha uygundur

3.4.6. Donma Çözünme

2 saat sürelerle 25 kez $20\pm 5^{\circ}\text{C}$ suda ve $-20\pm 5^{\circ}\text{C}$ dondurucuda bekletilen numunelerde deney sonunda gözle görülür bir fiziksel değişim gözlenmedi.

Deneye başlamadan önce ve deney bitiminde ölçülen ultrases hızı değişimlerine bağlı olarak en iyi donma-çözünme direnci sırasıyla ÇT, K2, K1, PL ve kontrol gruplarında belirlendi. PL grubu numunelerin donma-çözünme direnci kontrol grubuna göre belirlendi. Donma-çözünme direncinde; ÇT ve K2 gruplarında kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %42.4 ve %42.1 artış görüldü. Bu karşılık PL ve K1 gruplarında kontrol grubuna göre %15.8 ve %25 azalma olduğu belirlendi. Ultrases hız değişimleri Şekil 3.20'de verilmektedir.



Şekil 3.20. Donma – Çözünme Deneyi Deney Sonuçları

Donma çözünme deney sonuçlarına göre çelik tel içerikli beton numunelerin yol kaplamaları için daha uygun malzeme olduğu görülmektedir.

BÖLÜM 4

SONUÇ VE ÖNERİLER

Çelik lif ve/veya polipropilen lif içeren betonların mekanik özelliklerini, donma-çözülme dirençlerini, aşınma dirençlerini ve kuruma büzülme dirençlerini belirlemek için yapılan deneysel çalışma sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. 600 gr/m³ polipropilen lif içeren PL grubu betonların ve 40 kg/m³ çelik tel içeren ÇT grubu betonların basınç dayanımları kontrol grubuna oranla sırasıyla %3.06 ve % 6.73 artış gözlemlendi. Buna karşılık karma lif içeren K1 ve K2 grubu betonların basınç dayanımları kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %5.10 ve %9.59 azalma gözlemlendi.
2. Çelik lif içeren betonların elastisite modülünde düşüş gözlemlendi. 600 gr/m³ polipropilen lif ve 40 kg/m³ çelik tel içeren K2 grubu betonların elastisite modülü kontrol grubuna oranla %0.83 artış gözlemlendi. Buna karşılık diğer ÇT, PL ve K1 grubu betonların elastisite modülleri kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %12.53, %0.60 ve %2.11 azalma gözlemlendi.
3. Çelik tel ve/veya polipropilen lif içeren betonların ilk çatlak yükü ve nihai eğilme dayanımları kontrol grubuna kıyasla daha yüksek olduğu görüldü. Ayrıca çelik tel ve/veya polipropilen lif içeren betonların ilk çatlak enerjileri daha yüksek elde edildi. Çelik lif ve karma lif içeren betonların tokluk indeksleri I₅, I₁₀ ve I₂₀ değerleri de kontrol grubuna kıyasla daha yüksek elde edildi. Tokluk indekslerindeki en yüksek değerleri 600 gr polipropilen ve 40 kg/m³ çelik lif içeren K2 grubu beton numunelerinde I₅, I₁₀ ve I₂₀ için sırasıyla 4.34, 7.23 ve 11.08 olarak elde edildi. Polipropilen lif içeren ve kontrol grubu numunelerinde ise ani gevrek kırılma gözlemlendi.
4. 600 gr/m³ polipropilen lif ve 40 kg/m³ çelik tel içeren K2 grubu, 40 kg/m³ çelik tel içeren ÇT grubu ve 600 gr/m³ polipropilen lif içere PL grubu numunelerin büzülme değerleri kontrol grubu numunelere kıyasla daha düşük elde edildi. Buna karşılık 300

gr/m³ polipropilen lif ve 20 kg/m³ çelik tel içeren K1 grubu betonların büzülme değerleri kontrol grubu numuneler göre daha yüksek olduğu gözlemlendi. ÇT, K2 ve PL grubu numunelerin büzülme değerleri kontrol grubuna kıyasla %43, %19 ve %16 olarak belirlendi. K1 grubu numunelerin büzülmeleri ise kontrol grubuna göre %6.85 olarak belirlendi.

5. Polipropilen lif içeren beton numunelerinin aşınma direnci kontrol grubuna göre daha düşük elde edildi. En yüksek aşınma direnci 20 kg/m³ çelik tel ve 300gr/m³ polipropilen lif içeren K1 grubu numunelerinde gözlemlendi. K1, ÇT ve K2 grubu numunelerin aşınma dirençleri kontrol grubuna göre sırasıyla %12.7, %6.6 ve %5.4 fazla elde edilirken, PL grubu numunelerin aşınma direnci kontrol grubuna göre %23.7 düşük olarak elde edildi.
6. Donma-çözünme direncinde; ÇT ve K2 gruplarında kontrol grubuna kıyasla sırasıyla %42.4 ve %42.1 artış görüldü. Bu karşılık PL ve K1 gruplarında kontrol grubuna göre %15.8 ve %25 azalma olduğu belirlendi. Donma-çözünme direnci 40 kg/m³ çelik tel ve 600g/m³ polipropilen lif içeren betonlarda ve 40 kg/m³ çelik tel içeren betonlarda kontrol grubuna kıyasla daha fazla olduğu görüldü.
7. Çelik tel içerikli ÇT grubu betonların dayanımı kontrol grubuna göre; basınç dayanımı %6.73, elastisite modülü %12.53, eğilme dayanımı %21.15, aşınma direnci %6.6, kuruma büzülme direnci %43, ve donma-çözünme direnci %42.4 daha fazla belirlenmiştir. Ayrıca bu değerler deneysel olarak araştırılan diğer beton gruplarına oranla yol kaplaması için daha üstün karakteristik özelliklere sahip olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak 0.47 su/çimento oranına, 355 kg/m³ çimento dozajına sahip ve 40 kg/m³ çelik tel içeren betonların; ülkemizin, sıcaklığı -20°C'den daha yüksek olan bölgelerinde yol üst kaplama malzemesi olarak uygulanabileceğini öneriyoruz.

KAYNAKLAR

1. Koca, C., Niçin Beton Yollar?, Hazır Beton Dergisi, 9 (51), 2002.
2. Türkiye'nin Karayollarındaki İhmalî Beton Yollar, Hazır Beton Dergisi, 9(51), 2002.
3. Beton Yollar Yüksek Trafığe Cevap Verecek Taşıma Gücüne Sahiptir, Hazır Beton Dergisi, 9(51), 2002.
4. Açar E., Süttaş İ., Öztaş G., Beton Yollar, s.1-2, İTÜ Yayınları, İstanbul, 1998.
5. Yeğınobalı, A., Niçin Beton Yol?, Çimento ve Beton Dünyası Dergisi, 6 (36), 2002
6. Cement Association of Canada, <http://www.cement.ca/cement.csf>, 2002.
7. Açar E., Süttaş İ., Öztaş G., Derzsiz Betonarme Yol Üstyapıları, s.58-59, Hazır Beton Dergisi, 3 (17), 30-31, 1996.
8. Tunç, A., Yol Malzemeleri ve Uygulamaları, Atlas Yayınları, İstanbul, 2001.
9. Smith, T., Tighe, S., Fung, R., Concrete Pavements in Canada: A Review of Their Usage and Performance, Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Halifax, Nova Scotia, 2001.
10. The American Concrete Pavement Association, USA, <http://www.pavement.com/>, 2003.
11. Nova Scotia Transportation and Public Works, Asphalt Concrete And Portland Cement Concrete Pavement, Highway 104, 5 of 5 years study, 1999.
12. KPMG Consulting L., P., Comparative Study of Socio-Economic Factors Related to Concrete And Asphalt Highway Surfaces , Final Report, Toronto, 2000.
13. U.S. Deperment of Transportation, Tire Pavement Noise and Safety Performance, Federal Highway Administration, FHWA-SA-96-068, Washington D.C., 1996.
14. Wisconsin Department of Transportation, Impacts Related to Pavement Texture Selection, WVSPR-06-96, Final Report, 1996.
15. British Cement Association, The Sound of Silence (Whisper Concrete), <http://www.bca.org.uk/>, 1998.
16. Highway Agency, Technology Greens England's Motorways, Open Document HA318/00, U. K., 2000.

17. Açar, E., Sutaş, İ., Öztaş, G., Esnek Yol Üstyapıları ile Rijit Yol Üstyapılarının Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Teknik Rapor, İTÜ İnşaat Fakültesi, 1998.
18. Tennessee Ready Mixed Concrete Association, Concrete Energy and Environment, <http://www.trmca.org/>, 2002.
19. Pontarollo, G., Smith, T., A life-Cycle Analysis of Enviromental Impact of Asphalt and Concrete Roads, Proc IRF World Road Congress, Paris, 2001.
20. British Cement Association, Otoyollarda Beton Kaplamanın Kullanılması, Hazır Beton Dergisi, 3(17), 1996.
21. ACI Committee 544, State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.1R-82), Concrete International, May, 4(5), 9-30, 1982.
22. ACI Committee 544, Design Considerations for Steel Fiber Reinforced Concrete (ACI 544.4R-88), Manual of Concrete Practice, Part 5, American Concrete Institute, Detroit, 18, 1988.
23. ACI Committee 544, Guide for Specifying Proportioning Mixing Placing and Finishing Steel Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, Jan-Feb, 90(1), 94 -101, 1993,
24. Hoff, G., C., Use of Steel Fiber Reinforced Concrete in Bridge Decks and Pavements, Steel Fiber Concrete, US-Sweden Joint Seminar (NSF-STU), Stockholm, 67-108, 1985.
25. Lankard, D., R., Shrader E., K., Inspection and Analysis of Curl in Steel Fiber Reinforced Concrete Airfield Pavement, Bekaert Steel Wire Corp., Pittsburgh, 1983.
26. Lankard, D., R., Walker A., J., Pavement Applications for Steel Fibrous Concrete, Transportation Engineering Journal, 101(TE1), 137-153, 1975.
27. Schrader, E., K., Design Methods for Pavements with Special Concretes, Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, MI, 197-212, (ACI SP-81), 1984.
28. Chanvillard, G., P., Aitcin, C., Lupien, C., Field Evaluation of Steel Fiber Reinforced Concrete Overlay with Various Bonding Mechanisms, Transportation Research Record, 1226, 48-56, 1989.
29. Ibukiyama, S., Kokubun, S., Ishikawa, K., Introduction of Recent Thin Bonded Concrete Overlay Construction and Evaluation of Those Performances in Japan,

- Proceedings of the 4th International Conference on Concrete Pavement Design and Rehabilitation, Purdue University, West Lafayette, IN, 193-203, 1989.
30. ACI 544 Committee 544, State of The Art-Report Fiber Reinforced Concrete, Concrete International, 9-25, 1982.
 31. TS 10153 Çelik Teller- Beton Takviyesinde Kullanılan, TSE, 1992.
 32. Cimili, T., Donatılı Betonlarda Matrix- Lif Aderansı, Türkiye İnş. Müh. 7. Teknik Kongresi, Ankara, 1978.
 33. Ezeldin, A., S., Balaguru, P., N., Normal and High Strength Fiber-Reinforced Concrete Under Compression, Journal of Materials in Civil Engineering, 4(4), 415-429, 1992.
 34. Otter, D., E., Naaman, A., E., Fiber Reinforced Concrete Under Cyclic and Dynamic Compression Load, Research Report, 88-9, Department of Civil Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, s.178, 1988.
 35. Barr B., I, G., Liv, K, Dowers, R.,C., A., Toughness Index Measure The Energy Absorption of Fibre Reinforced Concrete, Int. Cement, Composites and Lihgweight Concrete, 4(4), 221- 227, 1982,
 36. Arslan, A., Hughes, T., G., Barr, B., I., G., Mixed-Mode Fracture-Including Torsion in a New Compact Test Specimen Geometry, Proc. Int. Conf. on Fracture Processes in Concrete, Rock and Seramics, London, s. 737, 1991
 37. Shah, S., P., Rangan, B., V., Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal, Feb, 68(2), 126-135, 1971.
 38. Bartos, P., Rewiev Paper, Band in Reinforced Composites, 3(3), 159-177, 1981
 39. Evans, A.,G., Slow Crack Growth in Brittle Materials Under Dynamic Loading Conditions, International Journal of Fracture, 10(2), 251- 259, 1974.
 40. Robins, P., J., Colderwood, R., W., Explosive Testing of Fiber Reinforced Concrete, pp 26- 28, 1978.
 41. Ezeldin, A., S., Lowe, S., R., Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Rapid-Set Materials, ACI Materials Journal, 88(4), 384-389, 1991.
 42. Swamy, R., N., Mangat, P., S., Influence of Fibers Geometry on the Properties of Steel Fiber Reinforced Concrete, Cement and Concrete Research, 4(3), 451-465, 1974.
 43. Acun, S., Yüksel Dayanımlı Beton Üretimimde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, İstanbul, 2000.

44. Bekaert, Duomix Hakkında Genel Bilgiler Kılavuzu, Bekaert, Belgium, 2001.
45. Bayasi, Z., Celik, T., Application of Silica Fume in Synthetic Fiber-Reinforced Concrete, Transportation Research Record, 1382, 89-98, 1993.
46. Bayasi, Z., Zeng, J., Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, ACI Materials Journal, 90(6), 605-610, 1993.
47. Kordon, B., J., Polymer Modified Concrete, Journal of Materials in Civil Engineering, ASCE, 9(2), 1997
48. Dramix, Çelik Tel Donatılı Endüstriyel Zeminler, Broşür, BEKAERT, 2002
49. Naaman, A., E., Moavenzadeh, F., McGarry, F., Probabilistic Analysis of Fiber Reinforced Concrete, Journal of Engineering Mechanics, 100(EM2), 397-413, 1974.
50. Williamson, G., R., The Effect of Steel Fibers on The Compressive Strength of Concrete, Fiber Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Detroit, MI, 195-207, 1974.
51. Lim, T., Y., Paramavisam, P., Lee, S., L., Analytical Model for Tensile Behavior of Steel Fiber Concrete, ACI Materials Journal, 84(4), 286-298, 1987.
52. Paul, K., Polivka, M., Mehta, M., K., Properties of Fiber Reinforced Shrinkage-Compensating Concrete, ACI Journal, 78(6), 488-492, 1981.
53. Balaguru, P., N., Ramakrishnan, V., Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behavior Under Long-Term Loading, Air-Void Characteristics, ACI Materials Journal, 85(3), 189-196, 1988.
54. Sustersic, J., Mali, E., Urbancic, S., Erosion-Abrasion Resistance of Steel Fiber Reinforced Concrete, Durability of Concrete. Second International Conference, American Concrete Institute, Detroit, MI, 2, 729-743, 1991.
55. Hoff, G., C., Durability of Fiber Reinforced Concrete in Severe Marine Environment, Proceedings, Katherine and Bryant Mather International Symposium on Concrete Durability, American Concrete Institute, Detroit, MI, 1, 997-1041, 1987.
56. Vares, S., Frost Resistance of Steel Fiber High Strength Concrete, Nordic Concrete Research, Publication No 15, 75-88, 1994.
57. Ünal, O., Işıl İşlem Uygulamasının Lifli Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması., Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul, 1999.

58. EFNARC, Specification for Sprayed Concrete, The European Federation of National Associations of Specialist Contractors and Material Suppliers for Construction Industry, Hampshire, s.35, 1993
59. TS 3114 Beton Basınç Mukavemeti Deney Metodu, TSE, Ankara, 1990
60. TS 3502 Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini, TSE, Ankara, 1981
61. ASTM C 1018, Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading), 1997
62. TS 699 Tabii Yapı Taşları -Muayene ve Deney Metotları, TSE, Ankara, 1987
63. TS 3453 Beton Elemanlarında Büzülme Oranı (Rötre) Tayin Metodu, TSE, Ankara, 1981



ÖZGEÇMİŞ

20 Mayıs 1978'de Niğde'de doğdu. İlk ve orta öğretimini Eminlik İlköğretim Okulu'nda tamamladı. 1995 yılında Niğde Lisesi'nden mezun olduktan sonra aynı yıl Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 1 yıl İngilizce hazırlık öğretimini aldıktan sonra Haziran 2000 yılında mezun oldu. 2002 yılında Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğretimine başladı. Ocak 2001 yılında Erciyes Üniversitesi Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'ne araştırma görevlisi olarak atandı ve halen aynı görevi sürdürmektedir.

Adres :

Erciyes Üniversitesi
Yozgat Mühendislik Mimarlık Fakültesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
66100 Yozgat

Tel : 0 354 242 10 01 (121)

Fax : 0 354 242 10 05

E-posta : bunal@erciyes.edu.tr