

**ÇELİK TEL DONATI VE ATIK LASTİK  
TOZU KATKILI RİJİT ÜSTYAPILARIN  
MUKAVEMET YÖNÜNDEN ANALİZİ**

**Berke Ersin AVCI**

**Yüksek Lisans Tezi  
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı  
Doç. Dr. Ahmet TORTUM**

**2013**

**Her Hakkı Saklıdır**

**ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**ÇELİK TEL DONATI VE ATIK LASTİK TOZU KATKILI RİJİT  
ÜSTYAPILARIN MUKAVEMET YÖNÜNDEN ANALİZİ**

**Berke Ersin AVCI**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANA BİLİM DALI**

**ERZURUM  
2013**

**Her Hakkı Saklıdır**



T.C.  
ATATÜRK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



TEZ ONAY FORMU

ÇELİK TEL DONATI VE ATIK LASTİK TOZU KATKILI RİJİT ÜSTYAPILARIN  
MUKAVEMET YÖNÜNDEN ANALİZİ

Doç. Dr. Ahmet TORTUM danışmanlığında, Berke Ersin AVCI tarafından hazırlanan bu çalışma 13/12/2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak ~~oybirliği/oy çokluğu~~ (3./3.) ile kabul edilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Yaşar TOTİK

İmza

Üye : Doç. Dr. Ahmet TORTUM

İmza

Üye : Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN

İmza

Yukarıdaki sonucu onaylıyorum

Prof. Dr. İhsan EFEOĞLU  
Enstitü Müdürü

**Not:** Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### ÇELİK TEL DONATI VE ATIK LASTİK TOZU KATKILI RİJİT ÜSTYAPILARIN MUKAVEMET YÖNÜNDEN ANALİZİ

Berke Ersin AVCI

Atatürk Üniversitesi  
Fen bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Ahmet TORTUM

Ülkelerin ulaşım ağının yeterli düzeyde ve standartta olması gelişmişliğinin bir göstergesi olarak görülmektedir. Ülkemizde ağır taşıt trafiği her geçen gün daha da artmakta ve bu durum yol üst yapısında önemli problemlerin meydana gelmesine neden olmaktadır. Bundan dolayı karayolu yatırımının proje ve inşaat safhalarında en uygun çözümlerin üretilmesi gerekmektedir. Bu çözümler şöyle sıralanabilir; ekonomi, uzun kullanım ömrü, düşük bakım onarım harcamaları, yapım ve onarım süresinin kısa olması, çevre ile uyum, atık maddelerin kullanılabilirliği ve kalite kontrol işlemlerine uygun olma, gibi özelliklere sahip olmalıdır.

Büyük bir çoğunluğunu karayollarında kullanılan araçların oluşturduğu, atık lastiklerle ilgili problemler her geçen gün hızla artmaktadır. Günümüzde, ömrünü tamamlamış taşıt lastikleri, bol olmasının yanında, değersiz bir atık konumundadırlar. Ayrıca; çevre kirliliğine sebebiyet vermekte ve insan sağlığı ile doğal dengeyi olumsuz bir şekilde etkilemektedir. Bu sorunları ortadan kaldırmanın en etkin yollarından biri; atık lastiklerin yeniden işlenerek, endüstride farklı uygulamalarda kullanılmasıdır.

Çeşitli uygulama alanları olan beton plakların mukavemet artırmasına yönelik katkılardan olan çelik tel donatı, yıllar boyu süregelen araştırmalar ve uygulamalar sayesinde dünya çapında bilinen bir teknoloji haline geldi.

Bu tezde; genel anlamda atık lastiklerin özellikleri ve kullanım olanaklarıyla ilgili bilgiler sunulduktan sonra, özellikle rijit Üst Yapı imalatlarında kullanım potansiyelleri araştırılmıştır. Ayrıca çelik tel donatılı betonların genel özellikleri ve beton yol yapısında kullanılmasının getirdiği avantajlar üzerinde durulmuştur. Bu iki katkı maddesinin beraber çalışmasından elde edilen sonuçlar irdelenmiştir.

Yaptığımız deneylerden elde ettiğimiz sonuçlar; Beton basınç ve yarma mukavemetinin atık lastik agregasının katkı miktarı arttıkça düşüş eğilimi gösterdiği, çelik tel donatının ise basınç ve yarma dayanımlarına pozitif etki sağladığı görülmektedir. Her iki katkının beraber çalışması neticesinde ise, çelik tel donatının atık lastik katkısının mukavemete olan olumsuz etkisini nötralize edebildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

**2013, 139 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Rijit üstyapılar, Çelik tel donatı, Atık lastik, Mukavemet, Ulaştırma, Yolların sınıflandırılması, Üstyapı seçim metodolojisi

## **ABSTRACT**

Master Thesis

### **STEEL FIBER REINFORCED AND WASTE TIRE DUST CONTRIBUTED RIGID SUPERSTRUCTURE RESISTANCE ANALYSIS**

Berke Ersin AVCI

Atatürk University  
Graduate School of Natural and Applied Sciences  
Department of Civil Engineering

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Ahmet TORTUM

Existing of the transportation network to adequate level and standard of countries are seen as indicator. Heavy vehicle traffic is increasing every passing day in our country and this situation appearing causes important problems at the highway superstructure. Therefore, at the project and construction phases of highway investment have to produce the most appropriate solutions. These solutions put in order as; economics, long using life, lower maintenance repair costs, the short duration of the construction and repair, harmony with the environment, use of waste materials and being eligible to quality control procedures, should contain features such as.

The problems related to waste tires that created a large majority of the vehicles in the highways increase rapidly every day. Nowadays, vehicle tires that completed life, in addition to being abundant are position a worthless waste. Moreover, they cause environmental pollution, influence natural balance and human health in negative anyway. One of the most effective ways of eliminate this problem; waste tires were process again and used for different application in the industry.

Steel Fiber Reinforced Concrete, was developed at the beginnig of the 60s and ongoing research and applications for years on types of wires has become a known technology throughout the World.

In this thesis; After presenting relevant informations about the properties and application facilities of waste tires in generally, especially investigated the potential use of rigid superstructure manufacturing. Besides, focused on the general characteristics of steel fiber reinforced concrete and the advantages of using concrete pavement structure. The results from these two additives working together are discussed.

The results obtained from the experiments; Concrete pressure and splitting strenght shows the decreasing trend when the waste tire aggregate additive get increase, in case steel fiber reinforced procures positive effects to pressure and splitting strengths seen. In consequence of both additives work together, steel fiber reinforced can notralize the negative effects to strenght from waste tire additive result come up.

**2013, 139 pages**

**Keywords:** Rigid Superstructure, Steel Fiber Reinforced, Waste tire, Resistance, Transportation, Classification of highways, Superstructure select methodology

## TEŞEKKÜR

Bu konuda çalışma olanağı sağlayan ve beni destekleyen Değerli Hocam Sayın Doç. Dr. Ahmet TORTUM' a,

Tez çalışmamda bana desteklerini esirgemeyen Atatürk Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Doç. Dr. A. Cüneyt AYDIN'a

Çalışmakta olduğum T.C. Karayollarında bana yardımlarını esirgemeyen çalışma arkadaşlarıma,

Mensubu bulunduğum İnşaat Mühendisleri camiasında bana her türlü desteği veren sevgili meslektaşlarıma,

Her zaman ve her konuda yanımda olan, maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen kıymetli aileme içten teşekkürlerimi sunarım.

Çok sevgili kızlarım Şevval Berre AVCI ve Berin AVCI için...

Berke Ersin AVCI

Aralık 2013

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ.....	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. KURAMSAL TEMELLER.....</b>	<b>4</b>
2.1. Ülkemizdeki Mevcut Durum.....	4
2.2. Üstyapı Bozulmaları ve Nedenleri.....	5
2.3. Karayolu Kaplama Çeşitleri.....	7
2.3.1. Bitümsüz hafif kaplamalı ve stabilize yollar.....	7
2.3.2. Esnek üst yapılar.....	7
2.3.3. Rijit üst yapılar.....	11
2.4. Üstyapı Tipi Seçim Metodolojisi.....	11
2.4.1. Üstyapı tipi seçiminde teknik ölçütler.....	12
2.4.2. Üstyapı tipi seçiminde ekonomik ölçütler.....	15
2.5. Beton Yollar.....	18
2.5.1. Beton yolların tarihçesi.....	18
2.5.2. Türkiye’de beton yol.....	20
2.5.3. Beton yol tipleri.....	21
2.5.4. Rijit üstyapılarda kullanılan malzemeler.....	28
2.5.5. Beton yol karışım tasarımı.....	38
2.5.6. Rijit üstyapıların yapımı.....	40
2.5.7. Rijit üstyapıların bakım ve onarımı.....	48
2.5.8. Rijit üstyapıların projelendirilmesi.....	49
2.5.9. Rijit üstyapıların avantajları ve dezavantajları.....	50
2.6. Beton Yolda Atık Lastik Kullanımı.....	53
2.7. Beton Yolda Çelik Tel Kullanımı.....	59

<b>3. MATERYAL ve YÖNTEM.....</b>	<b>63</b>
3.1. Deney I.....	63
3.1.1. Kullanılan malzemeler .....	63
3.1.2. Beton dizaynı.....	64
3.1.3. Agrega özellikleri .....	65
3.2. Deney II.....	66
3.2.1. Kullanılan malzemeler .....	66
3.2.2. Beton dizaynı.....	67
3.2.3. Agrega özellikleri .....	68
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA.....</b>	<b>70</b>
4.1. Deney I'ın Yapılışı .....	70
4.2. Deney I Basınç ve Yarma Sonuç Raporları ve Grafikleri .....	72
4.3. Deney II'nin Yapılışı.....	73
<b>5. SONUÇLAR.....</b>	<b>77</b>
KAYNAKLAR .....	87
EKLER.....	89
EK 1.....	89
ÖZGEÇMİŞ .....	139



## SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

### Simgeler

<b>A</b>	Üstyapının yaşı
<b>C</b>	100
<b>CR</b>	Üstyapı çatlak alanı yüzdesi
<b>e</b>	Birim şekil değiştir
<b>HST</b>	Asfalt tabakanın altındaki yatay gerilme
<b>M</b>	Eğim katsayısı
<b>N</b>	Yığılımlı tek yükü eşdeğeri
<b>PCR</b>	Üstyapı durum oranlaması
<b>QI</b>	Düzensizlik (tekrar/km)
<b>RCI</b>	Herhangi bir YAŞ'ta sürüş konforu indeksi
<b>RCI<sub>B</sub></b>	Bir önceki RCI
<b>RH</b>	İyileştirme durum göstergesi
<b>SENİ</b>	Asfalt tabakanın altındaki şekil değiştirme enerjisi
<b>ST</b>	Yüzey durumu
<b>YAŞ</b>	Üstyapının yaşı (yıl)

### Kısaltmalar

<b>AASHTO</b>	American Association of State Highvay and Transportation Officials
<b>AOL</b>	Atık Otomobil Lastiği
<b>BS</b>	Beton Sınıfı
<b>ÇTDB</b>	Çelik Tel Donatılı Beton
<b>KGM</b>	Karayolları Genel Müdürlüğü
<b>KTŞ</b>	Karayolu Teknik Şartnamesi
<b>M.Ö</b>	Milattan Önce
<b>PÇ</b>	Portland Çimentosu

<b>SSB</b>	Silindirle Sıkıştırılabilen Beton
<b>TCK</b>	Türkiye Cumhuriyeti Karayolları
<b>TSE</b>	Türk Standartları Enstitüsü
<b>ÜYS</b>	Üstyapı Yönetim Sistemi
<b>YOGT</b>	Yıllık Ortalama Günlük Trafik

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Sathi kaplama enkesiti .....	10
Şekil 2.2. Bitümlü sıcak karışım enkesiti .....	10
Şekil 2.3. Esnek üstyapı çalışması .....	11
Şekil 2.4. Ohio ‘da hala kullanılan beton yol.....	19
Şekil 2.5. Derz enkesitleri.....	47
Şekil 2.6. Farklı yapım teknikleriyle yapılmış beton yol yüzeyleri.....	48
Şekil 2.7. Rijit üstyapı enkesiti .....	49
Şekil 2.8. Atık lastik yığını .....	57
Şekil 2.9. Çelik tel donatılı zemin betonlarında moment dağılımı .....	60
Şekil 2.10. Çelik donatılı beton yol .....	61
Şekil 2.11. 15 yıl önce aynı zamanda yapılan çelik tel donatılı ve donatısız beton yol.....	61
Şekil 4.1. Çelik tel katkısı ve tokmaklama .....	70
Şekil 4.2. Atık lastik tozu.....	71
Şekil 4.3. Vibratör kullanımı .....	71
Şekil 4.4. Beton kür odası.....	72
Şekil 4.5. Laboratuvar Çalışması .....	74
Şekil 4.6. Kırılmış beton numuneleri.....	74
Şekil 4.7. Kırılmış beton numuneleri.....	75

## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1. Beton ve asfalt yolların mevsimsel hasar karşılaştırması .....	13
Çizelge 2.2. Sülfata dayanıklı genel çimentoların ailesindeki yedi ürün.....	31
Çizelge 2.3. Beton agregaları tane boyutu grupları .....	34
Çizelge 2.4. D <sub>max</sub> =16 mm referans granulometri eğrileri .....	35
Çizelge 2.5. D <sub>max</sub> =31.5 mm referans granulometri eğrileri .....	35
Çizelge 2.6. Su miktarı - beton basınç dayanımı ilişkisi.....	36
Çizelge 2.7. Yol betonu için granulometri.....	39
Çizelge 2.8. Betonun kullanım yerlerine göre karışım içerikleri.....	40
Çizelge 2.9. Yol kaplama dizaynı için araç sınıflandırılması .....	41
Çizelge 2.10. Yorgunluk ve erozyon analizi.....	42
Çizelge 2.11. Üstyapı dizaynı için dingil ağırlık datası .....	43
Çizelge 2.12. Rijit üstyapı dizaynı için malzeme özellikleri .....	44
Çizelge 2.13. Atık lastiği oluşturan ürünler ve tipik yüzdesel payları.....	54
Çizelge 2.14. AB ülkelerinde ve ABD’de atık lastiklerin geri dönüşüm yöntemleri .....	56
Çizelge 2.15. Atık lastiğin mekanik ve kimyasal parçalama özellikleri.....	58
Çizelge 3.1. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	63
Çizelge 3.2. Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri .....	66
Çizelge 5.1. Deney I basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	77
Çizelge 5.2. Deney I basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	77
Çizelge 5.3. Deney I basınç dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	78
Çizelge 5.4. Deney I basınç dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	78
Çizelge 5.5. Deney I basınç dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği.....	79

<b>Çizelge 5.6.</b> Deney I basınç dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 - çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği .....	79
<b>Çizelge 5.7.</b> Deney I yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	80
<b>Çizelge 5.8.</b> Deney I yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	80
<b>Çizelge 5.9.</b> Deney I yarma dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	81
<b>Çizelge 5.10.</b> Deney I yarma dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	81
<b>Çizelge 5.11.</b> Deney I yarma dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği .....	82
<b>Çizelge 5.12.</b> Deney I yarma dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 - çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği .....	82
<b>Çizelge 5.13.</b> Deney II basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	83
<b>Çizelge 5.14.</b> Deney II basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	83
<b>Çizelge 5.15.</b> Deney II yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği .....	84
<b>Çizelge 5.16.</b> Deney II yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi .....	84

## 1. GİRİŞ

Hızlı kentleşme, sanayileşme ve nüfus artışının beraberinde getirdiği sorunlar hiç kuşkusuz ulaşım sektöründe de etkisini göstermektedir. Kentleşme oranı toplumun ekonomik ve sosyal gelişmişliğinin bir göstergesi olarak adlandırılabilir. Ancak planlı kentleşme; mevcut altyapısıyla, taşıma alt yapısıyla bir bütündür. Bu nedenle ulaşım ve onun bir parçası olan trafikle ilgili yapılacak planlamalar ve çözüm önerileri de bir bütünlük içerisinde olmak mecburiyetindedir (Çakar 2003).

Gelişen teknoloji insan yaşantısını yönlendiren diğer sektörler gibi ulaşım sektörünü de vazgeçilmez hale getirmektedir. Günlük yaşantının birçok saatini trafikte harcayan insanlar; trafikte geçirdikleri bu sürenin hızlı, konforlu, emniyetli, ekonomik ve daha kısa olması için bir arayıştadırlar (Çakar 2003).

Günümüz dünyasında yeterli ve çağdaş ulaşım hizmeti olmaksızın sosyal ve ekonomik hayatı canlı ve dinamik tutmak mümkün değildir. Her alanda olduğu gibi ulaştırma alanında da en son teknoloji taşıma araçlarına sahip olmak, gelişen dünyaya ayak uydurmak ekonomik kalkınmanın ve refahın bir gereğidir (Çakar 2003).

Devletlerin temel görevi de; ekonomik ve toplumsal gelişmenin ihtiyaçlarını karşılayabilecek şekilde ulaşım kapasitesini yaratabilmek, ülke ve toplum çıkarlarına uygun taşıma sistemlerini oluşturmak ve işletilebilmesini sağlamaktır. Ulaştırma sistemleri ve hizmetleri modern ekonomilerin ve toplumsal gelişmenin temel ögesidir (Çakar 2003).

Ulaştırma başlı başına bir ekonomik faaliyet olduğu gibi diğer bütün sektörlerle yakın ilişkisi olan ve bu sektörleri olumlu veya olumsuz yönden etkileyen önemli bir hizmet sektörüdür. Hizmetin üretimi ve satışı aynı anda olur. Diğer sektörlerin ulaşım duyduğu ihtiyaç kadar ulaştırma hizmetinin üretimi gerçekleşir, Başka bir söyleyişle bir ülkenin ulusal ulaşım master ana planının olması gerekir. Bütün bu çalışmalar, ilişkiler,

ihtiyaçlar, kaynaklar, bu planlama çerçevesinde değerlendirilmek durumundadır (Çakar 2003).

Ulaşım planlanması; şehirlerde yaşayan insanların en önemli gereksinimi olan ulaşım gereksinimini ekonomik, hızlı, konforlu, en kısa zamanda ve emniyetli olarak sağlamanın yöntemlerini araştırır. Amacı da insan, araç ve eşyanın kentlerde ve kentler arasında hızlı, ekonomik emniyetli, en kısa zamanda ve çevre problemi yaratmadan hareketini imkân oluşturmaktır (Çakar 2003).

1960'larda, Türkiye'de hızlı ancak kontrolsüz ve düzensiz kentleşme başlamıştır. Bu arada yeni bir planlama ile yaygın bir karayolu yapımına girişilmiştir. Bu olguların ülkeye getirdiği olumlu ve olumsuz sonuçların öneminin gittikçe artması sonucunda ulaştırma sektörü de planlama kapsamına alınmıştır. Bu kalkınma planları sonucunda ana hedef bilindiği gibi demiryolu ve denizyolu taşımalarının toplam taşımadaki paylarının artırılması suretiyle karayolu taşımasının yükünün hafifletilmesine çalışılmıştır. Ancak uygulama bu şekilde olmamış, karayolu ağırlıklı bir ulaşım politikası benimsenmiştir. Yabancı ülkeler, ülkemizde bulunan otomotiv, petrol v.b. gibi yatırımlarını korumak ve para akışını devamlı hale getirebilmek için gerek siyasi gerekse iştimaî hayattaki nüfuslarını kullanarak demiryolu yapımını engellemişlerdir. Demiryollarının uzunlukları AB ülkeleri ortalamalarına göre oldukça kısa olması, aynı zamanda işletme yetersizlikleri de yolcu ve yük taşımasının neredeyse tamamının karayollarına yığılması sonucunu doğurmuştur. Tüm ulaştırma içinde karayollarının hem yük taşımasında hem de yolcu taşımasındaki payı %95'tir. Gözlenen diğer bir durum ise Türkiye'de yollarda ağır taşıt oranının çok yüksek olmasıdır (Türkiye'de %40, AB ülkelerinde %10 dolayında) (Anonim 2003).

Yol üstyapısının projelendirilmesinin nedeni, proje süresi boyunca, üzerinden geçen trafiği, büyük deformasyonlara ve çatlamalara maruz kalmadan güvenli bir şekilde taşıyabilecek üstyapının toplam kalınlığının ve tabakaların tek tek kalınlıklarının hesaplanması, kullanılacak malzemelerin saptanmasıdır. Bu amaç doğrultusunda genellikle esnek ve rijit olmak üzere iki tip üstyapı bulunmaktadır. Esnek üstyapılar,

aşınma, binder, temel ve alt temel tabakalarından oluşan tabakalı bir yapıdır. Rijit üstyapılar ise genellikle taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşur. Duruma göre beton kaplama ile taban zemini arasına kaplama altı ve seçme malzeme tabakaları konur (Umar ve Ağar 1991 ).

Asfalt kaplama veya beton plak kaplama tercihinin temelinde bir maliyet ve ekonomi karşılaştırmasının bulunduğu aşıkardır. Bu nedenle teknik ve ekonomik kıyaslamalarla birlikte hangi üstyapının, ülkemizin çeşitli koşullar için uygun olacağını ve bunun da ülke ekonomisi açısından doğuracağı sonuçların irdelenmesi ve kıyaslanması zorunlu olmaktadır.

Türkiye’de karayolu kaplamaları çoğunlukla bitümlü bağlayıcılarla yapılmaktadır. Bitümlü bağlayıcının dışa bağımlı bir malzeme olması yanında dış faktörlerden de kolay etkilenmektedir. Bunun sonucu olarak, kaplaması bitümlü bağlayıcılarla yapılan yollar otoyol dahil kısa hizmet süreleri sonunda büyük onarım ihtiyacı duyabilmektedir. Bitüm bağlayıcılı kaplamalara göre daha yüksek dayanıma sahip olduğu belli olan beton kaplamalar önemli bir alternatiftir (Avcı 2011).



## 2. KURAMSAL TEMELLER

### 2.1. Ülkemizdeki Mevcut Durum

Karayolu ağında, yakın zamana kadar yapımı tamamlanarak hizmete açılmış olan yollarımızın çoğu, öncelikle ulaşılabilirliği amaçladıklarından ve yapıldıkları dönemlerin trafik hacimlerine göre projelendirildikleri için, bugünün artan trafiği, özellikle ağır taşıt trafiği nedeniyle daha çabuk deforme olmaktadır. Diğer yandan, yoldan geçen taşıtların dingil ağırlıklarına, bu ağırlıkların tekrar ve dağılımlarına göre projelendirilmektedir. 1980 yılına kadar 8 ton olarak belirlenmiş olan nizami tek dingil yükü, transit taşımalardaki artışlar nedeniyle ve Avrupa ülkeleri ile uyum sağlamak üzere, önce 10 ve daha sonra da 13 ton'a çıkarılmış ve şu an 11,5 tona indirilmiştir. Böylece, daha hafif yükler için projelendirilmiş olan yollarımız giderek çok ağır yükler altında kalmakta, yol temelleri ve üstyapıları bu yükün altından başa çıkamaz hale gelmektedir. Ayrıca, bütün dünyada hâkimiyetini sürdüren enerji krizi sonucu olarak inşaat sektöründe ortaya çıkan yüksek maliyetler, yüksek enflasyon oranları, bütün ülkeleri yeni karayolu yapımından çok, giderek artan ağır yükler altında kalan mevcut altyapıyı korumayı ve hizmette tutmayı amaçlayan takviye ve bakım önlemlerini kullanmaya zorlamaktadır. Bu bakımdan, bir yandan mevcudu korumak için çaba harcanırken, diğer yandan mevcut geometrik standartlardan geniş ölçüde yararlanmak suretiyle, yolların fiziki standartlarını artırıcı çalışmalara önem verilmeli, ve iş planları bu yönde uygulanmalıdır (Anonim 2004; Doğan 2006).

Bir üstyapıda aşağıdaki tabakalardan, yukarıdaki tabakalara doğru malzeme kalitesi iyileşmektedir. Bu açıdan bakıldığında, ağır trafik yükü alan yolların, sık sık bozulan ve yenilenmeye gereksinim gösteren yüzeysel kaplamalar yerine, yalnızca rutin bakım yapılarak proje ömrü boyunca hizmette kalabilen bitümlü sıcak karışım ve beton yollar ile kaplanmaları gerekmektedir (Doğan 2006).

Günümüzde gelişmiş ülkelerde toplam trafiğin yaklaşık %15'sinin ağır taşıtlardan

oluşmasına karşılık, ülkemizde bu oran yaklaşık %50 olup, birçok yolda %70'e kadar çıkabilmektedir. Türkiye'de yeteri kadar ağırlık kontrolü yapılamadığından ve genellikle maddi kaygılardan ötürü aşın yükleme yapıldığından, ülkemizdeki her bir ticari taşıtın, gelişmiş ülkelerdeki her bir ticari taşıta göre yola verdiği zarar çok daha fazladır (Doğan 2006).

Ülkemiz yol ağının, otoyollar dışında kalan ve büyük bir kısmı 8 ton dingil yüküne göre projelendirilmiş bulunan kısmının önemli bir bölümü ekonomik ömürlerini tamamlamışlardır. Bu nedenle, yeni yol inşasından çok, mevcut yollarımızın fiziksel özelliklerini iyileştirme projelerine öncelik vermek gerekli ve kaçınılmaz olmaktadır (Doğan 2006).

Karayolları Genel Müdürlüğü'nün (KGM) istatistiklerine göre 2011 yılı itibariyle karayolu ağının toplam uzunluğu Otoyol, Devlet Yolları ve İl Yolları olmak üzere, 64.865 km.'dir. Karayolu ağının %3'ünü Otoyollar, %50'sini Devlet Yolları, %47'sini İl Yolları oluşturmaktadır. Bu yolların bakımı ve iyileştirilmeleri, Türkiye'de güvenli ve ekonomik karayolu ulaşımı sağlanması amacıyla kurulmuş olan Karayolları Genel Müdürlüğü'nün görevidir (Doğan 2006).

Söz konusu yol ağının bakım ve iyileştirme harcamaları, yeni yolların yapım çalışmaları ile birleşince büyük maddi meblağlar ortaya çıkmaktadır. Birçok yolun hızla bozulması yeni olanaklara ve mevcut yolların bakım ve iyileştirilmelerini duyulan gereksinimi arttırmaktadır (Doğan 2006).

## **2.2. Üstyapı Bozulmaları ve Nedenleri**

Yollar yeni inşa edildiklerinde yenidirler. Trafik yükleri ve iklim koşulları nedeniyle zamanla bozulurlar. Bu bozulmalar, başlangıçta çok yavaş olduğu için yolun servis seviyesini koruyabilmek için sadece periyodik bakıma ihtiyaç gösterirler. Süre ilerleyip zamanında bakım ve iyileştirme yapılmazsa, bozulmalar artarak çok pahalı bakım ve iyileştirme seçeneklerine ihtiyaç duyarlar. Bu nedenle bozulmaya başlamış yollarda,

zamanında yapılmış bakım programları, minimum işletme maliyetlerini doğurur (Güzel 2004; Doğan 2006).

Üstyapı bozulması; Bir üstyapının tasarım süresi sonunda, çoğu zamanda bu sürenin sonuna bile varamadan, trafik yükleri ve çevresel etkiler sonucunda düşmesi beklenen hizmet yeteneğinin bir ölçüsüdür. Üstyapı bozulmalarında, öncelikle bozulma nedenlerinin araştırılması gerekir. Bunun içinde iyi bir yol değerlendirme çalışması dahilinde karayolu ağının durumu ve yol bozulmalarının niteliğinin iyi incelenmesi şarttır. Bozulmaya neden olan etkenler tespit edilip, yok edildikten sonra yapılacak bakım ve onarım çalışmaları sayesinde, ileride tekrarlanabilecek olan bozulmalar da engellenmiş olacaktır (Doğan 2006).

Türkiye şartlarında, tasarım metodunun ve malzemenin yanlış seçimi (Ariyet ocağı problemleri), trafik yükünün planlanandan hızlı artışı, iklimsel şartlarının etkisi, yol yapımı sırasındaki projeye ve tekniğe uygun olmayan imalatlar, beklenmedik jeolojik etkiler, proje safhasında öngörülen gabarilerin realitede çok daha fazlasına maruz kalan yollar, bakım ve onarım faaliyetlerinin yeteri kadar sık ve iyi yapılamaması ve diğer birimler ile koordinasyon eksiklikleri başlıca bozulma nedenleridir (Doğan 2006).

Bir yolun hizmet ömrünü uzatmanın veya ekonomik ömrü içerisinde ondan etkin bir şekilde faydalanmanın tek çözümü, yeterli seviyede ve sürekli bakım yaparken, yol üstyapısının dayanımını gerekli onarımlarla sürdürülebilir kılmaktır (Doğan 2006).

Yol sonsuz uzunlukta bir yapı olduğuna için, yol boyunca bozulmaya etki eden faktörlerde devamlı farklılık göstermekte, şartnamesine uygun inşa edilse de birçok faktör yolu etkilemektedir. Böylece sayısız aksaklıklar yüzeyde kendini gösterirken, kullanıcılar tarafından bu bozukluklar gözlenmekte ve bunların giderilmesi konusunda baskı unsuru oluşturmaktadır (Doğan 2006).

Genel olarak, yol üstyapısında meydana gelen bozulmalar, fonksiyonel bozulma ve yapısal bozulma olmak üzere iki türlü olarak tanımlanır. Fonksiyonel bozulmada,

üstyapı için amaçlanan fonksiyonlar belirli bir süreç zarfında görevini yerine getiremez hale gelir. Yapısal bozulma ise, üstyapı bileşenlerinin bir veya birkaçının kırılmasını, göçmesini veya bozulmasını ifade eder (Doğan 2006).

### **2.3. Karayolu Kaplama Çeşitleri**

#### **2.3.1. Bitümsüz hafif kaplamalı ve stabilize yollar**

Bu tip yollar günlük trafik hacmi birkaç yüz araç olan yollarda uygulanır. Ayrıca daha fazla trafik geçiren yollarda alt temel tabakası olarak imal edilebilirler.

- Kum kil yollar

Yapay olarak kum ve kil tabakasının yüzeyde oluşturulmasıyla yapılır.

- Çakıl Yollar

Genellikle yapımdan hemen sonra bitümlü bir aşınma tabakasıyla örtülürler.

- Stabilize yollar

Kum ve çakılın granulometrik bileşimi bağlayıcı özellikli zemin ve nem tutucu tuzla yol her türlü hava koşullarında kararlı hale gelir (Anonim 2003).

#### **2.3.2. Esnek üst yapılar**

Asfalt kaplamalı yol üstyapıları; üzerinden geçmesi planlanan taşıt trafiği için gerekli performansa ve taşıtların yarattığı gerilmelere karşı uzun vadede yeterli mukavemete sahip olacak şekilde dizayn edilmiş, farklı özellikleri farklı görevleri üstlenmiş, farklı tabakalardan oluşan çok tabakalı yapılardır. Kaplamanın temel maddesini petrol türevi

olan bitüm oluşturmaktadır (Edis 2007).

‘Esnek üstyapıların performansı ve stabilitesi;

\*Sürüş emniyeti için yeterince kayma direncine sahip

\* Trafik yüklerinin yarattığı gerilmelerden ötürü kalıcı deformasyonlara karşı dirençli

\* Kaplama üzerindeki yüzeysel suların temele ve zemine sızmayacak şekilde geçirimsiz

\* Trafik yüklerini zeminin taşıma gücünü aşmayacak şekilde yapılabilecek kalınlık ve mukavemete sahip

\* Trafik, çevre ve iklimsel şartların aşındırmasına karşı yeterince dirençli (durabil)

\* Sürüş konforu için pürüzsüz ve düzgün yüzeylere sahip olması gibi kriterlere bağlıdır’ (Edis 2007).

Bütün bu özelliklerine rağmen termoplastik bir malzeme olan asfaltın sıcaklığa ve yükleme hızına bağlı olan davranış şekli, yüksek dingil yükleri ve düşük hızlar birde yüksek hava sıcaklıklarıyla birleşince büyük deformasyonlara yol açmaktadır. Sünek bir malzeme olan asfaltın davranışı, bileşeni olduğu asfalt betonu davranışına da aynı şekilde yansımaktadır. Bunun sonucu olarak asfalt betonu yada sathi kaplamalı esnek üstyapılarda, yüksek dingil yükleri ile düşük hızlar, yani yüksek yükleme zamanlarının bir araya geldiği tırmanma şeridi gibi yol kesimlerinde teker izi, kasisleşme ve benzeri deformasyonlar meydana gelmektedir (Edis 2007).

Esnek üstyapılar; Düşük standartlı kaplamalar (yüzeysel veya koruyucu tabakalar) ve yüksek standartlı kaplamalar (bitümlü sıcak karışımlar) olarak iki ana sınıfa ayrılabilir.

Düşük standartlı kaplamalar, trafik hacminin düşük olduğu (genel olarak günlük ağır taşıt trafiğinin 500 den az olan veya 8.2 ton standart dingil yükününün 20 yıldaki tekerrür sayısı 2 milyondan az olan) yollarda ekonomik olup yeterli performansı sağlayabilmektedir. Lakin dünya üzerinde bu kaplama çeşidini uygulayan ülke sayısı bir elin parmaklarını geçmemekte ilerleyen refah seviyemizle beraber bu tür kaplamanın tamamen ortadan kaldırılması temenni edilmektedir. Zira yapım aşamasında ekonomik

ve BSK'nın birkaç katı ucuz olarak görünen bu sınıf, işletme masrafları ve yıllar zarfında bozulup tekrar tekrar yapılması neticesinde BSK maliyetinin üstüne çıkabilmektedir. Yüksek standartlı karayolu ve otoyollarında ise bitümlü sıcak karışımlara sahip tabakalar ile yapılmaktadır (Edis 2007).

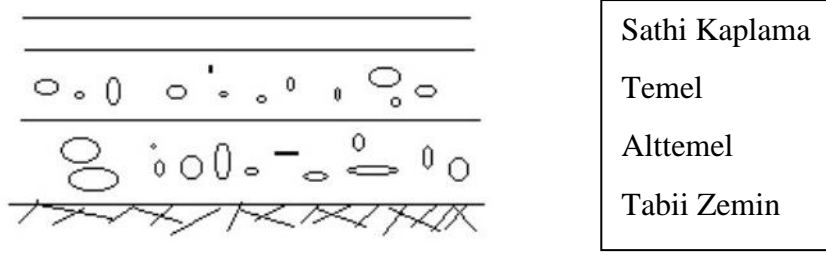
### **i. Sathi kaplamalı esnek üstyapılar**

Sathi kaplamalar; düşük standart ve kapasiteli yollarda kullanılan bir kaplama türü olduğu için, göz önüne alınan proje süresi içinde, üzerinden geçeceği hesaplanan toplam 8.2 ton standart dingil yükü 100.000'den fazla ve 2 milyondan az olmalıdır. KGM yol yapım ve projelendirme çalışmalarında toplam standart dingil yükü sayısı 100.000 – 500.000 aralığında ise tek kat ve 500.000 – 2.000.000 arasında ise çift kat sathi kaplama yapılmaktadır (Edis 2007).

Standart dingil yükünün 2.000.000'u geçtiği bazı kısımlarda yolun ömrünün kısılacığı bilinmesine rağmen, ekonomik durumlardan kaynaklı tek kat sathi kaplama kullanıldığı yollar bulunmaktadır. Bu halde genel uygulama, esnek üstyapıların alt tabakaları olan temel ve alttemel tabakalarının kalınlıklarının bir miktar arttırılmasıdır (Edis 2007).

Karayolları Genel Müdürlüğü 2011 verilerine göre, ülkemizde halen kullanılmakta olan yaklaşık 49.000 kilometrelik bir yol kesimi sathi kaplama ile oluşturulmuş durumdadır. Bu, ülkemiz toplam karayolu ağının yaklaşık %75'inin sathi kaplama yol olduğu anlamına gelmektedir.

Sathi kaplama, yüksek sürtünme katsayısıyla özellikle frenleme mesafelerinde iyileşme sağladığından, yüksek eğimli yollarda tercih edilmektedir. Ancak bu tip kaplamanın drenaj özelliği oldukça düşük olduğundan üzerinde su birikmesi, gerek trafik güvenliği gerekse yapının uzun vadedeki sağlamlığı açısından problemler oluşturmaktadır (Edis 2007).

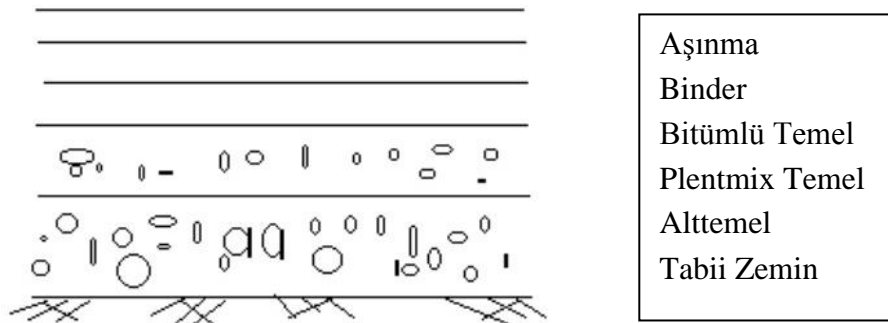


**Şekil 2.1.** Sathi kaplama enkesiti

## ii. Bitümlü sıcak karışım kaplamalı üstyapılar

Bitümlü sıcak karışımlar, bir asfalt plentinde yada yerde karışım yöntemiyle agrega ile asfalt bağlayıcının sıcak olarak karıştırılıp yola nakledildikten sonra sıcak olarak sıkıştırılmalarına veya sıvı asfaltlar (katbek veya emülsiyon) ile soğuk olarak, hareketli bir plentde veya sabit bir plentde karıştırılıp yolda sıkıştırılmış olmalarına göre iki şekilde imal edilir (Edis 2007).

Ülkemizde bitümlü sıcak karışımlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu tip kaplamalar, yüksek standartlı yolların esnek kaplamalarının üst tabakalarında kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılmayan soğuk bitümlü karışımlar ise, genel olarak havanın soğuk olduğu mevsimlerde acil onarım işlerinde, asfalt plentinin olmadığı veya plent kurmanın ekonomik olmadığı durumlarda, çok küçük miktarlarda bitümlü karışım gereken yerlerde kullanılmaktadır. Bitümlü soğuk karışımlar hem pahalı, hem de düşük stabiliteli karışımlar olduklarından yaygın değildir (Edis 2007).



**Şekil 2.2.** Bitümlü sıcak karışım enkesiti



**Şekil 2.3.** Esnek üstyapı çalışması

### **2.3.3. Rijit üst yapılar**

Tezimizin ana konusunu oluşturan Beton Yollar 2.5.'inci bölümde detaylı bir şekilde incelenmiştir.

## **2.4. Üstyapı Tipi Seçim Metodolojisi**

Günümüzde, motorlu taşıt trafiğindeki sürekli artışlar ve kaynak sağlanmasındaki güçlükler karşısında, yeni karayolu yapmaktan çok, mevcut karayolu üstyapılarının gelecekteki yoğun ve ağır trafiğe cevap verebilecek şekilde yenilenmesi önem arz etmektedir. Gerek yeni karayolu yapımında, gerekse üstyapı yenileme çalışmalarında üstyapı seçimi büyük önem taşımaktadır. Zira karayollarında üstyapı tipi seçimi, değişik ve çok sayıdaki parametreye dayandırılması gereken kapsamlı bir konudur. Seçim yapılırken, üstyapı tipleri teknik ve ekonomik bakımdan karşılaştırılmalı ve ülke koşulları da dikkate alınarak karara varılmalıdır (Umar ve Ağar 1991).



### **2.4.1. Üstyapı tipi seçiminde teknik ölçütler**

#### **i. Dıştan gelen yüklerin taban zeminine iletilmesi**

Yol üstyapısını, esnek ve rijit olmak üzere iki esas gruba ayırmak mümkündür. Esnek ve rijit üstyapılar, trafik yükünü taban zeminine iletme ve tahrip olma sekilerli açısından farklılık göstermektedir (Anonim 2003).

Alt temel, temel ve kaplama tabakalarından oluşan esnek üstyapılar, altyapının deformasyonlarına kolayca uyabileceğinden, zayıf ve sıkışabilir taban zeminleri için uygun bir nitelik taşımaktadır. Trafik yüklerinin bu tabakalardan geçerek taban zeminine iletilmesi, zemin içindeki klasik yük dağılışı gibi olmakta, yani, tekerlek yükleri altında esnek üstyapı, deforme olmakta ve her tabaka, üzerine gelen yükü bir alttakine biraz daha yayarak iletmektedir. Böylece, taban zeminine ulasan yük kısmen büyük bir alana yayılmış olmaktadır. Esnek üstyapıda oluşan gerilmelerin değeri, yolun en üst tabakasından alta doğru inildikçe düştüğü için, kullanılacak malzemelerin mekanik özellikleri de bu gerilme dağılışına uygun olarak seçilmektedir. Rijit üstyapılar, taban zemini üzerine yapılan beton plaktan oluşmaktadır. Don, pompaj, şişme-büzülme olaylarına karşı ise, beton kaplama ile taban zemini arasında kaplama altı tabakası yapılmaktadır. Beton plağın elastisite modülü taban zemininin elastisite modülünden çok büyüktür. Bu bakımdan beton yol, elastik zemine oturan bir kiriş şeklinde çalışmakta ve trafik yüklerini bu esasa göre, esnek üstyapıya nazaran daha geniş bir alana yayarak, taban zeminine iletmektedir. Taban zemini ile sürekli temas halindeyken, beton yol zemine oturan elastik kiriş gibi çalıştığından, taşıma gücü taban zemininin direncine bağlı olmayacaktır. Bu nedenle, rijit üstyapılar zayıf taban zeminleri üzerinde esnek üstyapılara nazaran daha iyi sonuç vermektedir (Umar ve Ağar 1991).

#### **ii. Trafik**

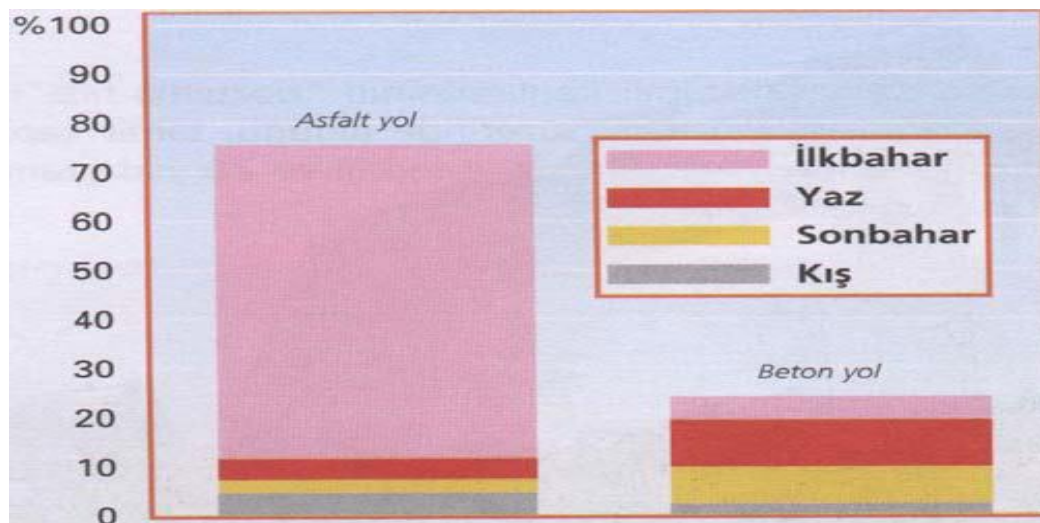
Trafik hacmi ve yıllık trafik artış oranı yüksek, ayrıca trafik içindeki ağır taşıt miktarı

yüksek olan yollar için rijit üstyapı daha uygun olmaktadır. Çelik lif takviyeli beton yollar ve sürekli betonarme yollar, normal beton yola nazaran daha pahalı olmakla birlikte, son yıllarda ABD’de ve çok az sayıda Avrupa ülkesinde (Belçika’da) yoğun trafik yükleri taşıyan yolların kaplanması ve onarımında kullanılmaktadır. Beton yollar, endüstrileşme düzeyi ne olursa olsun, bütün bölgelerde uygulanabilir bir teknolojiye sahip bulunmaktadır. Düşük trafik artışları halinde ise, kademeli inşaatla elverişli esnek üstyapı ile gelişen trafiğe cevap vermek mümkün olabilmektedir (Umar ve Ağar 1991).

### iii. İklim

Mevsimler arasında büyük sıcaklık farklılıkları bulunan, kara ikliminin hakim olduğu bölgelerde, asfalt betonunun viskoelastik davranışlı bir malzeme olması nedeniyle, yazın tekerlek izi oluşmasına direnç gösteren, kışın ise çatlamayan bir bitümlü karışımın formüle edilmesi güç olmaktadır. Bu tip bölgelerde rijit üstyapıların kullanılması daha uygun olmaktadır. Ancak bu durumda, beton plaklar arasındaki derzler kışın çok açılacaktır. Bu da pompaj olayını kolaylaştırmaktadır. Derz boşluklarını uygun malzeme ile doldurmak, kayma demiri kullanmak ve beton plak ile taban zemini arasına granüler malzemeden “kaplama altı” tabakası oluşturmak suretiyle pompaj olayı sakıncası giderilebilmektedir (Umar ve Ağar 1991).

**Çizelge 2.1.** Beton ve asfalt yolların mevsimsel hasar karşılaştırması (Pancar 2008)



#### **iv. Malzeme**

Asfalt betonunda bağlayıcı malzeme olarak kullanılan bitüm, termoplastik bir malzeme olup, sıcaklığa bağlı olarak gevrek elastik, elasto-plastik, viskoelastik ve viskoz olmak üzere değişik reolojik hallerde bulunmaktadır. Bitümün bu özelliği asfalt betonunun özelliklerine de yansımaktadır. Bu nedenle, asfalt betonunun plentte hazırlanması, yola serilmesi ve yolda sıkıştırılması sırasında, şartnamede belirtilen sıcaklık değerlerine titizlikle uyulması gerekmektedir. Beton yolda bağlayıcı olarak kullanılan çimentonun özellikleri sıcaklığa bağlı olmadığından, bu sakınca bulunmamaktadır. Asfalt betonunun gerilme-deformasyon ilişkileri, yükleme hızının ve sıcaklığın fonksiyonu olduğundan, çimento betonu gibi sabit bir elastisite modülü ve Poisson oranı bulunmamaktadır. Üstyapı projelendirme yöntemleri genellikle elastik varsayımlara dayandığından, esnek üstyapıların projelendirilmesi, rijit üstyapıya göre daha karmaşıktır. Bu güçlük yolun takviyesi sırasında da kendini göstermektedir. Bitümlü bağlayıcıların yapısı, kaplamanın yapımından birkaç yıl sonra, bağlayıcı içindeki uçucu bileşenlerin ortamdan uzaklaşması ve bağlayıcının okside olması ile bozulmaktadır. Bitümlü bağlayıcıların “yaslanması” adı verilen bu olay, bağlayıcının sertleşmesi, daha az uzaması, agregaya adezyonun azalması şeklinde kendini göstermektedir (Umar ve Ağar 1991).

Rijit üstyapılarda, sıcaklık ve nem farkı ile, trafik yüklerinden ileri gelen gerilmeler altında beton plak çatlayabilmekte, bu bakımdan, çatlamayı önlemek ve çatlakların belirli yerlerde oluşmasını sağlamak amacıyla derzler yapılarak, kaplamayı serbest hareket eden plaklar halinde bölmek gerekmektedir. Diğer taraftan, ani sıcaklık değişimleri beton plağın altı ve üstü arasında sıcaklık farkı doğurmakta, plağın kamburlaşmasına, eğilme gerilmelerinin artmasına yol açmaktadır. Nem farkı da benzer etkiler yaratmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

#### **v. Onarım ve bakım kolaylığı**

Beton yolun trafiğe açılması için, betonun prizini tamamlamasını beklemek gerekmektedir. Bu ise, yapım ve onarım sırasında yolun kısmen veya tamamen trafiğe

kapatılmasını gerektirmektedir. Yolu trafiğe tamamen kapatma halinde, servis yolu yapılmakta ve bu da doğal olarak ek bir maliyete neden olmaktadır. Buna karşılık, bitümlü kaplamaların yapım ve onarımında, bitümlü bağlayıcının kurumasına yetecek kadar bir zaman geçmesi üzerine, yani yapımından birkaç saat gibi kısa bir zaman sonra yolu trafiğe açmak mümkün olabilmektedir. Ancak, bitümlü kaplamalar, çimento betonu yollara nazaran daha kolay bozulmakta, dolayısıyla da daha sık bakım ve onarım gerektirmektedir (Umar ve Ağar 1991).

#### **vi. Konfor ve güvenlik**

Her iki kaplama türü, ilk yapıldığında, güvenli, konforlu ve zevkli bir seyir sağlamaktadır. Beton yollar açık renkleri nedeniyle, gece koşullarında kolay görünmekte, siyah renkli asfalt betonu yollarda ise, durum tam tersi olmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

#### **2.4.2. Üstyapı tipi seçiminde ekonomik ölçütler**

Ekonomik karşılaştırma yapılabilmesi için, farklı zamanlarda yapılan harcamaların aynı yıla dönüştürülmesi, güncellenmesi gerekmektedir. Güncelleme için, faiz ve iskonto hesaplarından faydalanılmaktadır. Üstyapı tipi seçiminde göz önüne alınacak ekonomik ölçütler dört başlık altında toplanmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

#### **i. Toplam ekonomik maliyet**

Üstyapı tipi seçiminin en önemli ölçütü, uzun bir zaman dilimi, proje ömrü için hesaplanan toplam ekonomik maliyettir. Bir karayolunun gerçek ekonomik maliyeti, ilk yapım maliyeti, proje ömrü süresindeki bakım maliyeti ve bakım işlemleri nedeniyle ortaya çıkacak kullanma açısından gecikme maliyetlerinin toplamı olmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

## **ii. İlk yapım maliyeti**

Bir üstyapının ilk yapım maliyeti hesaplanırken, aşağıda belirtilecek bazı çalışmaların yapılması gerekmektedir.

Bunlar:

- Kullanılacak malzemelerin cins, miktar ve kaynaktaki maliyetlerinin tespiti,
- Malzemelerin taşıma maliyeti,
- İşçilik giderleri,
- İnşaat makineleri ile ilgili masraflar ve
- Sabit masraflar

olarak sıralanabilir (Umar ve Ağar 1991).

Beton yolların ilk yapım maliyeti genellikle asfalt yollardan yüksektir. Ancak, asfalt üretiminde kullanılan ham petrolün çok büyük bir kısmının ithal edilmesine karşılık, Türkiye bugün çimento üretimi bakımından Dünyanın ve Avrupa'nın önde gelen ülkeleri arasında yer almaktadır. Ülkemizde 5 adet rafineriye karşılık, ülkenin bütün bölgelerine dağılmış ve uluslararası standartlara uygun çok sayıda çimento fabrikası ve hazır beton üretim tesisi bulunmaktadır. Bu bakımdan beton yollar asfalt yollara göre, malzeme bakımından, daha avantajlı görünmektedir (Umar ve Ağar 1991).

## **iii. Bakım-onarım maliyeti**

Trafik ve iklim koşulları yolun bozulmasına neden olan iki önemli etkidir. Bu etkilere karşı koymak, düzenli bakım yapmak suretiyle sağlanabilmektedir. Optimum bir bakım programında en önemli husus, üstyapının durumunun iyi bir şekilde bilinmesi olmaktadır.

Rijit üstyapılar, 30-40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilmektedir. Beton yollarda yüzey yenileme ve takviye işlemlerine gerek duyulmamaktadır. Projelendirme ve yapım işlemlerinin uygun şekilde gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirmektedir. Beton kaplamaların zor ve pahalı onarımlara neden olabilecek projelendirme ve yapım hatalarına esnek üst yapılardan daha duyarlı olması nedeniyle, başlangıçtan itibaren yüksek projelendirme ve yapım standartlarına göre yapılması gerektiği vurgulanması zorunlu bir husus olmaktadır (Umar ve Ağar 1991).

Genellikle 20 yıllık bir süre için projelendirilen esnek üstyapılar, rijit üstyaplardan oldukça farklı bir bakım ve onarım ömrüne sahiptir. Esnek üstyapılı yollarda görülen yerel bozuklukların her kıs mevsimi sonunda bakımı dışında, ilk 5 yıldan sonra, küçük onarımlar ve yüzey kaplaması gerekebilmekte, 10. yılda, yol yüzeyinin büyük bir olasılıkla yenilenmesi ve pürüzlendirilmesi gerekmekte, bir 5 yıl daha geçtikten sonra, ilk 5. yıldaki gibi yüzey yapısını restore etmek gerekmektedir. 20 yıl sonunda ise, esnek üstyapılı yol tasarım ömrünün sonuna geleceğinden, yapının yeni bir üstyapı ile takviyesi zorunlu olmaktadır. Bunların dışında, temel ve alt temel tabakalarının onarım ve değiştirilmesi gibi çok önemli bakım çalışmaları gerekli olabilmektedir (Umar ve Ağar 1991).

#### **iv. Yolu Kullananlara Maliyet**

Normal durumlarda, lastik eskimesi, yağ, yakıt tüketimi gibi işletme masrafları, her iki üstyapı tipinde eşit durumda bulunmaktadır. 20-30 yıllık hizmet ömrü süresinde, yol bakım çalışmalarının yol açtığı gecikmeler esnek üstyapılarda büyük ekonomik zararlara yol açmaktadır. Beton yollarda bu sakınca yok denecek kadar azdır (Umar ve Ağar 1991).

Netice olarak teknik ölçütlere göre seçim yapılması durumunda, taşıma gücü zayıf taban zemini, büyük hacimli trafik, yüksek yıllık trafik artış oranı, yüksek ağır taşıt miktarı, yüksek sıcaklık durumlarında rijit üstyapılar, büyük trafik hacmi, düşük yıllık trafik

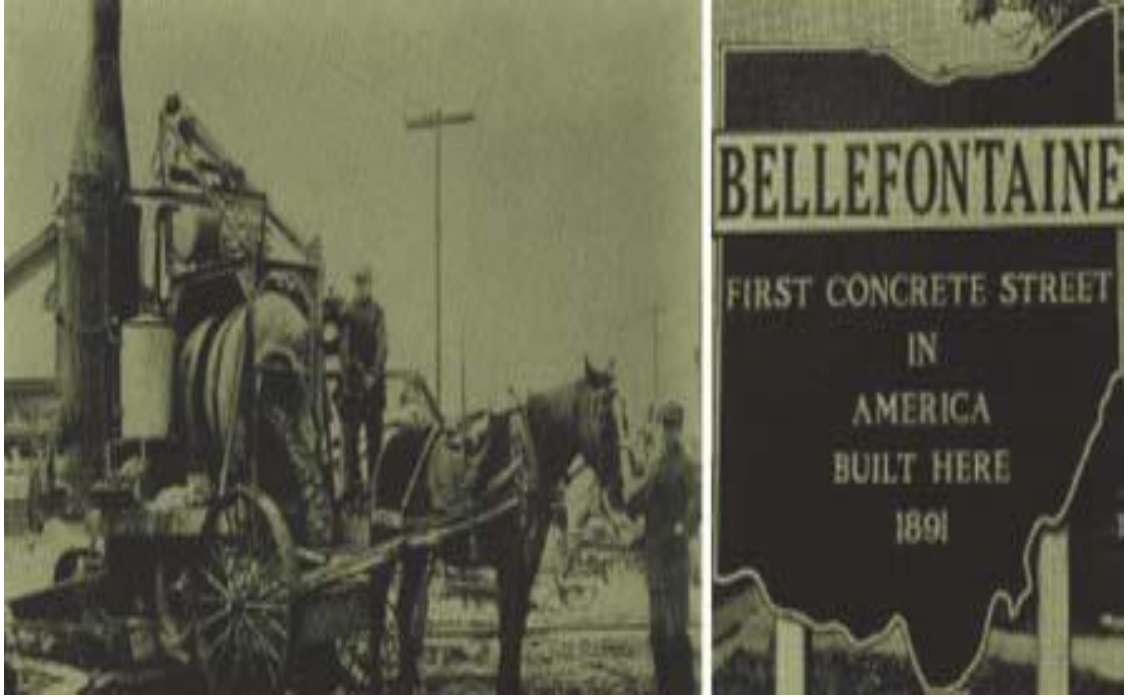
artış oranı durumlarında esnek üstyapılar uygun olmaktadır. Ekonomik ölçütlere göre üstyapı seçimi yapıldığı takdirde, ömür boyu toplam maliyet, çimento, cüruf, uçucu külün bol ve kolay bulunması ve enerji azlığı durumlarında rijit üstyapılar, ülkedeki ilk yapım maliyeti ve ıskonto oranının yüksek olması halinde ve takviye çalışmalarında esnek üstyapılar uygun olmaktadır. Ancak, üstyapı tipi seçiminde, teknik ve ekonomik ölçütlerin birlikte dikkate alınması uygundur. Ölçütlerin tek olarak değerlendirilmesi, en uygun çözüm için yeterli olmamaktadır (Umar ve Ağar 1991).

## **2.5. Beton Yollar**

### **2.5.1. Beton yolların tarihçesi**

Romalıların M.Ö. I. y.y.'da puzolanik bağlayıcılarla bir araya getirilmiş taşlardan yaptıkları yollar, bugünkü beton yolların tarihte ilk örnekleri sayılabilirse de, bugünkü anlamıyla beton yollar konusundaki ilk denemelere 19. y.y. sonlarında, ABD'de rastlanmaktadır. 1891 yılında Ohio' da yapılan bir sokak, bilinen en eski beton yoldur. Bu beton yol, Chicago Uluslararası Fuarı tarafından 1893 yılında yol kaplama malzemelerinde en iyi mühendislik teknolojisi seçilmiş ve bu yeni tekniğin önünü açmıştır (Uçar 2002).

Zaman içerisinde beton üretim, taşıma ve yerleştirme teknolojisinin ilerlemesi (beton santralleri, transmikserler, beton pompaları, katkıları), deforme olmayan kalıpların bulunması vb. gelişmeler sayesinde beton uygulamalarında kalite artmış ve buna paralel olarak beton yol yapımı hız kazanmıştır. ABD'de yalnız 1960 ve 1970'lerde 70.000 km'lik beton yol ağı tamamlanmıştır. ABD'deki bu gelişmeleri Almanya, Belçika ve Japonya'daki projeler izlemiştir (Uçar 2002).



**Şekil 2.4.** Ohio ‘da hala kullanılan beton yol

Beton Yolların Kronolojik Tarihi;

- M.Ö. I. y.y. Romalılar’ın çimento benzeri puzolanik bağlayıcılar kullanarak yaptıkları yollar
- 1865 İskoçya’da ilk beton yol denemeleri
- 1880 Avustralya’da ilk beton yolların yapılmaya başlaması
- 1891 Ohio’da Amerika’nın, bugün de kullanılmakta olan ilk beton yolunun yapılması
- 1913 Arkansas’ta Amerika’nın ilk beton otoyolunun yapılması
- 1914 Amerika’da 3.500 km beton yol yapımının tamamlanması; yol yapımında “Silindirle Sıkıştırılan Beton” (Roller Compacting Concrete) kullanılmasına başlanması
- 1924 Fransa’da beton yol yapımı programının başlatılması
- 1930 Almanya’da 4.000 km uzunluğunda beton otoyol yapımına başlanması, İsviçre, Belçika başta olmak üzere, diğer Avrupa ülkelerinde de beton yol yapımının başlaması
- 1950 Kayar kalıp kullanımıyla beton yol yapımında hız ve kalitenin artması



– 1960 – 70 ABD ve Kanada’da beton yol yapımının yoğunlaşması; ABD’de 70.000 km beton yol yapılması.

1990 Beton teknolojisindeki ilerlemelerle beton yol yapımında yeni gelişmelerin kaydedilmesi : Betonda lif kullanımı, öngerme teknolojisi, akıcı-kuru kıvamlı beton üretimi vb. (Uçar 2002).

### **2.5.2. Türkiye’de beton yol**

1985-1990 ‘lı yıllarda Adana Büyükşehir Belediyesi tarafından başlatılan Yeni Adana Projesi kapsamındaki planlı şehirleşme uygulamalarında birçok bulvar beton yol olarak yapılmıştır. Günümüze kadar herhangi bir bakım ve onarım gerektirmeden hizmet veren bu yolların daha da uzun yıllar hizmet vereceği görülmektedir (Ulusoy 2010).

Türkiye’deki ilk beton karayolu TÇMB tarafından finanse edilmiş ve bir Türk müteahhit firması tarafından Afyonkarahisar’da başarı ile inşa edilmiştir. Beton yolun ilk maliyetinin asfalt yola yakın olması beton yolların yapımının Türkiye için de uygun olduğunu göstermiştir. KGM bölünmüş yolun diğer kısmının asfalt betonu yapacağını bildirmiştir. Bu sayede çimento betonu ve asfalt betonu yolların aynı şartlar altında karşılaştırılması mümkün olacaktır (Ulusoy 2010).

1950 yılındaki kuruluşundan günümüze dek KGM sadece asfalt yollar yapmıştır. KGM personeli ve karayolu müteahhitleri asfalta alıştığından dolayı, beton yol yapımı gibi yeni bir teknolojiye karşı biraz da çekingenlik ve kararsızlık oluşmuş bulunmaktadır. Bu psikolojik etkinin yanı sıra beton yolun asfalttan daha pahalı olduğu yönündeki yanlış düşünce bugüne kadar ülkemizde beton yolların yapımını engellemiştir. Afyon’daki beton yol yapıldıktan ve denendikten sonra beton yolların Türkiye’de de özellikle ağır trafik yükü olan, zayıf zemin özellikleri gösteren, sıcak iklimli bölgelerde tercih edileceği umulmaktadır (Ulusoy 2010).

### **2.5.3. Beton yol tipleri**

Çimento betonu ile yapılan kaplama tipine denir. Şehir içi yollarda, orta ve ağır trafik yoğunluğu olan yollarda kullanılan kaliteli bir kaplama tipidir. Beton yollar üç çeşide ayrılabilirler;

- Derzli donatısız beton kaplama
- Derzli donatılı beton kaplam
- Derzsiz donatılı beton kaplama

#### **i. Derzli donatısız beton yollar**

Derzli donatısız beton yollar, 3-6 m. uzunluğunda kısa anolardan oluşur. Bloklar 125-350 mm. kalınlığında olup donatı çeliği içermezler. Derzler zayıflatılmış yüzey kasılan tipte olup geçmeli veya geçmesiz olabilirler. Anolar genel olarak granüler malzeme, çimento veya bitümlü tabakalar üzerine inşa edilir (Anonim 2002).

Zayıf beton ve sıkıştırılmış kaba agregadan inşa edilen temeller, halen bazı eyaletlerde kullanılmaktadır. Temel tabakası kalınlıkları 100-200 mm. olabilir. Derzli donatısız beton yollarda kısa derz aralığı, ano ortası çatlamayı asgariye indirmek ve derz açıklıklarını nispeten küçük tutmak için kullanılır. Aynı sebepten dolayı bağlanmış boyuna derzler de buna dahildir. Derzlerde bağlantı yükü transferinde, malzeme kenetlenmesinden yararlanır. Ağır trafik taşıyan yollarda, özellikle nemli bölgelerde, yük transferini geliştirmek için beton demirleri veya daha ziyade stabilize temel tabakası kullanılır (Anonim 2002).

Gerek derzli donatısız gerekse derzli donatılı beton yollarda, plak ile alttemel arasındaki sürünmenin azaltılarak orta açıklıktaki çatlamların engellenebilmesi için bir ayırma membranına ihtiyaç duyulur (Anonim 2002).

## **ii. Derzli donatılı beton yollar**

Derzli donatılı beton yollar, uzunlukları 8-30 m.lik anolardan oluşur. Blok kalınlıkları 150-350 mm. olup, ortalarında donatı ağı geçmektedir. Temel tabakası kalınlığı 100-200 mm. dir (Anonim 2002).

Daha uzun derz aralığı verildiğinde kurumadan dolayı büzölmeye ve ısıdan dolayı kıvrılmaya bağılı olarak bu tür kaplamada çatlaklar oluşur. Donatı çeliğı kullanılması amacı da bu ano ortası çatlaklarının oluşmasını engellenmesidir. Çatlakları sıkı tutarak, yük transferinin sağlanması donatı tarafından yapılır. Burada donatı, beton bloğun esneklik kapasitesini artırmak için kullanılmamaktadır (Anonim 2002).

Daha uzun derz aralığı kullanılması ayrıca daha büyük derz açıklıklarına neden olur. Dolayısı ile derzler arası yük transferini sağlamak için donatı çubukları kullanılır. Derzli donatılı beton yollar donma ısısındaki bölgelerde ve nemli bölgelerdeki şehirlerarası yollarda yoğun olarak kullanılmaktadır. Derzli donatılı beton yollar, enine derz aralıklarının artırılmasına olanak tanıyan donatılar dışında derzli donatısız beton yollar ile benzerdir (Anonim 2002).

## **iii. Sürekli donatılı beton yollar**

Sürekli donatılı beton yollar, enine derzler olmaksızın döşenen beton bir plaktan oluşur. Yüksek donatı içeriğı buna olanak tanır ancak diğeri tüm betonarme yapılarda olduğu gibi, donatılar çatlakları önlemez sadece kontrol altında tutar. Donatı plak boyunca sürekli olarak vardır ve derzler yalnızca her gün iş bitiminde konulur. Plak kalınlıkları 150-250 mm. olur. Bu tür kaplamalarda derzli donatılı beton yollardan oldukça fazla donatı vardır. Genel olarak kesit alanının %5-%7'i kadardır (Anonim 2002).

Uzun derz aralıklarının bir sonucu olarak, bu tür kaplamalarda kaplama ömrünün ilk birkaç yılı boyunca 0.6-2.4 m. lik aralıklarla enine çatlaklar oluşur. Bu çatlaklar plak içindeki donatı çeliğı sağlam olduğu sürece sıkıca kapalı kalırlar. Eğer donatı yüksek

çekme gerilmelerine karşı koyamayacak durumda ise, enine çatlaklar açılarak bozulabilirler. Uzunlamasına çatlaklarla birleşen bozulmuş çatlak bölgeleri, ciddi kaplama bozulmasına işaret eden, yüzeysel oyulmalara (zımbalama etkisi) yol açabilir. Plak desteğini artırmak ve tekerlek yükleri altındaki ano gerilmelerini azaltmak için bu kaplama ile birlikte genellikle bir stabilize temel kullanılır (Anonim 2002).

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

#### **iv. Beton yolların farklı yapım tekniğine bağlı biçimleri**

Dünyada uygulanmış ve uygulanması için araştırılmış bir çok rijit üstyapı tipi bulunmaktadır. Bunlardan en yaygın kullanılan ve ülkemizin fiziksel, teknolojik ve ekonomik koşullarına en uygun olacağı düşünülen ve yurdumuzdaki çeşitli yayınlarda üzerinde tartışılmakta olan rijit üstyapı tiplerinin bazıları avantaj ve dezavantajlarıyla aşağıda açıklanmaya çalışılmıştır.

#### **Kalın plak kaplamalar**

Kaplama ve temel tabakalarını, mevcut makine donanımı ile bir tek geçişte dökerek işlem sayısı azaltılmaktadır. Kalın plak uygulamalarında kaplamanın harekete karşı olan eylemsizliği artar. Derzlerde dingil yüklerinin aktarımı iyileşir. Betonun rötresi azalır. Isı değişikliklerine karşı duyarlılık düşer. Bileşimde tane boyutu daha büyük olan agrega kullanılarak, ince agrega ve çimento oranları azaltılabilir. Bu olanak; eğimi yüksek yol kesimlerinde ve dever uygulamalarında kolaylık sağlar (Edis 2007).

Beton üretimi, ulaştırılması, dökümü, serilmesi, sıkıştırılması tek işlemlerle yapılabildiği için yatırım maliyetlerinde önemli ölçüde düşüşe neden olur. Kaplama plağının eylemsizliği yüksek olduğundan, iyice azaltılmış olan plak köşe ve kenarlarındaki çökmeler, ince tanelerin ayrılmasıyla derzlerin açılmasına ve pompaj olayının başlamasına ortam oluştururlar. Kalın plak uygulamaları elverişli görünmesinin yanında, dingil yüklerinin tekrarından ve iklim değişikliklerinden kaynaklanan zorlamalar altında davranışlarının iyice tanımlanması için plakların deneylere tabi tutulması gerekir (Edis 2007).

### **Lifli beton plak kaplamalar**

Çimento, agrega ve liflerden oluşan betona lifli beton denir. Lifler genellikle süreksiz ve beton içine homojen dağılmış olarak yer alır. Betonu takviye etmek için uygun olan lifler, çelik, cam, seramik ve polimer kökenli olur. Liflerin çeşitli boyutları ve biçimleri bulunmaktadır. Lifi tanımlayan en uygun parametrenin “boy/çap oranı” olduğu kabul edilmektedir. Bu parametre lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle bulunur. Eşdeğer lif çapı, alanı lifin enkesit alanına eşit olan dairenin çapı olarak alınır (Edis 2007).

Yol betonlarında en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, tokluğunu, yorulma direncini ve çatlama karşı direncini hissedilir düzeyde iyileştirmektedir. Teorik olarak betonda kullanılacak lif miktarı %4 –5’i kadar olsa da bu oran inşaat alanlarında liflerin topaklaşma risklerinden dolayı en fazla %2 olarak uygulanır (Edis 2007).

Betonun içine 4 cm uzunluğunda ve 0.4 mm çapında çelik tel parçaları konması durumunda, malzemenin çekme gerilmelerine karşı direnci artmakta, ayrıca betonun gevrekliği azalmaktadır (Edis 2007).

### **Ön gerilmeli beton kaplamalar**

Yeterli bir ön gerilme işlemi uygulamak suretiyle, gerilmeler yönüyle homojen duruma getirilen beton plakda, ısı değişikliklerinden ve mekanik zorlamalardan kaynaklanabilecek çekme gerilmeleri oluşmamakta, bu sayede plak kalınlıklarının, taşıma gücü yüksek tabakalar üzerinde 12–15 cm'ye kadar düşürülebilmesi mümkün olmaktadır (Edis 2007).

Ön gerilmeli plak, dingil yüklerinin uygulanmasından önce plakda yatay yönde basınç gerilmelerinin oluşmasını sağlayan tek döşeme türüdür. Yapılan araştırmalar ve deneyimler, ön gerilmeli plağın, en az iki konuda olumlu etkisinin bulunduğunu göstermiştir. Yol malzemeleri daha etkin ve ekonomik bir biçimde kullanılabilir (Edis 2007).

Ön gerilmeli plağın tasarım aşamasında taban zemininin taşıma durumu, plak uzunluğu, ön veya ard germe işleminde uygulanacak kuvvet değerleri, ön gerilmeli donatı ve ankraj aralıkları gibi özellikler dikkate alınmalıdır (Edis 2007).

### **Silindirle sıkıştırılan beton (SSB) kaplamalar**

Silindirle sıkıştırılabilen beton (SSB) kaplamalar, geleneksel beton kaplamalara göre yeni bir beton kaplama türü olup, karıştırılması, serilmesi ve sıkıştırılması, beton asfalt kaplamalarda kullanılan benzer teknikler kullanılarak yapılmaktadır. Geleneksel beton kaplamalara göre daha düşük su/çimento oranına sahip olan SSB kaplamalar, bitümlü kaplama yapımında kullanılan araçlarla taşınabilmekte, serilebilmekte ve sıkıştırılabilmektedir. SSB kaplamalar genellikle çift tamburlu titreşimli silindir ile sıkıştırılmaktadır. SSB ismini, kaplamanın yapım yönteminden almaktadır. Bu yapım tekniği kullanılarak, büyük miktarda beton, donatısız olarak yerleştirilmektedir. SSB kaplamaların maliyeti, geleneksel beton kaplamalardan %10 ile %30 arasında daha düşüktür (Edis 2007).

SSB kaplamalar; genellikle düşük hızlı ağır taşıt trafiğine sahip olan yol kesimleri ile havaalanı pisti ve taksi yolları gibi mukavemet, dayanıklılık ve ekonominin çok önemli olduğu yerlerde kullanılmaktadır (Edis 2007).

SSB'nin, geleneksel betondan farklı özellikleri şunlardır:

- SSB, hava kabarcıklı beton değildir,
- SSB, düşük su oranına sahiptir,
- SSB, düşük çimento, uçucu kül ve su oranına sahiptir,
- SSB'de ince agrega oranı yüksektir (Edis 2007).

### **Kendinden yerleşebilen betonlar**

Katkı maddesiyle akışkan hale getirilmiş yüksek mukavemete sahip betonlardır. Bu betonların avantajları arasında; çok yüksek mukavemet, durabilite, şekil verilebilme kolaylığı, iş gücü azalması vb. sayılabilirken dezavantajları arasında küre karşı hassasiyet, rötre çatlaklarının çabuk oluşumu ve ilk yatırım maliyetinin yüksek olması sayılabilir. Bu betonların rijit üst yapılarda kullanılması henüz araştırılmamış bir konudur (Edis 2007).

### **Sürekli betonarme yol kaplamaları**

Çimento betonunun sakıncalı özelliklerinden biri, büzülme, nem ve sıcaklık değişimleri ile çatlama eğilimidir. Geniş yüzeyli beton kütlelerinde kaçınılmaz olarak gelişen bu karakteristik, yol üstyapısında çatlakların belirmesine ve hızla genişleyip derinleşmesine yol açar. Klasik beton yol teknolojisinde, beton plaklar, tasarım aşamasında planlanan aralıklarla yapılacak enine ve boyuna derzlerle parçalara bölünmektedir. Bu çözüm geniş çatlakların ortaya çıkmasının bir dereceye kadar önlenmesini ve en önemlisi, plak süreksizliklerinin belirli yerlerde oluşmasını sağlar. Dingil yüklerinden kaynaklanan tekrarlı zorlamalar ayrıca iklim koşullarının sürekli değişimi derzlerin açılmasına, diğer

tarafından geçirimsiz malzemelerle doldurulmuş olmasına rağmen, derz aralıklarından giren suların taban zeminine doğru sızmasına neden olur (Edis 2007).

Sürekli betonarme yolların üstünlük ve faydaları aşağıda beş kalemde toplanmıştır:

i. Plağa yerleştirilecek donatı yardımıyla büzülme çatlaklarını denetim altında tutmak mümkün olmaktadır. Oluşan çatlak aralıkları 1-3, açıklıkları ise 0,5 mm dolayında olur. Bu özellik, yüklerin ve zorlamaların iyi nakledilmesinde ve donatıların paslanmasının önlenmesinde önemli rol oynar.

ii. Kullanılan malzemeler yorulmaya karşı yüksek dirence sahiptir. Bu bakımdan mekanik dayanıklılığı yüksek bir üstyapı elde edilir.

iii. Sürekli betonarme plağın sahip olduğu yüksek rijitlik sayesinde taban zemininin bir kesiminden diğerine değişebilen taşıma gücü özelliklerine az duyarlıdır.

iv. Derzlerin bulunmaması, bakım ve onarım maliyetlerini büyük oranda düşürür, seyir konforunu ise artırır.

v. Deneyimler, sürekli betonarme yol üstyapılarının yüksek kalitesi dolayısıyla otoyollar için ideal bir kaplama tipi olduğunu göstermiştir (Edis 2007).

Sürekli betonarme yollara ilişkin teknik sınırlamalar ise aşağıda yer alan iki madde ile özetlenebilir:

i. Kaplama yüzeyi için gerekli görülen aşınmaya ve kaymaya karşı direnç özellikleri, plağın bünyesinde aranan çekmeye karşı direnç özelliğinden daha sınırlayıcıdır. Buna göre çimento dozajının düşürülmesi, ayrıca kaliteli agrega kullanılması zorunluluğu ortaya çıkar.



ii. Temelin rijit olması veya mevcut üstyapının takviyesi durumunda, tasarım aşamasında bulunan plak kalınlıkları, standartlarda belirtilen minimum değerlerin altında kalabilir. Ancak kalınlıkları tasarımda hesaplanan değerlere düşürmek mümkün değildir. Aksi durumda plağın sehim yapması riski ortaya çıkar (Edis 2007).

#### **2.5.4. Rijit üstyapılarda kullanılan malzemeler**

Klasik çimento betonu üst yapı tekniğinde karışım, yerine kalıplama ve vibrasyon yöntemiyle yerleştirilir. Böylelikle malzeme ve bileşenleri işlem sırasında karışıma zarar verici zorlamalara maruz kalmazlar. Bu olgu yapı bünyesine giren bileşenlerin en uygunlarının seçiminde olumlu yönde rol oynar. Sonuçta yerel malzemelerin en iyi kullanımı ve maliyetlerde tasarruf söz konusudur (Giriş 2007).

Betonun bileşenleri çimento, mineral agrega, su, zaman zaman çelik donatı, işlenebilirliği arttıran veya prizi geciktirici kimyasal katkılardır. Bu etkenlere, betonun kuru için gereken malzemeler ve derz dolgu malzemeleri de eklenebilir. Belirtilen bileşenlerin her birinin yapıda ve karışımda, çok iyi tanımlanmış rolü ve etkisi bulunmaktadır. Ayrıca her bileşenin, amaçlanan özelliklerin elde edilmesinde önemli katkısı vardır. Bu nedenle her bir bileşenin karışımdaki görevinin gözden geçirilmesi, ilgili kural ve sınırlamaların tayini, kullanım sırasındaki özel koşulların belirtilmesi gerekli olmaktadır (Giriş 2007).

Beton yol döşeme kalınlıkları genellikle 0,15 m'den daha fazla olarak imal edilirler. Beton dökme tek geçişle gerçekleştirilirler. Bazı bileşenlerin tüketim değerleri son derece büyük miktarlara ulaşacağından, malzeme sağlanması, depolama alanlarının oluşturulması ve şantiyenin optimum düzeyde organizasyonu konularının son derece dikkatli incelenmesi gerekmektedir (Giriş 2007).

## **i. Çimento**

Beton yol üstyapı uygulanmasında standartlara ve uygun ve çabuk işlenebilme bakımından belirli ek koşulları sağlayan bazı çimento türleri kullanılmaktadır (Giriş 2007).

Genel tanım olarak çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve nihayet sertleşen ince taneli malzemedir. Tane boyutları büyük oranda 90 mikronun altına düşürülmüştür. Çimento, kimyasal yönden duyarsız iri çakıl, kırma taş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim, ana bileşen olarak portland klinkleri yanı sıra, puzzolanların, yüksek fırın cürufalarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır (Giriş 2007).

Çimentonun karışımındaki ana görevi, katılacak betona mekanik mukavemetini sağlamaktır. Çimentonun ince taneli dokusunun, kalıba yerleştirilmiş betonun yoğunluğunun arttırılmasında ve priz öncesi karışımın işlenebilirliğinde önemli rolü bulunur. Betonun mukavemetinin yükseltilebilmesinde işlenebilirlik ve yoğunluk en önemli etkidir. Çimentonun hidratasyonu süresince, malzemenin rötreye yapması ve ısı yayılması eşlik eder. Beton malzemesinde rötreye, çimentonun su ile temasında başlar, ancak çimentonun bileşenlerinin fonksiyonu olarak, belirli bir süre sonra hızla gelişir. Betonun taşınması ve kalıba yerleştirilmesi işlemi bu bakımdan kısa sürede gerçekleştirilmelidir. Priz süresi, ısı oluşması ve malzemenin büzülmesi büyük ölçüde çimento bileşenlerinin oranlarına ve tane inceliğine bağlıdır (Giriş 2007).

Çimentolar su ile kimyasal reaksiyon sonucu, havada veya su altında katılıp serleşebildikleri için hidrolik çimentolar olarak isimlendirilirler. Su – çimento kimyasal reaksiyonuna “hidratasyon” denir (Giriş 2007).

## Çimento Tipleri

### Genel çimentolar

Genel çimento ailesi aşağıdaki beş ana tipte olmak üzere gruplandırılmış ve işaretleri Çizelge 2.2’de verilmiştir.

- CEM I Portland çimentosu
- CEM II Portland-kompoze çimento
- CEM III Yüksek fırın cürüflü çimento
- CEM IV Puzolanik çimento
- CEM V Kompoze çimento

Genel çimento ailesindeki ürünlerin her birinin bileşimi Çizelge 2.2.’ye uygun olmalıdır. Sülfata dayanıklı genel çimentoların ailesindeki yedi üründe aşağıdaki çizelgede verilmiştir. Bu çimentolar aşağıdaki gibi üç ana çimento tipi olarak gruplandırılmışlardır;

Sülfata dayanıklı Portland çimentosu:

- CEM I-SR 0 Sülfata dayanıklı Portland çimentosu (klinkerin C<sub>3</sub>A içeriği = %0),
- CEM I-SR 3 Sülfata dayanıklı Portland çimentosu (klinkerin C<sub>3</sub>A içeriği ≤ %3),
- CEM I-SR 5 Sülfata dayanıklı Portland çimentosu (klinkerin C<sub>3</sub>A içeriği ≤ %5),

Sülfata dayanıklı yüksek fırın cürüflü çimento:

- CEM III/B-SR Sülfata dayanıklı yüksek fırın cürüflü çimento (klinkerin C<sub>3</sub>A içeriği için şart yok),
- CEM III/C-SR Sülfata dayanıklı yüksek fırın cürüflü çimento (Klinkerin C<sub>3</sub>A içeriği için şart yok),

Sülfata dayanıklı puzolanik çimento:

- CEM IV/A-SR Sülfata dayanıklı puzolanik çimento (klinkerin C3A içeriği  $\leq$  %9),
- CEM IV/B-SR Sülfata dayanıklı puzolanik çimento (klinkerin C3A içeriği  $\leq$  %9).

Sülfata dayanıklı genel çimentoların ailesinde yedi ürünün her birinin bileşimi çizelgedeki gibi olmalıdır. Çimento tipine ait işaret, CEM I çimentoları için SR 0, SR 3, SR 5 ve CEM III ve CEM IV çimentoları için sadece SR ile ilave işaretlerle bu standardın gereklerine uygun olmalıdır (Tse 197-1).

**Çizelge 2.2.** Sülfata dayanıklı genel çimentoların ailesindeki yedi ürün

Ana Tipler	Yedi ürünün işareti (Sülfata dayanıklı genel çimento tipleri)		Bileşim (kütlece <sup>a</sup> %olarak)				
			Ana bileşenler				Minör ilave bileşenler
			Klinker K	Yüksek fırın cürufu, S	Doğal puzolan, P	Silissi uçucu kül, V	
CEM I	Sülfata dayanıklı Portland çimentosu	CEM I-SR 0	95 - 100				0 - 5
		CEM I-SR 3					
		CEM I-SR 5					
CEM III	Sülfata dayanıklı yüksek fırın cürufu çimento	CEM III/B-SR	20 - 34	66 - 80	-	-	0 - 5
		CEM III/C-SR	5 - 19	81 - 95	-	-	0 - 5
CEM IV	Sülfata dayanıklı puzolanik çimento <sup>b</sup>	CEM IV/A-SR	65 - 79		21 - 35		0 - 5
		CEM IV/B-SR	45 - 64		36 - 55		0 - 5

<sup>a</sup> Çizelgedeki değerler ana ve minör ilave bileşenlerin toplamına atıf yapmaktadır.

<sup>b</sup> CEM IV/A-SR ve CEM IV/B-SR tipindeki sülfata dayanıklı puzolanik çimentolarda klinker dışındaki ana bileşenler çimentoya ait işaretle beyan edilmelidir (Örneğin Madde 8'e bakılmalıdır).

### **Düşük erken dayanımlı genel çimentoların bileşimi ve işareti**

Düşük erken dayanımlı genel çimentolar, Çizelge 2.1’de belirtilen CEM III yüksek fırın cürüflu çimentolardır. Erken dayanım gerekleri nedeniyle diğer genel çimentolardan farklıdır (Madde 7.1.2’ye bakılmalıdır). Çizelge 2.2’deki gereklere uygun olan düşük erken dayanımlı CEM III çimentoları, sülfata dayanıklı genel çimentolar olarak da beyan edilebilir.

### **Çimento bileşenleri**

Çimento ; Ana bileşen olarak, Portland çimentosu klinkeri, Granüle yüksek fırın cürufu, Puzolanik malzemeler, Uçucu küller, Pişmiş şist, Kalker, Silis Dumanı, Ek bileşen olarak ta; Minör ilave bileşenler, Kalsiyum sülfat ve Kimyasal katkılardan oluşmaktadır.

### **ii. Agregalar**

Beton agregası doğal kum ve çakıl karışımlarından, ayrıca yapay kırma taş (mıcır) malzemeden meydana gelir. Doğal agregalar taş ocaklarından, kurak mevsimde dere ve göl yataklarından, deniz ve nehir tabanlarından, çöllerden elde edilirler. Bu takdirde agregalar yuvarlak biçimli olup, “doğal kum” veya “çakıl” olarak adlandırılırlar. Hedeflenen boyutların elde edilebilmesi için iri taş kütleleri konkasörde kırılıp agrega daha ufak tane boyutuna indirgenebilir. Bu durumda taneler köşeli ve pürüzlü yüzeyle olup, “kırmataş – mıcır” veya “kırma kum” adlarını alırlar (Giriş 2007).

Beton üretimine uygun nitelikteki bir agrega temiz, set ve sağlam olmalı, bu özelliklerinin yanı sıra suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir. Beton üretiminde kullanılacak agregaların yuvarlak (küresel) biçimde olması, işlenebilirlik yeteneğini ve betonun doluluğunu (kompasitesini) arttıracak nitelik gösterir. Bu bakımdan vibrasyon yöntemiyle kalıba yerleştirilecek olan betonlarda yuvarlak biçimli doğal agrega tercih edilir. Aşınma

tabakasını oluşturan üst betonda uygulanacak agreganın basınç direnci yüksek (en az 1500 kgf/cm<sup>2</sup>), aşınma direnci büyük ve hava etkilerine dayanıklı malzemeden sağlanması gerekir. Kırmataşın (mıcırın) tane biçimi, kübik forma yeterince yakın olmalıdır. Yassı ya da uzun tane formlu mıcırlar, betonun işlenebilme yeteneğini azaltırlar. Kırmataş yapımına uygun kayaç cinsleri granit, diyabaz, kuvars porfiri, kalker, andezit ve benzerleridir. Alt beton için gerekirse basınç direnci 800 kgf/cm<sup>2</sup>'den az olmamak üzere tortul kayaçlar da kullanılabilir (Giriş 2007).

### **Agregaların sınıflandırılması**

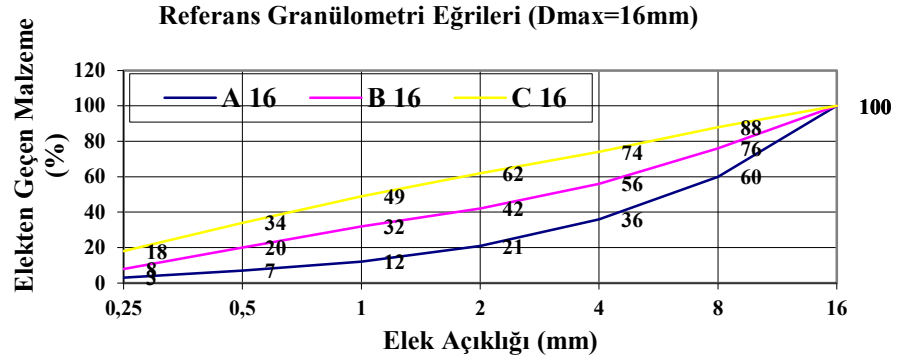
Agregada sınıflandırma, tane boyutlarına göre yapılır. 4 mm kare gözlü elekten geçen malzemeye "ince agrega" ve "kum", bu eleğin üzerinde kalan malzemeye de "iri agrega" denir. Ocak taşlarının konkasörde kırılması sırasında elde edilen ve 0,25 mm kare gözlü elekten geçen malzeme "taş unu" veya "filler" adını alır. Taş unu, taze betonun kohezyonunun arttırılması amacıyla kullanılır. Rijit üstyapı betonlarında kırma kum kullanılması, ancak doğal kumun bulunmasında büyük güçlüklerle karşılaşıldığı zaman uygun görülmektedir. Bu durumda 4 mm'den büyük taneler de kırma malzeme olabilir. Buna karşılık daha ince malzemenin kırılmamış doğal kökenli olması gereklidir (Giriş 2007)

**Çizelge 2.3.** Beton agregaları tane boyutu grupları

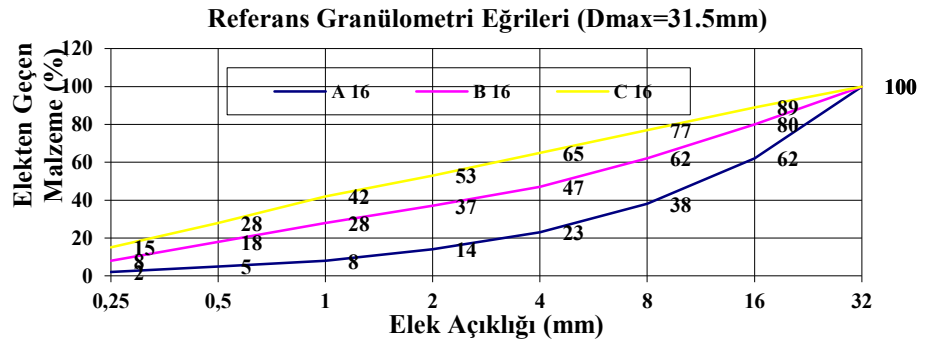
Beton Sınıfı (BS)	Karışımındaki En Büyük Tane Boyutu (mm)														
	8			16			32				63				
	Tane Boyutu Grupları														
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	4	1	2	3	4	5
14															
16	0/4	4/8	-	0/4	4/16	-	0/4	4/32	-	-	0/4	4/32	32/63	-	-
20							0/4*	4/16	16/32	-	0/4*	4/16	16/32	32/63	-
25															
30															
35							0/2	2/8	8/32	-	0/2	2/8	8/32	32/63	-
40	0/2	2/4	4/8	0/2	2/8	8/16	0/2*	2/8	8/16	16/32	0/2*	2/8	8/16	16/32	32/63
45															
50															

Uygun karışımın sağlanması, önce agreganın elek serisinden elenip, tane boyutu sınırlarına göre kümelenmesi, daha sonra standartlarla saptanmış küme miktarlarına göre ilgili boyut eksikliklerinin hesaplanması ve gereken miktardaki agrega kümesinin eklenmesi yöntemiyle gerçekleştirilir. Sistemin kontrolü standart granülometri (tane dağılımı veya gradasyon) eğrileri ile karşılaştırılarak yapılır. İncelemede belirli tane boyutundaki kümelerin yüzde olarak, yığın içinde hangi oranlarda buldukları saptanır. İri agrega için en az 5,0 kg, ince agrega için en az 1,0 kg olmak üzere agrega örneği elek serisinden elenir. Eleme en büyük boyutlu elekten başlanarak yapılır. Elek üzerinde kalan miktarlar ölçülür. Bu ölçümler yardımıyla her elek üzerinde kalan yığılımlı değerler ağırlık ve yüzde olarak hesaplanır. Daha sonra elek altına geçen yüzdeler hesaplanır. Sonuçlar grafik üzerinde gösterilerek granülometri eğrisi çizilir (Giriş 2007).

Çizelge 2.4. Dmax=16 mm referans granulometri eğrileri



Çizelge 2.5. Dmax=31.5 mm referans granulometri eğrileri



### iii. Su

Bir beton yol şantiyesinde, su aşağıda belirtilen 3 ana çalışma alanında kullanılır:

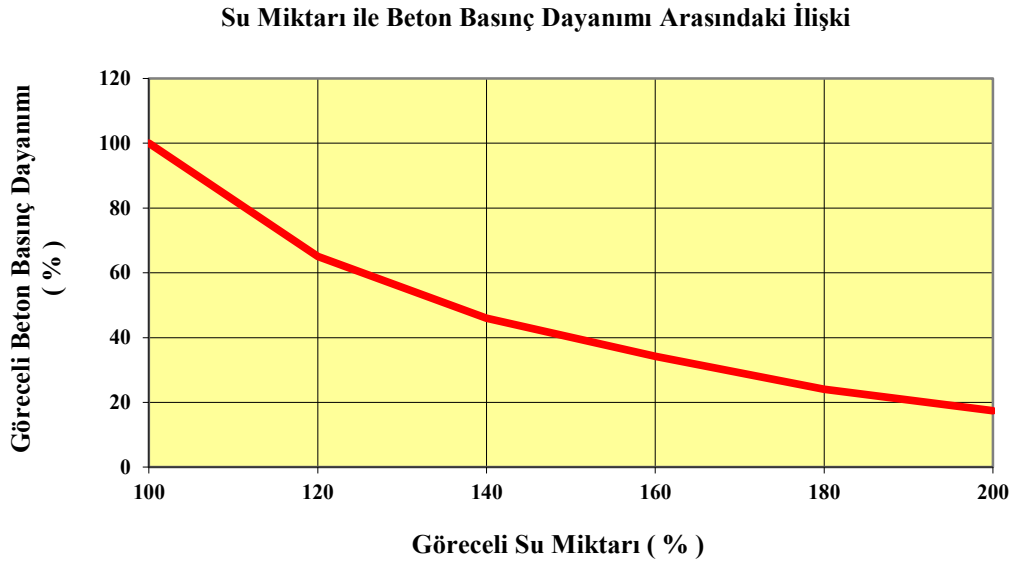
- Beton taşıyıcıların veya transmikserlerin yıkanmasında.
- Döküm sırasında temel tabakasının ıslatılmasında, karışıma su eklenmesinde.
- Derzlerin oluşturulması sırasında ve betonun kuru aşamasında (Giriş 2007).

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya özel itina gösterilmesi gerekmektedir. Çünkü beton malzemesinin önemli bileşenlerinden biri olan karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, betonun direncini ve işlenebilme yeteneğini etkileyebildikleri gibi, beton yüzeyinde lekelenmelere ve donatının korozyonuna yol açabilmektedir. Çeşitli standartlarda veya



şartnamelerde genelde betonun karma suyundan istenen nitelik “içilebilir su” olmasıyla belirtilmektedir (Giriş 2007).

**Çizelge 2.6.** Su miktarı - beton basınç dayanımı ilişkisi



#### iv. Donatılar

Klasik betonarmede, eğilme momentleri nedeniyle yapı elemanı üzerinde oluşan çekme gerilmelerinin beton yerine donatı ile karşılanması öngörülür. Betonun kusur olarak kaydedilebilecek olan özelliği, çekme gerilmeleri altında direncinin basınç gerilmeleri altındaki direncinden çok küçük olmasıdır. Basit çekme altında betonun direnci, basit basınç altındaki direncinin 1/10–1/12’si düzeyindedir. Kırılma birim boy değişimleri de basınç altında 0,002 ve basit çekme durumunda yine bunun 1/10’u kadar yani, 0,0002 mertebesinde. Betonun bu sakıncalı davranışı, taşıyıcı bir yapı elemanının kesitinde meydana gelen çekme gerilmelerini alacak şekilde taşıyıcı sistemin çekme bölgelerini çelik çubuklarla donatmak suretiyle giderilmiş bir betonarme olarak tanımlanan cisim oluşturulmuştur. Beton ile çeliğin arasındaki aderans nedeniyle beraber çalıştığı bu karma cisimde, çekme gerilmelerinin tamamı donatı tarafından, basınç gerilmelerinin tümü veya önemli bir kısmı beton tarafından alınmaktadır (Giriş 2007).

TS 500'de donatının tanımı, belirtilen ilke ışığında “betonla birlikte çalışmak üzere, yapı elemanlarının betonun içinden sıyrılmayacak bir biçimde yerleştirilmiş çelik çubuklar” ifadesiyle verilmiştir (Giriş 2007).

Bu genel ilkenin yanı sıra, yol betonlarında kullanılan donatıların diğer bir işlevi de, betonun rötresinden kaynaklanan şekil değiştirmelerin ve kılcal çatlakların, beton ve donatı arasındaki aderansın yardımıyla, uniform olarak dağıtılmasıdır. Bu durumda yüksek aderans sağlayan donatı tipleri seçilmelidir (Giriş 2007).

Beton yol inşaatında diğer bir donatı kullanma alanı da, derzlerdir ve düşey yük transferinin sağlanması için “kayma demirleri” kullanılır. Bu demirlerin çapları plağın kalınlığına bağlı olarak 20 mm'den fazla seçilir. Boyları genelde 80–100 cm'dir. Demirin yüzeyi kaymayı sağlamak için nervürsüz olmalıdır. Sertleşmiş betonun içinde, plağın genişmeden kaynaklanan şekil değiştirmesine engel olmamak için plastik veya bitümlü bir film tabakası ile kaplanmış olurlar (Giriş 2007).

Derzlerin veya çatlakların zamanla açılıp genişlemelerini önlemek amacıyla kullanılan donatılara “bağlantı demiri” denmektedir. Yüksek aderanslı olan bu tip donatılar genellikle 12 mm çaplı ve en az 80-100 cm uzunluğunda olurlar (Giriş 2007).

#### **v. Beton katkı maddeleri**

Çimento ağırlığının en çok %5'i kadar bir oranda betona eklenen kimyasal katkı maddeleri, betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona ek yeni özellikler kazandırmak amacını taşırlar. TS 3452 ve TS 3456'da tanımları, özellikleri ve kullanım ilkeleri düzenlenmiş olan beton katkı maddeleri toz halinde veya sıvı olarak kullanılırlar. Toz halinde elde edilebilen türlerinin, beton karıştırıcısına verilmeden önce sulandırılmaları gerekir. Çok sayıda ve çok farklı amaçlar taşıyan katkı maddeleri üretilmektedir. Katkı maddeleri konusunda şu ana prensipler unutulmamalıdır (Giriş 2007):

- i. Kurallarına uygun üretilmeyen bir betonu katkı maddeleri ile iyileştirmek imkansızdır. Önce beton katkısız durumda yeterli niteliklere sahip olmalıdır.
- ii. Piyasada satılan tüm katkıların kendilerinden beklenen işlevleri yerine getirmesi olasıdır. Ancak katkı ile çimento ve hatta agregaların uyuşması gerekir, bu uyuşum önceden yapılacak deneylerle kanıtlanmalıdır.
- iii. Satıcıların önerdikleri katkı miktarları da her özel durum için gerekli olmayabilir. Bu oranların da ön deneylerle kontrolü gerekmektedir.
- iv. Katkılarda ana işlevler yanında ikincil işlevler de olabilir. Bu ikincil etkiler negatif yönde de olabilir, yani betonun niteliklerini bozabilir. Bu hususun gözden uzak tutulmaması gerekir.
- v. Birden fazla katkı aynı zamanda kullanıldığında beklenen iyileştirici sonuçlar azalabilir ve hatta kaybolabilir. Bu hususun olmadığının da ön deneylerle saptanması zorunludur (Giriş 2007).

Çeliği paslanmadan koruyan, böceklenmeyi önleyen, betonu renklendiren, gaz oluşturan ve pompalamaya yardımcı katkıların yanı sıra asıl ürünler şu ana gruplar içinde toplanabilir:

- i. Akışkanlaştırıcı (su kullanımını azaltıcı) katkıları
- ii. Süper akışkanlaştırıcılar
- iii. Prizi hızlandırıcı katkıları
- iv. Prizi geciktirici katkıları
- v. Hava sürükleyici katkıları
- vi. Geçirimliliği azaltıcı katkıları (Giriş 2007)

### **2.5.5. Beton yol karışım tasarımı**

Beton yollar, üzerinden geçen trafik yoğunluğuna göre değişik şekilde tasarlanabilmektedir.

Hafif trafik için ( $T_{8.2} = 0.5 \cdot 10^6 - 1.0 \cdot 10^6$ ) C30,

Orta trafik için (T 8.2 =5\*1E+6 – 20\*1E+6) C35,

Ağır trafik için (T 8.2 =50\*1E+6) C40 beton sınıfı kullanılması önerilmektedir. (Pancar 2008; TÇMB 2002)

T 8.2 = 8.2 ton' luk standart dingil yükü

Yoğun trafiğe maruz kalan yollar için minimum dozaj 400 kg dır. En çok, düşük alkalili çimento ve cürufu çimento kullanılmaktadır. Agregada sürekli granülometri kullanılması önerilmektedir (Pancar 2008; Anonim 2002).

**Çizelge 2.7.** Yol betonu için granülometri



### Çimento Düzeyi S/Ç Orantısı Kum/Çimento Orantısı

Kategori I  $400 \leq 0.45 \leq 1.4$

Kategori II  $350 \leq 0.50 -$

Kategori III  $325 \leq 0.50 -$

















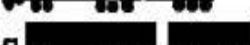


**Çizelge 2.8.** Betonun kullanım yerlerine göre karışım içerikleri (Pancar 2008; Anonymous 2011)

Beton Sınıfı	Toplam Çimento İçeriği (kg/m <sup>3</sup> )	Kum %Toplam Agregası (katı hacmi)	Su/Çimento (kütlece)	Hava İçeriği %Önerilen (aralık)	Slump Aralığı (mm)	Kaba Agregası Türü	Birincil Kullanımı
C6	359	35.8	0.44	6.5 (5.0-8.0)	25-75	CA 2	Kaplama: finişerli kaplama, kalıp kaplama
F	425	34.6	0.38	6.5 (5.0-8.0)	50-75	CA 2	Kaplamalarda yada yapısal uygulamalarda
D	430	45.8	0.44	7.5 (6.0-9.0)	65-90	CA 1	İnce yapısal uygulamalarda

#### 2.5.6. Rijit üstyapıların yapımı

Beton kaplamalı yolların performansını ve ömürlerini etkileyen faktörlerin başında yolun yapımına ait inşaat tekniği, kullanılan ekipmanlar, inşaat sırasında gösterilen titizlik ve düzenli kalite kontrol gelmektedir. Son yıllarda bu konuda hem yapım teknikleri hem de ekipmanlar anlamında oldukça büyük gelişmeler kaydedilmiş olup, bu sayede çok daha kaliteli beton yolların yapımı gerçekleştirilebilmektedir (Anonim 2002).

**Çizelge 2.9.** Yol kaplama dizaynı için araç sınıflandırılması (Fwa 2007)

Açıklama		Toplam Aks Sayısı	Tek Aks, İkili Aks ve Üçlü Aks Sayısı
Küçük Yolcu Arabası		2	2T
Büyük Yolcu Arabası		2	2T
İki Akslı Kamyon		2	2T
İki Akslı Otobüs		2	2T
Tek Aks Römorklu Yolcu Arabası		3	3T
Üç Akslı Kamyon		3	1T-1İ
Üç Akslı Konteyner Kamyon		3	3T
İki Akslı Römorklu Yolcu Arabası		4	4T
Dört Akslı Kamyon		4	2T-1İ
Dört Akslı Konteyner Kamyon		4	2T-1İ
Beş Akslı Konteyner Kamyon		5	1T-2İ
Beş Akslı İki Parça Kamyon		5	5T
Altı Akslı İki Parça Kamyon		6	4T-1İ
Yedi Akslı İki Parça Kamyon		7	3T-2İ
Sekiz Akslı B-tren İki Parça Kamyon		8	1T-2İ-1Ü
Dokuz Akslı B-tren İki Parça Kamyon		9	1T-1İ-2Ü
Onbir Akslı B-tren İki Parça Kamyon		11	1T-5İ
Oniki Akslı B-tren Üç Parça Kamyon		12	1T-1İ-3Ü
Oniki Akslı B-tren Üç Parça Kamyon		12	1T-1İ-3Ü

\*Not: T tek akslı, İ ikili akslı ve Ü üçlü akslı araçlar için kullanılmıştır

**Çizelge 2.10.** Yorgunluk ve erozyon analizi (Fwa 2007)

Dingil Ağır. (kips)	Dizayn Yükü (kips)	Dizayn n	Yorgunluk		Erozyon	
			N1	(n/N1)	N2	(n/N2)
52T	62.4T	3,100	800,000	0.004	800,000	0.004
50T	60.0T	32,000	2.000.000	0.016	1.000.000	0.030
48T	57.6T	32,000	10.000.000	0.0032	1.200.000	0.027
46T	55.2T	48,000	Limitsiz	0	1.700.000	0.028
44T	52.8T	158,000	Limitsiz	0	2.000.000	0.079
42T	50.4T	172,000	Limitsiz	0	2.800.000	0.061
40T	48.0T	250,000	Limitsiz	0	3.500.000	0.071
30S	36.0T	3,100	25,000	0.124	1.700.000	0.002
28S	33.6T	3,100	70,000	0.044	2.200.000	0.001
26S	31.2T	9,300	200,000	0.045	3.000.000	0.002
24S	28.8T	545,000	800,000	0.682	5.000.000	0.033
22S	26.4T	640,000	10.000.000	0.064	9.000.000	0.071
Toplam				0.982		0.41

**Çizelge 2.11.** Üstyapı dizaynı için dingil ağırlık datası (Fwa 2007)

Tek Akslı		İki Akslı		Üç Akslı	
Dingil Ağırlığı (kN)	Tekrar Sayısı/gün	Dingil Ağırlığı (kN)	Tekrar Sayısı/gün	Dingil Ağırlığı (kN)	Tekrar Sayısı/gün
3'den Küçük	1438	40.03 – 48.93	2093	111.20 –120.01	588
	3391	48.93 – 57.82	1867	120.01 –128.99	515
34-22.24	3432	57.82 – 66.72	1298	128.99 –137.89	496
22.24 – 31.14	6649	66.72 – 75.62	1465	137.89 –146.78	448
31.14 – 40.03	9821	75.62 – 84.51	1743	146.78 –155.68	225
40.03 – 48.93	2083	84.51 – 93.41	1870	155.68 –164.58	372
48.93 – 57.82	946	93.41 – 102.30	2674	164.58 –173.47	474
57.82 – 66.72	886	102.30 –111.20	2879	173.47 –182.37	529
66.72 – 75.62	472	111.20 –120.01	2359	182.37 –191.26	684
75.62 – 84.51	299	120.01 –128.99	2104	191.26 –200.16	769
84.51 – 93.41	98	128.99 –137.89	1994	200.16 –209.06	653
93.41 – 02.30		137.89 –146.78	1779	209.06 –217.95	527
		146.78 –155.68	862	217.95 –226.85	421
		155.68 –164.58	659	226.85 –235.74	363
		164.58 –173.47	395	235.74 –244.64	298
		173.47 –182.37	46	244.64 –253.54	125
				253.54 –262.43	84
				262.43 –271.33	67
				271.33 –280.22	46
				280.22 –289.12	42
				289.12 –298.02	31
				298.02 –306.91	28
				306.91 –315.81	21
				315.81 –324.70	16
				324.70 –333.60	12



**Çizelge 2.12.** Rijit üstyapı dizaynı için malzeme özellikleri (Fwa 2007)

Hata Modu	Gerekli Malzeme Özellikleri	
	Beton Levha	Temel
Yorgunluk Çatlağı	Kopma Modülü, Elastik Modül Poisson Oranı, Gerilme Direnci	Alt temel Reaksiyon Modülü Elastik Modül ve Poisson Katsayısı
Sıcaklık Tes. Çatlak	Isıl Genleşme Katsayısı Kuruma Çekme Katsayısı	Levha ve Temel Arasında Sürt. Katsayısı

## ii. Uygulama

Beton yol yapımında genellikle iki tip uygulama yöntemi kullanılmaktadır

### Sabit Kalıp Kullanımı

Sabit kalıpla beton yol yapımında, yol boyunca ahşap veya çelik kalıplar kurulmakta, makineler bu kalıplar arasında döküm yapmaktadır. Bazı makineler kalıplar üzerinde ileri geri giderek çalışmakta ve mastarlama işi genellikle el aletleriyle yapılmaktadır. Bu yöntem, kayar kalıp kullanımına göre daha fazla işçilik gerektirdiğinden, genişliği fazla olan yol yapımlarında pek tercih edilmemektedir (İyınam ve Ağar 2011).

ileri geri giderek çalışmakta ve mastarlama işi genellikle el aletleriyle yapılmaktadır. Bu yöntem, kayar kalıp kullanımına göre daha fazla işçilik gerektirdiğinden, genişliği fazla olan yol yapımlarında pek tercih edilmemektedir (İyınam ve Ağar 2011).

### Kayar kalıp kullanımı

Kayar kalıp kullanımında, makinede bulunan vibratörler ile istenen boyutlarda ve yüksek kalitede beton yerleştirilmesi sağlanmaktadır. Betonlama yapılan alan, ip veya lazer ışını kılavuzuyla hassas olarak kılavuzlanarak, sürekli derzsiz ve aynı nitelikte

beton ile kaplanabilmektedir. Kıvam bakımından çökme değeri düşük betonlar kullanılmaktadır. Bazı kayar kalıplı döküm makineleri, derzlerin açılmamasını sağlayan donatı yerleştirme ve bitirme işlerini de yapmaktadır (Anonim 2004).

### **iii. Beton yol imalatında dikkat edilmesi gereken konular**

Yol ve Alan betonları bugün genellikle yüzeyleri kaplanmadan bırakıldığından görsel olarak; hava koşullarına doğrudan maruz buldukları içi de bünyesel olarak normal döşeme betonlarından ayrı bir önem taşımaktadır (Baytop 2011).

#### **Zemin hazırlığı**

Yol ve Alan betonları ortalama 20 cm. stabilize temel üzerine dökülür. Bu temel malzemesi serilmeden önce zemin yerine göre keçiayağı ya da herhangi bir tip silindir ile iyice sıkıştırılmış olmalıdır. Temel malzemesi 20 cm.den daha kalınsa ortalama 20-30'ar cm.lik tabakalar halinde serilip her tabaka silindir ile (Ufak ve hafif tarfikli alanlar ve tretuvarlar kompaktörle olabilir) iyice sıkıştırılır. Betonlama için kalıp konduktan sonra ortaya çıkabilecek yükseklikler alınır, çukurluklar aynı malzeme ile doldurulup yeniden sıkıştırılır. Önemli işlerde Proktor sıkışma deneyi yapılmalıdır (Baytop 2011).

#### **Kalıp ve bordür taşı**

Kalıplar 3-4 m genişlik ve günlük dökülebilecek boyda hazırlanır. Ahşap kalas ya da çelikten olabilir. Dökülecek betonların birbirine geçmeleri için kalıplar lambalı (orta yerleri çıkıntılı) yapılıdır.(Betonun inşaat ve genişleme dezlerinde ankraj çubukları varsa kalıplar lambasız yapılabilir). Kalıplar döküm sırasında hiza ve düzeyleri bozulmayacak şekilde sağlamca desteklenmelidir. (Beton yüzeyinde ve bordür köşelerinde su birikmemesi için kalıp eğimlerine, özellikle su ızgaralarına doğru olan eğimlere çok özen gösterilmelidir) (Baytop 2011).

Bordür taşlarının altına önceden geniş bir taban betonu dökülmeli, bordür taşlarının arka taraflarına üçgen şeklinde destek betonu yapılmalıdır. Bordür derz harçları bordür yüzeylerine iyice alıştırılmalı, muntazan taşlama derzi çekilmeli ve harçlar üzerleri örtülerek güneşten korunmalıdır (Baytop 2011).

### **Demir**

Betonda demir varsa, demirlerin zemine değmeyecek şekilde kaldırılması, çift sıra ise üst sıranın çökmeyecek şekilde desteklenmesi şarttır. Hasır çelik kullanılıyorsa (genelde ince olan bu demirlerin çökmemeleri için) demirlerin yer emniyeti ve iş kolaylığı bakımından, önce betonun yarı kalınlığı dökülüp, biraz kendisini çekmesinden sonra hasır yerine konup beton tamamlanabilir. (Çift sıra hasır çelik varsa bu yöntem ikinci sıra için uygulanabilir) (Baytop 2011).

Genleşme derzlerine konacak ankraj çubuklarının sonradan dökülecek beton içinde rahatça hareket edebilmesi gerekir. Bunun için sonradan dökülecek betonda kalacak kısmını, ucunda bir oynama boşluğu kalacak şekilde, ucu kapalı bir plastik boru geçirilir. (basit işlerde boyanıp ya da yağlanıp, ucuna bir yüksük konması yeterli olabilir) (Baytop 2011).

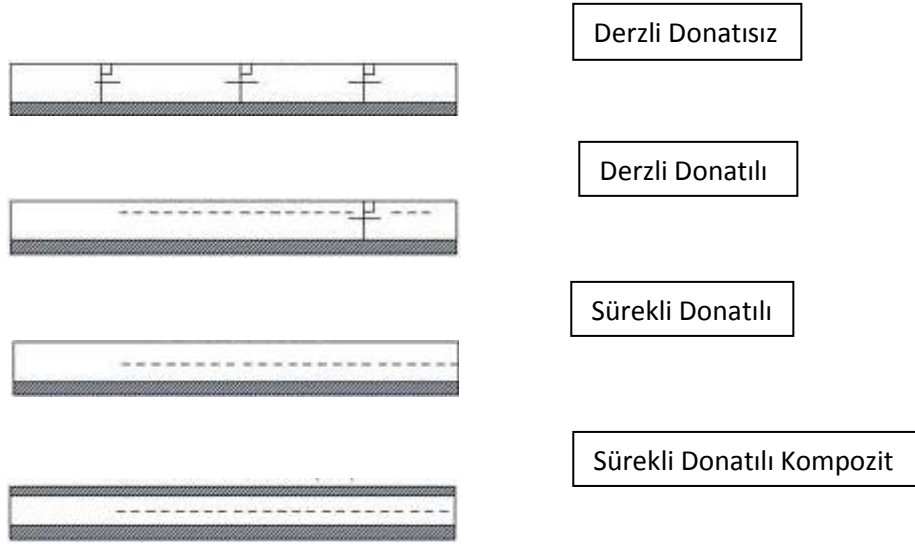
### **Betonlama**

Beton dökümünden önce zemin, betonun suyunu çekmeyecek, ancak çamur da olmayacak şekilde hafifçe sulanır. Beton şerit boyunca sürekli olarak, genleşme derzine kadar bir defada dökülür. Bu derz geçiliyorsa kesinlikle bir pano çizgisine kadar dökülür, yarım pano dökülmez. (Harç bir pano için yetmiyorsa, pano yarım kalınlık olarak dökülüp üstü ertesi gün tamamlanır) (Baytop 2011).

Beton ilk olarak daldırma vibratörle sıkıştırılır. (Vibratör, betonun serilen ileri ucuna kadar değil de 2-3 m. gerisine kadar daldırılır ki beton ileri yayılmadan sıkışsın). Yol ve

Alan betonlarında bir önemli husus yüzeyin de sıkışmasıdır. Bu bakımdan yüzey vibrasyonu da gerekir. Bu iş titreşimli master ile yapılır (Baytop 2011).

Çatlama derzleri (En çok 16m<sup>2</sup> bir alan olmak üzere) ya beton taze iken 3-3,5 m. boyunda kesme laması ile oyulup, özel derz malası ile yanları yuvarlatılarak; ya da dökümden 7-8 saat sonra spiralle 6-8 mm. Genişlik ve 4cm. derinlikte kesilerek yapılır. (Çatlamanın derz boyunca kolay ve muntazam olmasını sağlamak için kimi zaman derz altına üçgen çita konmakta, taşıt aks yükünün aynı anda bir ek yerine binmesini önlemek için, enine derzler eğri de yapılabilmektedir) (Baytop 2011).



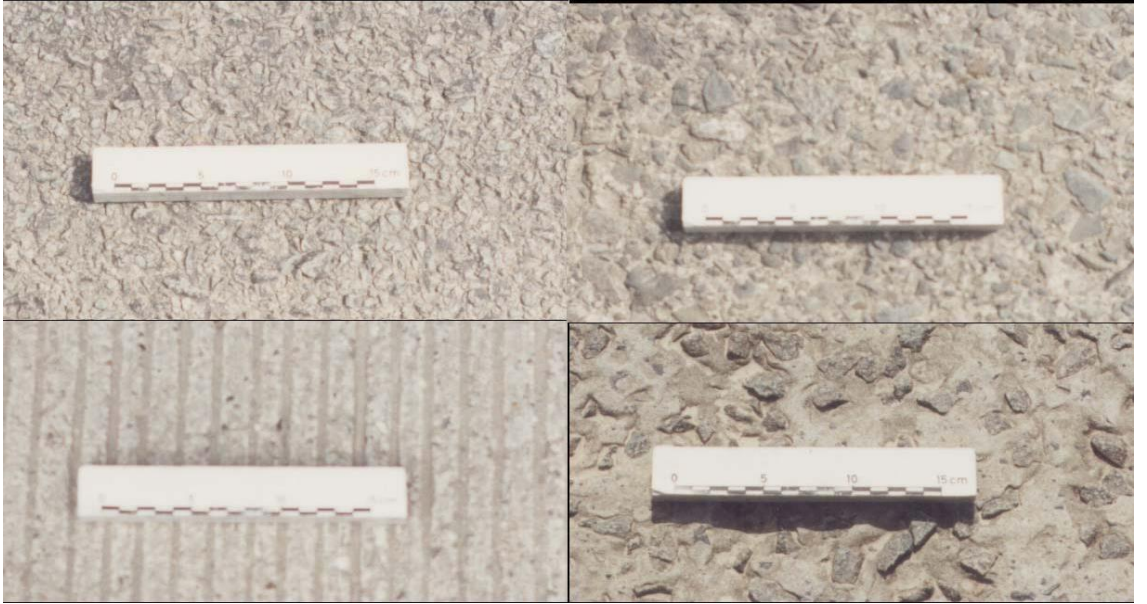
**Şekil 2.5.** Derz enkesitleri

### **Yüzey düzleme / koruma**

Titreşimli mastardan sonra bir el mastarı çekilir. Beton, yüzey suyu biraz çekilince (özel köprü iskele üzerinden) El malası (Tirfil) ile hiçbir yükseklik ve çukurluk olmayacak şekilde iyice düzlenir (Baytop 2011).

Son olarak yüzey, hafifçe sertleşince branda, süpürge ya da sert bir yassı fırça ile yol aksına dik olarak çizilir (Fırça çekilecekse önce Demir mala ile yüzeyin kumlarının bastırılarak düzlenmesi iyi sonuç vermektedir) (Baytop 2011).

Bütün bu işlerden sonra betonu ilk 3-7 gün boyunca aşırı hava koşulları etkilerinden korunmalıdır.(Hasır, çuval serme, devamlı sulama yerine çizimden sonra yüzeye kür maddeleri püskürtmek daha kolay ve yararlı olmaktadır. İlk saatlerde betonu yağmurdan, insan ve hayvan ayak izlerinden de korunmalıdır (Baytop 2011).



**Şekil 2.6.** Farklı yapım teknikleriyle yapılmış beton yol yüzeyleri

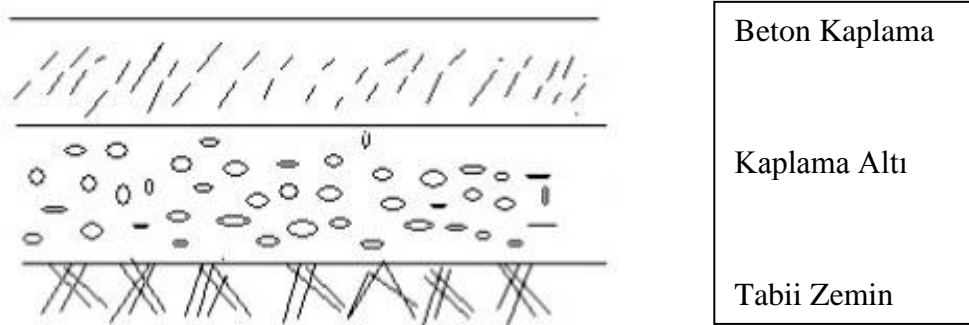
### 2.5.7. Rijit üstyapıların bakım ve onarımı

Rijit üstyapılar 30–40 yıllık hizmet süreleri için projelendirilir. Beton yollarda yüzey yenileme ve takviye işlemlerine gerek duyulmaz. 20 ve 40 yıllık projelendirmeler arasındaki fark 25 mm kalınlıkta beton tabakasıdır. Projelendirme ve yapım işlerinin iyi şekilde gerçekleştirilmesi halinde, beton yollar tüm hizmet ömürleri boyunca az miktarda bakım gerektirirler. Periyodik dikkat isteyen tek şey yaklaşık 4–5 yılda bir derz dolgularının yenilenmesidir. Bu ise trafiğe müdahale etmeksizin, تنها zamanlarda

yapılabilen düşük maliyetli bir iştir. Bunun dışında, az olmakla beraber, pompaj olayı sonunda çöken plakların altına beton enjekte edilerek yükseltilmesi ve taze betonda arıza olarak meydana gelmiş küçük çatlakların çimento veya sentetik reçine harcı ile kapatılması gibi bakım onarım masraf kalemleri oluşabilir. Burada, beton kaplamaların zor ve pahalı tamirlere neden olabilecek projelendirme ve yapım hatalarına esnek üstyaplardan daha duyarlı olduklarını ve bu nedenle başlangıçtan itibaren bu tür kaplamaların, yüksek projelendirme ve yapım standartlarına göre yapılmasının zorunlu olduğunu vurgulamak gerekir (Giriş 2007).

### 2.5.8. Rijit üstyapıların projelendirilmesi

Bu tasarım yöntemleri AASHTO tarafından, A.B.D.'de Illinois eyaletinin Ottawa kentinde yapılan deneme yolu çalışmalarından yararlanılarak yapılmıştır. Deneme yolu 1956-1958 yılları arasında inşa edilmiş olup yolda çeşitli tip ve kalınlıkta kaplamalar ve küçük açıklıklı köprüler mevcuttur. Yolun, farklı dingil yüklerini içeren trafik altındaki davranışı ve hizmet düzeyi 2 yıl boyunca gözlemlenmiştir. Ölçümler sonunda elde edilen veriler bilgisayardan da yararlanmak suretiyle değerlendirmeye tabi tutulmuş, mevcut diğer projelendirme yöntemleri ile teorik bilgileri destekleyen yeni bir projelendirme yöntemi önerilerek "AASHTO Projelendirme Geçici Rehberi" adı altında yayınlanmıştır (Ağar vd 1998).



**Şekil 2.7.** Rijit üstyapı enkesiti

### 2.5.9. Rijit üstyapıların avantajları ve dezavantajları

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

#### Rijit üstyapıların avantajları

i. Kayma sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı direnç fazladır. Boyuna sürtünme katsayısı 0,70; enine sürtünme katsayısı 0,65 civarındadır. Ayrıca, ıslak oldukları zaman, sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plastik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

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

iii. Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilirler. Çatlak oluşmasını önlemek için çelik donatı kullanılabilir.

Kaplama çatlasa bile çelik donatı sayesinde, çekme gerilmeleri taşınabilir. Çelik donatı uygulanabilen yegâne kaplama tipidir.

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

v. Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığı az emer. Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar. Yüzeyin dayanıklılığı malzemenin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler. Açık rengi sayesinde gece kolay görünür. Islak olduğu zaman dahi

tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. Bu olay trafik güvenliği açısından önem taşır.

vi. Gereği gibi bakıma tabi tutulduklarında tam bir yüzey geçirimsizliği sağlarlar.

vii. Gerekli önlemler alındığında zayıf zeminler üzerinde de iyi hizmetler görebilirler.

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

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

x. Temel görevi yapabilir. Uzun süre kullanıldıktan sonra yüzey çok bozulacak olursa, basit bir tamirle diğer kaplamalara (parke veya asfalt) temel görevi yapabilir. Kendi kendisine de temel görevi yapar. Diğer kaplama tiplerine göre en önemli özelliklerinden biri de temel ve aşınma tabakasının aynı malzemeden ve genellikle tek tabaka halinde yapılabilmesidir. Ancak bu halde, aşınma tabakasında görülecek herhangi bir bozukluk, beton yol döşemesinin temel ile birlikte değiştirilmesini gerektirir. Halbuki temel tabakasının hizmet süresi çok uzun olabilir. Ekonomik düşünceler beton yolu iki tabaka halinde yapmak gereğini ortaya çıkarmıştır. Böylelikle, üst kısmı oluşturan aşınma tabakasının gerek malzeme kalitesine gerekse yapım yöntemine çok özen göstererek hizmet süresinin uzaması sağlanır.

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



xii. Betonda kullanılan çimentonun hammaddesi tamamen yerlidir. Ayrıca, çimento fabrikaları %100'e yaklaşan oranda yerli kaynaklarla gerçekleştirilebilmektedir (Ağar vd 1998).

### **Rijit üstyapıların dezavantajları**

i. Projede veya inşaatta yapılacak küçük bir hata veya ihmal, trafikle ilgili olmadan, kaplamanın çabuk harabolmasına yol açan çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Priz sırasındaki rötne ve diğer ısı değişiklikleri çatlakların oluş nedenlerindedir. Trafik etkiler olmadan da, don olaylarının tekrarlanması durumunda, çatlamış olan kaplama tamamen harap olabilir.

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

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

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

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

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

vii. Derzlerin yapımı ve bakımı büyük özen ve deneyim gerektirmektedir.

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

ix. Temel ve Aşınma tabakası aynı cins malzemedен oluştuğu için, eskiden mevcut bir yolun kalitesinin iyileştirilmesinde ekonomik olarak kullanılamaz.

x. Rijit üstyapıların diğer önemli bir sakıncası da, küçük periyotlu (örneğin günlük) ısı değişikliklerinden kaynaklanan, plak içi sıcaklık eşitsizliğindedir. Güneş ışığına doğrudan maruz kalan plağın üst yüzeyi alt yüzeye kıyasla daha çabuk ısınır. Isı yükselmesi yavaş yavaş derinliklere doğru iner. Alt yüzeyin sıcaklık derecesi maksimum değerine üst yüzeyden birkaç saat sonra erişir (Ağar vd 1998).

## **2.6. Beton Yolda Atık Lastik Kullanımı**

Çevre açısından oldukça dayanıklı yüksek molekül yapılı polimerlerden ibaret doğal ve sentetik kauçuklardan üretilen ürünlerin kullanılmasını müteakip, faydalı ömürlerini tamamlamaları ile çevrede zor ortadan kalkacak “atık lastikler” oluşmaktadır. Çevrede zor ayrışır olmaları, atık lastiklerin önemli bir çevre problemi olmalarının asıl nedeni değildir. Ne kadar zor ayrışsalar da atıklar tabiatta sonunda ortadan kaldırılabilir. Buna yakma ile destek de olunabilmektedir. Ancak, üretilen atık lastiklerin çok önemli miktarlarda olması bu atıkların giderilmesindeki en önemli yönü ortaya koymaktadır. Miktarın çokluğu nedeniyle birçok giderme, uzaklaştırma ve geri kazanarak yararlanma

şekli kullanılmış ve geliştirilmiştir. Miktarın çokluğu ve bunların yakılması veya yanması ile doğan çevre zararları bu atıklara olumsuz bir bakışın doğmasına neden olmuş ve kimi zaman ve yerlerde bu atıklar “zararlı atıklar” gibi ürkülerek yönetilmeye çalışılmıştır. Halbuki atık yönetiminde atığı ortadan kaldırma ve uzaklaştırma yaklaşımında, atığın tekrar yararlanılacak bir forma dönüştürülmesi düşüncesine sahip olunması ile sıkıntı veren bu atıklar konfor/huzur veren malzemelere dönüştürülebilir (Gönüllü 2004).

Endüstrileşmiş ülkelerde oluşan yıllık atık lastik hacmi bir binek arabası lastiği çarpı nüfus kadardır (Reschner 2004). Örneğin; 70 milyon nüfuslu bir ülkede yıllık oluşan atık araba lastiği hacmi, 70 milyon binek araba lastiği kadardır. Bir lastiğin yaklaşık 10 kg geldiği varsayılırsa, bu yıllık 700,000 ton atık eder (Eren 2011).

Her lastik üç ana üründen oluşur.

- Kauçuk
- Çelik
- Lif ve diğer atıklar

Bunların lastik içindeki yüzdesel payları Tablo I’da gösterilmiştir. Rakamlardan anlaşılacağı gibi atık lastiğin ortalama %95’i geri dönüştürülebilen ürünlerden oluşmaktadır (Eren 2011).

**Çizelge 2.13.** Atık lastiği oluşturan ürünler ve tipik yüzdesel payları (Reschner 2004)

Ürün Cinsi	Kamyon Lastikleri	Araba Lastikleri
Kauçuk	70%	70%
Çelik	27%	15%
Lif ve Diğer Atıklar	3%	15%

Atık lastiklerin oluşturduğu en büyük tehlike kontrolsüz yangınlara sebep olmalarıdır. Bu yangınları, başladıktan sonra açığa çıkan yüksek ısı ve yoğun dumandan dolayı kontrol altına almak ve söndürmek son derece güçtür. Ortalama bir lastiğin petrokimyasal içerik eşdeğeri 9,5 litre yağdır. Yüksek yağ içeriği nedeniyle, lastik yangınları aylarca sürmekte, zehirli gazlar açığa çıkmakta, toprak, yeraltı ve yerüstü su kaynaklarının kirlenmesine neden olmaktadır. Lastik yangınları köpük veya su ile söndürülmeye çalışıldığında çok daha büyük hava, toprak ve su kirliliği yaratmaktadır (Eren 2011).

Bir diğer tehlike, atık lastiklerin sivrisineklerin yaşamasına ve çoğalmasına uygun bir ortam yaratması ve dolayısıyla sivrisineklerden bulaşan salgın hastalıkların yayılmasına neden olmasıdır (Anonim 2004).

Geri kazanım konusu son 10 yıl içinde önem ve hız kazanırken, lastik geri kazanımında durum çok farklıdır. Kauçuk değerli bir hammadde olduğu için geri kazanımı üretimi kadar eskidir. 19. yüzyıl başında ortalama olarak kauçuğun %50'si geri kazanılıyordu. Zaman içinde petrolün bollaşması, sentetik kauçuk üretimi ve lastik teknolojisindeki gelişmeler kauçuk geri dönüşümünü olumsuz etkilemiş ve bu oran 1960'lı yıllarda %20'lere gerilemiştir. 1990'lı yıllarda lastik ve kauçuk endüstrisinde geri dönüşüm oranı %2'e düşmüştür. Geri dönüşüm oranındaki büyük düşüş sonucu doğrudan çöpe atılan lastik sayısı milyonları ve hatta milyarları bulmuştur (Reschner 2004; Eren 2011).

Genel olarak atık lastikler 4 farklı şekilde değerlendirilebilirler:

- i. Doğrudan Değerlendirme: Lastiklerin hiçbir işleme tabii tutulmadan oldukları gibi inşaatlarda, oyun parklarında, iskelelerde kullanılmasıdır.
  - ii. Malzeme Olarak Değerlendirme: Bu yöntemde lastiği oluşturan kauçuk, çelik ve lifler ayrıştırılır ve hepsi malzeme olarak ayrı ayrı yeniden kullanılır.
- Yeniden Kaplama: Atık lastikler yeniden kaplanıp lastik olarak kullanılabilir. Kaplama lastikler, yeni lastiklerden %50 daha ucuz olmaktadır.

- **Kauçuğu Granül Haline Getirme:** Granül kauçuk yeni lastik üretiminde, ayakkabı taban imalatında, poliüretan köpük üretiminde, gürültü kirliliğini önlemek için yapılan panel imalatında, yol yapımında, set ve hendek yapımında, spor ve oyun sahaları ile liman inşaatlarında kullanılabilir.

iii. **Termik Değerlendirme:** Kauçuğun kaliteli bir kömüre eşdeğer enerji değeri vardır. Bu yüzden yakıt olarak da kullanılmaktadır. Avrupa, ABD, Japonya ve Türkiye'deki çimento fabrikalarında yakıt olarak kullanıldığı bilinmektedir.

iv. **Hammaddesel Değerlendirme:** Hurda Lastik Yönetim Konseyi'ne göre (Scrap Tire Management Council) bir lastik ortalama 4 litre yağ, 3 kg. karbon siyahı, 1.5 kg gaz, 1 kg. çelik ve kül üretir. Elde edilen yağ ve gaz düşük kaliteli yakıt olarak yeniden kullanılır. Çelikte yeniden kullanılmaktadır. İşlem sırasında insan sağlığına zarar veren ve çevre kirliliği yaratan zehirli gazlar açığa çıktığından doğayla uyumlu bir yöntem değildir (Eren 2011).

Bu kullanım alanlarının yanında Atık lastikler, birim ağırlığının düşük olması, yalıtım özelliği, yüksek tokluk gibi avantajları nedeniyle asfalt ve beton agregası olarak da kullanılmaktadır. Ayrıca erozyon kontrolü, anayollarda gürültü bariyeri, bataklık ıslahı, yol dolgularında kaplama alt malzemesi, sıcak karışım asfalt kaplamalarında modifiye malzeme, yürüyüş yollarında ve binalarda sismik izolatör gibi kullanım olanakları bulunmaktadır (Koçak ve Alpaslan 2011).

**Çizelge 2.14.** AB ülkelerinde ve ABD'de atık lastiklerin geri dönüşüm yöntemleri

Bertaraf Yöntemi	AB		ABD	
	Ağırlık (ton)		Ağırlık (ton)	
Yakıt	508,500	22%	950,000	40%
Dolgu Malzemesi olarak	1,017,100	46%	920,000	38%
İnşaatlarda	228,900	10%	225,000	9%
Kauçuk Geridönüşümü	228,800	10%	180,000	7%
İhracat ve Diğer	279,700	12%	135,000	6%
<b>TOPLAM</b>	<b>2,263,000</b>		<b>2,410,000</b>	

Son yıllarda beton teknolojisinde pek çok endüstriyel atık beton agregası olarak kullanılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada çok miktarda ortaya çıkan atık otomobil lastikleri (AOL) bunlardan bir tanesidir. Atık konumundaki AOL'lerin belirli işlemlerden sonra beton içerisinde kullanılması ile ilgili birçok çalışma vardır. İlk olarak 1980 yılında Amerika'da Clemson Üniversite'sinden Prof. Rad betona AOL agrega katma fikrini öne sürmüştür. Yaptığı deneylerde bu betonların basınç dayanımının AOL'siz beton numunelere göre %35 azaldığını gözlemlemiştir ve AOL agregalı betonların taşıyıcılık özelliği aranmayan yapılarda kullanılmasını önermiştir (Rad 1976).

Bu araştırmalar sonucunda AOL agrega katkılı betonun basınç dayanımının ve birim ağırlığının azaldığı süneklik ve enerji yutma kapasitesinin ise arttığı belirlenmiştir. Kompozit malzeme kurallarına göre yapılan araştırmaların sonucunda harçlara AOL ilavesi ile betonlarda olduğu gibi taze ve sertleşmiş harçların birim ağırlığının, islenebilmesinin, çökmesinin azaldığı ve yayılma değerinin arttığı belirlenmiştir. Ayrıca AOL agregalı betonların yük taşınmasını gerektirmeyen fakat ses yalıtımı gerektiren yerlerde kullanılmasının yararlı olabileceği belirtilmiştir (Topçu 2007).



**Şekil 2.8.** Atık lastik yığı

**Çizelge 2.15.** Atık lastiğin mekanik ve kimyasal parçalama özellikleri (Sugözü ve Mutlu 2009)

Parametre	Mekanik Parçalama Yöntemi	Nitrojenle Parçalama Yöntemi
Çalışma sıcaklığı	Çevre sıcaklığı veya daha yüksek (maksimum sıcaklık 120 °C)	80 °C veya daha düşük (minimum sıcaklık -100 °C)
Boyut Küçültme Prensibi	Kesme, yırtma, makaslama	Gevrek lastik parçalarını kırmak
Parçacık şekilleri	Süngersi ve kaba	Düz ve pürüzsüz
Parçacık boyutu Dağılımı	Parçacık boyutunda dar bir dağılım, öğütme aşamasına göre sınırlı boyut küçültümü	Sadece tek bir işlemle, parçacık boyutunda geniş bir dağı. (0.2 mm ile 10 mm arasında)
Bakım maliyeti	Yüksek	Düşük
Elektrik tüketimi	Yüksek	Düşük
Sıvı azot tüketimi	Yok	Bir kilogram lastik için 0.5–1kg sıvı azot

Hurda araba lastiklerinin parçalanmasıyla elde edilen ve agreganın bir kısmı yerine kullanılan lastik taneleriyle üretilen betonlar ile istinat duvarları ve çarpma bariyerleri inşa edilmektedir. Çarpma bariyerlerinde atık lastik katkılı betonların kullanımı sayesinde, çarpma sırasında ortaya çıkan enerjinin sömürmesiyle kazalarda ortaya çıkacak can kaybının azalacağı ifade edilmiştir (Atahan ve Sevim 2008).

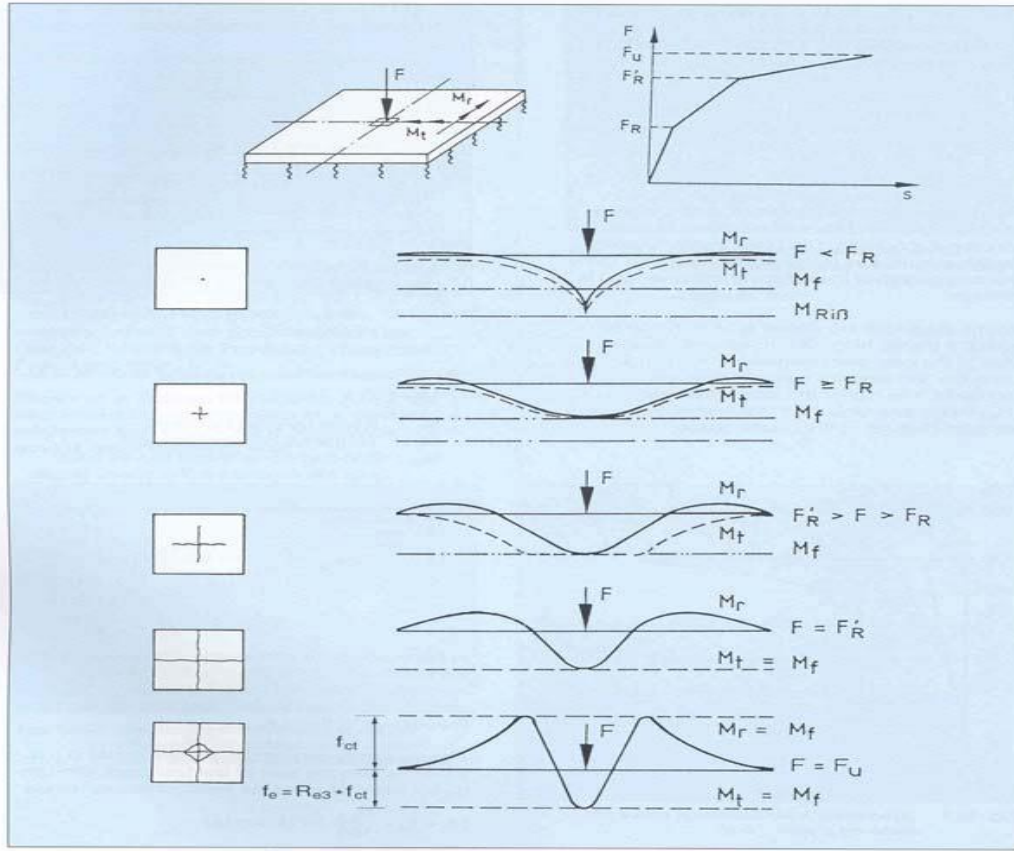
Atık lastiklerin sağlıklı toplanması, depolanması ve bertarafı için lastik üreticileri, satıcıları, kullanıcıları, yerel yönetimler arasında ortak bir çalışma başlatılması gereklidir. Lastik değişimi araba bakım servisleri veya lastik bayiileri tarafında yapılmaktadır. Yenisi verilirken eskisinin geri alınması sağlanmalıdır. Toplanan atık lastiklerin düzenli depolama alanlarına aktarımı konusunda yerel yönetimler yardımcı olmalıdır. Bu sistem eski lastiklerin gelişmiş çöpe veya doğaya atılmasını engeller (Atahan ve Sevim 2008).

Atık lastikler ekonomik olarak değerlidir ve geri kazanımı mümkündür. Atık lastiklerin geri dönüşümü ve yeniden kullanımı konusunda insan sağlığına ve çevreye dost yöntemler seçilmelidir. Bu konuda yatırım yapmak isteyen yatırımcılar devlet tarafından teşvik edilmelidir. Sonuç olarak atık lastiğin çevre ve ekonomi boyutu göz önüne alındığında; kullanım ve geri dönüşüm stratejilerinin çok iyi planlanması ve toplumun gündeminde tutulmasının önemli olduğu düşünülmektedir (Eren 2011; Atahan ve Sevim 2008 ).

## **2.7. Beton Yolda Çelik Tel Kullanımı**

Çelik tel donatılı beton (ÇTDB), ince çelik tellerin beton kütlesi içine homojen olarak dağıtıldığı 3 boyutta donatılı betondur. Çelik teller betonların çatlak direncini, geçirgenlik ve süneklik gibi özelliklerini artırır. Ulaşılması istenen performans seviyesi beton kalitesi, çelik tellerin narinlik oranı (Uzunluk/çap) ve dozaja bağlı olarak değişir. Çelik teller, taze betonda oluşmaya başlayan mikro çatlaklar arasında köprü teşkil ederek, iç gerilmeleri bütün kitle içine yayar ve servis yükleri altında çatlak yayılma ve büyümesinin önüne geçerler. Servis yüklerinden başka ani etkileyen deprem gibi dinamik yüklemelere karşı enerji yutma yetenekleri nedeni ile betonun dağılmasını engellerler (Yerlikaya 2011).





**Şekil 2.9.** Çelik tel donatılı zemin betonlarında moment dağılımı (Yerlikaya 2011)

Çelik liflerle homojen olarak donatılmış beton, yükler altında gösterdiği davranış açısından, geleneksel betondan farklı özellikler gösterir. Beton içinde ortaya çıkan gerilmeler, malzeme içindeki mikro çatlaklar nedeni ile düzensizdir. Betona ilave edilen çelik teller, harç fazı matrisini takviye ederek, üzerinden gerilmelerin aktarıldığı küçük köprüler olarak rol oynarlar. Aşırı yükler altında çelik teller, matris içindeki çatlakın yayılmasına yol açan gerilmeleri alırlar ve çatlama bölgesine yayarlar. Çatlak sonrası betonun kazanmış olduğu bu davranış, elastik zemine oturan beton yol döşemelerinde çatlak oluşumunu azaltmaktadır. Betonların statik hesaplamalarında çelik teller, sadece eğilme momentini karşılayan donatı olarak görülmemelidir. Tellerin en önemli özelliği, betona sağladığı süneklik, diğer bir deyişle, enerji yutma kapasitesindeki büyük artışıdır.

Araç trafiğine açık yol betonlarında ve köprü kaplamalarında, betonun darbe tesirlerine, tekrarlı yüklere ve çevre koşullarına karşı yeterli dayanıma sahip olması istenir. Çelik

tel donatılı betonun darbe mukavemeti, normal betona oranla 15-20 kat artmaktadır. Betonun deformasyon yapma özeliği arttığından, ani kırılmalar meydana gelmemektedir. Sıcaklık farklarının yüksek olduğu yerlerde, betonun yüzeyi ve tabanı arasındaki sıcaklık farklarından dolayı, kısa sürede çatlaması ve tozuması önlenmektedir (Yerlikaya 2011).



**Şekil 2.10.** Çelik donatılı beton yol (Yerlikaya 2011)

Yüksek performanslı betonlar, yüksek dayanımla birlikte üstün durabiliteye sahiptir. Ancak dayanım değeri arttıkça normal betona göre daha gevrek davranış gösterirler. Bir başka deyişle; betonun dayanımı arttıkça, sünekliği azalır. Dayanım ve süneklik arasındaki bu ters ilişki ciddi bir sorun olmakta ve yüksek performanslı betonların kullanımını sınırlandırmaktadır. Bu yüzden, betonun sünekliğini artırmak yüksek performanslı betonlar için büyük bir sorundur. Betondaki süneklik çelik teller kullanılarak sağlanabilir (Yalçın vd 2011).



**Şekil 2.11.** 15 yıl önce aynı zamanda yapılan çelik tel donatılı ve donatısız beton yol

Teknik ve Ekonomik Avantajları :

Teknik Avantajları :

- i. Yüksek yük-taşıma kapasitesi
- ii. Yorulma ve darbe direncinde artış
- iii. Çatlaksız bir yüzey
- iv. Yüksek dayanıklılık (Durabilite)

Ekonomik Avantajları:

- i. Klasik çelik hasır donatının kullanılmaması
- ii. Beton kalınlığının azaltılması
- iii. İş hızının artması
- iv. Bakım giderlerinin azalması (Yerlikaya 2011)

Değişik firmalar tarafından çeşitli uzunluk/ çap oranlarına sahip farklı çelik tel donatı imalatları yapılmaktadır. Uzunluk/çap oranına bağlı olarak üretilen bu ürünler telin çekme-kopma dayanımını da farklı şekillerde etkilemektedirler. En çok kullanılan ve üretilen, çekme-kopma dayanımı en yüksek sonuç veren ürünler 4 cm uzunluğunda, 0,4 mm çapında üretilenlerdir.

### 3. MATERYAL ve YÖNTEM

#### 3.1. Deney I

##### 3.1.1. Kullanılan malzemeler

i. **Çimento:** Çalışmada CEM II/A-L 42.5R (Beyaz Kalkerli Portland Çimentosu) kullanılmıştır.

**Çizelge 3.1.** Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	Ortalama		TS EN 197-1 Standardına Göre	
	42,5 R	42,5 N	42,5 R	42,5 N
Basınç dayanımı 2 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	23,4	-	Min 20	Min 10
Basınç dayanımı 28 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	48,9	-	42,5 - 62,5	
Priz başlama süresi (Dakika)	154	-	Min 60	
Genleşme (mm)	0,49	-	Max 10	

Kimyasal Özellikler	Ortalama		TS EN 197-1 Standardına Göre	
	42,5 R	42,5 N	42,5 R	42,5 N
Cl (%)	0,004	-	Max 0,1	
SO <sub>3</sub> (%)	2,49	-	Max 4	Max 3,5
Klinker (%)	81,79	-	80 - 94	
Katkı (%)	18,21	-	6 - 20	

**ii. Atık Otomobil Lastiği (AOL):** Karışımlarda kimyasallarla modifiye edilmiş (mekanik parçalanmaya nazaran hacim büyümesi sağlanmış) ince öğütülmüş AOL agrega kullanılmıştır. Bu AOL'ler 0,1—0,5 mm çap aralığındadır. Gevsek birim ağırlıkları 0.28 kg/dm<sup>3</sup> ve özgül ağırlıkları ise 0.825 kg/dm<sup>3</sup> şeklindedir.

**iii. Çelik Tel :** Karışımlarda 4cm uzunluğunda 0.4 mm çapında dramix çelik tel kullanılmıştır (TS 10515).

**iv. Kum:** Harç karışımlarında Standart Ocak kumu kullanılmıştır. Bu kumun birim ağırlığı 1.345 kg/dm<sup>3</sup>, özgül ağırlığı ise 2.572 kg/dm<sup>3</sup> olarak saptanmıştır.

**v. Su:** Beton karışım suyu olarak Erzurum şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 5.7 mg/lt, sertliği 4.3 mg/lt ve pH değeri 6.6'tür.

### 3.1.2. Beton dizaynı

MALZEME CİNSİ (K+Ç+Ç+Ç)	MİKTARI		
SU (Kg)	200 Kg		
(Fabrika: (AŞKALE) (Cinsi Cem II 42,5) ÇİMENTO	360 Kg		
KUM	0-7	657	Kg
K.ÇAKIL	7/15	606	Kg
K.ÇAKIL	15/25	579	Kg
			Kg
HAVA	16		dm <sup>3</sup>
KATKI (Çimento Miktarına Göre)			
TOPLAM	2402		Kg
KABA AGREGANIN EN BÜYÜK DANE CAPI (D max)	1"		İnç
ÇÖKME (Slamp)	8-11		cm
SU/ÇİMENTO ORANI	0,56		
TAZE BETONUN BİRİM AĞIRLIĞI	2308		Kg
AÇIKLAMALAR: 1- Üretim esnasında mutlaka agrega gruplarının gradasyonları kontrol edilmelidir. 2 - Üretim esnasında katkı kullanılmamıştır.			

\*SONUÇ:

1.Beton karışım hesabı TS -802 ve Teknik Araştırma Dairesi Başkanlığı Beton Karışım Oranları Tayin Rehberine göre yapılmış olup, her dayanım 3 numunenin ortalamasıdır.

2.Laboratuardaki karışımlar kum- çakıl numunelerinin kuru ağırlığına göre yapılmış olup, şantiyedeki rutubet durumuna göre gerekli düzeltmeler yapılmalıdır

3. Beton imali K. T . Ş Kısım 2006 BÖLÜM 300 e göre yapılmıştır.

Not : Kuru esasa göre çalışılmıştır.

### 3.1.3. Agrega özellikleri

Rapor Tarihi: 06.12.2010				Lab No: 10						
Numune Cinsi:				Arazi No:						
Proje: Ulaş. ABD Yüksek Lisans Tezi				Km:						
Numuneyi Alan:				Berke Ersin AVCI						
Num. Alındığı yer :				Alınış Tarihi:						
Not :										
Kaba Agrega Elek Analizi:										
Elek:										
Numune %Geçen:										
	15/25	7/15								
31,5	100	100		<b>Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini</b>						
22,4/20,0	97,1	100						15/25	15/07	0/7
16	61	100								
14	38,7	100		Etüv. Kur. Esasta Tane Yoğ.	2,71	2,75	2,81			
12,5/11,2	23	100		Dy. ve Yüz.Kur.Esasta Tane Yoğ.	2,75	2,8	2,85			
10	4,5	100		Görünür Tane Yoğunluğu	2,82	2,89	2,92			
8	0,6	97,3		Su Emme Oranı	1,43	1,78	1,32			
6,3/5,6	0,2	80,5								
4	0,2	44,9		<b>Parçalanma Direncinin Tayini Los Angeles Deneyi</b>						
0,063	0	0,2		Granülometriye göre						
TAVA				Aşınma Sınıfı						
Numunede %.. Oranında Çakıl Vardır.				Aşınma %		26				
İnce Agrega Elek Analizi				No. 200 den geçen ince		1,3				
mm	0/7			<b>Donmaya ve Çözölmeye Karşı Direncin Tayini</b>						
8	100			Magnezyum Sülfat Deneyi	2,3					
6,3/5,6	100			Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> Sağlamlık Deneyi						
4	100			<b>Birim Ağırlık Deneyleri</b>						
2	93,5			15/25 15/07 0/7						
1	67,9			Sıkışık Birim Ağırlığı	1601	1540	1797			
0,5	49,7			kg/m <sup>3</sup>						
0,25	35,9									
0,125/0,150	22,5			Gevşek Birim Ağırlığı	1430	1410	1500			
0,063	12,6			kg/m <sup>3</sup>						
TAVA				Kil Toprakları, %						
Organik Madde	Açık									
İncelik Modülü	3,2									
Metilen Mavisi	2,5									

## 3.2. Deney II

### 3.2.1. Kullanılan malzemeler

**i. Çimento:** Çalışmada CEM II/B-M 32.5R (Portland Kompoze çimento) kullanılmıştır.

**Çizelge 3.2.** Kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri

Mekanik ve Fiziksel Özellikler	Ortalama	TS EN 197-1 Standardına Göre
Basınç dayanımı 7 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	23,4	Min 16
Basınç dayanımı 28 günlük (N/mm <sup>2</sup> )	37,6	32,5 - 52,5
Priz başlama süresi (Dakika)	161,58	Min 75
Genleşme (mm)	0,43	Max 10

Kimyasal Özellikler	Ortalama	TS EN 197-1 Standardına Göre
Cl <sup>-</sup> (%)	0,02	Max 0,1
SO <sub>3</sub> (%)	2,62	Max 3,5
Klinker (%)	69,36	65 - 79
Katkı (%)	30,64	21 - 35

**ii. Atık Otomobil Lastiği (AOL):** Karışımlarda ABC Ltd. Şti.'ne ait mekanik öğütücülerle ince öğütülmüş AOL agrega kullanılmıştır. Bu AOL'ler 0,1—0,5 mm çap aralığındadır. Gevsek birim ağırlıkları 0.34 kg/dm<sup>3</sup> ve özgül ağırlıkları ise 1.015 kg/dm<sup>3</sup> şeklindedir.

**iii. Kum:** Harç karışımlarında Standart Ocak kumu kullanılmıştır. Bu kumun birim ağırlığı 1.345 kg/dm<sup>3</sup>, özgül ağırlığı ise 2.572 kg/dm<sup>3</sup> olarak saptanmıştır.

**iv. Su:** Beton karışım suyu olarak Erzurum şebeke suyu kullanılmıştır. Suyun sülfat içeriği 5.7 mg/lt, sertliği 4.3 mg/lt ve pH değeri 6.6'tür.

### 3.2.2. Beton dizaynı

1) Beton Sınıfı	400 doz	Proje	LASTİKTOZU DENEMELERİ					
2) Çimento Tipi	CEM II 32,5N	Laboratuar No						
3) Çimento Miktarı (Doz)	400 kg/m <sup>3</sup>	Karışım No						
4) Su/Çimento oranı	054	Deneme Tarihi	26.01.2011					
5) Su Miktarı	215	Deney Yeri	LABORATUVAR					
6) Kimyasal Katkı								
7) Mineral Katkı (Kül)		Karışım Miktarı (dm <sup>3</sup> )	25					
<b>25 Dm3 Deneme Betonunda Kullanılacak Malzemeler</b>								
Malzemeler	1 m <sup>3</sup> 'teki Miktar (kg)	25 dm <sup>3</sup> 'teki Miktar (gr)	Agrega %Rutub et İçeriği	Absorb %'leri	Fark	Düzeltilen Değer	1 m <sup>3</sup> 'teki Düzeltilmiş Değerler (kg)	Denemede Kullanılan Düzeltilmiş Değer
Çimento	400	10000					400	10000
Karışım Suyu	215	5375				2,20	213	5320
0/3	256	6400	2	1,57	0,43	1,10	257	6428
0/5	516	12900	1,8	1,82	-0,02	-0,10	516	12897
5//18	462	11550	1,2	1,21	-0,01	-0,05	462	11549
18/22,4	480	12000	1,0	0,74	0,26	1,25	481	12031
Kimyasal Katkı								
Kimyasal Katkı								
Mineral Katkı								
<b>Denemede Kullanılan Toplam Malzemeler (Kg)</b>	2.329	58.225					2.329	58.225



### 3.2.3. Agrega özellikleri

0/2					
Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Kümülatif Toplam (gr)	Kalan (%)	Kümülatif Kalan(%)	Kümülatif Geçen(%)
2	259	259	17	17	83
1	272	531	18	36	64
0,5	379	910	25	61	39
0,2	367	1277	25	86	14
0,125	171	1448	11	97	3
0,063	33	1481	2	99	1
Dip	11	1492	1	100	0
Toplam		1492			

0/5					
Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Kümülatif Toplam (gr)	Kalan (%)	Kümülatif Kalan(%)	Kümülatif Geçen(%)
8	12	12		0	100
4	63	75	2	3	97
2	659	734	24	27	73
1	726	1460	27	54	46
0,5	503	1963	1	73	27
0,26	276	2239	10	83	17
0,125	210	2449	8	91	9
0,063	113	2562	4	95	5
Dip	141	2703	5	100	0
Toplam		2703			

5/18					
Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Kümülatif Toplam (gr)	Kalan (%)	Kümülatif Kalan(%)	Kümülatif Geçen(%)
16	135	135	8	— 8	92
8	985	1120	58	66	34
4	531	1651	31	97	3
2	41	1692	2	100	0
Dip	7	1699	0	100	0
Toplam		1699			

18/22,4					
Elek No	Elek Üstünde Kalan (gr)	Kümülatif Toplam (gr)	Kalan (%)	Kümülatif Kalan(%)	Kümülatif Geçen(%)
16/31,5	90	90	0	4	96
16	2084	2174	91	95	5
8	105	2279	5	100	0
4	5	2284	0	100	0
Dip	5	2289	0	100	0
Toplam		2289			

## 4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

### 4.1. Deney I'in Yapılışı

İlk deneyde 'üçerli gruplar halinde' bir kontrol numunesinin dökülmesinin ardından çimento miktarının %1, %2, %5, %10 oranlarında kimyasallarla modifiye edilmiş AOL katılmış beton numuneleri, yine çimento miktarının %1, %2, %5, %10 oranlarında Çelik Tel Donatı katılmış beton numuneleri ve son olarak ta çimento miktarının %3'ü Lastik Tozu ve %2'si Çelik Tel katılımıyla karışım numuneleri dökülmüştür (TS 802). TS EN 196-1'e uygun olarak üretilen 150x150x150 mm boyutlu harç numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, 28. güne kadar  $20\pm 2^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki kirece doygun suda bekletilmiştir. Her bir üçerli grup basınç ve yarma deneylerine tabii tutulmuştur (TS 12390-3, TS 500).



Şekil 4.1. Çelik tel katkısı ve tokmıklama



Şekil 4.2. Atık lastik tozu



Şekil 4.3. Vibratör kullanımı



#### 4.2. Deney I Basınç ve Yarma Sonuç Raporları ve Grafikleri

Basınç Mukavemet Deney Sonuçları:			
	Numune Maddesi Cinsi	Numune Maddesinin Çimento Miktarına Oranı (%)	Deney Sonucu (Mpa)
Ort. Değer	Katkı Maddesiz	0	40,6
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	1	39,7
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	2	40,8
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	5	36,3
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	10	31,4
Ort. Değer	Çelik Tel	1	41,3
Ort. Değer	Çelik Tel	2	39,2
Ort. Değer	Çelik Tel	5	44,6
Ort. Değer	Çelik Tel	10	47,2
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu & Çelik Tel	3 & 2	41,2



Şekil 4.4. Beton kür odası

Yarma Mukavemet Deney Sonuçları:			
	Numune Maddesi Cinsi	Numune Maddesinin Çimento Miktarına Oranı (%)	Deney Sonucu (Mpa)
Ort. Değer	Katkı Maddesiz	0	2,9
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	1	2,7
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	2	2,1
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	5	2,4
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu	10	2,3
Ort. Değer	Çelik Tel	1	2,3
Ort. Değer	Çelik Tel	2	2,6
Ort. Değer	Çelik Tel	5	2,5
Ort. Değer	Çelik Tel	10	2,7
Ort. Değer	Modifiye Lastik Tozu & Çelik Tel	3 & 2	2,6

#### 4.3. Deney II'nin Yapılışı

İkinci deneyde kontrol numunelerinin dökülmesinin ardından çimento miktarının %1, %2, %5, %10 oranlarında mekanik parçalanmış 0,1—0,5 mm çap aralığında Atık Lastik Tozu katılmış beton numuneleri dökülmüştür (TS 802). TS EN 196-1'e uygun olarak üretilen 150x150x150 mm boyutlu harç numuneler 24 saat sonra kalıptan çıkarılmış, 28. güne kadar  $20 \pm 2$  °C sıcaklıktaki kirece doymun suda bekletilmiştir. Her bir üçerli grup basınç ve yarma deneylerine tabii tutulmuştur (TS 12390-3, TS 500).



Şekil 4.5. Laboratuvar Çalışması



Şekil 4.6. Kırılmış beton numuneleri



Şekil 4.7. Kırılmış beton numuneleri

#### 4.4. Deney II Basınç ve Yarma Sonuç Raporları ve Grafikleri

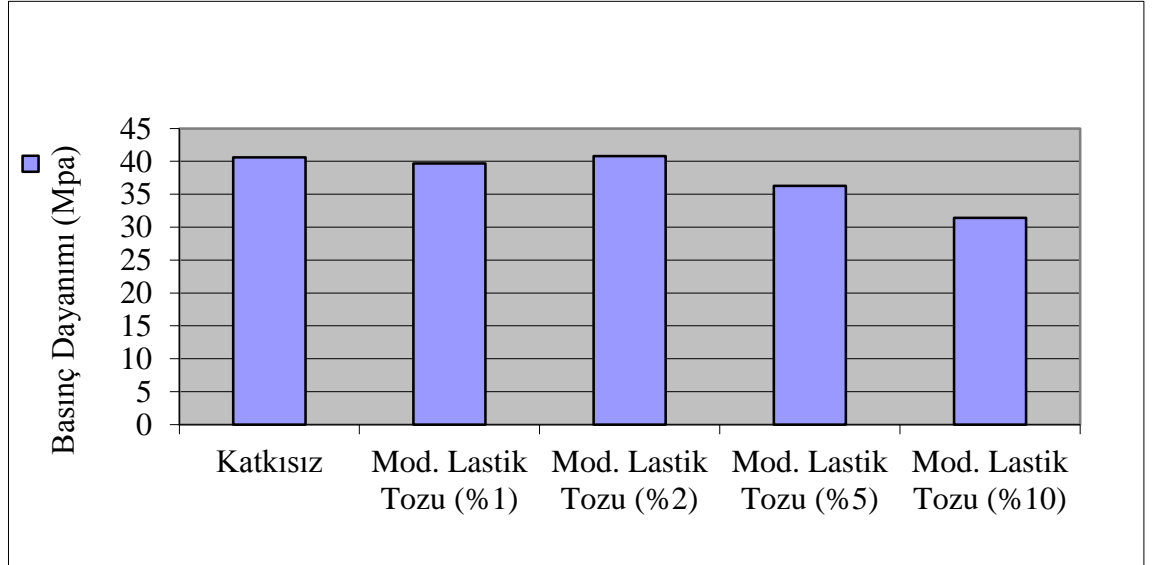
Basınç Mukavemet Deney Sonuçları:			
	Numune Maddesi Cinsi	Numune Maddesinin Çimento Miktarına Oranı (%)	Deney Sonucu (Mpa)
Ort. Değer	Katkı Maddesiz	0	28,03
Ort. Değer	Mekanik Lastik Tozu	1	27,68
Ort. Değer	Mekanik Lastik Tozu	2	24,02
Ort. Değer	Mekanik Lastik Tozu	5	22,52
Ort. Değer	Mekanik Lastik Tozu	10	19,18



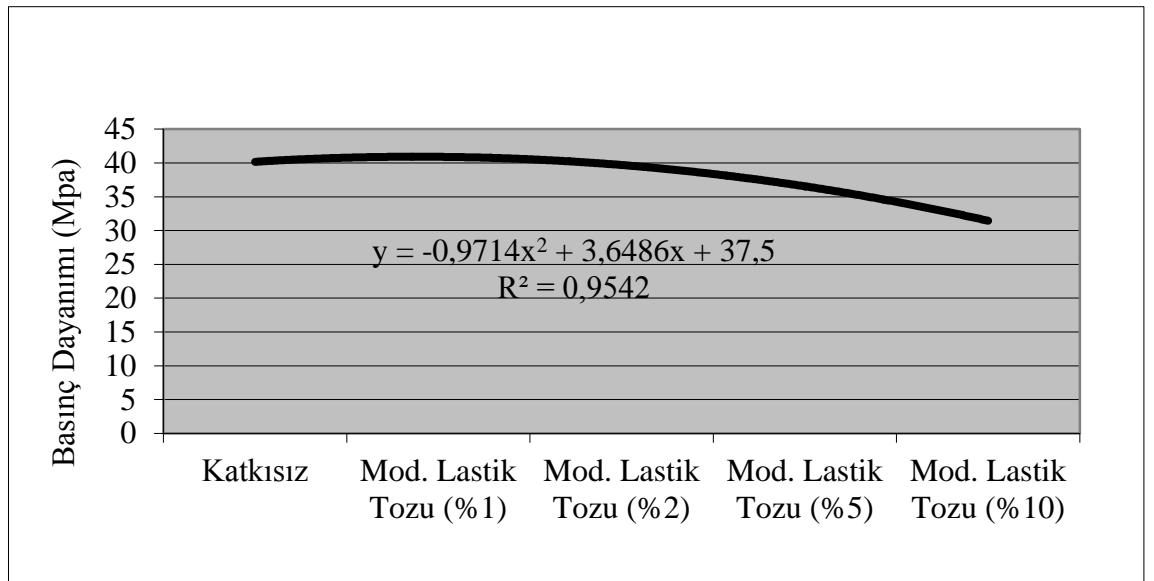
Yarma Mukavemet Deney Sonuçları:			
	Numune Maddesi Cinsi	Numune Maddesinin Çimento Miktarına Oranı (%)	Deney Sonucu (Mpa)
<b>Ort. Değer</b>	Katkı Maddesiz	0	4,68
<b>Ort. Değer</b>	Mekanik Lastik Tozu	1	4,04
<b>Ort. Değer</b>	Mekanik Lastik Tozu	2	3,71
<b>Ort. Değer</b>	Mekanik Lastik Tozu	5	3,14
<b>Ort. Değer</b>	Mekanik Lastik Tozu	10	3,02

## 5. SONUÇLAR

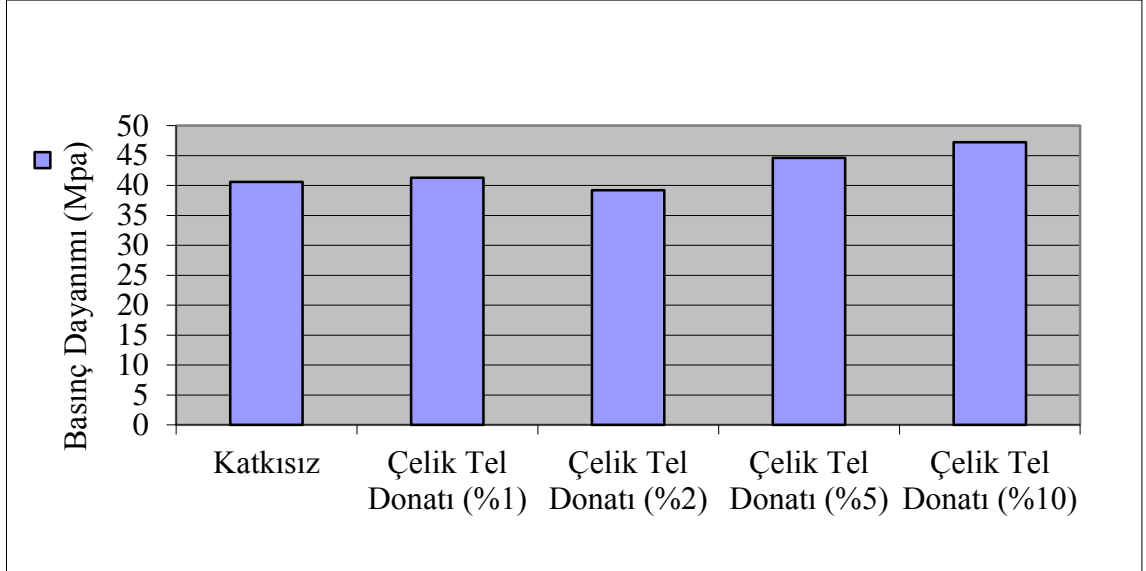
**Çizelge 5.1.** Deney I basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği



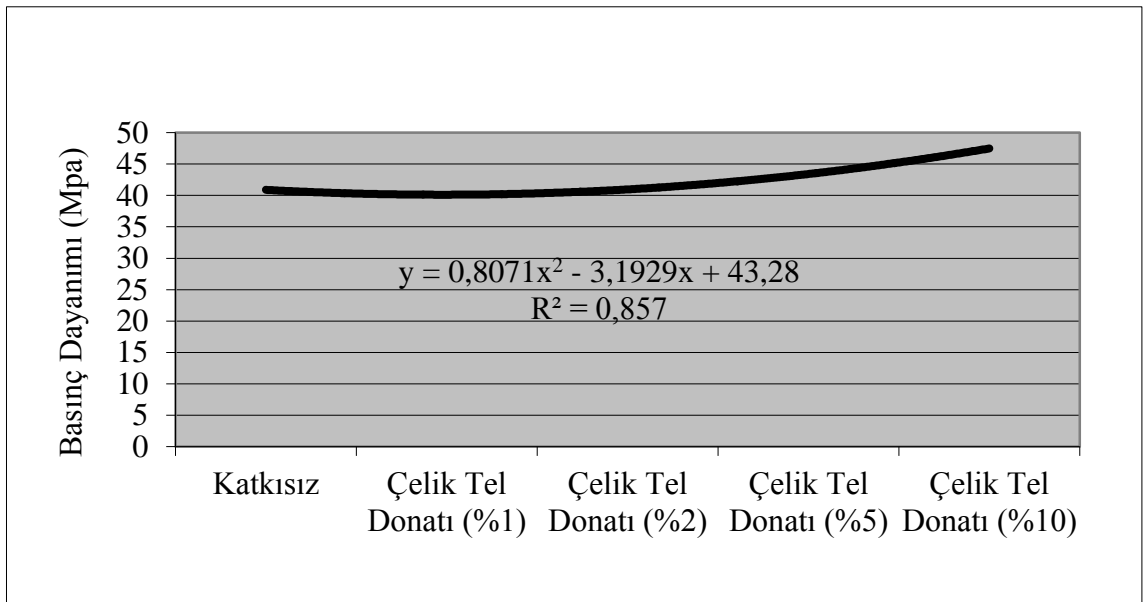
**Çizelge 5.2.** Deney I basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi



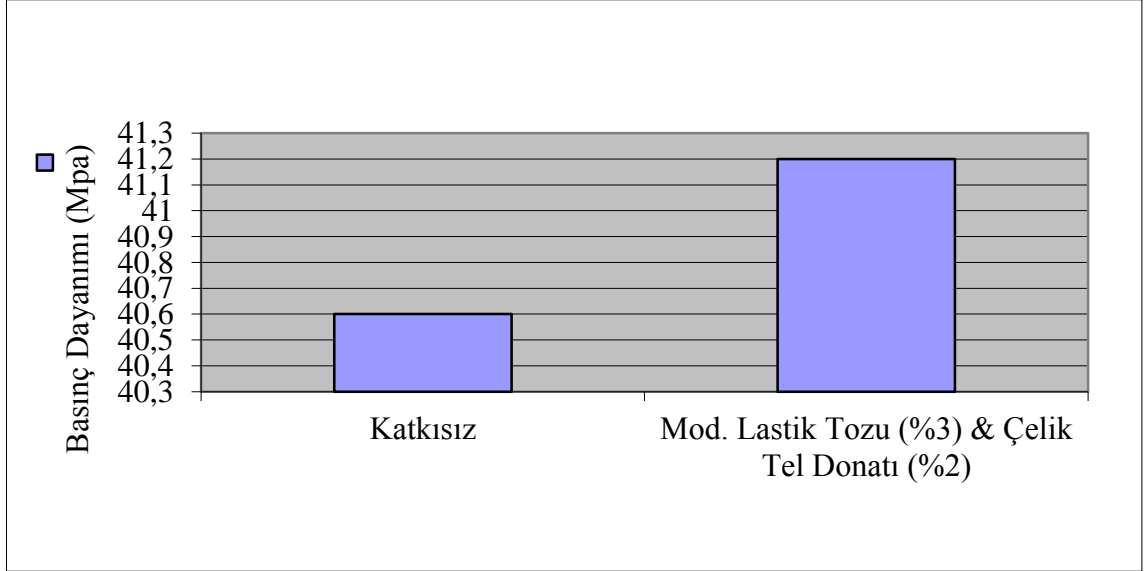
**Çizelge 5.3.** Deney I basınç dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği



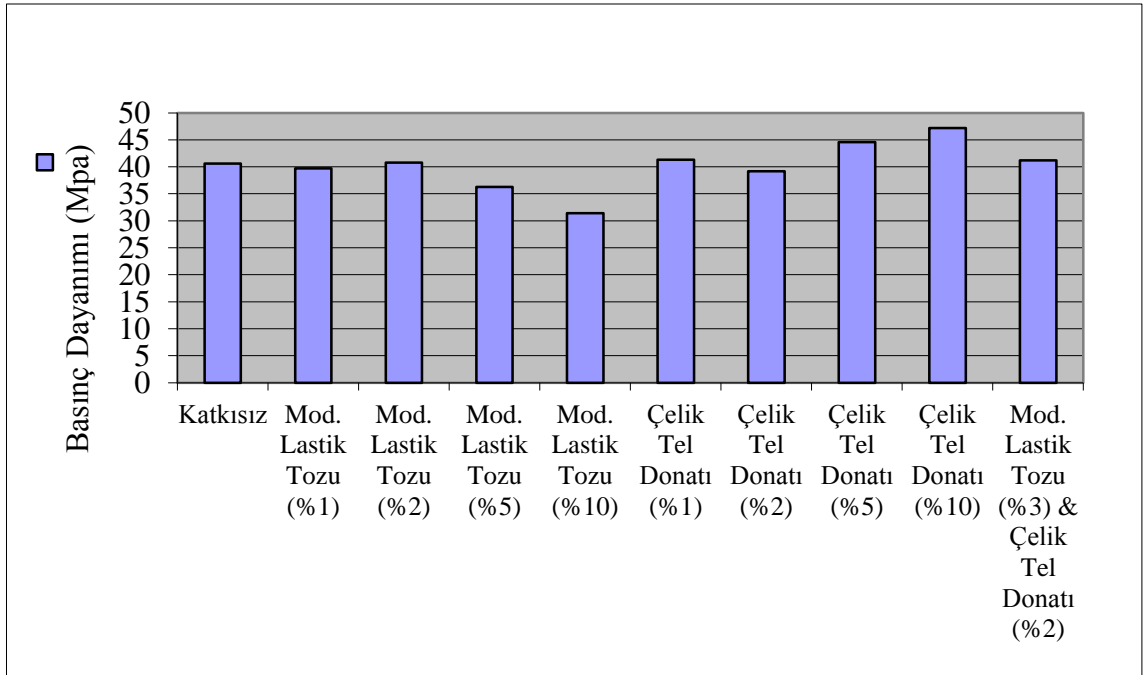
**Çizelge 5.4.** Deney I basınç dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi



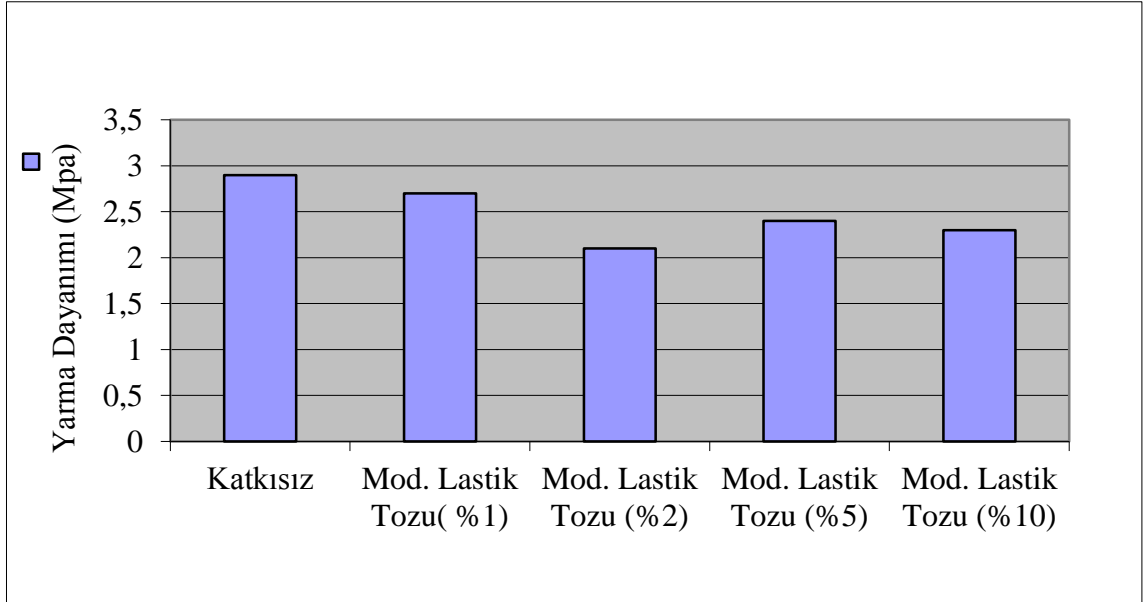
**Çizelge 5.5.** Deney I basınç dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği



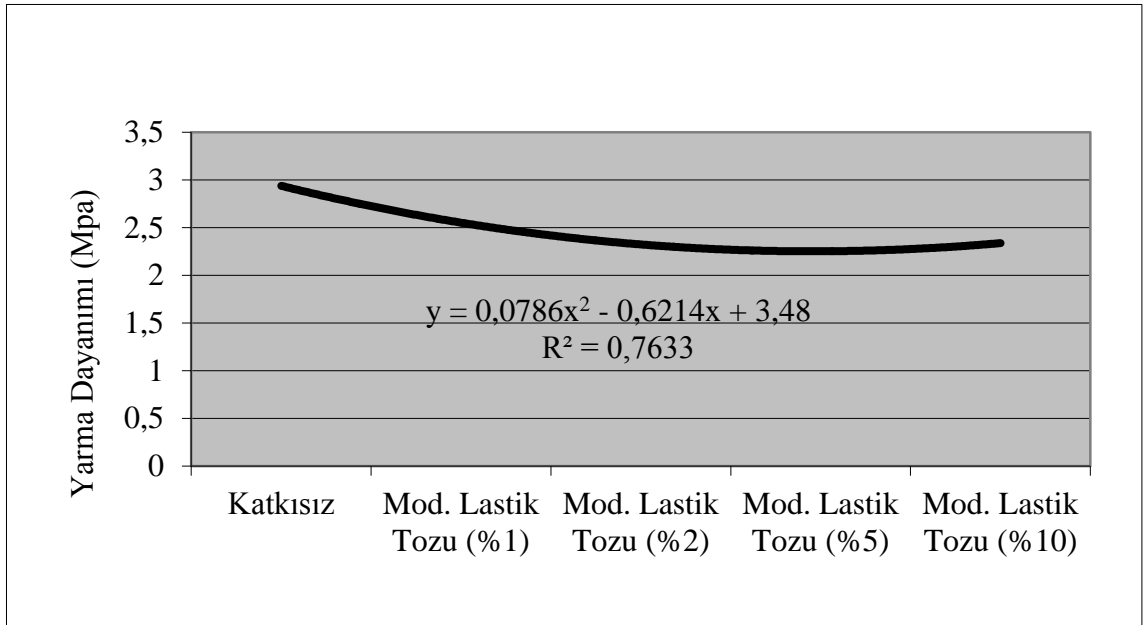
**Çizelge 5.6.** Deney I basınç dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 - çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği



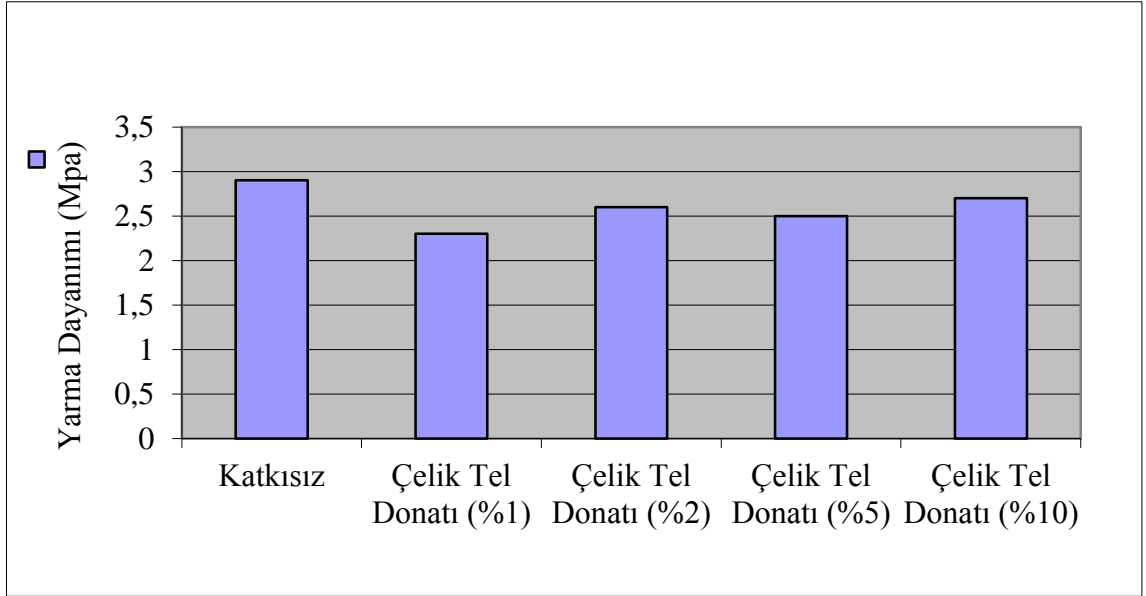
**Çizelge 5.7.** Deney I yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği



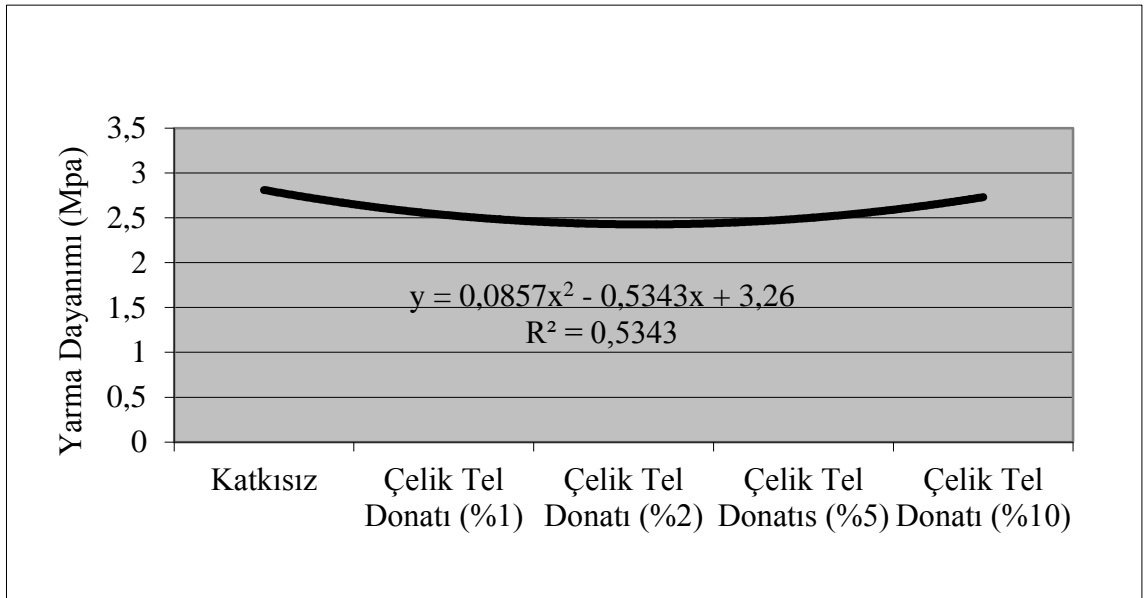
**Çizelge 5.8.** Deney I yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi



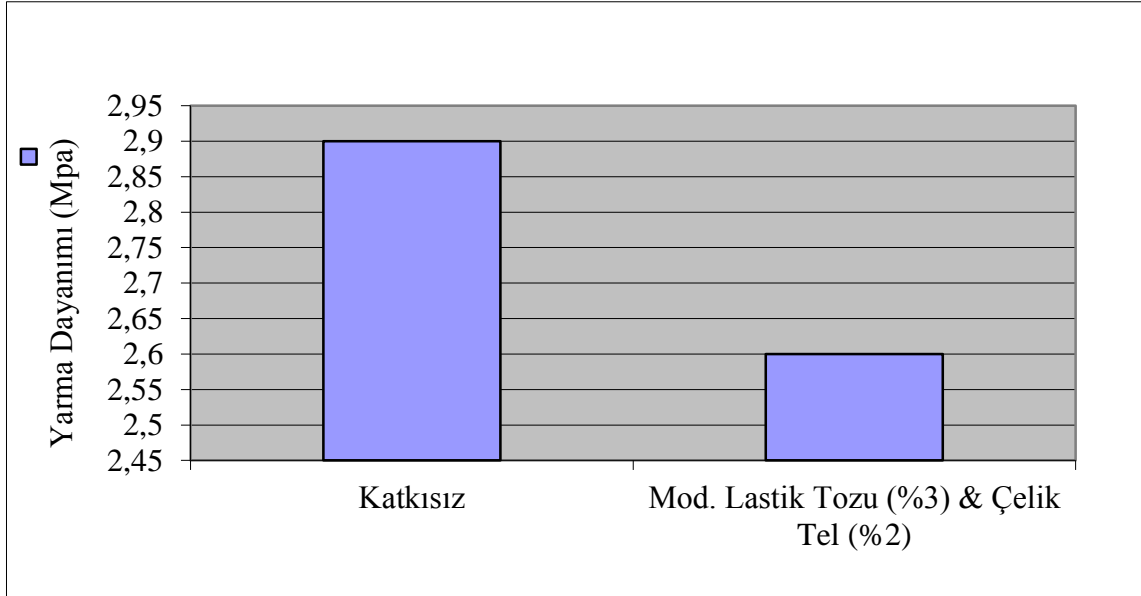
**Çizelge 5.9.** Deney I yarma dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği



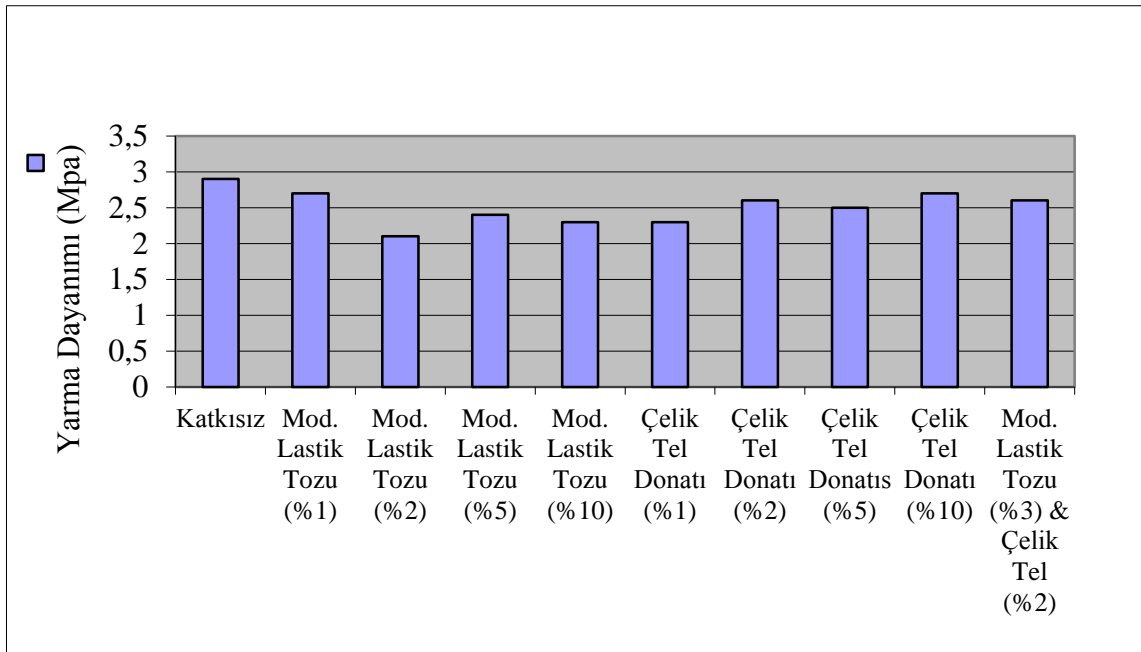
**Çizelge 5.10.** Deney I yarma dayanımı çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi



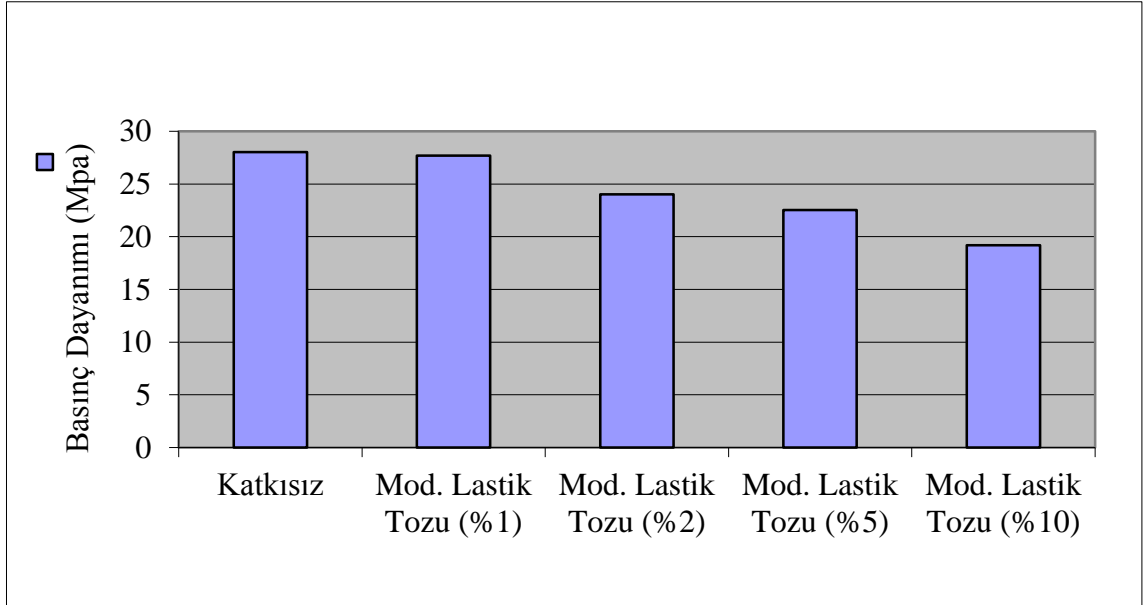
**Çizelge 5.11.** Deney I yarma dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği



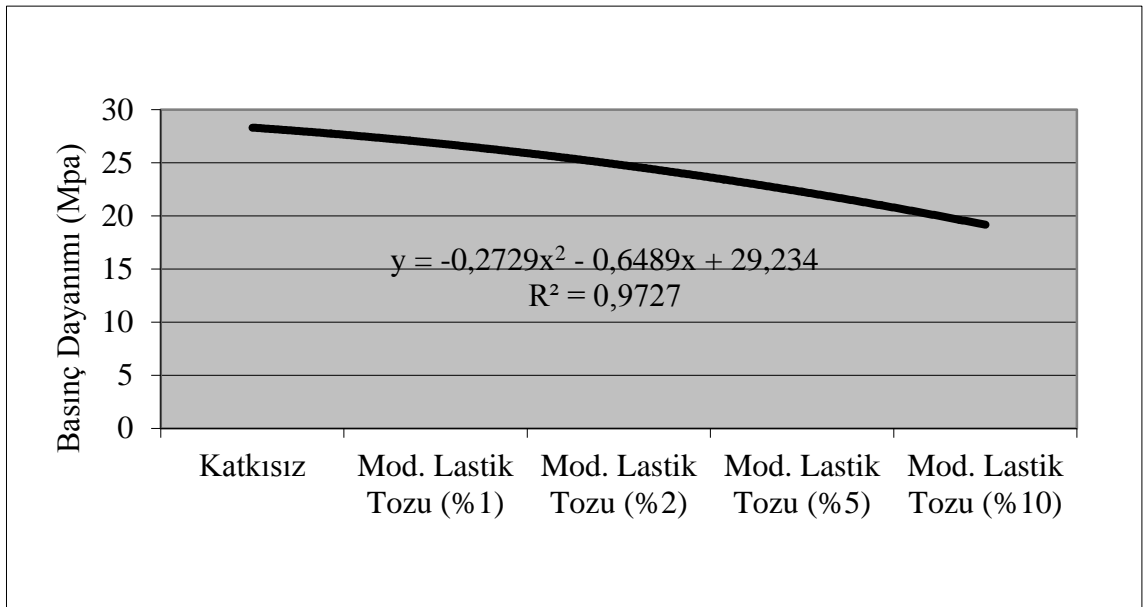
**Çizelge 5.12.** Deney I yarma dayanımı katkısız - modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 - çelik tel donatı %1-%2-%5-%10 - modifiye lastik tozu %3 ve çelik tel donatı %2 katkı ortalama grafiği



**Çizelge 5.13.** Deney II basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği

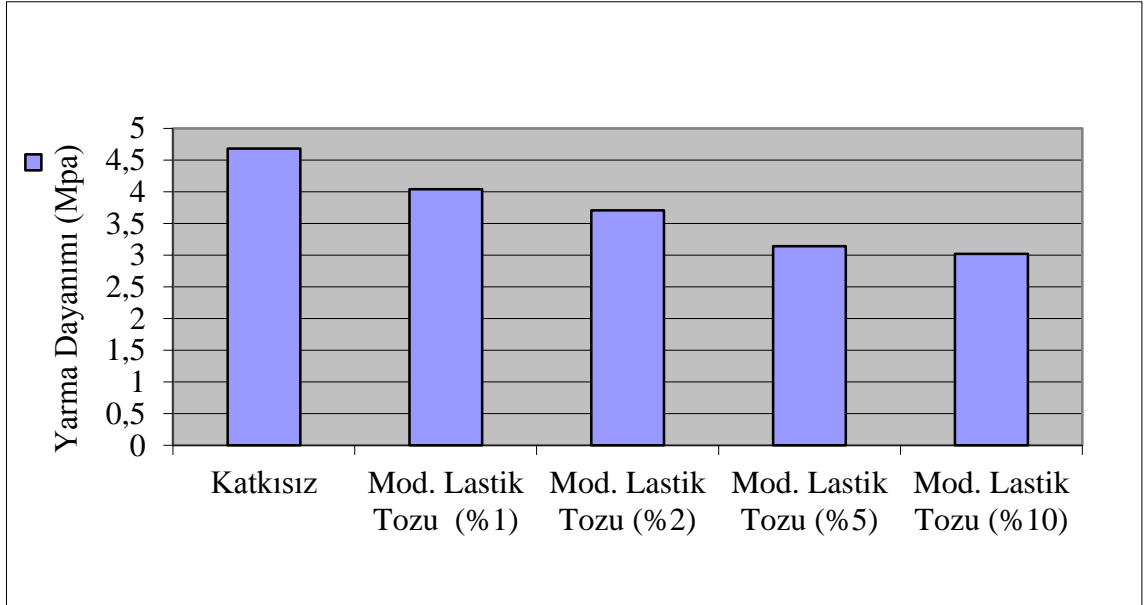


**Çizelge 5.14.** Deney II basınç dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi

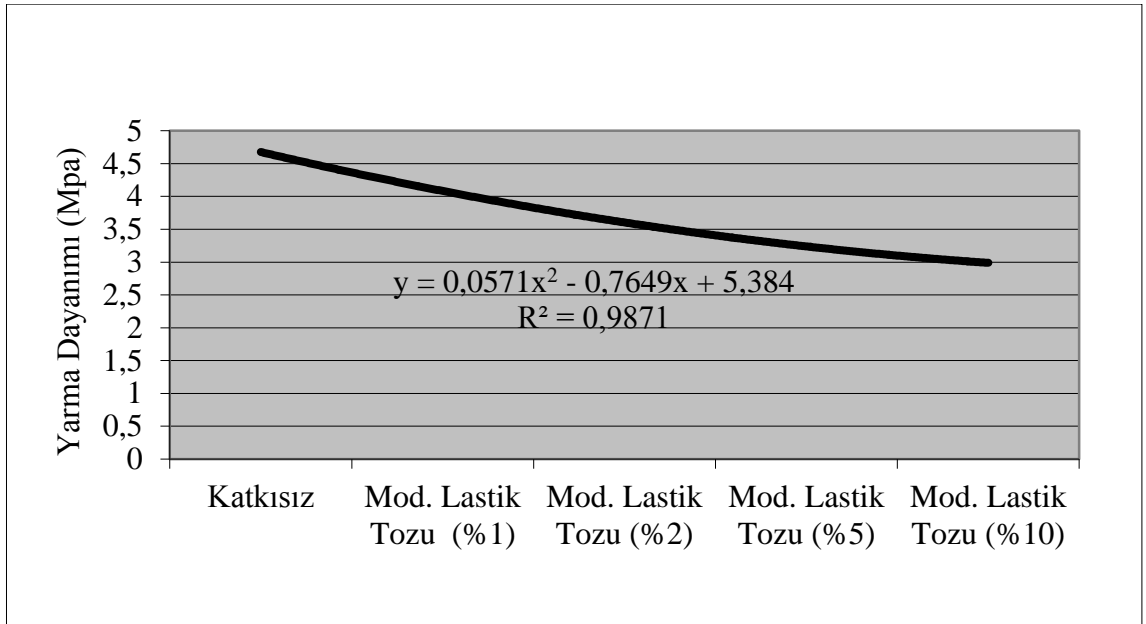




**Çizelge 5.15.** Deney II yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı ortalama grafiği



**Çizelge 5.16.** Deney II yarma dayanımı modifiye lastik tozu %1-%2-%5-%10 katkı eğilim çizgisi



Yukardaki deney sonuçlarından oluşturulan grafiklerin ışığında Şu sonuçlara varılmıŐtır; Asitle modifiye edilerek hacmi bŧyŧtŧlmŧŐ ilk atık lastik tozu çimentonun yapısı gereği asidik içeriğinden ŧtŧrŧ betona zarar vereceği ŧngŧrŧlmŧŐ ve beklenildiği gibi beton bŧyŧk mukavemet erezyonlarına maruz kalmıŐtır. Sadece mekanik parçalanma sonucu elde edilen ikinci atık lastik tozu ise betonun mukavemetine olumlu yŧnde etki etmese bile zarar da vermesin dŧŐŧncesiyle (Atık lastik dağlarının eritilmesi maksatlı) kullanılmış lakin yine ilk durumda olduğu gibi bŧyŧk mukavemet kayıpları gŧzlenmiŐtir.

Elde ettiğimiz veriler bize Atık Lastik Agregasının betonun mukavemetinde son derece olumsuz etkiler yaptđđı, hem basınc mukavemetinin hem de yarma mukavemetinin katkı miktarı arttıa dŧŐŐŐ eğilimi gŧsterdiđini belirtmektedir. Dolayısıyla dŧnyada bŧyŧk miktarda bulunan Atık Lastiklerin Beton Yollara katılmak suretiyle eritilme çabası Şu aŐamada mŧmkŧn gŧrŧlmemektedir.

elik Tel Donatı ise daha ŧnce yapılan çalışmaları doğrular nitelikte betona dayanım kazandırdđđı hem basınc hem yarma değerlerine katkı sağladığı gŧrŧlmektedir. Özellikle alan kaplamalarında betona katılan elik Tel Donatının betonun ŧmrŧne ve mukavemetine bŧyŧk iyileŐtirmeler sađlayacađđı aŐıkârdır.

Her iki katkının beraber çalışması neticesinde ise, elik tel donatının kılcal ve son derece kuvvetli (eliğin çekme-kopma direnci) yapısının beton agregaları arasında adeta bir ŧrŧmcek ađđı gŧrevini ŧstlenerek imento yapısına destek verdiği, atık lastik katkısının mukavemete olan olumsuz etkisinin nŧtralize edilebildiği sonucu ortaya çıkmıştır.

Karayollarımızdaki bakım – onarım çalışmalarının, ŧlke ekonomisi açısından gŧz ardı edilemeyecek bir yŧk olduğu bilinmektedir. Bu arada, sık bakım – onarım çalışmaları nedeniyle aksayan ulaŐımın yol atıđđı akaryakıt giderleri ile iş ve enerji kaybının getirdiği yŧkŧn ve sŧrŧcŧlerin yaŐadıđđı sıkıntının da ayrıca hesaba katılması gerekmektedir.

İlk yapım maliyetleri açısından Avrupa'da beton ve asfalt yolların kilometre başına fiyatları birbirine çok yakın. Hatta bazı ülkelerde beton yol asfalta göre biraz daha pahalı olabiliyor. Ancak kullanım ömrü ve yol bakım maliyetleri açısından beton yol daha avantajlı. Beton yollar inşasından 15-20 yıl sonra bakım istemesine karşın asfalt yollarda bu süre 4-5 yıla düşüyor. Türkiye'de her 4 yılda bir asfalt yolların dörtte birine yakını yenileniyor. Karayolları Genel Müdürlüğü'nün yıllık 2 milyarı aşan bütçesinin büyük kısmı bakım ve onarıma harcanıyor. Avrupa'nın en büyük TIR ve kamyon filosuna sahip olmamız nedeniyle yollarımızın ömrü daha da kısa. Çimento üretiminde dünyanın önde gelen ülkelerinden olması ve beton üretim ve uygulama teknolojisinde gelişmiş ülkeler düzeyinde bulunmasına karşılık, Türkiye'nin bu potansiyeli karayolu yapımında kullanılamamaktadır (İyınam ve Ağar 2011; Anonim 2011).

Ülkemiz ekonomik, doğa ve teknik şartlarının zorunlu hale getirdiği beton yol inşaatına imalata uygun yerlerde bir an önce başlanması ve gelişmiş ülkelerde bir asırdır uygulanan bu teknolojinin artık göz ardı edilmemesi gerekmektedir.

**KAYNAKLAR**

- Ağar E., Öztaş G., Sütas İ., 1999. Esnek Yol Üstyapıları ile Rijit Yol Üstyapılarının Teknik ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması – Teknik Rapor, TÇMB, syf,1-5, İstanbul
- Ağar E., Sütas İ. ve Öztas G., 2001. Beton Asfalt Kaplama İle Beton Yol Karşılaştırması, Türkiye Hazır Beton Birliği, Beton Yollar Özel Sayısı, syf. 48-51, İstanbul
- Ağar E., Sütas İ. ve Öztas G., 1998. Beton Yollar (Rijit Yol Üstyapıları), İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, syf. 1-108, İstanbul
- Arslan M., Durmuş G., Subaşı S., Can Ö., Yıldız K., 2010. Beton Yol Kaplamalarında Vakum Uygulaması Üzerine Bir Çalışma, Tübav Bilim Dergisi, Cilt:3, Sayı:3, syf: 215-223, Ankara
- Atahan A.O., Sevim U.K., 2008. Testing and Comparison of Concrete Barriers Containing Shredded Waste Tire Chips, Materials Letters, 62: 3754–757, Ankara
- Avcı B.E., 2011. Karayolu Üstyapı Seçim Metodolojisinin Maliyet ve Teknik Çerçeve Analizi, YTMK 2. Ulusal Ulaştırma Kongresi Bildiriler Kitabı, syf. 48-51, Ankara
- Baytop F., <http://www.insaahaberleri.net/haber/7973-meslek-egitim-beton-yol-imalatinda-dikkat-edilmesi-gereken-konul.html>
- Beton Yollar Bilgi Notu, THBB,syf. 1-5, İstanbul
- Çakar A.E., 2003. Ellilerden Günümüze Ulaşım Politikaları, syf. 1, İstanbul
- Doğan O., 2006. Esnek Üst Yapılı Devlet Yollarındaki Bozulmaların Bulanık Mantık ile Tahmini, İstanbul Teknik Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi, syf. 1-3, İstanbul
- Edis E., 2007. Asfalt ve Beton Kaplı Yolların Maliyet Yönünden Karşılaştırılması, Mustafa Kemal Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi, syf. 3-32, Antakya
- Eren A., 2011. Dönüştürülen Lastikler, İstanbul
- Fwa T.F., Handbook Of Highway Engineering, syf. 9-7/9-13, New York, A.B.D.
- Giriş Ü., 2007. Esnek Üstyapılar İle Rijit Üstyapıların Teknik Ve Ekonomik Yönden Karşılaştırılması, Gazi Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi, syf. 38-132, Ankara
- Gönüllü M.T., 2004. Atık Lastiklerin Yönetimi, Yıldız Teknik Üni., syf. 1-3, İstanbul
- Güzel G., 2004. Seminer Çalışması, Yıldız Teknik Üni., İstanbul
- İTÜ, 2004, Ulaştırma Ana Planı Stratejisi II. Ara Rapor, syf. 1-3, İstanbul
- İyınam Ş., Ağar E., 2011. Karayollarında Hazır Beton, syf. 6, İstanbul
- Koçak Y., Alpaslan L., 2011. Atık Lastiklerin Çimento ve Beton Sektöründe Kullanım Potansiyelleri, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), syf. 118-121, Elazığ
- Macit S., 2009. Beton Yol İnşaatında Kendiliğinden Yerleşen Betonun Kullanılması Üzerine Bir Araştırma, Karadeniz Teknik Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Doktora Tezi, syf 18-25, Trabzon

- Pancar E.B., 2008. Beton Yollarda Enine Yivmelenmenin Sürtünmeye ve Basınç Dayanımına Etkisi, On Dokuz Mayıs Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi, syf 7-33, Samsun
- Ohio Eyaleti Doğal Kaynaklar Bakanlığı, 2004. A history of rubber recycling, <http://www.dnr.state.oh.us/recycling/awareness/facts/tires/rubberrecycling.html>
- Portland Cement Concrete, <http://www.nysdot.gov/portal/page/portal/main/businesscenter/engineering/specifications/specs-repository/section500.pdf>
- Rad E., 1976. Rubberized Concrete, New Horizons in Construction Materials Envo Publishing Company, Vol. 1,syf. 287-292, Clemson, A.B.D.
- Reschner K., 2004. Scrap Tire Recycling, Part 1: Introduction, Historical Perspective, Market Overview, <http://www.entire-engineering.de/str/en.html>, Almanya
- Reschner K., 2004. Scrap Tire Recycling, Part 2: Size Reduction Technology, [http://www.entire-engineering.de/str/en\\_sr.html](http://www.entire-engineering.de/str/en_sr.html), Almanya
- Sugözü İ., Mutlu İ., 2009. Atık Taşıt Lastikleri ve Değerlendirme Yöntemleri Taşıt Teknolojileri Elektronik Dergisi Cilt: 1, No: 1,syf. 35-46, Afyon
- THBB Hazır Beton Dergisi, 2002. Bir Seçenek Daha Var Beton Yollar Özel Eki
- THBB Bülten, 2011. “Karayolunu Beton Yollar Aklayacak”, syf 2, İstanbul
- THBB Beton Çalışma Grubu, “Beton Yollar”, TMH - Türkiye Mühendislik Haberleri, 2003, Sayı: 427-5, İstanbul
- The British Insitute Concrete Paving Association, 2002. Cement&Concrete Association in Pavement Construction, BCA Crowthorne, Berkshire, UK
- Topçu İ.B., Demir A., 2007. Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XX, syf. 2, Eskişehir
- Uçar S., 2002. Concrete International, THBB Teknik Ofis, İstanbul
- Ulusal Beton Yollar Kongresi Konuşma Metinleri, 2002. Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara
- Ulusoy T., 2010. Beton Yollarda Taşıt Hızlarının ve Beton Özelliklerinin Yer Değiştirme ve Gerilmelere Etkisi, On Dokuz Mayıs Üni. FBE İnşaat Müh. ABD Yüksek Lisans Tezi, syf 18-25, Samsun
- Umar F., Açar E., 1991. Yol Üstyapısı, İstanbul Teknik Üni. İnşaat Fakültesi Matbaası Yayını, syf. 339, İstanbul
- Yalçın M., Taşdemir C., Gökalp İ., Ekim H., Yerlikaya M., 2011. Çelik Tel Donatılı Betonların Kullanılabilirlik ve Taşıma Gücü Sınır Durumlarına Göre Tasarımı, syf. 353-355,
- Yerlikaya M., 2011. Çelik Tel Donatılı Zemin Betonları Tasarım ve Yapım İlkeleri, syf. 3-9, İzmit
- Yerlikaya M., 2011. Çelik Tel Donatılı Betonların Deprem Etkisi Altında Davranışları, syf. 1-2, İzmit
- Yerlikaya M., 2011. Çelik Tel Donatılı Zemin Betonların Tasarım ve Yapım İlkeleri, syf. 1-9, İzmit
- Yerlikaya M., 2011. Çelik Tel Donatılı Yol Betonları, syf. 1-3, İzmit

## ÖZGEÇMİŞ

Berke Ersin AVCI 1978 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini Erzurum'da tamamladıktan sonra 2005 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2008 yılında Atatürk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Ulaştırma Anabilim Dalında Yüksek Lisans Eğitimine başladı. Halen T.C. Karayolları 12. Bölge Müdürlüğü'nde Üstyapı Kontrol Şefi olarak görev yapmaktadır.