

**PAMUKKALE ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**BAZALT ELYAFLARIN BETON YOLLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Nagihan ÇEVİK**

**Anabilim Dalı: İnşaat Mühendisliği**

**Programı: Ulaştırma**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN**

**MAYIS 2014**

## YÜKSEK LİSANS TEZ ONAY FORMU

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilim Enstitüsü 101131037 nolu öğrencisi Nagihan ÇEVİK tarafından hazırlanan "BAZALT ELYAFLARIN BETON YOLLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ" başlıklı tez tarafımızdan okunmuş, kapsamı ve niteliği açısından bir Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Somer HALDENBİLEN (PAÜ)  
(Jüri Başkanı)

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Serdal TERZİ

Jüri Üyesi: Prof. Dr. Halim CEYLAN

Pamukkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 21/05/2014 tarih ve ...22/13..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü  
Prof. Dr. Orhan KARABULUT

Bu tezin tasarımı, hazırlanması, yürütülmesi, araştırmaların yapılması ve bulguların analizlerinde bilimsel etiğe ve akademik kurallara özenle riayet edildiğini; bu çalışmanın doğrudan birincil ürünü olmayan bulguların, verilerin ve materyallerin bilimsel etiğe uygun olarak kaynak gösterildiğini alıntı yapılan çalışmalara atfedildiğini beyan ederim.

İmza:

Öđrenci Adı Soyadı: Nagihan ÇEVİK

## ÖNSÖZ

Bu çalışmada bazalt elyafların beton yollarda kullanılabilirliği; donatısız, farklı oranlar ve boylarda bazalt elyaf, çelik lif ve polipropilen lif katkılı beton numuneler hazırlanarak beton basınç dayanımı ve eğilmede çekme testleri yapılmıştır. Beton basınç dayanımları kullanılarak TS 500’de belirtilen ampirik formül ile beton numunelerin elastisite modülleri hesaplanmış ve beton yol plak kalınlıkları belirlenmiştir. Plak kalınlığı ve kullanılacak elyaf miktarına göre en ekonomik beton karışımı seçilmiş ve donatısız beton karışımıyla karşılaştırmalı olarak maliyet analizi yapılmıştır.

Bu çalışma süresince her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen değerli bilgi ve tecrübelerini paylaşan saygıdeğer hocam Prof. Dr. Soner HALDENBİLEN’e şükranlarımı sunarım. Çalışmalarındaki ilgi ve yardımlarından dolayı Prof. Dr. Halim CEYLAN ve Yrd. Doç. Dr. Hayri ÜN’e teşekkürlerimi sunarım.

Deneysel çalışmalarına malzeme desteği sağlayan Spinteks Tekstil İnş. ve Tic. A.Ş. ve Modern Beton A.Ş.’ye teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2014

Nagihan ÇEVİK  
(İnşaat Mühendisi)

## İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	x
SUMMARY.....	xi
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Beton Yollar .....	1
1.2. Problemin Tanımı .....	3
1.3. Tezin Amacı.....	4
1.4. Tezin Düzenlenmesi.....	4
<b>2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>6</b>
2.1. Giriş.....	6
2.1.1. Lif takviyeli beton.....	7
<b>3. YOL TASARIMI.....</b>	<b>14</b>
3.1. Giriş.....	14
3.2. Belçika Yol Araştırmacıları Tarafından Geliştirilen Tasarım Yöntemleri.....	14
3.2.1. Analitik yöntem.....	14
3.2.2. Katalog yöntemi.....	15
3.3. AASHTO 86 Tasarım Yöntemi.....	15
3.3.1. Servis kabiliyeti.....	15
3.3.2. Analiz süresi.....	16
3.3.3. Bölge faktörü ( R ).....	16
3.3.4. CBR (California Bearing Ratio).....	16
3.3.5. Eşdeğer dingil yükü, standart dingil yükü (EDY).....	16
3.3.6. Proje EDY değeri.....	16
3.3.7. Temel.....	16
3.3.8. Alttemel.....	16
3.3.9. Üstyapı sayısı.....	17
3.3.10. Zemin taşıma değeri ( $S_i$ ).....	17
3.3.11. Dingil eşdeğerlik faktörü ( $T_{8,2}$ ).....	17
3.3.12. Taşıt eşdeğerlik faktörü.....	17
3.3.13. Trafik analizi.....	17
3.4. Sathi Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi.....	18
3.5. Asfalt Betonu Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi.....	20
<b>4. LİF TÜRLERİ.....</b>	<b>26</b>
4.1. Giriş.....	26
4.2. Çelik Lif.....	27
4.3. Polimer Lifler.....	30
4.4. Cam Lifler.....	32
4.5. Karbon Lifler.....	34
4.6. Bazalt Lifler.....	35
<b>5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>42</b>
5.1. Giriş.....	42
5.2. Malzeme.....	42
5.2.1. Çimento.....	42
5.2.2. Agregası.....	43
5.2.3. Lifler.....	44
5.2.3.1. Çelik lif.....	44

5.2.3.2. Polipropilen lif.....	44
5.2.3.3. Bazalt lif.....	45
5.2.4. Kimyasal katkı.....	45
5.3. Metot.....	45
5.3.1. Numune boyutları ve sayıları.....	45
5.3.2. Beton karışımı.....	46
5.4. Deneyler.....	47
5.4.1. Beton basınç dayanımı deneyi.....	47
5.4.2. Eğilmede çekme deneyi.....	52
5.5. Beton Numunelerinin Elastisite Modüllerinin Hesaplanması.....	63
5.6. Elyaf Katkılı Beton Yol Tasarımı İçin Bir Yaklaşım.....	63
5.7. Maliyet Analizi.....	66
<b>6. SONUÇ VE ÖNERİLER.....</b>	<b>67</b>
6.1. Giriş.....	67
6.2. Sonuçlar.....	67
6.3. Gelecek Çalışmalar.....	68
<b>7. KAYNAKLAR.....</b>	<b>69</b>
<b>8. EKLER.....</b>	<b>71</b>
<b>9. ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>85</b>

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü
$a_i$	: Söz konusu granüler tabakanın izafi mukavemet sayısı
AASHTO	: American Association of State Highway and Transportation Officials
ASTM	: American Society for Testing and Materials
BSI	: İngiliz Standart Enstitüsü
$C_d$	: Drenaj katsayısı
CEB	: Avrupa Beton Komitesi
D	: Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı
$d_1, d_2$	: Numunenin en kesit boyutları
E	: Elastisite modülü
$E_c$	: Betonun elastisite modülü
EDY	: Eşdeğer dingil yükü
F	: En büyük yük
$f_{cf}$	: Eğilmede çekme dayanımı
GPa	: Giga Paskal
J	: Yük transfer katsayısı
K	: Zemin yatak katsayısı
kN	: Kilo Newton
L1	: Mesnetler arasındaki açıklık
LTB	: Lif takviyeli beton
MPa	: Mega Paskal
$M_R$	: Esneklik modülü (psi)
MOR	: Donatısız betonun kırılma modülü
$P_0$	: Başlangıç servis kabiliyeti indeksi
$P_t$	: Nihai servis kabiliyeti indeksi
$Re,3$	: Eşdeğer eğilme dayanımı
$S_0$	: Trafik tahini ve performans tahmininin bileşik standart hatası
$S_c$	: Betonun kopma modülü (eğilmede çekme mukavemeti)
SN	: Üstyapı sayısı
$W_{8,2}$	: 8,2 ton eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısı
$Z_R$	: Standart normal sapma
$\Delta PSI$	: $P_0 - P_t$ (servis kabiliyetinde azalma miktarı)
$\sigma$	: Betonun karakteristik basınç dayanımı

## TABLO LİSTESİ

### Tablolar

<b>3.1:</b> Servis kabiliyeti (Pt)'nin tayini.....	16
<b>3.2:</b> Taşıt eşdeğerlik faktörleri.....	17
<b>3.3:</b> Tabaka katsayıları.....	24
<b>4.1:</b> Lif çeşitleri.....	26
<b>4.2:</b> Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler.....	27
<b>4.3:</b> Polimer liflerin fiziksel özellikleri.....	30
<b>4.4:</b> Cam türleri ve özellikleri.....	33
<b>4.5:</b> Cam elyafı cinslerinin kompozisyonları.....	34
<b>5.1:</b> Beton karışımında kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler.....	43
<b>5.2:</b> Beton karışımında kullanılan çimentoya ait fiziksel özellikler.....	43
<b>5.3:</b> Beton karışımında kullanılan çelik life ait teknik özellikler.....	44
<b>5.4:</b> Beton karışımında kullanılan polipropilen life ait teknik özellikler.....	45
<b>5.5:</b> Bazalt elyaflara ait teknik özellikler.....	45
<b>5.6:</b> Beton numunelerin kodlandırılması.....	47
<b>5.7:</b> Beton karışımında kullanılan malzemelerin ağırlık olarak karışıma katılım oranları.....	47
<b>5.8:</b> 7 Günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	49
<b>5.9:</b> 28 Günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları.....	49
<b>5.10:</b> Basınç dayanımlarının şahit numunelere göre artış oranları.....	52
<b>5.11:</b> 7 ve 28 günlük deney numunelerinin basınç dayanımı artış yüzdeleri.....	52
<b>5.12:</b> 7 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları.....	55
<b>5.13:</b> 14 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları.....	56
<b>5.14:</b> 28 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları.....	57
<b>5.15:</b> Eğilmede çekme dayanımlarının şahit numuneye göre artış yüzdeleri.....	58
<b>5.16:</b> Eğilme dayanımlarının şahit numunelere göre artış oranları.....	62
<b>5.17:</b> Küp numune basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri.....	63
<b>5.18:</b> Hesaplanan elastisite modüllerine göre (D) plak kalınlıkları.....	65



## ŞEKİL LİSTESİ

### Şekiller

1.1: Üstyapı kaplamaları yükü nasıl iletir.....	3
3.1: Sathi kaplamalı üstyapılar için projelendirme abağı.....	19
3.2: Asfalt betonu kaplamalı yollar için projelendirme abağı.....	21
3.3: Asfalt betonu kaplamalı yollar için projelendirme abağı.....	22
3.4: BSK tabakaları için tabaka katsayısı seçim abağı.....	23
3.5: Kalınlıkların kontrolü.....	24
4.1: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller.....	28
4.2: Üzerine girintiler (çentikler) açılmış teller.....	28
4.3: Uzunluğu boyunca dalgalı teller.....	29
4.4: Ay biçimli dalgalı teller.....	29
4.5: Bir ucu kıvrılmış teller.....	29
4.6: İki ucu kıvrılmış teller.....	29
4.7: Polipropilen elyaf.....	31
4.8: Cam lif çeşitleri (a) Tek lif halindeki makaralar, (b) Kırpılmış elyaf.....	32
4.9: Karbon elyaf çeşitleri (a) Karbon liflerden üretilmiş fitil, (b) Kırpılmış karbon elyaf.....	35
4.10: Bazalt elyaf.....	38
4.11: Bazalt İp, lif.....	38
4.12: Bazalt çubuklar.....	38
4.13: BÇIII ve bazalt lifli donatı için idealize edilmiş gerilme –şekil değiştirme ilişkisi.....	40
5.1: Kullanılan agregalara ait granülometri eğrisi.....	44
5.2: Üretilen beton numuneler.....	46
5.3: Beton basınç deneyi düzeneği.....	48
5.4: Şahit ve elyaf katkılı numunelerin 7 günlük basınç dayanımı karşılaştırması.....	51
5.5: Şahit ve elyaf katkılı numunelerin 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması.....	51
5.6: Orta noktadan yüklenmiş basit kiriş metodu.....	53
5.7: Deney düzeneği.....	54
5.8: 7 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi.....	59
5.9: 14 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi.....	59
5.10: 28 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi.....	60
5.11: 12 mm bazalt elyafli numunelerin ortalama eğilme dayanımına ait verilerin grafiği.....	60
5.12: 24 mm bazalt elyafli numunelerin ortalama eğilme dayanımına ait verilerin grafiği.....	61
5.13: Eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre karşılaştırılması.....	61
5.14: Eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre karşılaştırılması.....	62

<b>5.15:</b> Kaplama kalınlığının beton elastisite modülüne göre değişimi.....	65
<b>A.1:</b> 7 Günlük numunelerin eğilmede çekme deneyi yük - sehim grafikleri.....	72
<b>A.2:</b> 14 Günlük numunelerin eğilmede çekme deneyi yük - sehim grafikleri.....	76
<b>A.3:</b> 28 Günlük numunelerin eğilmede çekme deneyi yük - sehim grafikleri.....	80

## ÖZET

### BAZALT ELYAFLARIN BETON YOLLARDA KULLANILABİLİRLİĞİ

Bu çalışmada bazalt elyafların beton yollarda kullanılabilirliği araştırılmıştır. Beton karışımında bazalt elyaf kullanımıyla betonun eğilme dayanımı ve basınç dayanımını arttırmak amaçlanmıştır. Tezde farklı miktar ve türlerde lifler kullanılarak betonun mekanik özelliklerindeki iyileşmeler karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

C 20 kalitesinde beton kullanılarak farklı oran ve boylarda bazalt elyaflı, çelik lifli, polipropilen lifli ve donatısız referans numuneler imal edilmiştir. Her bir deney grubunda üçer adet olmak üzere; 7 ve 28 günlük küp basınç numuneleri ve eğilme dayanımı deneyinde kullanılmak üzere 7, 14 ve 28 günlük kiriş numuneler hazırlanmıştır.

Deneysel sonuçlarda elde edilen basınç dayanımları kullanılarak TS 500'de belirtilen ampirik formül ile beton numunelerin elastisite modülleri hesaplanmış ve örnek bir yol tasarımı için beton yol plak kalınlıkları belirlenmiştir. Betonun eğilme dayanımı ve hesaplanan plak kalınlığı göz önünde bulundurularak en ekonomik beton karışımı seçilmiş ve donatısız beton karışımıyla karşılaştırmalı olarak maliyet analizi yapılmıştır. Bazalt elyaf kullanımıyla betonun mekanik özelliklerinde iyileşme sağlanmasına rağmen, güncel bazalt elyaf fiyatına göre ekonomik bir tasarım gerçekleştirilemeyeceği sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Bazalt Elyaf, Lifli Betonlar

## **SUMMARY**

### **USABILITY OF BASALT FIBERS ON CONCRETE ROADS**

Usability of basalt fiber in concrete roads is investigated in this study. It is aimed to improve flexural strength and compressive strength by using basalt fiber in concrete mixture. In this thesis, the improvements in mechanical properties of concrete are researched comparatively by using different quantities and types of fibers.

C 20 concrete class has been chosen and different quantities and types of basalt fiber, steel fiber, polypropylene fiber reinforced and unreinforced concrete specimens have been manufactured. For use in compressive strength and flexural strength tests, 7 and 28 day cubic specimens and 7, 14 and 28-day beam specimens have been prepared for each experimental group including three.

Young's modules of specimens have been calculated by using empirical formula specified in TS 500 and rigid pavement thicknesses have been determined for a sample road design. Considering the flexural strength and rigid pavement thickness, the most economical concrete mixture has been chosen and cost analysis has been performed by comparing with unreinforced concrete specimen. Although achieving improvements in mechanical properties of concrete by using basalt fiber, it has been deduced that with the current price of basalt fiber, an economical road design can not be carried out.

**Key Words:** Basalt Fiber, Fiber Reinforced Concrete

# 1. GİRİŞ

## 1.1. Beton Yollar

Ülke ekonomisinin gelişmesi, sağlık, eğitim ve sosyal yaşam ihtiyaçlarının karşılanması için ülkenin ulaşım ağının yeterliliği çok önemli bir faktördür. Bu nedenle ulaşım ağı yeterli düzeyde ve kalite standartlarında olmalıdır.

1950 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü'nün kurulmasıyla Türkiye'de karayolu çalışmaları büyük bir ivme kazanmıştır. Ülkemizde 1950 yılında toplam her mevsim geçit veren yol uzunluğu 9624 km iken, 1960 yılında 22000 km ve günümüzde ise 2127 km.si otoyol olmak üzere 65382 km uzunluğunda bir yol ağı mevcuttur.

Ülkemizdeki karayolu trafiğinde ağır taşıt oranı toplam trafik içinde % 50 ile % 70 arasında pay almaktadır. Bu oran gelişmiş ülkelerde % 10 – 20 kadardır. 1985 yılında yürürlüğe giren 2918 sayılı Karayolları Trafik Kanunu yönetmeliği ile yasal tek dingil yükü 10 tondan 13 tona, çift (tandem) dingil yükü ise 16 tondan 19 tona çıkarılmıştır. Ülkemizde yeterli düzeyde ağırlık kontrolü yapılmadığı ve genellikle de aşırı yüklemelere gidildiği için toplam trafik içinde yer alma payı oldukça fazla olan ağır taşıtların yola verdikleri yıpranma zararı da o oranda artmaktadır (Ecevit, 2007).

Ulaşım ağının önemli bir parçası olan karayollarında büyük oranla sathi kaplama kullanılmakta ve artan ağır taşıt trafiği ve yaz aylarında sıcaklığın etkisiyle gevşeyen asfalt kaplama deforme olmakta ve çabuk bozulmaktadır. Oysaki yolların beton yapılması asfalta oranla birçok avantajının yanı sıra daha yüksek dayanım ve uzun bir ekonomik ömür sağlayacaktır. Yollarda dingil yükü asfaltda 13 ton iken, birçok ülkedeki beton yollarda 35 tona kadar arttırılabildiği kanıtlanmıştır (Koca, 2002)

Ülkemizdeki karayolu yatırımlarında genel olarak ilk yatırım maliyeti göz önünde bulundurulduğundan yol üstyapı kaplaması olarak asfalt kaplama tercih edilmektedir. Bakım masrafları da göz önünde bulundurulduğunda, uzun vadede beton kaplamanın daha ekonomik olduğu görülecektir. Ayrıca asfaltın hammaddesi petrol olması

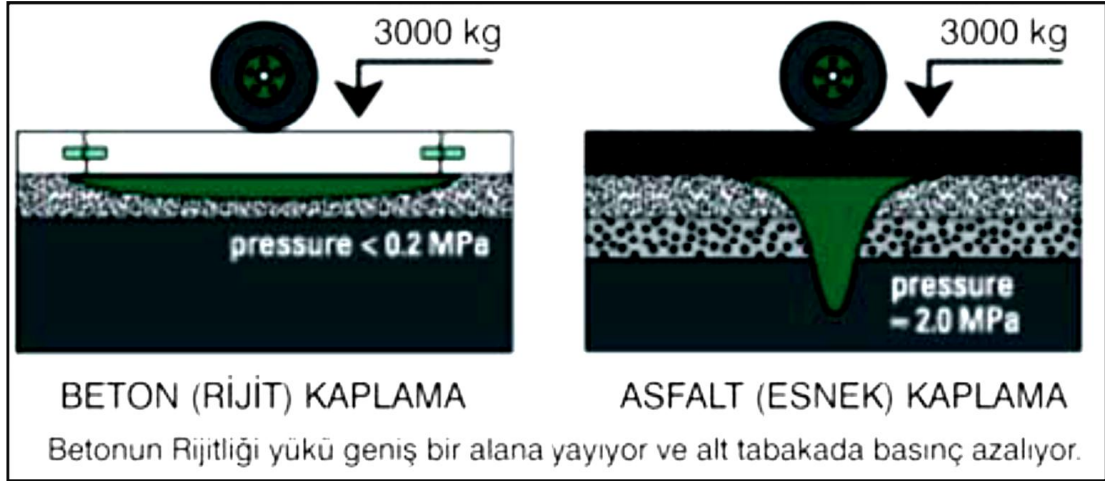
nedeniyle dışa bağımlılık söz konusu iken, betonun tamamen milli ekonomimizde üretilmesi en önemli avantajlarından biridir.

Türkiye’de her 4 yılda bir asfalt yolların dörtte birine yakını yenileniyor. Karayolları Genel Müdürlüğü’nün yıllık 2 katrilyon TL’yi aşan bütçesinin büyük kısmı bakım ve onarıma harcanıyor. Avrupa’nın en büyük tır ve kamyon filosuna sahip olmamız nedeniyle yollarımızın ömrü daha da kısadır (Karpuz, 2008)

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

Beton yollar 35-40 yıl gibi uzun bir proje ömrüne sahiptirler. Bu süreyi çok daha yukarılara çıkarmak için hem trafiğin hem de iklim koşullarının aşındırıcı etkilerine karşı çok dayanıklı yol kaplama betonu üretilmesi için dünya çapında çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Beton kaplama rijittir, elastik bir zemine oturan kiriş gibi çalışır ve üzerine gelen yükleri çok daha geniş bir alana yayarak taban zeminine iletir. Beton, yolun taşıma gücü taban zeminine bağlı değildir. Bu nedenle rijit üstyapı olan beton kaplama zayıf taban zeminleri üstünde esnek üstyapılara kıyasla daha iyi sonuçlar vermektedir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilir. Asfalt kaplamalar ise, üzerlerine gelen yükleri bir alt tabakaya yayarak iletirler (Şekil 1.1). Kaplamadan temele, temelden alt temele ve nihayet alt temelden taban zeminine iletilen yükler, her bir tabaka geçişinde gittikçe yayılmakta ve daha geniş bir alana dağılmaktadır. Dolayısıyla her bir tabakada kullanılan malzemenin mekanik özellikleri de, tabakalardan aşağı inildikçe azalan gerilme değerlerine paralellik gösterir. Taban zemini zayıfsa ve çeşitli gerilmeler altında deforme oluyorsa, asfalt kaplama da bu deforme olan bu profili izlemekte ve sonuçta yolun en üst düzeyinde çeşitli oturmalar ve ondülasyonlar gözlenmektedir (Arslan, 2007).



Şekil 1.1: Üstyapı kaplamaları yükü nasıl iletir (Arslan, 2007)

## 1.2. Problemin Tanımı

Ülkemizde günden güne artan ağır taşıt trafiği, bu trafik yüklerini sorunsuz taşıyabilecek ekonomik tasarımları gerektirmektedir. Bu nedenle karayolu projelendirilmesi ve uygulama safhasında uygun çözüm yolları üretilmemiştir.

Yol üstyapısında kullanılacak malzemenin seçilirken; proje şartlarını sağlanması, ekonomik olması, bakım masraflarının düşük olması, malzemenin çevreye uyumlu olup olmadığı ve yapım süresinin kısa olması gibi parametreler göz önünde bulundurulmalıdır.

Türkiye’de karayolu üstyapısı olarak esnek üstyapılar (asfalt yollar) uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Rijit üstyapı (beton yollar) ise henüz deneme safhasındadır. Bakım giderleri çok az olan ve daha uzun süre hizmet veren beton yollar, günümüzde asfalt yollara oranla daha ekonomik bir çözüm getirmektedir (Uçar, 2002). Ayrıca rijit bir yol üstyapısı olan beton yolun birçok bakımdan asfalt yollara göre daha iyi bir performansa sahip olduğu bilinmektedir (Taşdemir, Ağar, 2002)

Beton çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Trafik yükleri altında beton plaktaki şekil değiştirmeler ve gerilmeler arasında ilişki doğrusal değildir. Tekerlek yükleri altında beton plakta basınç, çekme ve eğilme gerilmeleri meydana gelir. Tekerlek yükleri kalktığında ise beton plakta gerilmeler kaybolarak eski haline geri döner. Sürekli ve kısa aralıklarla devam eden bu ağır trafik yükleri beton plakta değişen basınç ve çekme gerilmelerine ve dolayısıyla betonda yorulmaya neden olmaktadır. Bunların dışında beton çevresel etkenlerden (nem, sıcaklık) dolayı beton kaplamanın alt ve üst yüzeylerinde farklı gerilmeler oluşarak plağın eğilip bükülmesine neden

olmaktadır. Mekanik etkilerin yanı sıra yağmur, kat, buzlanma ve buz çözücü tuzlar gibi ortam ve kullanım şartlarından kaynaklanan faktörler beton yol kaplamasını etkilemektedir (Arslan, 2007)

Çevresel faktörler ve mekanik yükler beton kaplamada erken bozulmalara ve kullanım ömrünün azalmasına neden olmaktadır.

### **1.3. Tezin Amacı**

Çalışmanın temel amacı beton yol kaplamalarının bazalt elyaf katkısıyla basınç ve eğilme dayanımını arttırmak amacıyla yöntemler geliştirmektir. Yukarıda belirttiğimiz problemi çözmek için, farklı oran ve boylarda bazalt elyaf kullanılarak betonun eğilmede çekme dayanımı ve basınç dayanımının iyileştirilmesi amaçlanmıştır.

Deney sonuçları örnek bir yol kesitinde uygulanarak donatısız ve elyafly beton plak olarak tasarlanmış ve donatısız olarak belirlenen plak kalınlığının bazalt elyaf kullanımıyla azaltılması hedeflenmiştir.

Bununla birlikte polipropilen lif ve çelik lif kullanılarak hazırlanan beton numunelerinin bazalt elyaf katkılı beton numunelerinin basınç ve eğilmede çekme dayanımları artışlarının karşılaştırması amaçlanmıştır.

### **1.4. Tezin Düzenlenmesi**

Tezin giriş bölümünde beton yol kaplamalarında mekanik ve çevresel etkiler nedeniyle oluşan problemler tanımlanmıştır. Ayrıca problem ve çalışmanın amacından bahsedilmiş ve çalışmanın düzenlenme şekli verilmiştir.

Bölüm 2’de esnek kaplama ve rijit kaplamaların teknik ve ekonomik olarak karşılaştırılması, lif katkılı beton ve çeşitli liflerin mühendislikteki kullanım alanlarıyla ilgili literatür çalışmalarına yer verilmiştir.

Bölüm 3’te lif türleri, liflere ait teknik özellikler ve mühendislikteki kullanım alanlarıyla ilgili bilgi verilmiştir.

Bölüm 4’te beton numunelerinde kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, hazırlanan numunelerin boyut ve sayıları ve malzemelerin beton karışımına katılım oranları ile ilgili bilgiler verilmiştir. Deneyle ilgili standartlar, deney düzeneği ve yöntem açıklanmış; lif katkılı ve katkısız hazırlanan beton numuneleri için elde edilen deney sonuçları tablolar ve grafikler halinde verilmiştir.



Elde edilen deney sonuçlarına göre tasarımı yapılan yol üstyapısı için örnekler arasında maliyet analizi yapılmıştır.

Bölüm 5'te deney sonuçları değerlendirilmiş ve uygulama ile ilgili önerilere yer verilmiştir. Ayrıca gelecekte yapılacak çalışmalara ilişkin bilgi verilmiştir.

## 2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

### 2.1. Giriş

Karayolu üstyapıları genel olarak esnek üstyapılar (asfalt kaplama) ve rijit üstyapılar (beton kaplama) olarak iki grupta değerlendirilmektedir. Esnek üstyapılar ülkemizde uzun yıllardan beri kullanılmaktadır. Ülkemizde deneme aşamasında olan beton yollar ise çok az bakım giderleri ve uzun bir kullanım ömrüne sahiptir. Bunun yanı sıra aşağıda maddeler halinde belirtilen üstünlüklere sahiptir:

- Beton kaplama üzerine gelen yükleri çok geniş bir alana yayarak zemine iletir. Bu nedenle zayıf zeminler üstünde rijit üstyapılar esnek üstyapılara göre daha iyi sonuç vermektedir.
- Beton kaplamalar kayma sürtünme katsayılarının yüksek olmasından dolayı asfalt kaplamalara göre daha kısa durma mesafesi sağlar.
- Esnek kaplamalar taşıt yükü altında daha çabuk deforme olurlar. Bu deformasyon taşıt enerjisinin bir kısmını emdiği için daha fazla yakıt harcamasına neden olur.
- Beton yollar açık renkli olduğu için gece görüşünü kolaylaştırır.
- Beton yol hammaddesi yüzde yüz yerlidir.
- Beton yol yakıt tasarrufu sağladığı için ve uygulama esnasında asfalt kaplamada kullanılan ısıtma ve kurutma işlemlerinin kullanılmaması nedeniyle çevrecidir.

Dünyada yaklaşık yüz yıldan beri kullanılan beton yollar 35-40 yıl gibi uzun bir proje ömrüne sahiptirler. Bu süreyi çok daha yukarıya çıkarmak için hem trafiğin hem de iklim koşullarının aşındırıcı etkilerine karşı çok dayanıklı yol kaplama betonu üretilmesi için dünya çapında çeşitli yöntemler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Beton yollarda lif içerikli beton kullanımı 1970'li yılların ilk dönemlerinde başlamıştır. Bu kaplama uygulamaları; köprü plak kaplamaları, karayolu kaplama ve kaplama takviye tabakaları, havaalanları, havayolu apronları ve endüstriyel zemin kaplamalarını da içermektedir. Lankard ve Shrader (1983) tarafından ABD'de 1983 yılında 22 havaalanı projesinin tamamlandığı belirtilmiştir. 1984'ten beri Avrupa'da endüstriyel alanlarda 1 milyon m<sup>3</sup> lif içerikli beton kaplama uygulamalarının hemen hemen tümünde çelik lif kullanılmıştır.

Eski beton kaplaması çelik lif içerikli beton takviye tabakası ile kaplanan Transcanadian karayolu üzerinde deneysel rehabilitasyon projesi uygulanmıştır (Chanvillard, 1989). Eski kaplamanın yüzeyi kumla kaplanmış veya yivlendirilmiştir. Üç tip çelik lif kullanılmış ve tüm takviye tabakaları ince çimento harcı ile alt tabakaya bağlanmıştır. İlave olarak 37,5 mm uzunluğundaki çelik çiviler kullanılarak iki şerit arasındaki mekanik bağ oluşturulmuştur.

Günümüzde betonda en yaygın olarak kullanılan lifler; çelik, polipropilen ve alkali dirençli camlardır. Genellikle beton karışımlarında kullanılan çelik liflerin narinlik oranı 50 ile 100 ve polipropilen liflerin boyları ise 12 ile 50 mm arasında değişmektedir. Betona katılma oranları çelik lifler için hacimce %0.5 - %2.5 ve polipropilen lifler için ise %0.1 - %0.5 arasında değişmektedir (Karahan, 2006).

### **2.1.1 Lif takviyeli beton (LTB)**

LTB beton basınç dayanımı yüksek fakat çekme dayanımı ve çekme birim deformasyon kapasitesi düşük gevrek bir malzemedir. Betona liflerin eklenmesiyle betonun süneklik özelliği gelişmektedir.

LTB ince agrega ve kaba agrega adı verilen mineral dolgu malzemelerinin çimento, su karışımından oluşan bağlayıcı harç ile gerektiğinde çeşitli kimyasal ve mineral katkıların da eklenmesinden sonra katılan liflerin harç içerisinde homojen olarak dağılmasıyla elde edilen ve zamanla sertleşip dayanım kazanan bir malzeme olarak tanımlayabiliriz (Bekaert, 2001).

İlk çağlardan beri insanlar kırılğan malzemenin içine bitkisel ve hayvansal kaynaklı lifler koyarak malzemenin kırılğanlık özelliğini gidermeye çalışmışlardır. Balaguru ve Shah'a (1992) göre liflerin yapı malzemesi olarak kullanımı ilk olarak antik Mısır'a kadar dayanmaktadır. Antik Mısır'da çamur tuğlaları güçlendirmek amacıyla hayvan tüyleri ve saman kullanılmıştır. Balaguru ve Shah'ın (1992) raporlarına göre modern olarak geliştirilebilen tek lif türü, çelik lifler 1960'lı yılların başında kullanılmaya başlanmıştır. O günden beri pek çok lif türü çimento kompozitlerinde kullanılmaktadır. İlk zamanlarda çimento kompozitlerinde yalnızca çelik ve cam lifler ve bu liflerin yalnızca düz ve pürüzsüz şekilde olanları kullanılmıştır. Son 50 yıl içerisinde ise birçok lif türü geliştirilmiş ve çimento kompozitlerine adapte edilmiştir (Wong, 2004).

Betonun mekanik özelliklerinin iyileştirilmesinde karışıma çelik, polipropilen, cam, plastik ve bazalt gibi lifler de eklenerek beton dayanım ve dayanıklılığında iyileşmeler sağlanmaktadır. Betonda oluşan çatlakların aniden yayılmasını engelleyerek, betonun sünek davranış göstermesini sağlayan lifler, oluşan deformasyonda betonun yük taşıyabilmesini sağlamakta ve enerji yutma kapasitesini artırmaktadır. Bu lifler farklı malzemelerden, farklı özelliklerde, farklı boyutlarda ve farklı tiplerde üretilmektedir. Lif tipi, çapı, uzunluğu, geometrik yapısı ve lifin çekme dayanımı lifin en önemli özellikleridir. Beton karışımına giren liflerin, beton mekanik özelliklerini en çok etkileyen özellikleri lif miktarı ve lif narinlik (lif boyu/lif çapı) oranıdır (Yıldız, 2008).

LTB, yollar, endüstriyel yapılar, kanal kaplamaları, kaldırımlar, borular, tünellerde püskürtme beton yüzeyler, şev stabilizasyonu, ince kabuklar ve köprüler gibi birçok mühendislik yapısında da kullanılmaktadır. Liflerin beton özelliklerine ilk etkisi, ilk çatlak oluşumu anında meydana gelen gerilmeleri çatlak üzerinden sağlam bölgelere aktarmasıdır. Bunun yanında betona lif ilavesiyle, tokluk, yorulma, çarpa ve eğilme dayanımı gibi özelliklerinde iyileşmeler gözlenmektedir. Lif ilavesi ile artan tokluk ve eğilme dayanımı yapıların deprem yükleri altında sünek davranış göstermesini sağlamaktadır.

Shah ve Rangan'ın (1971) yaptıkları çalışmada, beton içerisinde rastgele dağılmış farklı narinlikteki liflerden, lif güçlendirme mekanizmasıyla pratikte kullanılan çelik çubuklar arasındaki farkları incelemişlerdir. Çekme, basınç ve eğilme etkileri altındaki liflerle güçlendirilmiş betonlarda liflerin matriste çatlak oluşturduktan sonra etkinliğinin daha fazla olduğu, çatlama sonrası dayanımının ise lif özelliklerine bağlı olduğu sonucuna varmışlardır.

Ezeldin ve Balaguru (1992) basınç dayanımları 35 MPa'dan 84 MPa'a değişen basınç dayanımlı, çelik lif içerikli betonların tamamlanmış gerilme – şekil değiştirme eğrisini elde etmek için testler yapmıştır. Matrisin harçtan daha çok beton içerdiği belirtilmiştir. Araştırmacılar üç farklı hacimsel oranda lif (30 kg/m<sup>3</sup>, 45 kg/m<sup>3</sup>, 60 kg/m<sup>3</sup>) ve üç farklı narinlik oranı (60, 75, 100) kullanmışlardır. Silis dumanı içeren ve içermeyen betonlarda kancalı çelik lif ilave edilmesinin basınç dayanımını ve maksimum dayanıma karşılık gelen şekil değiştirmeyi artırdığını açıklamışlardır.

Bayasi ve Zeng 1993'te yaptığı çalışmada 12,5 mm ve 19 mm uzunluğundaki polipropilen liflerin % 0.1, % 0.3, % 0.5 hacimsel oranlarda kullanıldığında basınç

dayanımına önemli bir etkisi olmadığını belirtmişlerdir. Polipropilen liflerin eğilme davranışının, tepe sonrası eğilme direnci ile karakterize edilebileceğini ileri sürmüşlerdir. % 0,3 ve daha az hacimsel oranlı ve 19 mm uzunluğundaki liflerin, tepe sonrası direncini arttırmak için daha uygun olduğu saptanmıştır. % 0,5 hacimsel oranda 12 mm uzunluğundaki liflerin daha etkili olduğu gözlemlenmiştir.

Tavakkolizadeh ve Saadatmanesh'in (2003) gerçekleştirdiği bir çalışmada, karbon elyafı ile güçlendirilmiş çelik-beton kompozit kirişlerin statik yükleme altındaki davranışını araştırmışlardır. Aynı kalınlıktaki karbon elyaf malzeme kullanılarak, 3 adet kompozit kirişe 1 kat, 3 kat ve 5 kat olacak şekilde sarılmışlardır. Bir, üç ve beş kat karbon elyaf ile güçlendirme yapılmış kirişlerde nihai yük taşıma kapasitesi sırasıyla % 44, %51 ve % 76 artmıştır. İlave olarak kirişlerin akma yükleri de yapılan takviyenin bir sonucu olarak artmıştır. Ayrıca karbon elyaf tabakasının sayısı arttıkça, karbon elyaf kullanımının etkinliği azalmıştır. Tek tabakalı sistem için karbon elyaf malzemesindeki gerilme, nihai mukavemetin % 75'i iken, beş tabakalı sistemde bu nihai mukavemetin % 42'sine kadar düşmüştür. Burada karbon elyaf malzemenin mukavemetinden etkin bir şekilde faydalanabilmek için optimum tasarımın geliştirilmesi gerektiği sonucu çıkarılmalıdır.

Bölükbaş ve diğ. (2010) yaptığı bir çalışmada farklı oranlarda cam elyaf katkısı kullanımının betonun mekanik dayanımına etkisini araştırmışlardır. Sabit su/çimento oranına sahip 300 ve 350 dozlu beton numuneler hazırlanarak bu numunelerin mekanik dayanımları incelenmiştir. 300 ve 350 doz olarak hazırlanan beton numunelerinin üretimi sırasında karışıma 5, 10, 15, 20 kg/m<sup>3</sup> oranlarında kırılmış cam elyaf ilave edilerek, içine cam elyaf ilave edilmemiş kontrol numunelerini de içeren toplam 10 seri beton elde edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda cam lif katkısının basınç dayanımına olumlu etkisinin fazla olmadığı ve 15 kg/m<sup>3</sup>den sonraki cam lif oranlarında beton basınç dayanımında düşüş meydana geldiği belirlenmiştir. Beton numunelerinin yarmada çekme dayanımlarında % 8 ile % 15 arasında artışlar gözlemlenmiştir. Cam elyaf oranındaki artışa bağlı olarak ultrases geçiş hızlarında düşüş meydana gelmiştir.

Balendran ve diğ. (2001) yapmış oldukları araştırmada; değişik beton tipli ve numune boyutlu betonların mekanik performansının geliştirilmesinde lif eklenmesinin etkinliğini araştırmak için gerçekleştirilen bir dizi deneylerin sonuçları sunulmuştur. Bu çalışmada çelik lifli ve çelik lifsiz hafif agregalı beton ve kireç taşı

agregalı beton kullanılmıştır. Betonların basınç dayanımı 90 ile 115 Mpa arasında değişir ve lif miktarı da hacimce %1 oranında alınmıştır. Boyut etkisinin çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve dayanıklılık üzerindeki etkilerini incelemek için değişik boyutlardaki numuneler üzerinde prizmatik kirişlerde yarmada çekme deneyi, üç noktalı eğilme deneyi yapılmıştır. Deneysel bulgular göstermiştir ki düşük miktardaki lif basınç dayanımını çok az etkilemiş, fakat çekme dayanımı, eğilme dayanımı ve dayanıklılığına önemli katkısı olmuştur.

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

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

Arslan ve diğ. (2007) yaptıkları bir çalışmada farklı karışım özelliklerine sahip vakumlu ve vakumsuz olarak üretilen beton bloklar üzerinde; Schmidt çekici ile yüzey sertliği, radyoaktif yöntemle beton yoğunluğu deneyleri ve bu beton

bloklardan alınan karot numuneler üzerinde ise; basınç dayanımı, eğilmede çekme dayanımı, statik elastisite modülü, yarmada çekme dayanımı, beton yoğunluğu, görünür boşluk oranı, ultrases geçiş hızı, kapiler su emme ve aşınma dayanımı deneyleri gerçekleştirilmiştir. Sonuç olarak üretilen beton türlerinin içerisinde lif katkılı olan betonların mekanik ve fiziksel özellikler bakımından katkısız betonlara göre daha iyi sonuçlar verdiği, bütün beton türlerinde vakum uygulamasının özellikle beton üst yüzeyinde malzeme özelliklerini iyileştirdiği görülmüştür. Hazırlanan beton karışımları içerisinde beton yol kaplamalarında kullanılabilirlik bakımından sırasıyla çelik lifli ve polipropilen lifli betonların en iyi beton türü olduğu, vakum uygulanmasıyla birlikte yüzey özelliklerinde önemli derecede iyileşmeler meydana geldiği tespit edilmiştir.

Bu malzemelerin yanında, son zamanlarda yapılan çalışmalarda bazalt elyaflar da kullanılmaya başlanmıştır. Bazalt elyaflar bazalt kayalarının eritilmesiyle elde edilir. Bazalt kayalar çok ince bir şekilde parçalara bölünerek istenilen elyaf formu verilebilir. Ayrıca bazalt elyaflar diğer katkı maddeleri içermediği için maliyet açısından da avantajlıdır. Bazalt elyafların cam elyaflara göre daha yüksek çekme dayanımı, karbon fiberlere göre daha yüksek kopma uzamasına sahip olmakla birlikte, kimyasal madde etkileri, darbe yükleri ve yangına dayanım gösterir ve yangınla açığa çıkan zehirli gazlar daha azdır (Berozashvili, 2001). Bu avantajlarından dolayı, bazalt elyafların yapı güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilir olması beklenmektedir (Sim, 2005).

Sim ve diğ. (2005) betonarme yapılar için güçlendirme malzemesi olarak kullanılabilirliğini araştırmak üzere bazalt elyafların özelliklerini araştıran bir çalışma yapmıştır. Bu çalışmada, bazalt elyafların mekanik özellikleri ve durabilitesi araştırılmış ve betonarme kirişler için eğilme güçlendirme performansını değerlendirilmiştir. 2,593 gr/cm<sup>3</sup> yoğunlukta ve 10,6 µm çapında bazalt elyaf kullanılmış ve çekme dayanımı, elastisite modülü ve kopma anındaki uzaması ölçülmüştür. Karşılaştırma için cam elyaf ve karbon elyaf numuneleri de hazırlanmıştır. Rusya'da üretilen bazalt elyaflar 1000 MPa çekme dayanımıyla, karbon fiberden %30, cam elyaftan %60 daha fazla dayanım sergilemiştir. Üç farklı elyaf (bazalt, cam, karbon) alkali çözeltisine batırıldığında bazalt ve cam elyafta, tepkime sonucu yüzeylerinde tepkime ürünü oluşturarak hacim ve dayanım kaybı gözlenirken, karbon elyafta kayda değer bir değişiklik gözlemlenmemiştir.

Hızlandırılmış hava şartları altında, bazalt ve cam elyafın dayanım kaybının başladığı kesin sıcaklık gözlemlenmiş, fakat bazalt elyafın dayanım kaybının, cam elyaf ile karşılaştırıldığında daha yavaş gerçekleştiği görülmüştür. Elyafın 600 °C'nin üstünde bir sıcaklığa maruz bırakıldığında, sadece bazalt elyaf hacimsel bütünlüğünü ve dayanımının %90'ını muhafaza etmiştir.

Bazalt elyaf levhalarıyla güçlendirilmiş numunelerin eğilme deneylerinden, bir katmanlı olanın dikkate değer güçlendirme etkisi olmamış ancak katman sayısı arttıkça etkisi önemli ölçüde artmıştır. Üç katman halinde uygulandığında ise göçme, ara yüzeyden sıyrılma ile oluşan yüksek bir dayanım kaybıyla gerçekleşmiştir. Böylece, elde edilen deney sonuçlarından, iki katmanlı bazalt elyafın malzeme verimliliği artırarak daha iyi bir güçlendirme şeması olduğu görülmüştür.

Colombo ve diğ. (2011) bazalt elyaf katkıları karışımların yorulma ve statik özelliklerinin belirlenmesi üzerine yaptıkları çalışmada numunelere çekme deneyi, basınç deneyi, katman ayrılması deneyi, yorulma deneyi yapılmıştır. Bu deneyler için vinil ester reçine katkıları ve epoksi reçine katkıları iki çeşit bazalt elyaf levha numuneleri üretilmiştir. Her iki numune için de bazalt elyaf oranı hacmen %50 olarak belirlenmiştir. Deneyler sonucunda epoksi katkıları bazalt elyaf numunelerinin vinil ester katkıları bazalt elyaf numunelerine göre maksimum çekme dayanımında %29, basınç dayanımındaki artış ise %85 olarak gözlemlenmiştir.

Li ve Xu'nun 2011'de yaptığı çalışmada endüstriyel atıklar, cüruf, uçucu kül ve kısa bazalt elyaf kullanarak hazırlanan geopolimer betonun 100 mm Split-Hopkinson Basınç Çubuğu metodu ile mekanik darbe özellikleri, şekil değiştirme hızının basınç dayanımına etkisi ve spesifik enerji emilimi araştırılmıştır. Karışımlarda hacmen % 0, % 0.1, % 0.2 ve % 0.3 oranlarında kısa bazalt elyaf kullanılmıştır. Deneyler sonucunda bazalt elyaf katkıları geopolimer betonun darbe özellikleri ve şekil değiştirme hızı arasında güçlü bir bağlantı olduğu görülmüş, şekil değiştirme hızı artışıyla birlikte yaklaşık olarak doğrusal artış göstermiştir. Betona bazalt elyaf eklenmesi basınç dayanımında gözle görülür bir değişim sağlamazken, betonun şekil değiştirme enerji emme özelliklerinin belirgin bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Son 40 yılda beton üretiminde lif kullanımı artmıştır. Özellikle betonun zayıf olan çekme dayanımı üzerindeki olumlu etkisi bu artışın önemli etkenidir. Ayrıca kimyasal dayanımın artırılmasına yönelik kullanım alanı da bulunmaktadır.



Literatürde de liflerin çekme ve basınç dayanımına etkisi, elastisite modülüne etkisi, liflerin bağlantısını sağlayan epoksi ve vinil ester benzeri bağlayıcılar ile hazırlanan kompozit malzemelerin kimyasal dayanımları üzerine çalışmalar yapılmıştır.

Bu çalışmada liflerin betonunun mekanik özellikleri, özellikle de eğilmede çekme dayanımı üzerine etkileri araştırılacak ve örnek bir kesitte beton yol tasarımı yapılacaktır. 3. Bölümde mühendislikte kullanılan lif türleri, kullanım alanları ve mekanik özellikleri açıklanacaktır.

### **3. YOL TASARIMI**

#### **3.1. Giriş**

Beton yolların projelendirilmesinde amaç, analiz süresi boyunca, üzerinden geçen trafiği büyük deformasyonlara, çatlamalara maruz kalmadan, güvenli bir şekilde taşıyabilecek beton plağın ve diğer tabakaların kalınlıklarının belirtilmesi ve üstyapıda kullanılacak malzemelerin özelliklerinin saptanmasıdır. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen yükleri tabanın deforme olmayacağı bir düzeye indirerek tabana iletmektir. Bu durum betonun rijitliğinden yararlanma sonucunu doğurur. Beton yolların (rijit yol üst yapılarının) tasarımında, trafik, iklim koşulları, taban zemininin taşıma gücü, beton plağın mekanik özellikleri, yolun ekonomik hizmet ömrü ve yoldan beklenen hizmet kalitesi gibi proje faktörleri dikkate alınır (Arslan, 2007).

Bu bölümde yol üstyapısı projelendirme metodları üzerinde durulacaktır. Belçika Yol Araştırmaları Merkezi ve Amerikan Devlet Karayolları ve Araştırma Görevlileri Birliği tarafınca geliştirilmiş metodlar anlatılacaktır.

#### **3.2. Belçika Yol Araştırmacıları Tarafından Geliştirilen Tasarım Yöntemleri**

Belçika, karayolu ağında yüksek oranda beton yol kullanan ülkelerdendir. Beton yollar derzli (kesintili plak) ve sürekli betonarme (kesintisiz plak) yollar olmak üzere, birbirinden farklı iki tipte uygulanmaktadır. Belçika Yol Araştırmaları Merkezinde, 20 seneyi aşan bir süre, araştırma çalışmaları, üstyapının düşey projelendirilmesine ayrılmıştır. Bu çalışmalar sırasında, üstyapıyı değerlendirme ölçütleri (çatlak ve kalıcı deformasyonlar), taşıtlar, trafik, malzemelerin özelliklerini etkileyen iklim koşulları (nem oranı değişimi ve sıcaklık değişimi), gerilme ve şekil değiştirme hesaplama yöntemleri ve malzemelerin mekanik özellikleri dikkate alınarak iki tip projelendirme yöntemi geliştirilmiştir (Arslan, 2007).

##### **3.2.1. Analitik yöntem**

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

### 3.2.2. Katalog yöntemi

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

### 3.3. AASHTO 86 Tasarım Yöntemi

Bu, analitik – ampirik bir yöntemdir. Araştırmacılar, analitik metotla modelleşmeyen bazı faktörlerin üstyapı performansında etkili olduğunu ortaya koymuşlardır. Bu sebeple analitik modellerin, performans gözlemleri ve ampirik bağıntılarla kalibrasyonu gereklidir. Bu zorunluluk analitik – ampirik yöntemlerin ortaya çıkmasına yol açmıştır. Sonuç olarak, analitik – ampirik yöntemler gerçeğe daha yakın, daha başarılı yöntemler olmaktadır. AASHTO 1972 rehberinde analitik yöntem kullanılmamıştır. AASHTO 1986 rehberinde ise söz konusu yöntemden dolaylı olarak yararlanılmıştır (Arslan, 2007). Bunlar:

- Yük nakli ve drenaj katsıyısı
- Resilient modülüdür.

#### 3.3.1. Servis kabiliyeti

Üstyapının belirli bir gözlem anında yeterli bir taşıma ve sürüş kalitesi sağlama kabiliyetidir. Üstyapının servis kabiliyeti ile dingil yükleri tekerrür sayıları ve üstyapıyı temsil eden üstyapı sayısı (SN) arasında kurulan bir bağıntı üstyapının boyutlandırılmasını mümkün kılar.

Üstyapının servis kabiliyetinde azalmaya neden olan trafik yüklerinin etkisi ve bunların tekerrürü, 8.2 ton (T8.2) standart dingil yükü cinsinden belirtilir. Bu nedenle karayolu üzerinde seyreden çeşitli ağırlıktaki trafik yükleri her dingil grubu için belirlenen dingil eşdeğerlik faktörleri yardımı ile T8.2 standart dingil yükü sayısına çevrilir.

Taban zeminin taşıma gücü üstyapı kalınlıklarını etkileyen önemli bir faktördür. AASHTO metodunda zemin taşıma gücü, zemin taşıma değeri (Si) ile belirlenmektedir. Bu değer 3 ile 10 arasında değişmektedir.

İklim ve çevre koşulları, üstyapı kalınlıklarının hesaplanmasında dikkate alınan başka bir husustur. İklim ve çevre koşullarının etkisi, Bölge faktörü  $R$  ile belirlenmiştir. Üstyapının proje süresi sonunda ulaşması gereken hizmet kabiliyeti, son servis kabiliyeti (Pt) ile tanımlanır. Bu değer yolun önemine göre 2.0, 2.5 veya 3.0 alınır (Edis, 2007).

Tablo 3.1: Servis kabiliyeti (Pt)'nin tayini

Yol Sınıfı	P <sub>t</sub>
Otoyollar, Devlet Yolları	2,50
İl Yolları	2,00

### 3.3.2. Analiz süresi

Proje süresinden farklı olarak, ilk inşaat ve gelecekte yapılacak takviye tabakalar da dahil olmak üzere değişik projelendirmelerin ekonomik karşılaştırmalarını yapıldığı süredir.

### 3.3.3. Bölge faktörü ( R )

Üstyapı sayısını (SN) iklim ve çevre koşullarına uydurmak için kullanılan sayısal bir faktördür.

### 3.3.4. CBR (California Bearing Ratio)

Temel, alttemel ve taban zeminin taşıma gücünü belirleyen deney ve deney sonucu hesaplanan % cinsinden değer.

### 3.3.5. Eşdeğer dingil yükü, standart dingil sayısı (EDY)

Değişik ağırlıktaki ve sayıdaki dingil yüklerinin bir üstyapıda yarattığı toplam etkiye eşdeğer bir etki yaratan 8.2 ton dingil yükünün tekerrür sayısı.

### 3.3.6. Proje EDY değeri

Yolun proje süresi içinde tek yönde geçmesi beklenen toplam eşdeğer T<sub>8.2</sub> standart dingil yükü tekerrür sayısı.

### 3.3.7. Temel

Alttemel üzerine; hesaplanan bir kalınlıkta serilip sıkıştırılan, kırma taşın belirli boyutlarından oluşan ve belirli fiziksel özelliklere sahip tabaka veya tabakalardır.

Temel tabakasının kaplamayı taşımak, gerilmeleri yaymak, iyi bir drenaj temin etmek ve don etkisini azaltmak gibi fonksiyonları vardır.

### 3.3.8. Alttemel

Üstyapı temel tabakasını taşımak üzere taban zemini üzerine yerleştirilen, belirli fiziksel özelliklere sahip granüler malzemedir.

### 3.3.9. Üstyapı sayısı (SN)

Trafik, taban zemini koşulları, bölge faktörü ve son servis kabiliyetini analizinden elde edilen ve üstyapının her bir tabakasında kullanılmakta olan malzeme tipine uygun tabaka katsayılarının kullanılması suretiyle, esnek üstyapı tabakalarının kalınlığına dönüştürülen sayı.

### 3.3.10. Zemin taşıma değeri (S<sub>i</sub>)

Esnek üstyapı aracılığı ile aktarılan trafik yüklerini taşıyacak olan üstyapı tabanının izafi taşıma kabiliyetini belirten ve deney sonucu bulunan (CBR gibi) taşıma değerleri ile korelasyonu sonucu kullanılan 3 ile 10 arasında değişen sayısal değer.

### 3.3.11. Dingil eşdeğerlik faktörü (T<sub>8.2</sub>)

Belirli bir dingil yükünün bir üstyapıya yaptığı etkiye (zarar faktörü) eşit bir etki yaratan standart dingil yükü (8.2 ton) tekerrür sayısı. Tek, tandem ve tridem dingil yüklerini, T<sub>8.2</sub> sayısına dönüştürmek için aşağıdaki formüller kullanılmaktadır.

$$T_{8.2} = (P_{\text{ton}}/8.2_{\text{ton}})^4 \quad \text{Tek dingil için} \quad (3.4)$$

$$T_{8.2} = (P_{\text{ton}}/15.322_{\text{ton}})^{4.1} \quad \text{Tandem dingil için} \quad (3.5)$$

$$T_{8.2} = (P_{\text{ton}}/21.805_{\text{ton}})^{3.9} \quad \text{Tridem dingil için} \quad (3.6)$$

### 3.3.12. Taşıt eşdeğerlik faktörü

Otomobil, otobüs, kamyon ve treyler cinsinden bir taşıtın her bir geçişinin üstyapıya verdiği zarara eşit bir etki yaratan standart dingil yükü tekerrür sayısı.

Tablo 3.2: Taşıt eşdeğerlik faktörleri.

Taşıt Grubu	Taşıt Eşdeğerlik Faktörleri
Treyler	4,40
Kamyon	2,80
Otobüs	3,90
Otomobil	0,0006

### 3.3.13. Trafik analizi

İlk yıl için günlük trafik (t<sub>0</sub>) ve trafik artış katsayısı ® belli ise t sene sonraki günlük trafik:

$$t_t = t_0(1+r)^t \quad (3.1)$$

İlk yıl için günlük trafik (t<sub>0</sub>) ve son yıl için günlük trafik (t<sub>t</sub>) belirlendikten sonra t süresi için ortalama günlük proje trafiği (t<sub>p</sub>):

$$t_p = 0.4343 \frac{t_t - t_0}{\log \frac{t_t}{t_0}} \quad (3.2)$$

Yoldan proje süresince geçecek toplam trafik ( $T_p$ ):

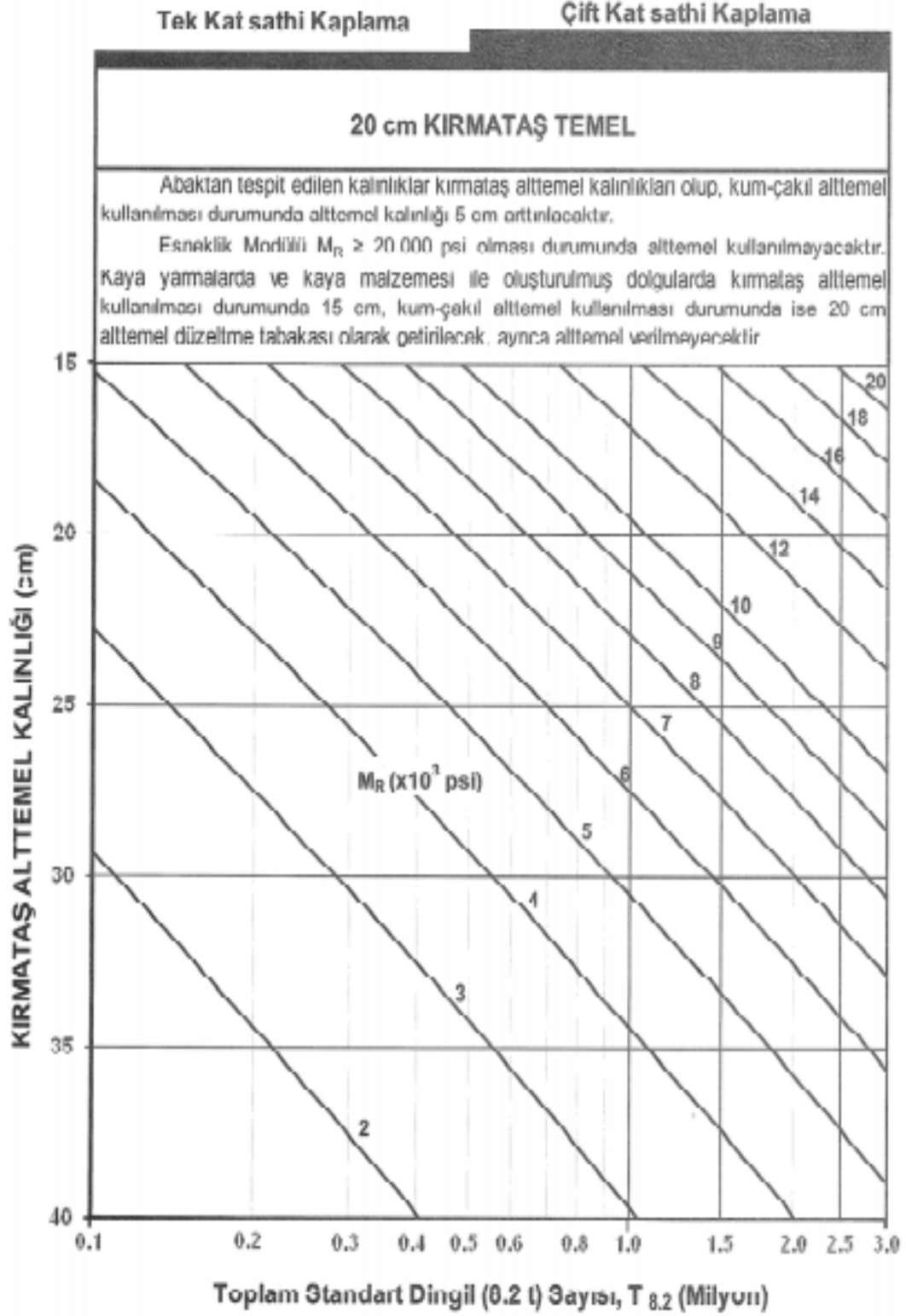
$$T_p = t_p \times 365 \times t \quad (3.3)$$

#### **3.4. Sathi Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi**

Sathi kaplamalı üstyapılar, üstyapı tabanı esneklik modülü ve yolun proje süresi boyunca geçecek toplam standart dingil sayısına göre projelendirilmelidir. Sathi kaplamalı üstyapıların tabaka kalınlıkları Şekil 3.1.deki abak yardımı ile bulunur.

Abakta göz önüne alınan proje süresi 10 yıl olmakla birlikte projeci yolun özelliği ve önemini göz önüne alarak, proje süresini daha az veya daha fazla kabul edebilir.

Taban esneklik modülü değeri ve  $T_{8.2}$  sayısı tespit edilen yolun üstyapı kalınlıklarının belirlenmesi şu şekilde olacaktır: Yatay eksende  $T_{8.2}$  sayısı bulunarak, eksene dikey bir doğru çizilerek, bu doğrunun taban esneklik modülü ( $\psi$ ) değerini gösteren eğik çizgiyi kestiği nokta bulunacaktır. Bu noktadan yatay eksene çizilen paralel doğrunun düşey ekseni kestiği noktadan gerekli alttemel kalınlığı bulunacaktır. Abağın üst kısmından ise  $T_{8.2}$ 'ye karşı gelen temel kalınlığı ve sathi kaplama tipi seçilecektir (Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, 2008).



Şekil 3.1: Sathi kaplamalı esnek üstyapılar için projelendirme abağı (Karayolları Esnek Üstyapı Projelendirme Rehberi, 2008)

### 3.5. Asfalt Betonlu Kaplamalı Üstyapıların Projelendirilmesi

Burada verilen projelendirme metodunda kaplamanın üstyapı tabaka kalınlıkları, servis kabiliyeti – üstyapı davranışı ilişkisine dayanan AASHTO yol deneyi sonucunda geliştirilen formülün çözümü ile bulunur. AASHTO yol deneyi sonucunda 3.7 nolu formül geliştirilmiştir.

$$\begin{aligned} \log(T_{8,2}) = & Z_{R50} + 9,36 \log(SN + 1) - 0,20 + \frac{\log \left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{\left\{ 0,40 + \left[ \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}} \right] \right\}} \\ & + \\ & + 2,32 \log MR - 8,07 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Bu formülde:

$T_{8,2}$  : Pt'ye erişinceye kadar tekerrür edecek standart dingil (8,2 ton) sayısı

$\Delta PSI$  : Servis kabiliyetindeki azalma miktarı ( $P_0 - P_t$ )

$Z_R$  : Standart normal sapma

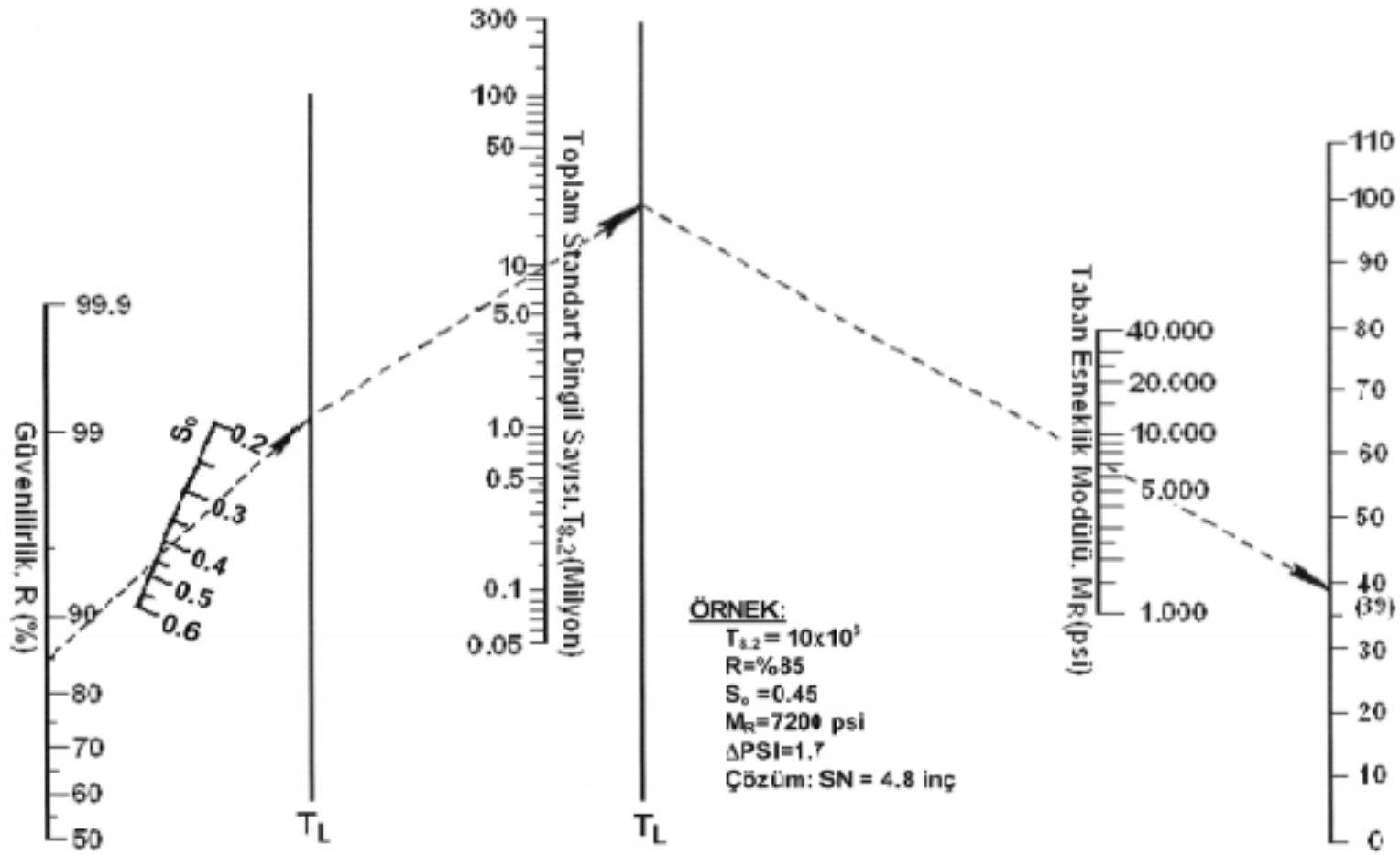
$S_0$  : Toplam standart sapma

$SN$  : Üstyapı sayısı (inç)

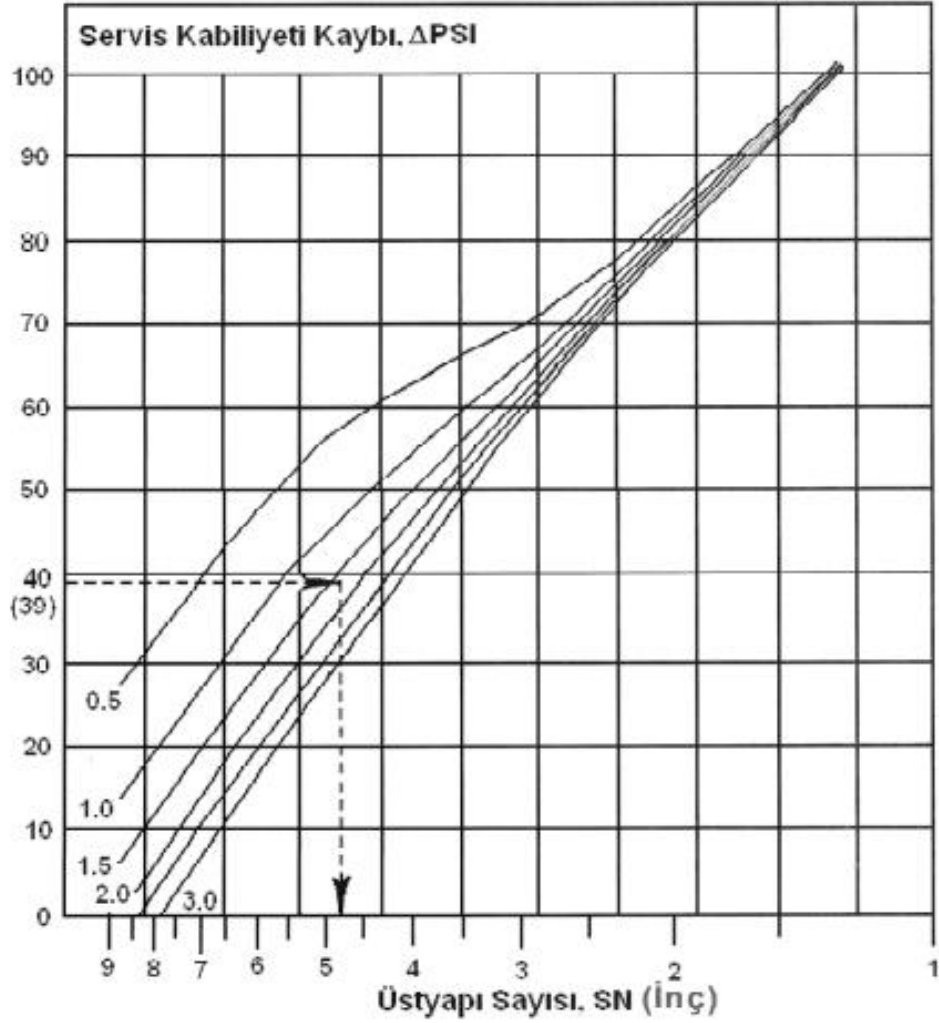
$M_R$  : Esneklik modülü (psi)

Üstyapı kalınlıklarının hesaplanması için bilinen  $T_{8,2}$ ,  $P_0$ ,  $P_t$ ,  $Z_R$ ,  $S_0$  değerleri yardımıyla 3.7 denklemini çözülerek veya Şekil 3.2 ve Şekil 3.3'teki abak kullanılarak  $SN$  değeri bulunur.





Şekil 3.2: Asfalt betonu kaplamalı yollar için projelendirme abağı (Karayolları Projelendirme Rehberi, 2008)



Şekil 3.3: Asfalt betonu kaplamalı yollar için projelendirme abağı (Karayolları Projelendirme Rehberi, 2008)

Üstyapı sayısını gerçek kalınlığa dönüştürmek için üstyapıda kullanılan her bir malzemeye bir katsayı verilmektedir. Bu tabaka katsayısı, SN ile kalınlık arasındaki ampirik bağıntıyı ifade eder ve üstyapının bir bileşimi olarak malzemenin taşıma gücünün bir ölçüsüdür.

Temel, alttemel ve taban zemini malzemelerinin izafi mukavemet katsayısı söz konusu üstyapı tabakasının esneklik modülüne bağlı olarak aşağıdaki formülden bulunabilir:

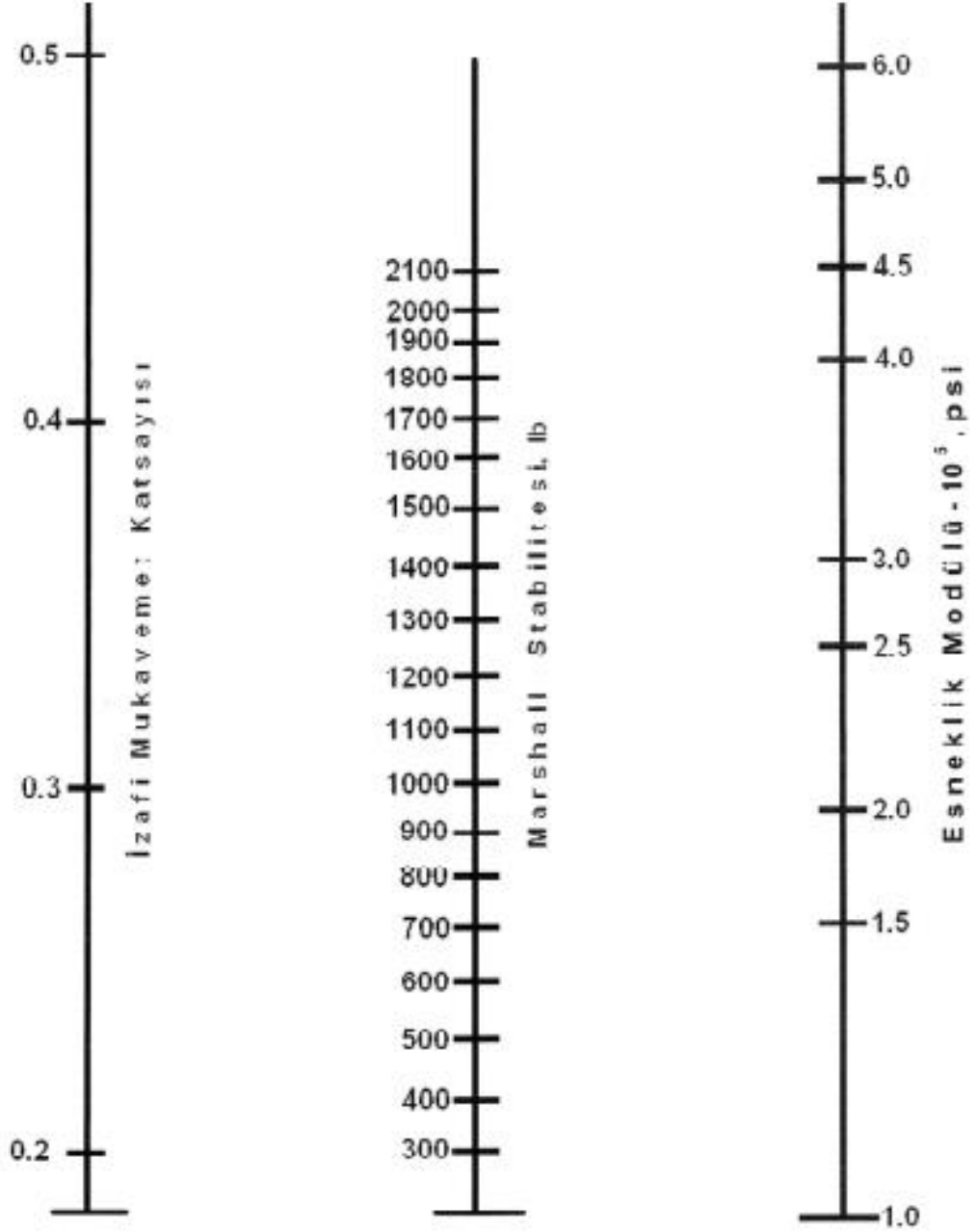
$$a_i = 0,0045 \cdot \sqrt[3]{MR_i} \quad (3.8)$$

Burada:

$a_i$  : Söz konusu granüler tabakanın izafi mukavemet sayısı

$MR_i$  : Söz konusu granüler tabakanın esneklik modülü, psi

Bitümlü sıcak karışım tabakalarının izafi mukavemet katsayısı esneklik modülü veya Marshall stabilitesi değerine göre Şekil 3.4'ten bulunabilir.



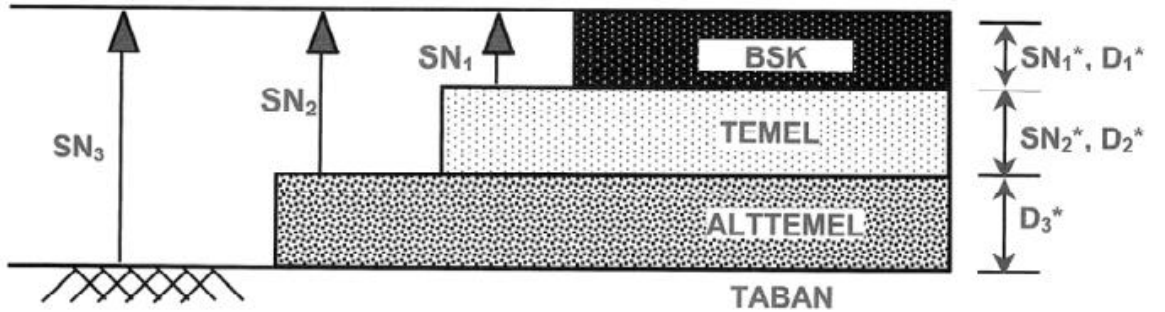
Şekil 3.4: BSK tabakaları için tabaka katsayısı seçim abağı (Karayolları Projelendirme Rehberi, 2008)

Karayolları projelendirme rehberinde KGM tarafından inşa edilen yol üstyapı malzemeleri için kullanılacak olan tabaka katsayıları Tablo 3.3'te verilmiştir. Bu katsayılar malzemenin belirlenen fiziksel özellikleri için geçerlidir.

Tablo 3.3: Tabaka katsayıları (Karayolları Projelendirme Rehberi, 2008)

TABAKA TİPİ	M.S. (kg)	CBR %	SBD kg/cm <sup>2</sup>	a katsayısı
<b>a) BSK TABAKALARI</b>				
Taş Mastik Asfalt (TMA)				0.44
Asfalt Betonu Aşınma	≥ 900			0.42
Asfalt Betonu Binder	≥ 750			0.40
Bitümlü Temel	≥ 600			0.30
<b>b) TEMEL TABAKASI</b>				
Çimento Bağlayıcı Granüler Temel			35-55	0.23
Plent-Miks Temel		≥ 120		0.15
Granüler Temel		≥ 100		0.14
<b>c) ALTTEMEL TABAKASI</b>				
Kırmetaş Alttemel		≥ 50		0.13
Kum-Çakıl Alttemel		≥ 30		0.11

Bulunan tabaka kalınlıkları aşağıda verilen hesaplama metoduyla kontrol edilecektir.



Şekil 3.5: Kalınlıkların kontrolü (Karayolları Projelendirme Rehberi, 2008)

SN<sub>1</sub>: Temel tabakası üzerine gereken SN

$SN_2$ : Alttemel tabakası üzerine gereken SN

$SN_3$ : Taban üzerine gereken SN

$$D_1 \geq SN_1 / a_1$$

$$SN_1 = a_1 D_1 \geq SN_1$$

$$D_2 \geq (SN_2 - SN_1) / a_2 m_2$$

$$SN_1 + SN_2 \geq SN_2$$

$$D_3 \geq SN_3 - (SN_1 + SN_2) / a_3 m_3$$

## 4. LİF TÜRLERİ

### 4.1. Giriş

Farklı özellikleri ve kullanım alanları bakımından birçok lif türü vardır. Bu lifleri değişik biçimlerde sınıflandırmak mümkündür. Lifler genel olarak Tablo 4.1.deki gibi sınıflandırılabilirler (Aral, 2006);

Tablo 4.1: Lif Çeşitleri (Aral, 2006)

Doğal Lifler			Yapay Lifler
Bitkisel Lifler	Hayvansal Lifler	Madensel Lifler	
Akwara Bambu Hindistan Cevizi Kabuğu Keten, Kenevir Jüt Sisal Şeker Kamışı Posası Ahşap (Selüloz)	Yün İpek Kıl	Asbest Bazalt Metal Lifler Karbon	Cam Lifleri Kevlar Akrilik Aramid Naylon Polyester Polietilen Polipropilen Poliüretan

ASTM'ye göre bir malzemenin lif olarak adlandırılabilmesi için (Aran, 1990);

- Uzunluğunun enine oranı en az 10/1
- En büyük kesit  $\leq 0,05 \text{ mm}^2$
- En büyük genişlik  $\leq 0.25 \text{ mm}$  olmalıdır.

Liflerin ince çaplı üretilmeleri ile büyük kütleli yapılara oranla daha az yapısal hata içerirler. Bu nedenle aynı malzemenin lif formu mekanik olarak daha üstün özellikler göstermektedir (Asi, 2008).

Bazı lif çeşitlerine ait tipik özelliklere Tablo 4.2'de verilmiştir.

Tablo 4.2: Değişik lif çeşitlerine ait tipik özellikler (Kurt, 2006)

Lif Türü	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Elastisite Modülü (Gpa)	Çekme Dayanımı (MPa)	Maksimum Uzama Oranı (%)
Asbest	3.2	83-138	552-966	0.6
Pamuk	1.5	4.8	414-690	3-10
Naylon	1.1	4.1	759-828	16-20
Polyester	1.4	8.3	724-863	11-13
Polietilen	0.95	0.14-0.4	690	10
Polipropilen	0.90	3.5	552-759	25
Karbon	1.9	230-380	380-5520	0.5-1.6
Kevlar	1.44	60-130	3600	0.2-4
Cam	2.5	69	1035-3795	1.5-3.5
Çelik	7.8	200	276-2760	0.5-35
Bazalt Lif	2,80	89	4840	3,5

#### 4.2. Çelik Lif

Yol betonunda en çok kullanılan lifler arasında yer alan çelik lifler, betonun eğilme direncini, çarpmaya dayanıklılığını, yorulma direncini ve çatlama karşı direncinin fark edilir oranda iyileştirmektedir. Genel olarak beton hacminin %4 - %5'i oranında beton karışımlarına eklenir. Beton takviyesinde genellikle daire en kesitli ve dikdörtgen en kesitli çelik lifler kullanılmaktadır. Boyları 30-60 mm, çapları ise 0.5-1.0 mm. arasında değişen çelik liflerin yük etkisiyle kopmadan, matrizen sıyrılmalarına rağmen çekme dayanımlarının en az 345 N/mm<sup>2</sup> olması istenmektedir

(TSE 2511, 1977). Uçları kancalı üretilen çelik liflerin sıyrıлма davranışları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır.

Düşük karbonlu çelikten üretilen çelik lifler genellikle;

- Soğukta çekilen liflerin kesilmesiyle,
- Çelik plakaların kesilmesiyle,
- Erimiş haldeki çeliğin potasından çıkarılması ile olmak üzere üç farklı şekilde elde edilmektedir.

TS 10513/92'ye göre çelik lifler şekillerine göre şu şekilde sınıflandırılmaktadır;

A: Düz, pürüzsüz yüzeyli lifler (Şekil 4.1)

B: Bütün uzunluğunca deforme olmuş lifler

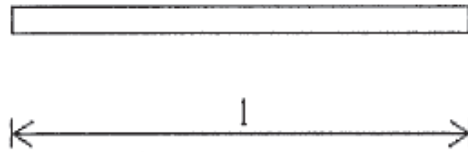
C: Sonu kancalı lifler

B sınıfı lifler, uzunluğu boyunca deforme olma şekline göre;

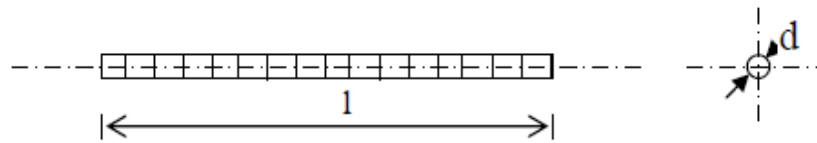
- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış lifler (Şekil 4.2)
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kıvrımlı) lifler (Şekil 4.3)
- Ay biçimi dalgalı lifler (Şekil 4.4) olmak üzere üçe,

C sınıfı lifler sonlarındaki kancalara göre;

- İki ucu kıvrılmış lifler (Şekil 4.5)
- Bir ucu kıvrılmış lifler (Şekil 4.6) olmak üzere ikiye ayrılır.

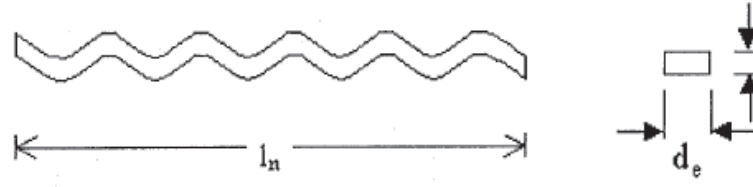


Şekil 4.1: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller (TSE, 1992)

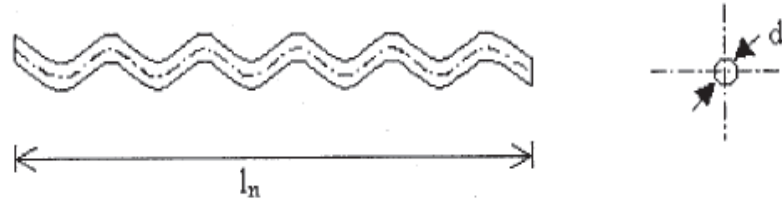


Şekil 4.2: Üzerine girintiler (çentikler) açılmış teller (TSE, 1992)

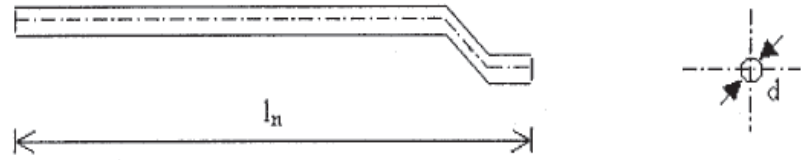




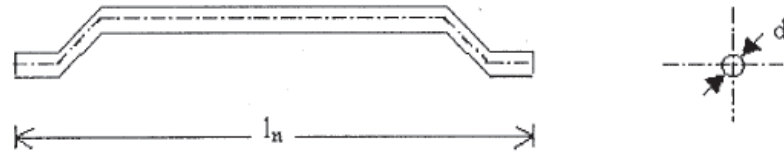
Şekil 4.3: Uzunluğu boyunca dalgalı teller (TSE, 1992)



Şekil 4.4: Ay biçimli dalgalı teller (TSE, 1992)



Şekil 4.5: Bir ucu kıvrılmış teller (TSE, 1992)



Şekil 4.6: İki ucu kıvrılmış teller (TSE, 1992)

Sert çekilmiş düşük karbonlu çelik C1008'den üretilen çelik liflerde, yüksek ve üniform çekme gerilmesiyle düşük uzama özelliği birleştirilmiştir. Beton içerisinde bulunan liflerin nihai yükleri kırılma ve kopma olmadan taşımaları gerekir. Çelik lifler  $1100 \text{ N/mm}^2$  çekme mukavemeti ile bunu gerçekleştirir. Düşük elastik limitleri (% 0.2), yüksek çekme gerilmesiyle birleştirilmiştir (Beksa, 1998).

### 4.3. Polimer Lifler

Polimer lif üretiminde kullanılacak hammadde sıvı ya da yarı sıvı hale getirilir. Yaş çekme, kuruçekme gibi işlemler ile lifler oluşturulur. Hem tekil hem de hamur biçiminde bulunurlar. Uzunlukları 3-50 mm arasında değişir. Kısa lifler hamur, uzun lifler tekil halde bulunur. Polipropilen hamuru, polietilen hamurundan daha düşük dayanıma sahiptir. Tablo 4.3'te polimer liflerin fiziksel özellikleri gösterilmiştir (Shah, 1995).

Tablo 4.3: Polimer liflerin fiziksel özellikleri (Erbaş, 2003)

Lif Tipleri	Etkili Çap (10-3 mm)	Özgül Ağırlık (g/cm <sup>3</sup> )	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (GPa)	En Büyük Uzama (%)
Akrilik	13-104	1.17	207-1000	14.6-19.6	7.5
Aramid	12	1.44	3620	62	4.4
Aramid 2	10	1.44	3620	117	2.5
Naylon	10	1.16	965	5.17	20
Polyester	10	1.34-1.39	896-1100	17.5	20
Polietilen	25-1020	0.96	200-300	5	3
Polipropilen	25-1020	0.90-0.91	310-760	3.5-4.9	15

Kullanılan polimer liflerin hacimce betona katılma oranları çok düşüktür. Çoğu durumlarda %0,1 ile sınırlanır (1 kg/m<sup>3</sup> saha betonu için). Lif katma oranı ve hava miktarı minimum işlenebilirlikle değişir. Lifler hazır beton tesislerinde ya da beton döküm sahasında eklenebilir. Lifler katıldıktan sonra en az 10 dakika karıştırılır. Bazı araştırmacılar %2 hacim oranında denemeler yapmıştır. Fazla oranlarda katıldığında saha betonlarının işlenebilirliği azalır ve içindeki hava miktarı artar. İşlenebilme problemleri su azaltıcı katkıların dozajını artırmakla çözülebilir. Hava miktarı kontrol edilebilir. İşlenebilirlik, tekil lif formundaki liflere nazaran hamur formundaki liflerde daha azdır. Çünkü tekil lif formundaki lifler daha homojen dağılabilir ve işlenebilirlik daha iyi olur. Lif boyutları bu iki özelliğe yakından etki eder. Lifler hamur formundayken uzunlukları birkaç mm ile sınırlıdır. Hacimce katılma oranı, karışımın %5'idir. Genellikle kullanılanlifler tekil ve boyları 12-50 mm olanlardır (Shah, 1995).



Şekil 4.7: Polipropilen elyaf

Polipropilen lif beton, sıva, harç ve püskürtme beton uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Polipropilen elyafları %100 polipropilen esaslı olup, kullanımında ilave işçilik gerektirmeyen, kolay uygulanabilen, betonun ve sıvanın kalitesini artırmak için kullanılan çürümeyen bir üründür. Polipropilen lif betonun içinde üç boyutlu bir mikro donatı ağ oluşturarak, betonda doğal olarak varlığı kabullenilen eksiklik ve zaafı azaltıp betonun bazı özelliklerini iyileştirebilirler. Polipropilen lifleri hasır demir, metal elyaf ve kümes filesi gibi alternatif donatı sistemleri ile karşılaştırıldığında en hafif mikro donatı sistemidir. Metrekare başına ağırlığı 90 gram ila 200 gram arasındadır. Bu nedenle yapıya diğer donatı sistemleri kadar ölü donatı ağırlığı vermezler (Karahana, 2006).

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

Polipropilen liflerin çekme gerilmesine etkileri çelik liflerden daha azdır. İri daneli agregalı beton ve lif hacmi % 0.5'den az olan çimento ve harç numuneleri, % 2 ve % 7 polimer lif içerenlerin davranışı, % 0.5'den az lif içerenlerinkinden çok farklıdır. Hacimce katılma oranı %0.2' den az olduğunda betona lif katılımı çatlak gerilim mukavemetinde etkili olmaz (Acun, 2000).

#### **4.4. Cam Lifler**

Cam lifin esasını silis kumu ( $\text{SiO}_2$ ) meydana getirmekle beraber belirli oranlarda sodyum, kalsiyum, alüminyum, bor ve demir gibi elementlerin oksitlerinden oluşur.

Cam lifler, camların elektrik fırınında yaklaşık 1200-1500 °C de ergitilmesi ve ergiyen camların platin alaşımlı bir potanın tabanındaki binlerce delikten hızlı bir şekilde çekilerek ve soğutma bölgesinden geçirilerek üretilir. Daha sonra lifler üzerine kaplama uygulaması yapılarak ve demetler halinde makaralara sarılarak depolanırlar (Şahin, 2000).



(a)

(b)

Şekil 4.8: Cam lif çeşitleri (a) Tek lif halindeki makaralar, (b) Kırılmış elyaf

Farklı kimyasal bileşimlerinden oluşan cam elyafların tipleri ve özellikleri Tablo 4.4'te gösterilmiştir (Şahin, 2000).

Tablo 4.4: Cam türleri ve özellikleri (Şahin, 2000)

A – Camı	Yüksek alkali oranı – düşük maliyet
C – Camı	Kimyasal Dayanım (Yüzey tülleri)
E – Camı	Elektriksel Özellikler
L – Camı	Radyasyona karşı kurşun içerir
M – Camı	Yüksek elastik modül
S – 2 Camı	Yüksek çekme dayanımı
W – 2 Camı	Paneller için yarı şeffaf
AR – Camı	Alkali dayanımı
R – Camı	Yüksek çekme dayanımı

Plastik esaslı kompozitlerde kullanılan genel tipi E-Camı alkali olmayan boronsilikat olup iyi elektrik yalıtım özellikleri için geliştirilirken S-camı daha pahalı fakat daha

yüksek modüle sahip magnezyum ve alüminyum silikat ihtiva eder. C-camı ise oldukça iyi korozyon direncine sahip ancak mekanik özellikleri düşüktür. Camların dayanımı, özellikle, yüzey üzerinde kusurlar ve mikro-çatlaklarla birlikte kaçınılmaz dahili hatalara bağlıdır. Yüksek kaliteli elyafları üretmek için yüksek saflıktaki malzemelerin homojen şekilde ergimiş olması, yüksek sıcaklıkta çekilmesi ve hemen koruyucu kaplama uygulanmış olması gerekmektedir. Daha sonra kaplama uygulanması ve demetler halinde makaralara sarılarak yaklaşık 3 kg halinde depolara gönderilir. Kaplama formülasyonu karışık fakat bu elyafları hasardan korur. Kaplama maddesi genellikle silan ihtiva eder. Bu molekülün bir kısmı Si-O bağları aracılığıyla cam ile reaksiyona girerken, silan üzerindeki organik guruplar reçine ile uyumluluk sağlarlar. Bu elyaflar karbon kadar hafif ve rijit olmamasına rağmen oldukça ucuzdur. Tipik bazı özellikleri tablo 4.5.'te gösterilmiştir (Lubin, 1969).

Tablo 4.5: Cam elyafi cinslerinin kompozisyonları (% olarak) (Lubin, 1969)

	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>E</b>	<b>R</b>	<b>S</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	72,0	64,6	52,4	60,0	64,4
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	1,5	4,1	14,4	25,0	25,0
<b>CaO</b>	10,0	13,4	17,2	9,0	----
<b>MgO</b>	2,5	3,3	4,6	6,0	10,3
<b>Na<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O</b>	14,2	9,6	0,8	----	0,3
<b>B<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	----	4,7	10,6	----	----
<b>BaO</b>	----	0,9	----	----	----

#### 4.5. Karbon Lifler

Cam elyafının günümüzde en çok kullanılan ve geçerli takviye malzemesi olmasına rağmen gelişmiş kompozit malzemelerde genellikle saf karbonun elyafi kullanılmaktadır. Karbon elyafı cam elyafına oranla daha güçlü ve hafif olmasına rağmen üretim maliyeti daha fazladır. Hava araçlarının iskeletlerinde ve spor araçlarında metallerin yerine kullanılmaktadır.

Karbon elyafı epoksi matrisler ile birleştirildiğinde olağanüstü dayanıklılık ve sertlik özellikleri gösterir. Karbon elyaf üreticileri devamlı bir gelişim içerisinde çalışmalarından dolayı karbon elyaflarının çeşitleri sürekli değişmektedir. Karbon elyafının üretimi çok pahalı olduğu için ancak uçak sanayinde, spor gereçlerinde

veya tıbbi malzemelerin yüksekdeğerli uygulamalarında kullanılmaktadır. Karbon elyafları piyasada 2 biçimde bulunmaktadır;

- Sürekli Elyaf: Dokuma, örgü, tel bobin uygulamalarında, tek yönlü bantlarda ve önceden reçine emdirilmiş elyaflarda kullanılmaktadır. Bütün reçinelerle kombine edilebilirler.
- Kırılmış Elyaf: Genellikle enjeksiyon kalıplamada ve basınçlı kalıplarda makine parçaları ve kimyasal valf yapımında kullanılırlar. Elde edilen ürünler mükemmel korozyon ve yorgunluk dayanımının yanı sıra yüksek sağlamlık ve sertlik özelliklerine de sahiptirler.



Şekil 4.9: Karbon elyaf çeşitleri (a) Karbon liflerden üretilmiş fitil, (b) Kırılmış karbon elyaf

Karbon elyafı çoğunlukla iki malzemeden elde edilir;

- Zift
- PAN (Poliakrilonitril)

Zift tabanlı karbon elyafları göreceli olarak daha düşük mekanik özelliklere sahiptir. Buna bağlı olarak yapısal uygulamalarda nadiren kullanılırlar. Karbon elyafın gerçek özellikleri üretim metoduna bağlıdır. Endüstriyel olarak karbon elyaf üretim metotları termal oksidasyon ve organik işaret kullanılarak grafitleme işlemleridir. PAN tabanlı karbon elyafları kompozit malzemeleri daha sağlam ve daha hafif olmaları için sürekli geliştirilmektedir.

Karbon elyafının tüm diğer elyaflara göre en önemli avantajı yüksek modül özelliğidir. Karbon elyafı bilinen tüm malzemelerle eşit ağırlıklı olarak karşılaştırıldığında en sert malzemedir (ITO, 2006).

#### 4.6. Bazalt Lifler

Bazalt, yerkabuğunun çatlaklarından dışarı çıkan erimiş lavların soğuyup katılaşmasıyla oluşan volkanik bir kayaç türüdür. Bazaltların rengi kurşuni ya da siyah, yoğunluğu da öbür volkanik kayaçların çoğundan daha fazladır. Yeryüzünde çok yaygın olan volkanik kayaçlara, örneğin riyolite oranla silis içeriği daha düşük, demir ve magnezyum oranı ise oldukça yüksektir. Yapısındaki başlıca mineraller feldispat, piroksen, olivin ve demir oksitleridir. Bazalt kayaçlarının hemen hepsi kristalli yapıdadır; yalnız lavların hızla soğumasıyla oluşan bazaltlar camsı bir görünüm kazanır. Erimiş lav akıntılarının çok geniş alanları kaplamasıyla yeryüzünde sınırsız bazalt bölgeleri oluşmuştur. Örneğin ABD'nin kuzeybatısında, Hindistan ve Brezilya'da binlerce kilometre genişliğinde bazalt platoları vardır.

Yol ve yapı sektöründe aranan ve önemli bir kırmataş malzemesi olan "bazalt" petrografi bilim dalından bilindiği gibi makroskopik yönden koyu gri - siyah renkli, ince taneli masif yapıda zor kırılğan özellikli olup, mikroskop altında ise, iri taneli olivin, proksen, plajioklas kristalleri ile bunları çevreleyen ince kristalli, mikrolitli girift doku altında matriks gözlenir. Kimyasal yönden, %45-52 arasında SiO<sub>2</sub> (Silis) yüksek demir ve magnezyum içeren bazik bileşimli kayaç olarak tanımlanır (UZ, 1999).

Bazalt, yoğun ve sert olduğundan, basınca karşı mukavemeti en çok olan taştır. Granitten daha serttir. Bundan dolayı her yerde inşaat taşı, parke, balast, kırmataş yapımı için faydalı olup, Türkiye'de birçok vilayetlerde yapı işlerinde kullanılan tek taştır. Şanlıurfa, Gaziantep, Diyarbakır civarında ve Trakya'da Çorlu dolaylarında bazaltlardan kırmataş yapımında kullanılır. Gevşek ve gevrek olan bazalt tüfleri çok poroz, sünger gibi gözenekli olur. Bu özelliklerinden dolayı da hafif yapı malzemesi ve 1300° C'de eritilenler de asitlere dayanıklı gereç yapımında kullanılır (Kayhan ve diğ., 2011).

Dünyadaki teknolojik ve bilimsel gelişmeler insanlarda çevre bilinciyle birlikte, daha sakin ve doğal ortamlarda yaşama arzusunu ve özlemini doğurmaktadır. Son yıllarda ülkemizde de özellikle büyük şehirlerde ve turistik yörelerde, hem yapılarda hem topluma açık ve kapalı alanlarda doğal taşlar kullanılmaya başlanmıştır. Aşınma ve iklim şartlarından en az etkilenmesi nedeniyle bazalt tercih edilme sırasında, önde gelen doğal taştır. Yakın gelecekte vazgeçilmez olacağı kesin gözle bakılan bazaltın,

kullanım alanı her geçen gün genişlemektedir. Bazalt değişik kalınlık ve ölçülerde mimari yapıların her safhasında, alt ve üst yapıda, zemin ve cephe kaplamalarında, şehir içi yollarda, kaldırımlarda, trotuarlarda ve bahçe düzenlemesinde kullanılmaktadır. Ayrıca;

- Fiziksel ve mekanik özellikleri göz önünde bulundurularak kırma bazalt taşı, değişik doz ve oranlarda agrega olarak beton bileşimine katılmaktadır.
- Balast taşı olarak ise raylı yollarda kalkerin yerini çoktan almıştır.
- Cam-seramikte ve mineral tabanlı yalıtım sistemlerinde kullanılmaktadır.
- Bazalt taşı ısı depolama yöntemi ile ev ısıtmada pratik ve ekonomik yöntem olarak tercih edilmektedir. Isı depolama veriminin yüksek oluşu bunda ön plandadır.
- Bazalttan elde edilen taş yünü ise her türlü gemi ve denizde inşa edilen diğer yapıların döşeme ve duvar yalıtımında, yüksek sıcaklığa olan mukavemeti nedeniyle yangın kapılarında, kazan ve kazan dairesinde, klima donanım ve kanallarında, baca ve baca gazı kanallarında tank ve depolarında, duvar modüllerinde ve tavan izolasyonunda kullanılmaktadır.

Bazalt kumaş ise inşaat sektöründe benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmakta, ayrıca yüksek mekanik özellikleri, kimyasal dayanımları, ses ve ısı izolasyon özellikleri ile başta otomotiv sektörü olmak üzere havacılık, savunma sanayi, gemicilik vb. birçok sektörde kullanılmaktadır.

Bazalt lifler ve epoksi reçine kullanılarak betonarme yapılarda kullanılan çelik formunda üretilen bazalt lifli donatı da Amerika, Rusya ve Ukrayna gibi ülkeler başta olmak üzere birçok ülkede, bazı yapı elemanlarında donatı çeliğine alternatif olarak kullanılan ürünlerdendir. Lifli donatı, özellikle korozyon riski bulunan yapı elemanlarında donatı çeliği için önemli bir alternatif oluşturmaktadır. Donatı çeliğinden daha yüksek dayanıma sahip olan bazalt lifli donatı, çelik donatıya oranla yaklaşık üç kat daha hafiftir. Aynı zamanda termal genleşme katsayısı da betonun genleşme katsayısına oldukça yakındır. Alkali reaksiyonlara karşı yüksek direnci de dikkate alındığında, birçok alanda donatı çeliğine alternatif olma potansiyeli bulunmaktadır (Brik, 2003; TU, 2009; Klimov ve Piskun, 2010).



Geliştirilen bazalt ürünleri üç ayrı formdadır;

1. Bazalt elyaflar (Şekil 3.10)
2. Bazalt ip, lif (Şekil 3.11)
3. Bazalt çubuklar (Şekil 3.12)



Şekil 4.10: Bazalt elyaf



Şekil 4.11: Bazalt İp, lif



Şekil 4.12: Bazalt çubuklar

Bazalt elyafı kısıtlı olsa da ülkemizde bilinmekte ve kullanılmaktadır. Farklı boyutlarda üretilme olanağı vardır. 20 mikron çapında liflerden oluşan ve genellikle 5 mm ile 100 mm arasında uzunluğa sahip olarak üretilen lifler beton içerisinde üç boyutlu olarak donatı etkisi oluşturmaktadır. Hafif olduğu için beton içerisinde homojen dağılması mümkündür.

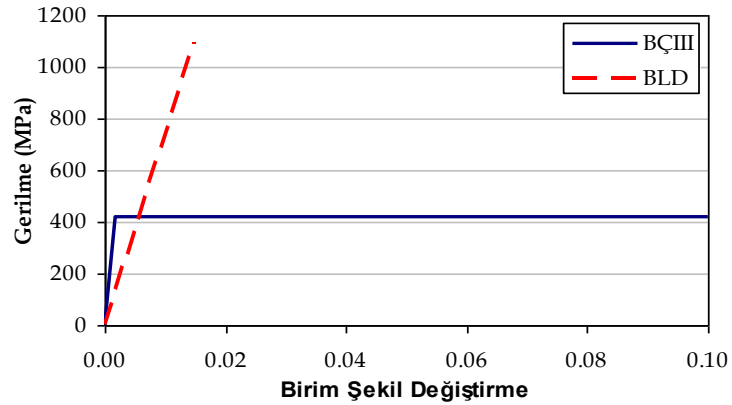
Bazalt elyafın betona karıştırılması ile fiziksel ve teknik bazı avantajlar sağlanmaktadır. Örneğin beton içerisinde oluşan çatlaklar ciddi oranda azalmakta, betonun eğilme ve çekme etkisi altındaki performansı artmakta, geçirimsiz ve don dayanımı yüksek betonlar elde edilebilmektedir. Benzer şekilde betonun yorulma dayanımı ve aşınma dayanımı da artmaktadır. Bazalt lifin, betonun kuru karışımı hazırlanırken karışıma ilave edilmesi ve normal betona göre karışım süresinin %20 artırılması önerilmektedir. Topaklanma riski olduğundan taze beton içerisine sonradan ilave edilmesi tavsiye edilmemektedir. İstenilen kalitede betona bağlı olarak 1m<sup>3</sup> beton içerisine 1-10kg bazalt elyaf karıştırılmaktadır. Bazalt lifli betonlar burada kısaca bahsedilen avantajları sebebiyle, temeller ve yer altı yapıları, kıyı ve liman yapıları, su altında kalacak köprü ayakları, beton yollar, hava alanı pistleri, su kanalları, tüneller, endüstri yapılarının döşemeleri vb. birçok alanda kullanılmaktadır (Kayhan ve diğ.,2011).

Bazalt ipler ise direkt kullanım alanı az olan ancak lifli kumaş üretimi ile havacılık, denizcilik, otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanı olan inşaat sektöründe ise benzer ürünler olan karbon ve sentetik lifli kumaşların alternatifi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bazalt çubuklar elyafların farklı bağlayıcılar ile nervürlü inşaat demiri formuna getirilmeleri ile elde edilen ürünlerdir. Saha betonlarında, yol inşaatlarında, temellerde, kimyasal tesislerde, deniz yapılarında Ukrayna, ABD ve Rusya başta olmak üzere birçok ülkede yaygın kullanım alanı bulunmaktadır.

Bazalt lifli donatı, bazalt lifler ve yüksek dayanımlı epoksi kullanılarak elde edilen, nervürlü betonarme donatısı formunda üretilen bir üründür (Şekil 4.12). Sürekli liflerin sarılarak spiral hale getirilmesi ve epoksi ile bağlanması ile istenilen form verilmektedir. Böylece korozyona ve hidroklorik asit, alkali, deniz suyu vb. kimyasal etkilere dayanıklı ve uzun ömürlü bir ürün elde edilmektedir. Bazalt lifli donatı yüksek dayanımlı olması yanında oldukça hafif bir üründür.

Türkiye’de betonarme donatısı olarak kullanılan BÇIII sınıfı çelik için TS-500’e (2000) göre çekme etkisi altında karakteristik akma dayanımı  $f_{yk}=420$  MPa, elastisite modülü 200000 MPa’dır. Çeliğin öz ağırlığı ise yaklaşık olarak  $7.8 \text{ gr/cm}^3$ ’tür. Bazalt lifli donatının çekme dayanımı BÇIII sınıfı donatı çeliğinin yaklaşık 2.5 katı iken elastisite modülü yaklaşık olarak üçte biri seviyesindedir. Şekil 4.13’te BÇIII ve bazalt lifli donatı için idealize edilmiş gerilme-şekil değiştirme ilişkisi verilmiştir. Bazalt lifli donatının kopma uzamasına kadar olan gerilme-şekil değiştirme ilişkisi doğrusal kabul edilecek bir eğilim göstermektedir (Klimov ve Piskun, 2010).



Şekil 4.13: BÇIII ve bazalt lifli donatı için idealize edilmiş gerilme – şekil değiştirme ilişkisi (Kayhan ve diğ., 2011)

TS-500’e göre, BÇIII donatısı için minimum kopma uzaması %10 olarak öngörülmüştür. Özellikle deprem bölgelerinde yapılan betonarme elemanların eğilme etkisi altında sünek davranmaları çok önemlidir. Sünek davranışı etkileyen faktörlerden birisi de donatının kopmadan uzayabilme özelliğidir. Bazalt lifli donatı

için kopma uzaması %1.5-%2.0 arasında değişmektedir. Bu özelliği nedeniyle deprem bölgelerindeki sünek tasarım gerektiren elemanlar için kullanılması uygun görülmemektedir. Tasarım felsefesi gereği büyük deformasyonlara izin verilmeyen ya da sünek davranış gereksinimi duyulmayan elemanlarda ise çelik donatı yerine tercih edilmektedir. Temeller, döşemeler, betonarme prefabrik elemanlar, ön gerilmeli betonarme elemanlar, depo ve silolar, köprüler, beton yol ve pistler, kıyı ve liman yapıları, su kanalları, barajlar muhtemel kullanım alanları olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bazalt donatılar çelik donatı ile karşılaştırıldığında daha gevrek bir malzeme olmasına rağmen, yüksek çekme dayanımı, çelik donatıya göre çok daha hafif olması ve kimyasallara karşı direnci nedeniyle mühendislik uygulamalarında kısa süre içerisinde geniş bir kullanım alanı bulacaktır. Bu çalışmada 10 ve 12 mm boylarında kırılmış bazalt elyaflar farklı oranlarda kullanılarak beton karışımları hazırlanacak, eğilmede çekme ve basınç dayanımı testleri uygulanarak beton yollarda kullanılabilirliği araştırılacaktır.

## **5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR**

### **5.1. Giriş**

Bu bölümde çalışmada kullanılan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özellikleri, hazırlanan numunelerin boyutları ve sayıları, beton karışımındaki malzeme oranları belirtilmiştir. Kullanılan deney düzenekleri ve deney metotları tanıtılmış, deney sonuçları tablolar ve grafikler halinde verilmiştir. Örnek bir yol kesitine uygulanan deney sonuçlarına göre plak kalınlığı belirlenerek donatısız ve elyafı beton yol için ekonomik analiz yapılmıştır.

### **5.2. Malzeme**

Deney numunelerinin hazırlanmasında aşağıdaki özelliklere sahip malzemeler kullanılmıştır.

#### **5.2.1. Çimento**

Beton karışımında Denizli Çimento Sanayi T.A.Ş.'den temin edilen CEM I 42,5 R çimento kullanıldı. Bu çimentoya ait fiziksel ve kimyasal özellikler Tablo 5.1 ve 5.2'de verildiği gibidir.

Tablo 5.1: Beton karışında kullanılan çimentoya ait kimyasal özellikler

Kimyasal Analiz (%)	Analiz Değerleri	Standart Değerleri / Metot	
		Türk Standardı No: TS EN 197 - 1	Standart / Metot
Kızdırma Kaybı	3,16	Max. % 5.0	TS EN 196 - 2
Çözünmeyen Kalıntı	0,29	Max. % 5.0	TS EN 196 - 2
SiO <sub>2</sub>	19,16		TS EN 196 - 2 / XRF
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,97		TS EN 196 - 2 / XRF
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,42		TS EN 196 - 2 / XRF
CaO	62,96		TS EN 196 - 2 / XRF
MgO	2,35		TS EN 196 - 2 / XRF
SO <sub>3</sub>	3,23	Max. % 4.0	TS EN 196 - 2 / XRF
Na <sub>2</sub> O	0,05		TS EN 196 - 2 / XRF
K <sub>2</sub> O	0,69		TS EN 196 - 2 / XRF
Na <sub>2</sub> O+0,658 K <sub>2</sub> O	0,5		Hesaplama
Klorür (Cl)	0,0071	Max. % 0.1	TS EN 196 - 2
Minör İlave Bileşen	5,00	Max. % 5.0	TS EN 197 - 1

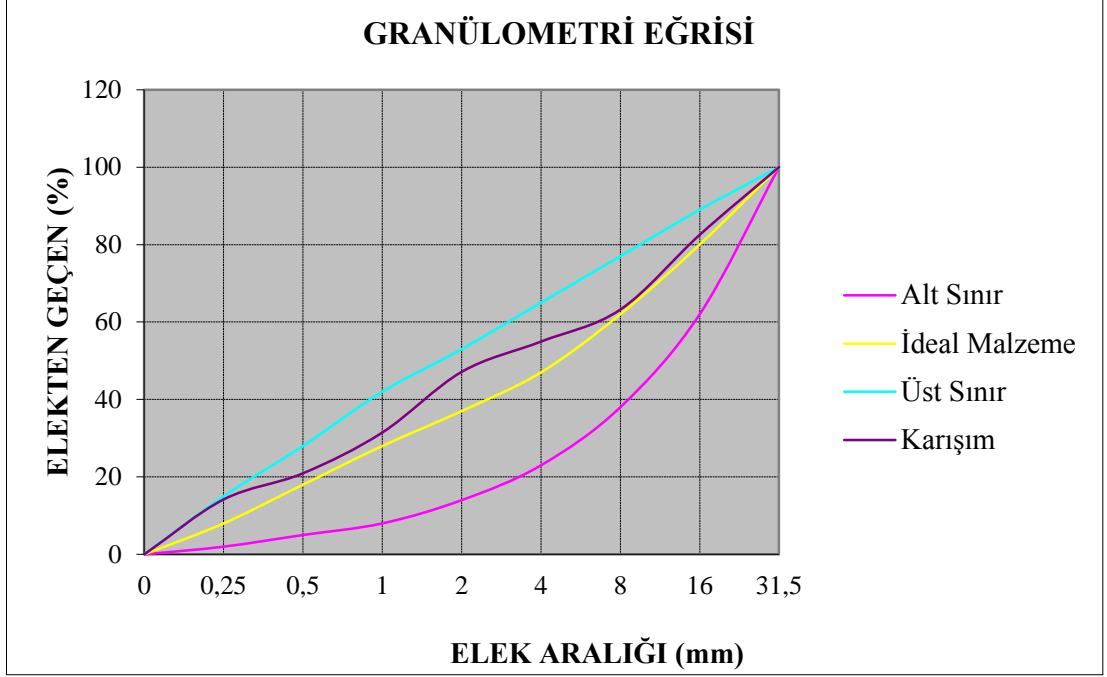
Tablo 5.2: Beton karışında kullanılan çimentoya ait fiziksel özellikler

Fiziksel Özellikler	Analiz Değerleri	Standart Değerleri / Metot	
		Türk Standardı No: TS EN 197 - 1	Standart / Metot
Özgül Ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	3,12		TS EN 196 - 6
Özgül Yüzey (cm <sup>2</sup> /gr)	3349		TS EN 196 - 6
Kıvam Suyu (%)	28,8		
Hacim Genleşmesi (mm)	0	Max. 10.0	TS EN 196 - 3
Priz Başı (Dak)	151	Min. 60.0	TS EN 196 - 3
Basınç Dayanımı (Mpa)	2 Günlük	27,0	Min. 20.0
	7 Günlük	39,8	
	28 Günlük	52,4	Min42.5 - Max 62.5
			TS EN 196 - 1

### 5.2.2. Agrega

Çalışmada kullanılan agrega Serinhisar Akça Taşocağından temin edilmiştir. Karışında 0-5mm, 5-15 mm ve 15-25 mm çaplarında olmak üzere 3 grup agrega kullanılmıştır. Agregaların su emme yüzdeleri sırasıyla % 1,80, % 0,50 ve %

0,20'dir. Agrega su emme yüzdeleri etkin su/çimento oranının hesaplanmasında kullanılacaktır.



Şekil 5.1: Kullanılan agregalara ait granülometri eğrisi

### 5.2.3. Lifler

#### 5.2.3.1 Çelik Lif

Çelik lifli numunelerde Draco Fibermix soğuk çekme, çap/uzunluk – mm 0.55x30 iki ucu kancalı çelik tel kullanılmıştır.

Tablo 5.3: Beton karışında kullanılan çelik life ait teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Çekme Dayanımı	1100	N/mm <sup>2</sup>
Eğilme Dayanımı	800	N/mm <sup>2</sup>
Kopma Uzaması	2	%

#### 5.2.3.2. Polipropilen Lif

Polipropilen lifli numunelerde Grace marka Strux 90/40 fiber donatı kullanılmıştır. Deney numunelerinde kullanılan polipropilen life ait teknik özellikler Tablo 5.4'te belirtilmiştir.

Tablo 5.4: Beton karışında kullanılan polipropilen life ait teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Özgül Ağırlık	0,92	
Emme	Yok	
Elastisite Modülü	9,5	Gpa
Çekme Dayanımı	620	N/mm <sup>2</sup>
Erime Noktası	160	°C
Ateşleme Noktası	590	°C
Alkali, Asit ve Tuz Dayanımı	Yüksek	

### 5.2.3.3. Bazalt Lif

Spinteks Tekstil İnş. San. ve Tic. A.Ş.den temin edilen Tablo 5.5'te gösterilen teknik özelliklere sahip 12 mm ve 24 mm boylarında bazalt elyaf kullanılmıştır.

Tablo 5.5: Bazalt elyaflara ait teknik özellikler

Özellik	Değer	Birim
Isı Dayanımı	-260/680	°C
Filament Çapı	13-20	Mikron
Özgül Ağırlık	2,80	gr/cm <sup>3</sup>
Elyaf Boyu	3 ~ 100	mm ±10
Nem	0.2 - 12	%
Elastisite Modülü	89	Gpa
Kopma Uzaması	3,5	%

### 5.2.4. Kimyasal Katkı

Beton karışımında akışkanlaştırıcı katkı maddesi olarak CHRYSOFLUID MGS kullanılmıştır. Beton karışımına ağırlık olarak çimento ağırlığını %1,2 olarak eklenmiştir. Katkının yoğunluğu  $1,220 \pm 0.03$  gr/cm<sup>3</sup> ve Ph değeri  $6,00 \pm 1$ 'dir.

### 5.3. Metot



### 5.3.1. Numune boyutları ve sayıları

Çalışmada basınç dayanımları belirlenmek üzere her bir set için 7 günlük 3 adet ve 28 günlük 3 adet olmak üzere 15x15x15 cm boyutlarında toplam 54 adet küp numune hazırlanmıştır. Eğilmede çekme dayanımı belirlenmek üzere her bir set için 7 gün, 14 gün ve 28 günlük 10x10x40 cm boyutlarında toplam 81 adet kiriş numuneler hazırlanmıştır.

### 5.3.2. Beton Karışımı

Bu çalışmada beton kalitesi C20/25 belirlenmiştir. Agregası su emme miktarları göz önünde bulundurularak hesaplanan efektif su/çimento oranı 0,55 sabit tutularak, beton karışımlarına 12 mm ve 24 mm olmak üzere 2 kg/m<sup>3</sup>, 3 kg/m<sup>3</sup>, 4 kg/m<sup>3</sup> oranlarında bazalt elyaf, 20 kg/m<sup>3</sup> oranında çelik tel, 2,3 kg/m<sup>3</sup> oranında polipropilen lif eklenerek, her bir set için 3 adet olmak üzere referans numunelerle birlikte 9 farklı set beton üretilmiştir.



Şekil 5.2: Üretilen beton numuneler

Üretilen betonlarda kullanılan agrega boyutları, çimento, su, lif ve kimyasal katkıların ağırlıkça ve yüzde katılım oranları Tablo 5.7’de verilmiştir.

Üretilen beton numuneleri 1 gün sonra kalıptan çıkarılarak, laboratuvar ortamında deney gruplarına göre 7, 14 ve 28 gün boyunca  $20 \pm 2$  °C sıcaklıkta kür havuzunda tutuldu. Üretilen beton numunelerin kodlanması Tablo 5.6'daki gibidir.

Tablo 5.6: Beton numunelerin kodlandırılması

SET 1	Şahit Numuneler
SET 2	12 mm - 2 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 3	12 mm - 3 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 4	12 mm - 4 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 5	24 mm - 2 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 6	24 mm - 3 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 7	24 mm - 4 kg/m <sup>3</sup> Bazalt Elyaf
SET 8	2,3 kg/m <sup>3</sup> Polipropilen Lif
SET 9	20 kg/m <sup>3</sup> Çelik Lif

Kür havuzunda tutulan basınç deneyi için hazırlanan küp numuneler 7 ve 28 gün, eğilmede çekme deneyi için hazırlanan kiriş numuneler 7, 14 ve 28 gün ardından kür havuzunda çıkarılıp tartılarak yoğunlukları belirlenmiştir. Tablo 5.8 ve Tablo 5.9'da küp, Tablo 5.11, Tablo 5.12 ve Tablo 5.13'de kiriş numunelere ait birim hacim ağırlık değerleri verilmiştir.

Tablo 5.7: Beton karışımında kullanılan malzemelerin ağırlık (kg) olarak karışıma katılım oranları

MALZEME	Şahit	Bazalt E. 2 kg/m <sup>3</sup>	Bazalt E. 3 kg/m <sup>3</sup>	Bazalt E. 4 kg/m <sup>3</sup>	Polipropilen 2,3 kg/m <sup>3</sup>	Çelik 20 kg/m <sup>3</sup>
0 - 5 Kum	1040	1040	1040	1040	1040	1040
5 - 15 Kırmataş	325	325	325	325	325	325
15 - 25 Kırmataş	570	570	570	570	570	570
CEM 1 42,5	260	260	260	260	260	260
Kimyasal Katkı	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12	3,12
Su	164,3	164,3	164,3	164,3	164,3	164,3
Lif	-	2	3	4	2,3	20
<b>TOPLAM</b>	2362,42	2364,42	2365,42	2366,42	2364,72	2382,42

#### 5.4. Deneyler

#### 5.4.1. Beton basınç dayanımı deneyi

Basınç deneyleri 7 ve 28 gün kür uygulan küp numunelere (en: 15 cm, boy: 15cm, yükseklik: 15 cm) üzerine TS EN 12390'a bağlı olarak her grup için 3 numune üzerinde yapıldı. Deney düzeneği TS EN 12390 – 4'te belirtilmiş olan performans özelliklerine sahip olup Şekil 5.3'te verilmiştir. Deney yapılmadan önce numuneler 1 mm hassasiyetle ölçülüp, hassas terazi ile tartılarak birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir.



Şekil 4.3: Beton basınç deneyi düzeneği

Numuneler basınç makinesinin yükleme tablasına yerleştirilmiş, 0.2 MPa/s – 0.1 MPa/s hızında üniform gerilme artışı sağlayacak şekilde, kırılıncaya kadar yüklemeye devam edilmiş ve kırılma anındaki maksimum yük belirlenmiştir. Numunelerin basınç dayanımları aşağıdaki denklem kullanılarak belirlenmiştir.

$$f_c = F/A_c \quad (5.1)$$

Burada;

$f_c$ : Basınç dayanımı (MPa)

F: Kırılma anındaki maksimum yük (N)

$A_c$ : Numunenin basınç uygulanan yüzeyinin alanı ( $mm^2$ )

7 ve 28 günlük basınç dayanımı deney sonuçları Tablo 5.7 ve Tablo 5.8'de verilmiştir. Sonuçlar incelendiğinde en yüksek basınç dayanımı değerleri SET 7'den elde edilmiştir. Bununla birlikte 12 mm elyaf katkılı setler arasından ise SET 2 şahit numunelere göre belirgin bir dayanım artışı sergilemiştir.

Tablo 5.8: 7 Günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları

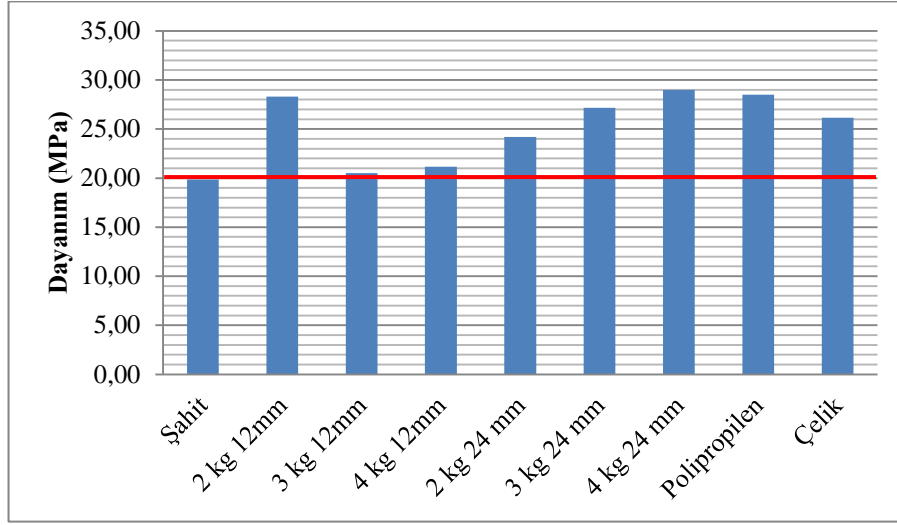
	Numune No	Ağırlık (kg)	Yoğunluk ( $kg/m^3$ )	Maks. Yük (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. Basınç Dayanımı (Mpa)
SET 1	1	7,86	2329	450,43	20,02	19,86
	2	7,94	2353	428,38	19,04	
	3	8,00	2370	461,69	20,52	
SET 2	1	8,14	2412	706,95	31,42	28,29
	2	8,10	2400	738,97	32,84	
	3	8,12	2406	672,99	29,91	
SET 3	1	7,94	2353	442,87	19,68	20,51
	2	7,78	2305	474,89	21,11	
	3	7,88	2335	466,36	20,73	
SET 4	1	7,84	2323	484,71	21,54	21,17
	2	7,88	2335	471,35	20,95	
	3	7,84	2323	473,12	21,03	
SET 5	1	7,90	2341	566,94	25,20	24,18
	2	7,84	2323	543,61	24,16	
	3	7,90	2341	521,88	23,19	
SET 6	1	8,02	2376	605,08	26,89	27,17
	2	8,06	2388	635,01	28,22	
	3	8,16	2418	594,14	26,41	
SET 7	1	7,94	2353	644,70	28,65	29,00
	2	8,04	2382	660,44	29,35	
	3	7,92	2347	652,55	29,00	
SET 8	1	8,06	2388	631,79	28,08	28,51
	2	8,06	2388	641,80	28,52	

	3	8,10	2400	650,78	28,92	
<b>SET 9</b>	1	8,16	2418	559,22	24,85	26,16
	2	8,12	2406	589,60	26,20	
	3	8,20	2430	617,15	27,43	

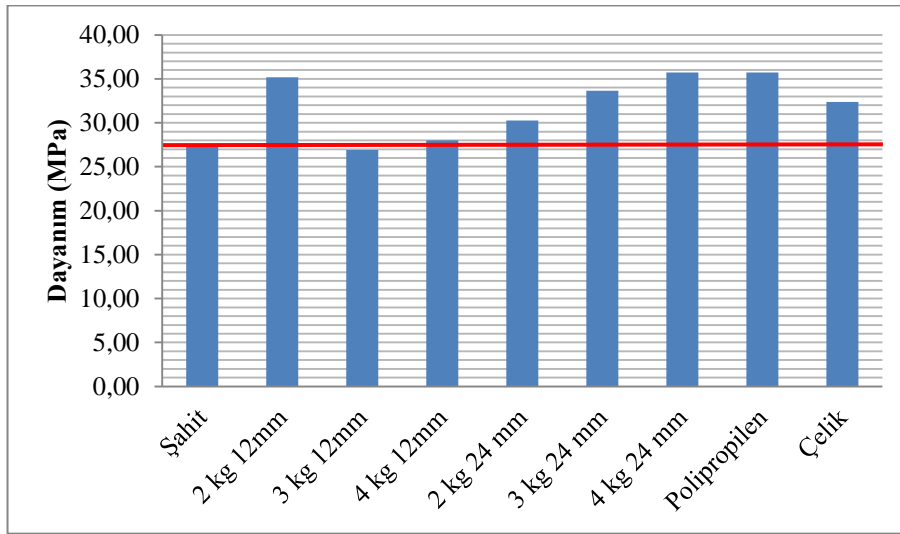
Tablo 5.9: 28 Günlük basınç dayanımı deneyi sonuçları

	Numune No	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Maks. Yük (kN)	Basınç Dayanımı (Mpa)	Ort. Basınç Dayanımı (Mpa)
<b>SET 1</b>	1	8,02	2376	593,49	26,38	27,47
	2	7,98	2364	628,74	27,94	
	3	7,90	2341	631,96	28,09	
<b>SET 2</b>	1	8,18	2424	892,01	39,64	35,18
	2	8,08	2394	868,2	38,59	
	3	8,20	2430	837,78	37,23	
<b>SET 3</b>	1	7,84	2323	603,50	26,82	26,92
	2	8,00	2370	617,31	27,44	
	3	7,92	2347	596,20	26,50	
<b>SET 4</b>	1	7,92	2347	642,74	28,57	28,01
	2	7,88	2335	637,1	28,32	
	3	7,74	2293	610,87	27,15	
<b>SET 5</b>	1	7,98	2364	682,40	30,33	30,26
	2	7,9	2341	670,60	29,80	
	3	7,82	2317	689,25	30,63	
<b>SET 6</b>	1	8,06	2388	746,54	33,18	33,65
	2	8,02	2376	783,39	34,82	
	3	8,00	2370	741,40	32,95	
<b>SET 7</b>	1	7,92	2347	815,09	36,23	35,73
	2	8,00	2370	825,87	36,71	
	3	7,90	2341	771,00	34,27	
<b>SET 8</b>	1	8,02	2376	821,69	36,52	35,72
	2	8,16	2418	797,71	35,45	
	3	7,96	2359	791,40	35,17	
<b>SET 9</b>	1	8,18	2424	706,30	31,39	32,32
	2	8,16	2418	748,31	33,26	
	3	8,09	2397	729,6	32,43	

Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te şahit numuneler ve elyaf katkı numunelerinin 7 ve 28 günlük basınç dayanımları grafiklerle karşılaştırmalı olarak verilmiştir.



Şekil 5.4: Şahit ve elyaf katkı numunelerinin 7 günlük basınç dayanımı karşılaştırması



Şekil 5.5: Şahit ve elyaf katkı numunelerinin 28 günlük basınç dayanımı karşılaştırması

Tablo 5.10'da basınç dayanımlarının her bir deney grubu için şahit dayanım ortalamasına oranları verilmiştir.

Tablo 5.10: Basınç dayanımlarının şahit numunelere göre artış oranları

	7 Gün (MPa)	Artış (%)	28 Gün (MPa)	Artış (%)
SET 1	19,86		27,47	
SET 2	28,29	42,46	35,18	28,08
SET 3	20,51	3,25	26,92	-2,01
SET 4	21,17	6,62	28,01	1,97
SET 5	24,18	21,78	30,26	10,14
SET 6	27,17	36,83	33,65	22,50
SET 7	29,00	46,04	35,73	30,08
SET 8	28,51	43,56	35,72	30,02
SET 9	26,16	31,74	32,36	17,80

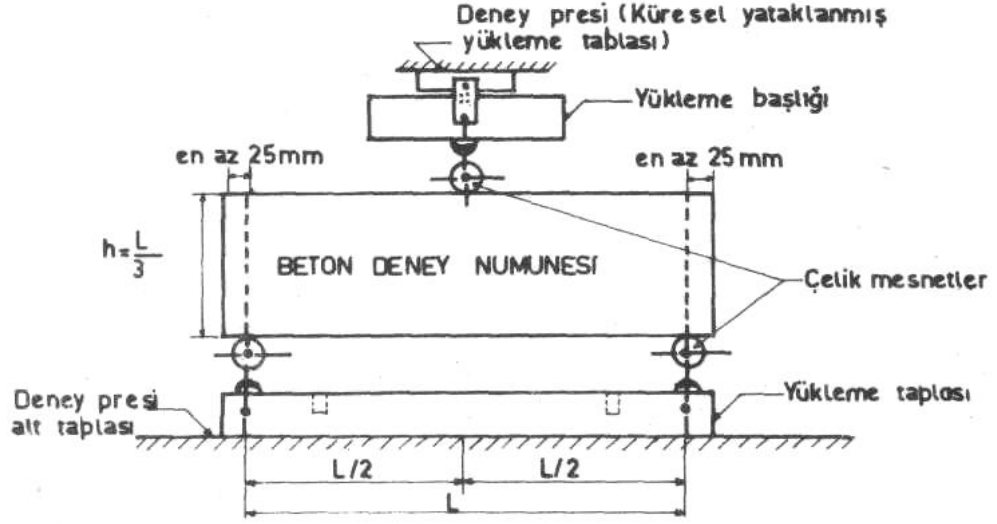
Küp numunelerin ortalama dayanım artışları incelendiğinde lif donatılı beton numunelerinin dayanım artış hızının donatısız şahit numuneye göre daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Şahit numunede 28 günlük sonuçlarında 7 günlüklere göre dayanım artışı % 38 iken; 12 mm bazalt elyaf kullanılanlarda % 32; 24 mm bazalt elyaf, polipropilen ve çelik lif kullanılanlarda % 25 civarında olduğu belirlenmiştir. 24 mm elyaf kullanılan deney setlerinde dayanım artış hızındaki sonuçlar paralellik gösterirken, 12 mm elyaf kullanılan deney setlerinde 2 kg/m<sup>3</sup> oranında hazırlanan set, 3 ve 4 kg/m<sup>3</sup> oranında hazırlanan setlerden çok farklı ve düşük sonuç vermiştir.

Tablo 5.11: 7 ve 28 günlük deney numunelerinin basınç dayanımı artış yüzdeleri

	7 Gün	28 Gün	Artış (%)
SET 1	19,86	27,47	38,32
SET 2	28,29	35,18	24,35
SET 3	20,51	26,92	31,28
SET 4	21,17	28,01	32,29
SET 5	24,18	30,26	25,10
SET 6	27,17	33,65	23,83
SET 7	29,00	35,73	23,20
SET 8	28,51	35,72	25,28
SET 9	26,16	32,36	23,68

#### 5.4.2. Eğilmede çekme deneyi

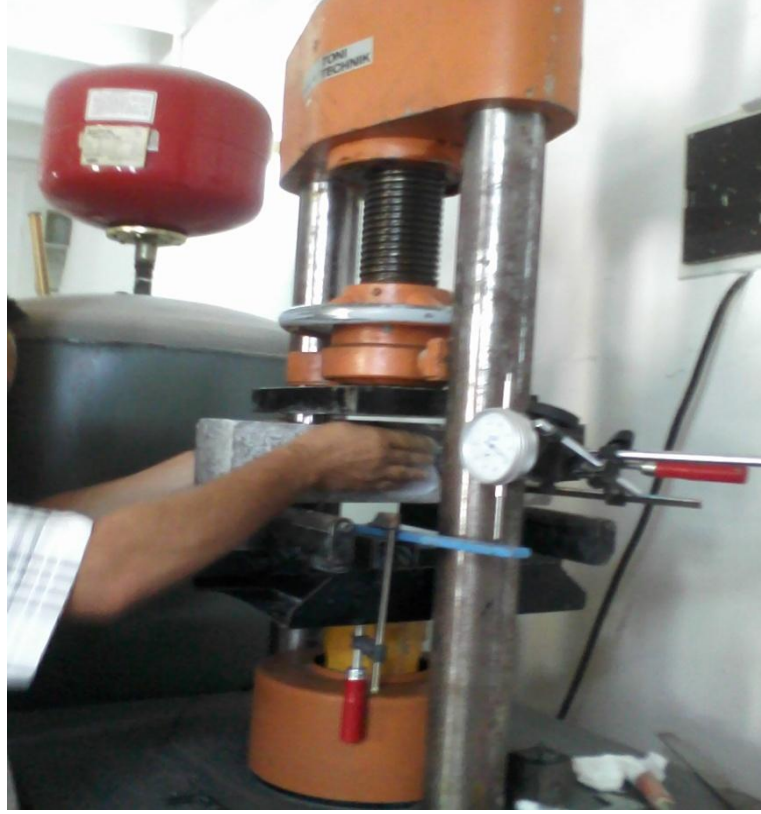
Eğilme dayanımı tayini 10x10x40 cm boyutlarındaki kiriş numunelerine TS 12390 – 5'e göre orta noktadan yüklenmiş basit kiriş metodu ile yapılmıştır. Deney yapılmadan önce numune boyutları ölçülüp, hassas terazi ile tartılarak birim hacim ağırlıkları belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 5.6 ve Şekil 5.7'de verildiği gibidir.



Şekil 5.6: Orta noktadan yüklenmiş basit kiriş metodu

Deney numunesi açıklığı 30 cm olan mesnetler üzerine yerleştirilmiş ve orta noktasından 0,04 MPa/s – 0,06 MPa/s yükleme hızıyla kırılma anına kadar yüklenmiştir (Şekil 5.4.)





Şekil 5.7: Deney düzeneği

Kırılma anındaki maksimum yük belirlenmiş ve eğilmede çekme dayanımı aşağıdaki formüle göre belirlenmiştir.

$$F_{cf}=1,5xFL_1 / (d_1xd_2^2) \quad (5.2)$$

Burada;

$f_{cf}$ : Eğilmede çekme dayanımı, (MPa)

F: En büyük yük, (N)

L1: Mesnetler arasındaki açıklık, (mm)

$d_1, d_2$ : Numunenin en kesit boyutları, (mm)

7,14 ve 28 günlük eğilme dayanımı deney sonuçları Tablo 5.12, Tablo 5.13 ve Tablo 5.14'de verilmiştir.

Tablo 5.12: 7 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları

	Numune No	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Maks. Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Ort. Eğilme Dayanımı (Mpa)
<b>SET 1</b>	1	9,48	2370	1030	4,236	4,016
	2	9,66	2415	970	4,281	
	3	9,22	2305	800	3,530	
<b>SET 2</b>	1	9,78	2445	1120	4,943	4,737
	2	9,68	2420	1030	4,545	
	3	9,54	2385	1070	4,722	
<b>SET 3</b>	1	9,82	2455	970	4,281	4,207
	2	9,9	2475	950	4,192	
	3	9,72	2430	940	4,148	
<b>SET 4</b>	1	9,68	2420	890	3,928	4,207
	2	9,68	2420	1040	4,590	
	3	9,52	2380	930	4,104	
<b>SET 5</b>	1	9,8	2450	1100	4,854	4,942
	2	9,56	2390	1230	5,428	
	3	9,7	2425	1030	4,545	
<b>SET 6</b>	1	9,54	2385	1070	4,722	5,001
	2	9,6	2400	1160	5,119	
	3	10,02	2505	1170	5,163	
<b>SET 7</b>	1	9,76	2440	1270	5,605	5,060
	2	9,66	2415	1140	5,031	
	3	9,94	2485	1030	4,545	
<b>SET 8</b>	1	9,64	2410	1060	4,678	4,810
	2	9,94	2485	1220	5,384	
	3	9,64	2410	990	4,369	
<b>SET 9</b>	1	9,66	2415	1260	5,560	5,693
	2	9,84	2460	1290	5,693	
	3	9,72	2430	1320	5,825	

Şekil 5.8. de 7 günlük eğilme dayanımının elyaf miktarına ve türlerine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 5.13: 14 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları

	Numune No	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Maks. Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Ort. Eğilme Dayanımı (Mpa)
<b>SET 1</b>	1	9,64	2410	1200	5,296	5,163
	2	9,02	2255	1190	5,251	
	3	9,16	2290	1120	4,943	
<b>SET 2</b>	1	10,08	2520	1330	5,869	5,163
	2	9,46	2365	1070	4,722	
	3	9,64	2410	1110	4,898	
<b>SET 3</b>	1	9,62	2405	1260	5,560	5,134
	2	9,48	2370	1120	4,943	
	3	9,46	2365	1110	4,898	
<b>SET 4</b>	1	9,84	2460	1210	5,340	4,869
	2	9,64	2410	1080	4,766	
	3	9,44	2360	1020	4,501	
<b>SET 5</b>	1	10,18	2545	1300	4,943	5,310
	2	9,74	2435	1230	5,428	
	3	9,54	2385	1280	5,560	
<b>SET 6</b>	1	9,5	2375	1340	5,913	5,899
	2	9,52	2380	1210	5,340	
	3	9,9	2475	1460	6,443	
<b>SET 7</b>	1	10,22	2555	1480	6,531	5,693
	2	9,72	2430	1320	5,825	
	3	9,60	2400	1070	4,722	
<b>SET 8</b>	1	9,6	2400	1370	5,913	5,884
	2	9,8	2450	1390	6,134	
	3	10,12	2530	1270	5,605	

Şekil 5.9’da 14 günlük eğilme dayanımının elyaf miktarına ve türlerine göre değişimi verilmiştir.

Tablo 5.14: 28 Günlük eğilmede çekme deneyi sonuçları

	Numune No	Ağırlık (kg)	Yoğunluk (kg/m <sup>3</sup> )	Maks. Yük (kN)	Eğilme Dayanımı (Mpa)	Ort. Eğilme Dayanımı (Mpa)
SET 1	1	9,74	2435	1170	5,163	5,502
	2	9,7	2425	1270	5,605	
	3	9,3	2325	1300	5,737	
SET 2	1	9,74	2435	1340	5,913	5,678
	2	9,66	2415	1360	6,002	
	3	9,58	2395	1160	5,119	
SET 3	1	9,54	2385	1150	5,075	5,105
	2	9,52	2380	1120	4,943	
	3	9,54	2385	1200	5,296	
SET 4	1	9,58	2395	1090	4,810	5,148
	2	9,96	2490	1070	4,722	
	3	9,88	2470	1340	5,913	
SET 5	1	9,74	2435	1130	4,987	5,810
	2	9,66	2415	1340	5,913	
	3	9,64	2410	1480	6,531	
SET 6	1	9,74	2435	1300	5,737	5,737
	2	9,46	2365	1200	5,296	
	3	9,62	2405	1400	6,178	
SET 7	1	9,84	2460	1440	6,355	6,531
	2	9,86	2465	1540	6,796	
	3	9,86	2465	1460	6,443	
SET 8	1	9,68	2420	1290	5,693	6,178
	2	9,78	2445	1450	6,399	
	3	9,72	2430	1460	6,443	
SET 9	1	9,86	2465	1530	6,752	6,840
	2	9,84	2460	1710	6,399	
	3	9,94	2485	1670	7,370	

Şekil 5.10' da 28 günlük eğilme dayanımının elyaf miktarına ve türlerine göre değişimi verilmiştir.

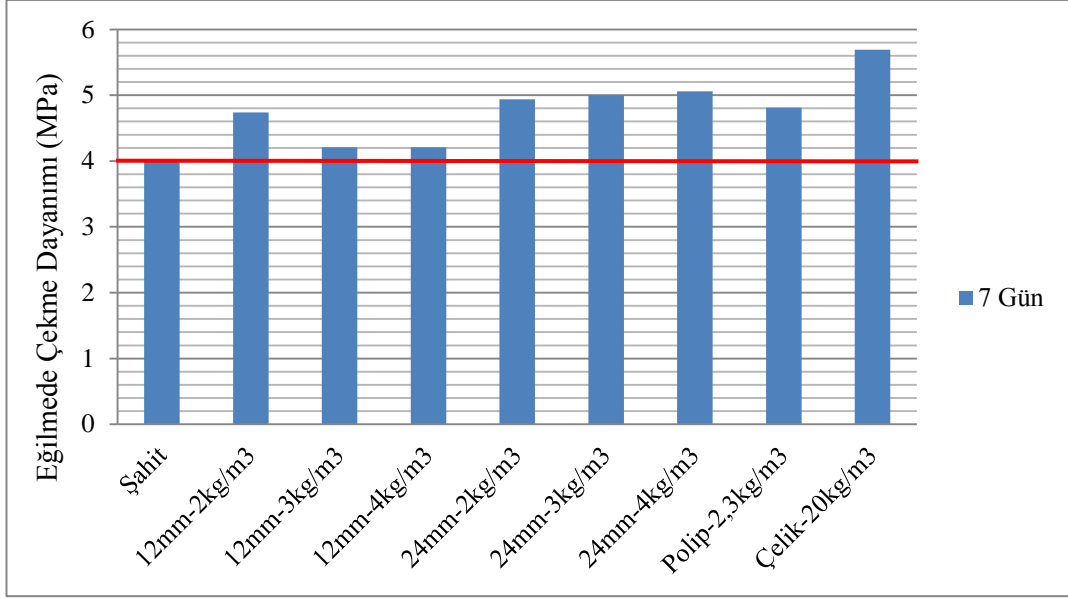
Tablo 5.15: Eğilmede çekme dayanımlarının şahit numuneye göre artış yüzdeleri

	7 Gün	Artış (%)	14 Gün	Artış (%)	28 Gün	Artış (%)
SET 1	4,016		5,163		5,50	
SET 2	4,737	17,95	5,163	0,00	5,68	3,20
SET 3	4,207	4,76	5,134	-0,56	5,11	-7,22
SET 4	4,207	4,76	4,869	-5,69	5,15	-6,43
SET 5	4,942	23,06	5,310	2,85	5,81	5,60
SET 6	5,001	24,53	5,899	14,26	5,74	4,27
SET 7	5,060	26,00	5,693	10,27	6,53	18,70
SET 8	4,810	19,77	5,884	13,96	6,18	12,29
SET 9	5,693	41,76			6,84	24,32

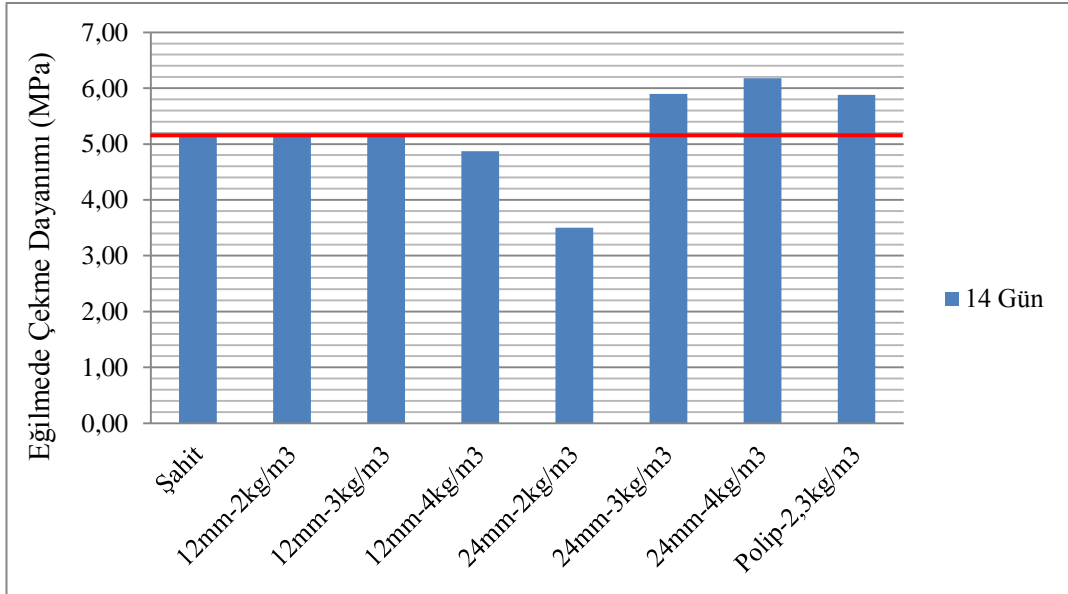
7, 14 ve 28 günlük deney setleri incelendiğinde bazalt elyaf katkılı deney setlerinde 14 ve 28 günlük sonuçlarda dayanım artış hızındaki düşüş göze çarpmaktadır. 12 mm bazalt elyaf kullanılan 3 farklı setten ikisinde eğilmede çekme dayanımının şahit numunelerden daha düşük olduğu gözlemlenmiştir. Sonuçlar hep birlikte değerlendirildiğinde ise 28 günlük deney sonuçlarından en yüksek değerler % 24,32 artış ile çelik lif, % 18,70 artış ile 24 mm 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyaf ve % 12,32 artış ile polipropilen lif katkılı deney setlerinden elde edilmiştir. Bazalt elyafı hazırlanan beton numunelerinin 14 ve 28 günlük eğilmede çekme dayanımlarının birbirine yakın olduğu görülmüştür.

Her bir deney numunesi için çizilen yük – sehim grafikleri ekler kısmında incelenebilir. Grafikler karşılaştırıldığında donatılı ve donatısız numunelerin davranışlarının benzer olduğu görülmektedir. Yaklaşık olarak bütün numunelerde 100 – 300 kg yük aralığında yük artarken şekil değiştirme belirgin şekilde yavaşlamıştır.

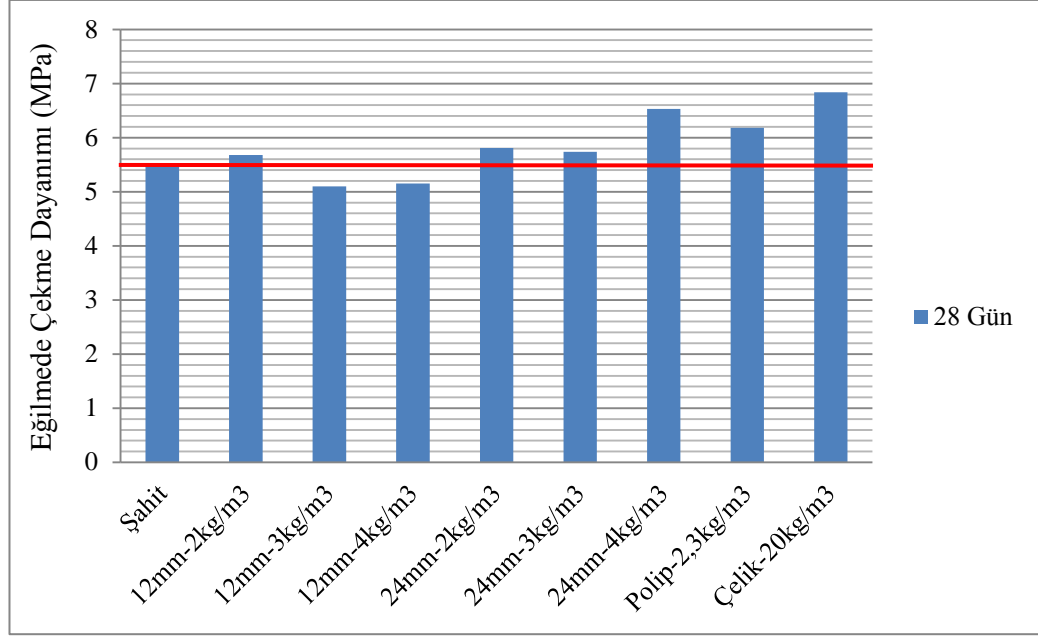
Örnek yol tasarımında kullanacağımız karışım olan 24 mm 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyaf katkılı beton için şahit numuneye göre artış ise % 18,70 olarak saptanmıştır.



Şekil 5.8: 7 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi

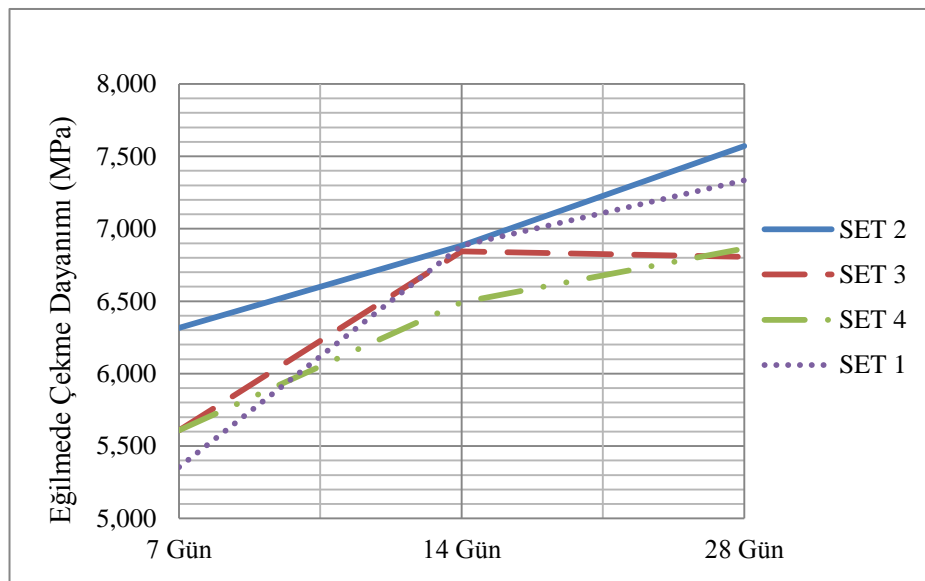


Şekil 5.9: 14 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi

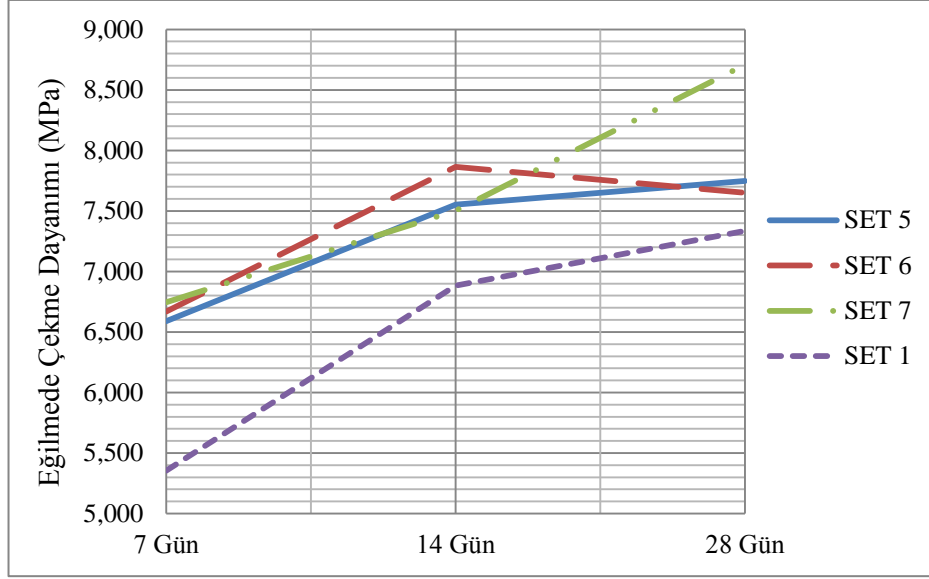


Şekil 5.10: 28 Günlük eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre değişimi

Tablo 5.12, 5.13 ve 5.14 incelendiğinde numune yoğunluklarının eğilme dayanımına belirgin bir etkisi olmadığı gözlemlenmiştir. 12 mm bazalt elyaf kullanılan deney setlerinde 2 kg / m<sup>3</sup> oranındaki karışım deney grupları arasında en iyi sonucu vermektedir ve 3 kg / m<sup>3</sup> ve 4 kg / m<sup>3</sup> oranlarında elyaf ihtiva eden deney gruplarında da elyaf oranı artışıyla birlikte eğilmede çekme dayanımında bir miktar artış gözlemlenmiştir. Bazalt elyafı hazırlanan deney numunelerindeki eğilme dayanımındaki artışlar Şekil 5.11 ve Şekil 5.12 de çizgi grafikler halinde verilmiştir.



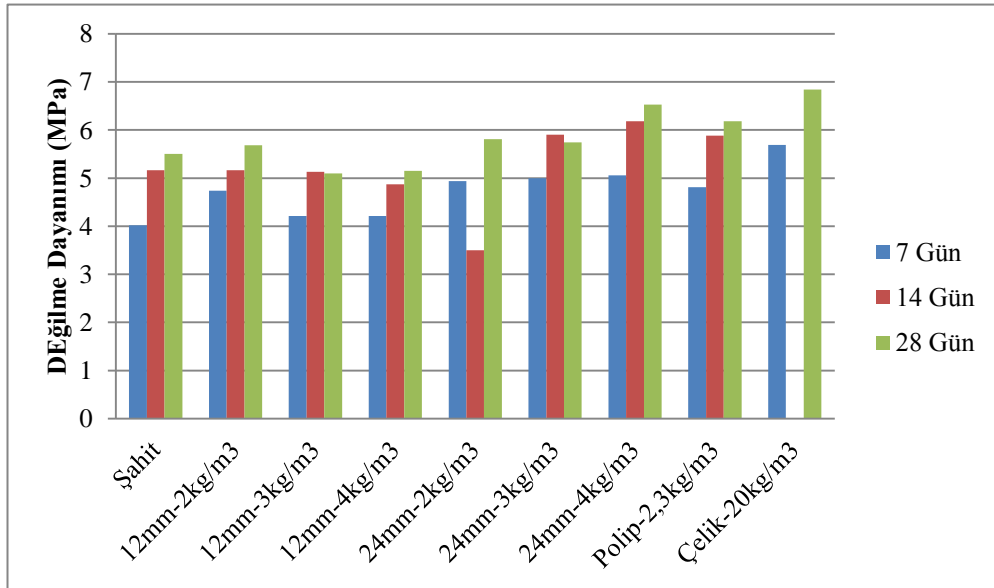
Şekil 5.11: 12 mm bazalt elyafı numunelerin ortalama eğilme dayanımına ait verilerin grafiği



Şekil 5.12: 24 mm bazalt elyafı numunelerin ortalama eğilme dayanımına ait verilerin grafiği

24 mm boyunda bazalt elyaf ihtiva eden deney grupları incelendiğinde ise  $4 \text{ kg} / \text{m}^3$  oranındaki karışım deney grupları arasında en yüksek değeri vermektedir ve karışımdaki bazalt elyaf oranı arttıkça eğilme çekme dayanımında artış gözlemlenmektedir.

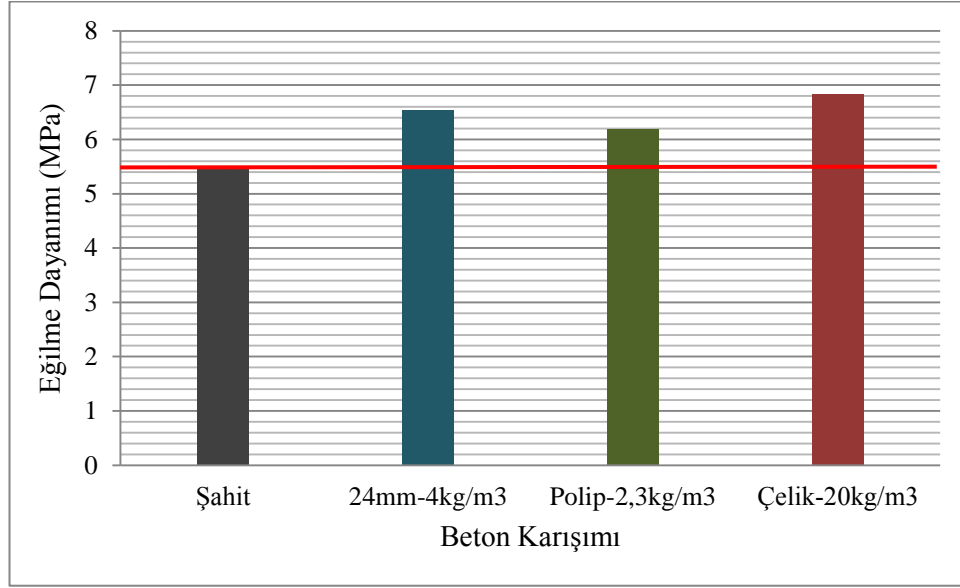
Deney setlerinin 7, 14 ve 28 günlük eğilme çekme dayanımı deney sonuçlarının grafik üzerinde karşılaştırması Şekil 5.13 de verilmiştir.



Şekil 5.13: Eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre karşılaştırılması



Tüm sonuçlar karşılaştırıldığında 28 günlük numunelere yapılan eğilme deneyi sonuçları Şekil 5.14'ten görüleceği üzere en yüksek eğilme dayanımı değeri 6,84 MPa ile çelik lif katkılı beton karışımından elde edilmiştir. 6,53 MPa eğilmede çekme dayanımı ile 24 mm 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyaf katkılı beton karışımı en yüksek ikinci değeri ve son olarak 6,18 MPa ile polipropilen lif katkılı beton karışımı şahit numunelere göre dayanım artışı sağlamakla birlikte lifli beton karışımları arasındaki en düşük dayanımı vermiştir.



Şekil 5.14: Eğilme dayanımının elyaf miktarları ve türüne göre karşılaştırılması

Tablo 5.16: Eğilme dayanımlarının şahit numunelere göre artış oranları

	7 gün (Mpa)	D. Artışı (%)	14 gün (Mpa)	D. Artışı (%)	28 gün (Mpa)	D. Artışı (%)
SET 1	4,02		5,16		5,50	
SET 2	4,74	17,91	5,16	0	5,68	3,27
SET 3	4,21	4,73	5,13	-0,58	5,10	-7,27
SET 4	4,21	4,73	4,87	-5,62	5,15	-6,36
SET 5	4,94	18,16	3,50	-32,17	5,81	5,64
SET 6	5,00	24,38	5,90	14,34	5,74	4,36
SET 7	5,06	25,87	6,18	19,77	6,53	18,73
SET 8	4,81	19,65	5,88	13,95	6,18	12,36
SET 9	5,69	41,54			6,84	24,36

## 5.5. Beton Numunelerinin Elastisite Modüllerinin Hesaplanması

Elastisite modülü, betonarme elamanın uzama ve deformasyonunun belirlenmesi amacıyla kullanılabilen ve daha çok teorik metotlarla hesaplanmaktadır. Beton dayanımına bağlı olarak geliştirilmiş olan bazı ampirik formüllerle hesaplanan elastisite modülü için Türk Standartları Enstitüsü (TSE), Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), İngiliz Standart Enstitüsü (BSI) ve Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından önerilmiş ve geleneksel beton için birbirine yakın sonuçlar veren formüller kullanılmaktadır (Emiroğlu ve diğ., 2009).

Elastisite modülünü belirlemek üzere hazırlanan 15x15x15 cm küp numunelere basınç dayanımı testi sonuçlarına göre TS 500'de belirtilen ampirik formül kullanılacaktır.

$$E= 14000+3250\sigma^{1/2} \quad (5.3)$$

Burada;

E: Elastisite modülü (MPa)

$\sigma$ : Betonun karakteristik basınç dayanımı (MPa)

TS 500'deki formüle ve küp numunelerden elde ettiğimiz basınç dayanımı sonuçlarına göre hesaplanan elastisite modülü değerleri Tablo 5.17'de verilmiştir.

Tablo 5.17: Küp numune basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri

Deney Seti	Ort. Kırılma Yüğü	Basınç dayanımı	Yoğunluk	Elastisite Modülü
	(Newton)	(N/mm <sup>2</sup> )	(kg/m <sup>3</sup> )	(Mpa)
SET 1	618063,33	27,47	2360,49	31033,68
SET 2	791593,33	35,18	2415,80	33277,17
SET 3	605670,00	26,92	2346,67	30862,04
SET 4	630236,67	28,01	2324,94	31200,61
SET 5	680750,00	30,26	2340,74	31876,64
SET 6	757110,00	33,65	2378,27	32852,61
SET 7	803986,67	35,73	2352,59	33427,48
SET 8	803600,00	35,72	2384,20	33422,81
SET 9	727305,00	32,32	2420,74	32477,81

## 5.6. Elyaf Katkılı Beton Yol Tasarımı İçin Bir Yaklaşım

Kuloğlu ve arkadaşlarının yaptığı bir çalışmada rijit üstyapı kaplama kalınlığına etki eden parametreleri incelemiştir.

Beton kaplamanın performansı için AASHTO yol testinden denklem 5.4'teki eşitlik elde edilmiştir (ASSHTO, 1993).

$$\begin{aligned} \log_{10} W_{8,2} = & Z_{RS} + 7,35 \log_{10}(D + 1) - 0,06 + \frac{\left[ \frac{\Delta PSI}{4,5 - 1,5} \right]}{\left\{ 1 + \left[ \frac{1,624 \cdot 10^7}{(D + 10)^{8,46}} \right] \right\}} + \\ & (4,22 - 0,32Pt) \log_{10} \left[ Sc' Cd (D^{0,75} - 1,132) / \left\{ 215,63 J \left[ D^{0,75} - \left[ \frac{18,42}{k^{0,25}} \right] \right] \right\} \right] \end{aligned} \quad (5.4)$$

Burada;

$W_{8,2}$ : 8,2 ton eşdeğer dingil yükü tekerrür sayısı

$Z_R$ : Standart normal sapma

$S_0$ : Trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası

$D$ : Rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı

$\Delta PSI$ :  $P_0 - P_t$  (servis kabiliyetinde azalma miktarı)

$P_0$ : Başlangıç servis kabiliyeti indeksi

$P_t$ : Nihai servis kabiliyeti indeksi

$Sc$ : Betonun kopma modülü (eğilmede çekme mukavemeti-psi)

$J$ : Yük transfer katsayısı

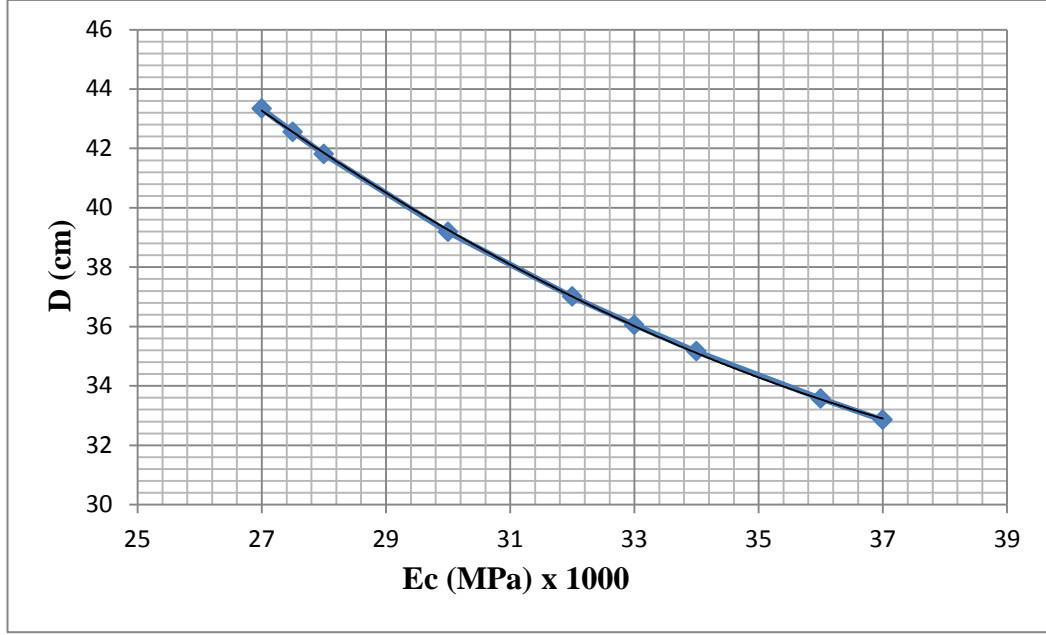
$C_d$ : Drenaj katsayısı

$E_c$ : Betonun elastisite modülü (psi)

$k$ : Yatak katsayısı (psi)

Kuloğlu ve diğ. (2011) bu çalışmada yük transfer katsayısı  $J=3,2$ , drenaj katsayısı  $C_d = 1,0$  ve servis yeteneği kaybı  $\Delta PSI= 2$  olarak alınmış, rijit üstyapı beton kaplama kalınlığı  $D$ 'nin,  $W_{8,2}$ ,  $k$ ,  $S_0$ ,  $Z_R$ ,  $E_c$  ile değişimi incelenmiştir. Çalışmayı kendi tasarımıımıza uygularken 8,2 ton eşdeğer tek-dingil yükü tekerrür sayısı 45 milyon, yatak katsayısı 300 psi, trafik tahmini ve performans tahmininin bileşik standart hatası 0,35, beton sınıfı yerine ise çalışmadan elde edilen elastisite sonuçları kullanılmıştır.

Elastisite modülünün artması ile kaplama kalınlığının lineer kabul edilebilecek şekilde azaldığı gözlemlenmiştir. Elastisite modülüne bağlı olarak beton plak kalınlığının değişimini gösteren grafik Şekil 5.15'de verildiği gibidir.



Şekil 5.15: Kaplama kalınlığının beton elastisite modülüne göre değişimi (Kuloğlu ve diğerleri, 2011)

Bu grafikten faydalanarak ve plak kalınlığını etkileyen diğer bütün parametreler sabit kabul edilerek, elastisite modüllerini hesaplamış olduğumuz numunelerin dayanımlarına göre belirlenen beton plak kalınlıkları Tablo 5.18’de verilmiştir.

Tablo 5.18: Hesaplanan elastisite modüllerine göre (D) plak kalınlıkları

Deney Seti	$E_c$ (MPa)	D (cm)	Plak Kalınlığında Azalma (%)
SET 1	28000,00	41,84	
SET 2	33277,17	35,74	17,060
SET 3	30862,04	38,24	9,426
SET 4	31200,61	37,86	10,524
SET 5	31876,64	37,13	12,694
SET 6	32852,61	36,15	15,758
SET 7	33427,48	35,60	17,515
SET 8	33422,81	35,61	17,501
SET 9	32477,81	36,51	14,592

Grafikten elastisite modüllerine göre belirlenen plak kalınlıklarından; şahit numuneye göre plak kalınlığında %18’lik azalma ile en iyi sonuç 24 mm - 4 kg/m<sup>3</sup>’lük numunelerden elde edilmiştir.

### 5.7. Maliyet Analizi

Donatısız numuneler (şahit) ve 24 mm - 4 kg/m<sup>3</sup>'lük numunelerden elde edilen sonuçlara göre belirlenen plak kalınlıkları, 1 km boyunda ve 3,5 m genişliğindeki yol kesiti için güncel fiyatlara göre maliyet hesaplanmıştır. C 20/25 beton için m<sup>3</sup> fiyatı \$50 ve bazalt elyaf kg fiyatı \$ 6,00'dır. Grafikten belirlediğimiz; donatısız beton için plak kalınlığı 41,84 cm, 24 mm - 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyafı beton için plak kalınlığı 35,60 cm'dir. Bu değerlere göre donatısız beton yolda 1464,43 m<sup>3</sup>, 24 mm - 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyafı beton yolda 1246,0 m<sup>3</sup> beton metrajı hesaplanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucunda donatısız beton için maliyet \$73.221, bazalt elyafı beton için \$92.204 bulunmuştur.

Deneysel çalışma sonucunda yapılan yol tasarım ekonomik olarak uygulanabilir değildir. Bu değerlere göre bazalt elyaf, beton elastisite modülünü arttırıp, plak kalınlığını düşürmekle beraber, toplam maliyeti arttırmaktadır. Bazalt elyafın beton yollarda ekonomik olarak kullanılabilmesi için kg fiyatının 2,19 dolardan düşük olması gerekir.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.2. Giriş

Bu bölümde yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ve gelecekte yapılması planlanan çalışmalar hakkında bilgi verilmiştir.

### 6.3. Sonuçlar

Donatısız, bazalt elyaf, polipropilen lif ve çelik lif katkılı olarak hazırlanan kiriş ve küp numunelerin kullanıldığı bu çalışmada betonun basınç ve eğilme testleri gerçekleştirilerek malzeme davranışı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar kullanılarak beton yollar için örnek bir çalışma yapılmıştır.

Bazalt elyafli beton karışımlarında farklı boy ve oranlarda elyaflar kullanılarak, boy ve oran değişiminin beton davranışına etkisi gözlemlenmiştir.

Çalışmalar neticesinde elde edilen sonuçlar aşağıda özetlenmiştir:

- 28 günlük numunelere yapılan basınç dayanımı testi sonucunda tüm beton karışımları arasında en yüksek dayanım 35,73 MPa ile 24 mm – 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyafli beton karışımından elde edilmiştir. Bu sonuca göre bazalt elyafli beton karışımıyla şahit numuneye oranla %30'luk bir iyileşme olduğu belirlenmiştir.
- 7, 14 ve 28 günlük kiriş numunelere yapılan eğilmede çekme deneyi sonuçlarında en yüksek dayanım çelik lifli beton karışımından elde edilmiştir. 28 günlük numunelerden en yüksek dayanım değerleri; 6,84 MPa çelik lif, 6,53 MPa 24 mm – 4 kg/m<sup>3</sup> bazalt elyaf katkılı beton ve 6,18 MPa polipropilen lif katkılı beton ile elde edilmiştir. Şahit numunenin 28 günlük dayanımı 5,50 MPa'dır. Şahit numuneye göre çelik lifli karışımla %24,36, bazalt elyafli karışımla %18,73 ve polipropilen lifli karışımla %12,36'lık artış sağlanmıştır.
- Bazalt elyafli deney setlerinin 28 günlük eğilme dayanımları incelendiğinde dayanım artış hızında düşüş gözlemlenmiştir. Bazalt elyafın betonun mekanik özelliklerindeki etkisini daha etkili biçimde gözlemlemek için 28 günden sonraki beton davranışı da incelenmelidir.

- Küp ve kiriş beton numunelerin birim ağırlıkları testlerden önce hesaplanmış ve birim ağırlık artışıyla test sonucu belirlenen basınç ve eğilme dayanımlarında belirgin bir değişim olmadığı tespit edilmiştir.
- Bazalt elyafı beton karışımları kendi içinde karşılaştırıldığında ise; 24 mm boyunda m<sup>3</sup>'te 4 kg olarak hazırlanan beton numunelerinden hem basınç hem de eğilme dayanımı açısından en yüksek değerler elde edilmiştir. 12 mm boyunda m<sup>3</sup>'te 2 kg olarak hazırlanan küp numuneler 35,18 MPa ve kirişler 5,68 MPa ile ikinci en yüksek değerleri vermiştir.
- TS 500'de belirtilen ampirik formül ile beton basınç dayanımına göre hesaplanan ve bu elastisite modülüne bağlı olarak beton yol için plak kalınlıkları hesaplandı. 24 mm – 4 kg / m<sup>3</sup> bazalt elyafı karışımında en az plak kalınlığı belirlendi ve bu karışıma ait değerler kullanılarak maliyet analizi yapıldı. Donatısız betona göre plak kalınlığında %17,52 oranında azalma olmasına rağmen bazalt elyafı beton plak için daha yüksek maliyet hesaplanmıştır. Ancak bazalt elyafın kg fiyatının 2,19 dolardan düşük olması durumunda ekonomik olarak kullanılabilir olacaktır.

Sonuç olarak üretimi gerçekleştirilen beton numuneleri içinde lif katkıları olan betonların donatısız şahit numunelere göre mekanik özelliklerinde artış gözlemlenmiştir. Beton yollarda kullanılabilirlik bakımından karşılaştırıldığında sırasıyla çelik lif, bazalt elyaf ve polipropilen lif katkısıyla en iyi sonuçlar elde edilmiştir.

#### **6.4. Gelecek Çalışmalar**

- Bazalt elyafın eğilmede çekme ve beton basınç dayanımına etkisini belirlemek ve en iyi sonuçları elde etmek üzere bu çalışmada kullanılan oranlardan farklı miktarlarda bazalt elyaf kullanılarak deneylerin gerçekleştirilmesi gerekmektedir.
- Elyaf katkının betona diğer etkilerini araştırmak üzere; aşınma, ultrases geçiş hızı ve kapiler su emme deneyleri sonraki çalışmalarda gerçekleştirilecektir.

## KAYNAKLAR

- Acun, S.**, Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Dizayn Parametresi Olarak Lifsel Katkıların İrdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2000
- American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO** Guide for Design of Pavement Structures, Washington, D.C.: 1993
- Aral, M.**, Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı Bir Optimum Tasarım, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006
- Aran, A.**, Elyaf Tkaviyeli Karma Malzemeler, İ.T.Ü. Yayını, İstanbul, 1990
- Arslan, M., Subaşı, S., Durmuş, G., Can, Ö., Yıldız, K.**, Beton Yol Kaplamalarında Alternatif Beton ve Yapım Yöntemi Araştırmaları, Gazi Üniversitesi, Ankara, 2007
- Asi, D.**, Cam Elyaf Katkılı Kompozit Malzemelerin Aşınma Performansının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon, 2008
- Balaguru, P. N. and Shah, S. P.**, Fiber Reinforced Cement Composites, New York, 1992
- Bayasi, Z., Zeng, J.**, Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete, *ACI Materials Journal*, 90(6), s. 605-610, 1993
- R.V. Balendran, F.P. Zhou, A. Nadeem, ve A.Y.T. Leung.** "In uence of steel "bres on strength and ductility of normal and lightweight high strength concrete" *Building and Environment* 37, pp. 1361 – 1367, 2002
- Bekaert**, Çelik Teller Hakkında Genel Bilgiler Klavuzu, Bekaert, Belgium, 2001
- Beksa Firması**, Çelik Takviyeli Betonların Özellikleri, Beksa Broşürleri Basım Evi, İzmit, 1998
- Bentur, A., Mindess, S.**, Fibre Reinforced and Cementitious Composites, Elsevier Science Publishers, L.T.D., London, 1990
- Brik, V.B.**, Performance Evaluation Basalt Fibers and Composite Rebars As Concrete Reinforcement, Tech Res Report submitted to NCHRP-IDEA, Project 45., 1999
- Bölükbaş, Y., Yıldız, S., Keleştemur, O.**, Cam Elyaf Lif Katkısının Betonun Mekanik Özellikleri Üzerindeki Etkisi, International Sustainable Buildings Symposium, Ankara, 2010
- Chanvillard, G. P., Aitcin, C., Lupien, C.**, Field Evaluation of Steel Fiber Reinforced Concrete Overlay with Various Bonding Mechanisms, Transportation Research Report, 1989
- Colombo, C., Vergani, V., Burman, M.**, Static and Fatigue Characterization of New Basalt Fibre Reinforced Composites, 2011
- Cook, J.G.**, Handbook of Textile Fibers, Redwood Burn Ltd., Trowbridge, Wiltshire, Great Britain, 1984

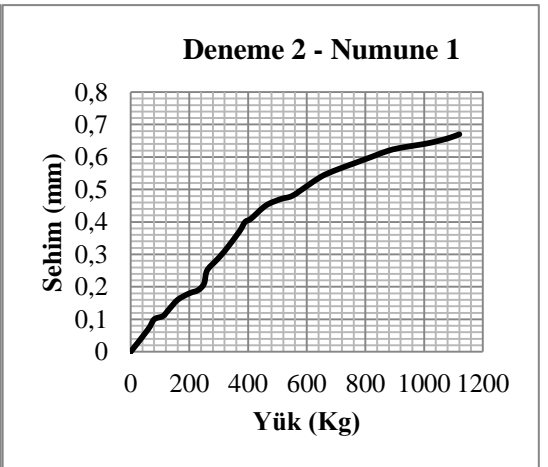
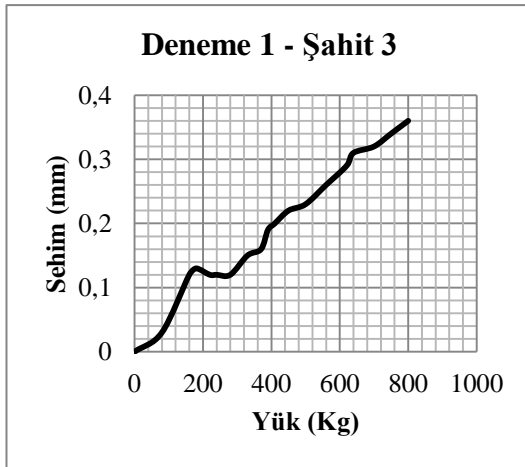
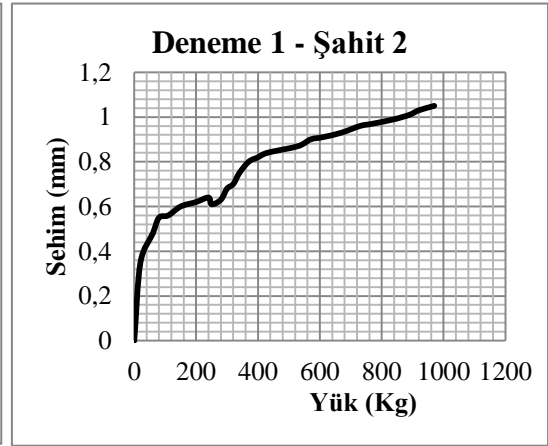
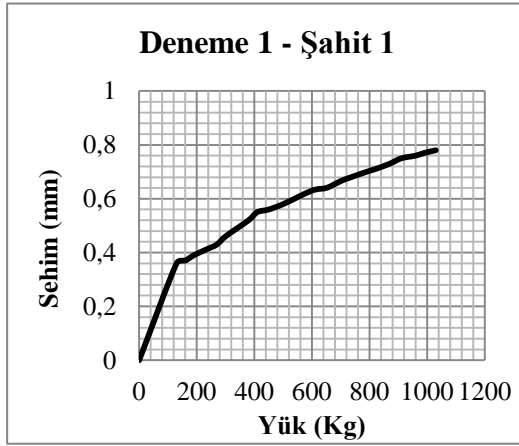


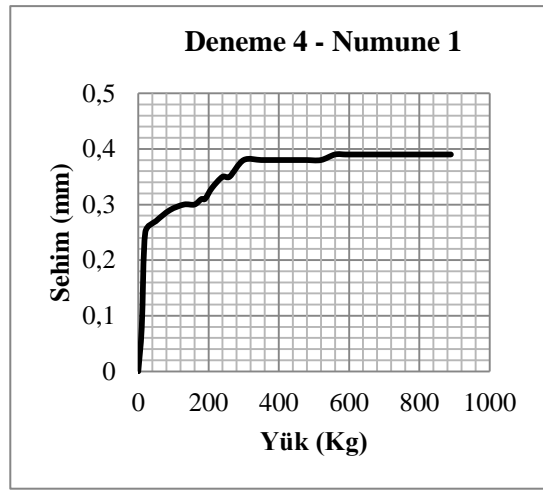
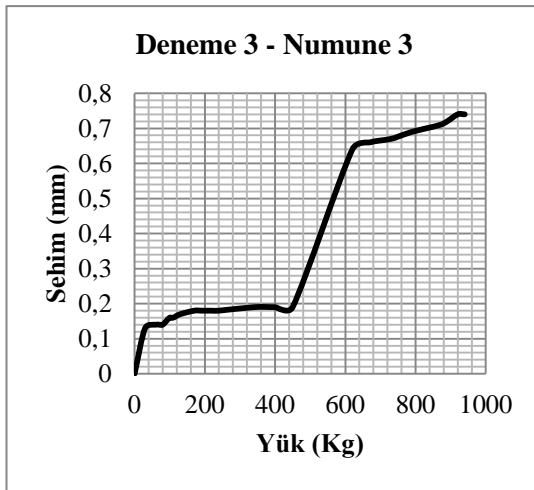
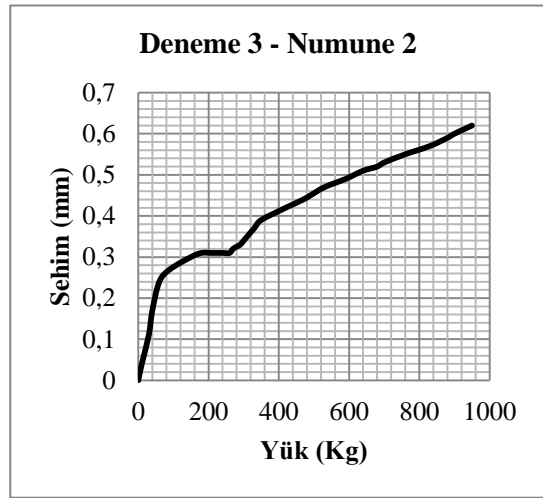
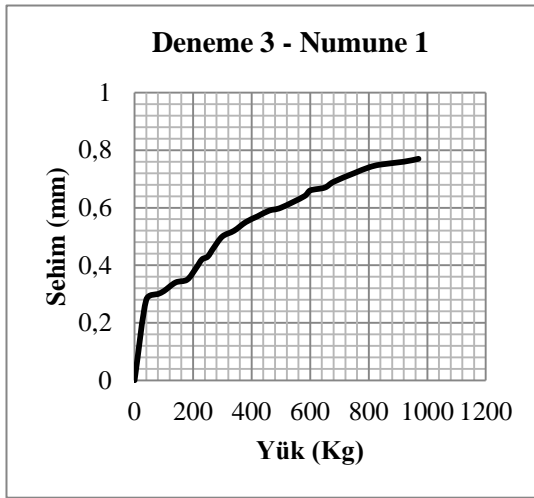
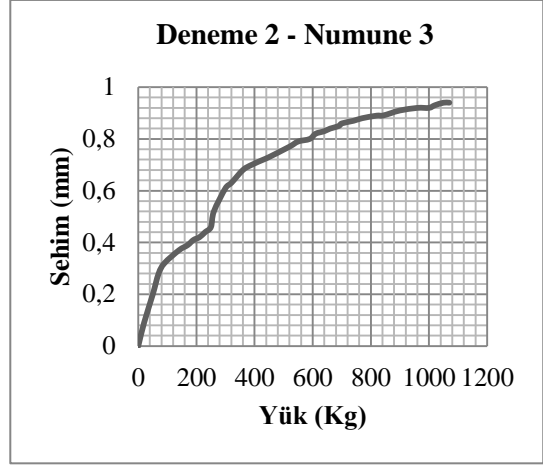
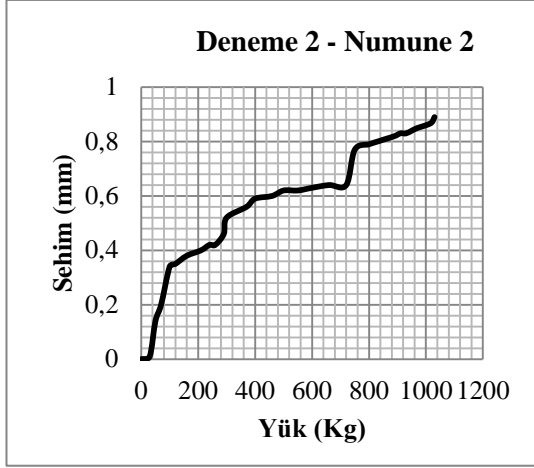
- Ecevit, O.**, Karayollarında Rijit Üstyapı Uygulamaları ve Tasarımı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2007
- Emiroğlu, M., Yıldız, S., Özgan, E.**, Lastik Agregalı Betonarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Müh. Mim. Fakültesi Dergisi, Cilt 24 No 3, 2009
- Erbaş, M.**, Polipropilen Lifler ve Betonun Durabilitesine Etkisi, 5. *Ulusal Beton Kongresi*, İMMO Yayınları, İstanbul, s.82-86, 2003
- Ezeldin, A., S., Balaguru, P., N.**, Normal and High Strenght Fiber - Reinforced Concrete Under Compression, *Journal of Materials in Civil Engineering*, University of Michigan, Ann Arbor, s.178, 1988
- ITO Kompozit Raporu**, 2006
- Karahan, O.**, Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, *Doktora Tezi*, Çukurova Üniveritesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006
- Karpuz, O.**, Beton Karışımındaki İnce Agreganın Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi, *Doktora Tezi*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 2008
- Kayhan, A.H.**, Haldenbilen, S., Aydın, Y., Uslu, A., Shved, O., Bazalt Lifli Donatı Çubuklarının Mekanik Özelliklerinin Betonarme Elemanların Davranışına Etkisi, İMO Denizli Dergisi, Sayı 66, s. 44-48, 2011
- Klimov, U.A., Piskun, R.A.**, Report on the Results of Experimental Research to Determine Strength, Hardness and Crack Resistance of Concrete Elements Reinforced by Non-metallic Composite Rebar Produced by Technobasalt-Invest LLC, Kiev, 2010
- Koca, C.**, Niçin Beton Yollar?, *Hazır Beton Dergisi*, 2002
- Kuloğlu, N., Kök, B.V., Yılmaz, M., Tanyıldızı, M.**, AASHTO Metodunda Rijit Üstyapı Kalplama Kalınlığına Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium, Elazığ, Türkiye, 2011
- Kurt, G.**, Lif İçeriği ve Su/Çimento Oranının Fibrobetonun Mekanik Davranışlarına Etkileri, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2006
- Lankard, D.R., Shrader, E.K.**, Inspection and Analysis of Curl in Steel Fiber Reinforced Concrete Airfield Pavement, Bakaert Steel Wire Corp., Pittsburg, 1983
- Li, W., Xu, J.**, Impact Characterization of Bazalt Fiber Reinforced Geopolymeric Concrete Using a 100-mm-diameter Split Hopkinson Pressure Bar, China, 2009
- Lubin, G.**, Handbook of Fiberglass and Advanced Plastic Composites, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1969, pp. 46-84, 143-181
- Philips, L.N.**, Design with Advanced Composite Materials, Biddles Ltd., Guilford and Kings Lynn, Great Britain, 1989

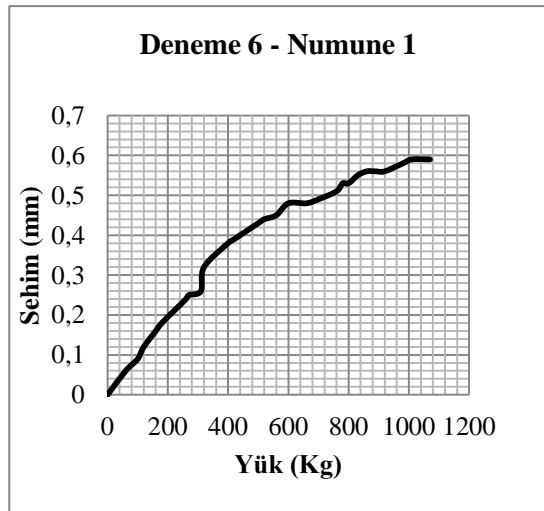
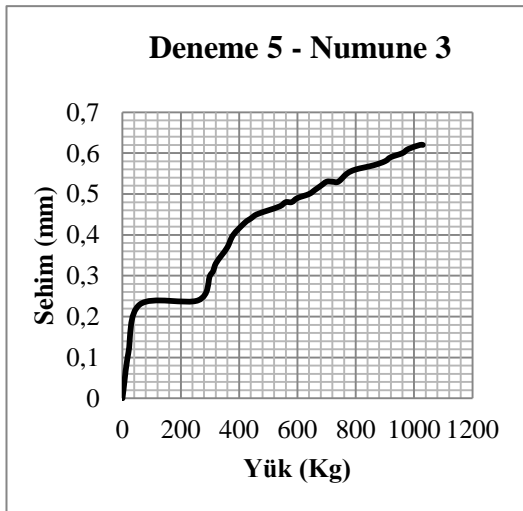
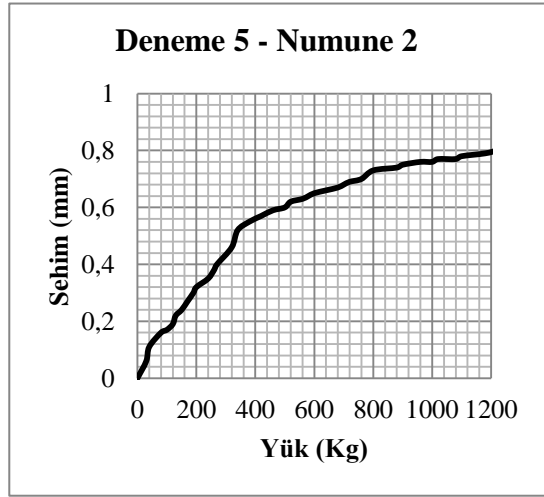
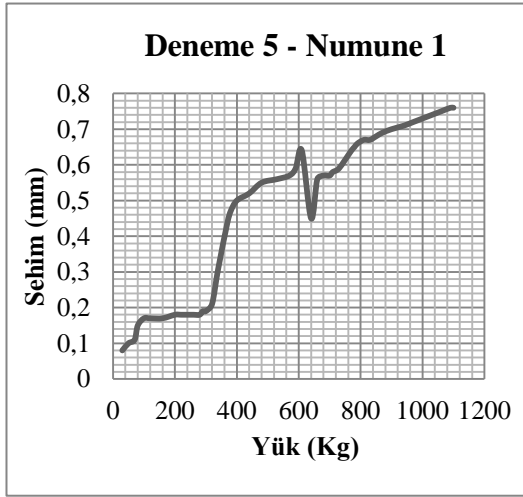
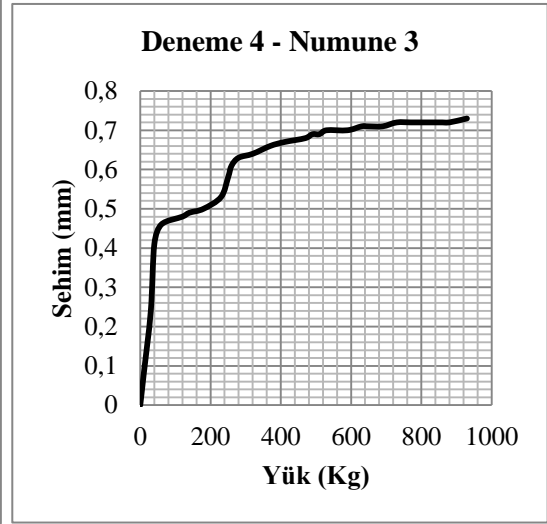
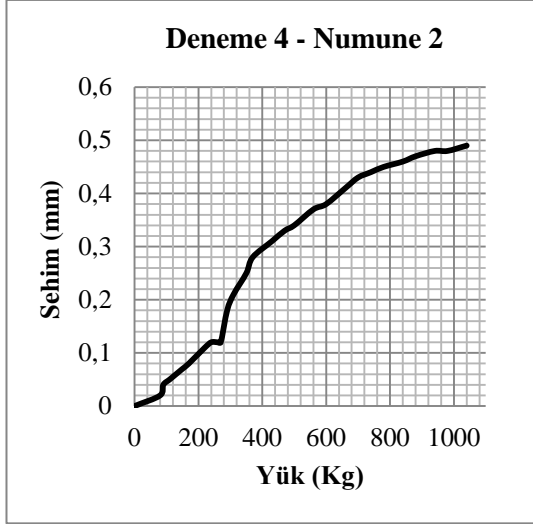
- Salah, A. Altoubat, J. R. Roesler, D. A. Lange, K. A. Rieder**, “Simplified Method for Concrete Pavement Design with Discrete Structural Fibers” Construction and Building Materials, 2006
- Shah, S., P., Rangan, B., V.**, Fiber Reinforced Concrete Properties, ACI Journal, s. 126-135, 1971
- Shah, B.**, Fiber Reinforced Composites, American Concrete Institute, Detroit, USA, 1995, pp. 142-149
- Sim, J., Park, C. And Moon, D.**, Characteristics of basalt fiber as a strengthening material for concrete structures. Composites: Part B, pp. 504–512, 2005
- Tavakkolizadeh, M., Saadatmanesh, H.**, Journal of Structural Engineering, 129, s. 186-196, 2003
- Taşdemir, Y., Ağar, E.**, Silindirle Sıkıştırılabilen Beton Yollar, Hazır Beton Türk Standartları Enstitüsü, Çelik Teller – Beton Takviyesinde Kullanılan, TS 10513, Ankara, 1992
- Türk Standartları Enstitüsü**, Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesap Esasları, TS 2511, Ankara, 1977
- Uçar, S.**, Yol Üstyapıları Yapım Maliyetleri Araştırması, Ulusal Beton Yollar Kongresi, Ankara, 2002
- Ulcay, Y.**, Lif Takviyeli Kompozit Malzemeler, U.Ü.F.B.E. Ders Notları, Bursa, 1991
- Uz, B.**, Bazaltların Kırmataş Yönünden Deđerlendirilmesi ‘Trakya – Tekirdğ Bazaltları Örneđi’, 2. Ulusal Kırmataş Sempozyumu, İstanbul, 1999
- Şahin, Y.**, Kompozit Malzemelere Giriş, Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti., Ankara, 2000
- Wong, C.M.**, Use of Short Fibers in Structural Concrete to Enhance Mechanical Properties, *Araştırma Projesi*, University of Southern Queensland Faculty of Engineering and Surveying, Australia, 2004.

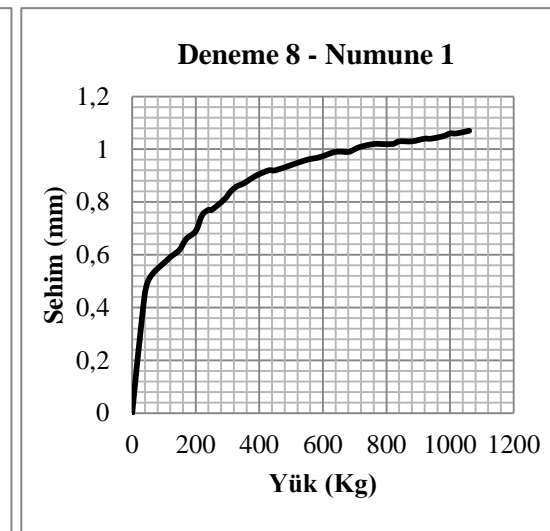
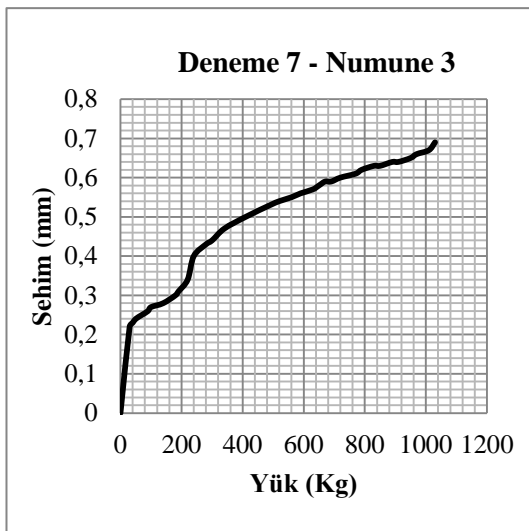
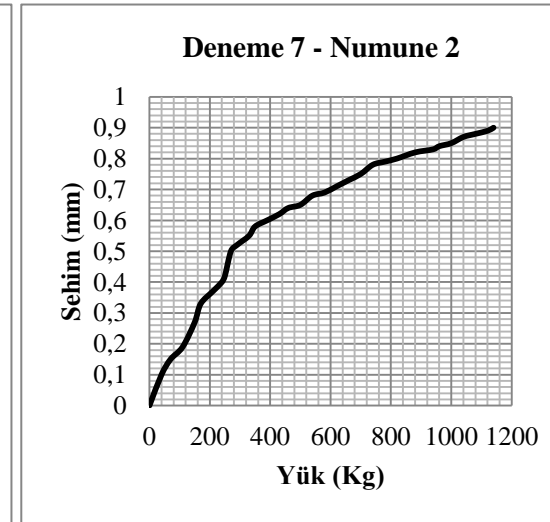
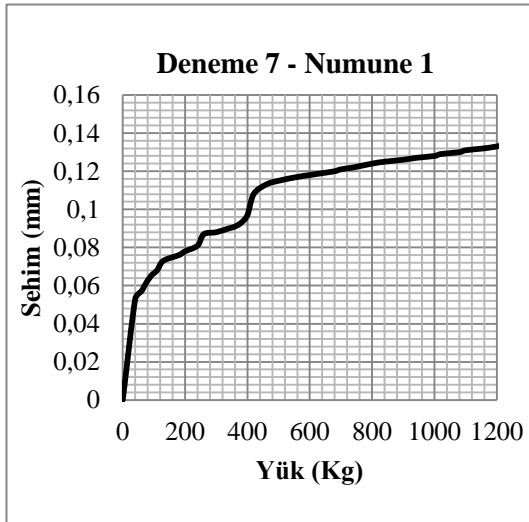
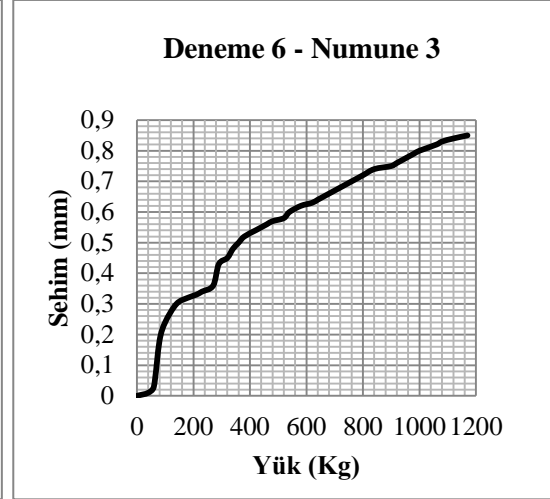
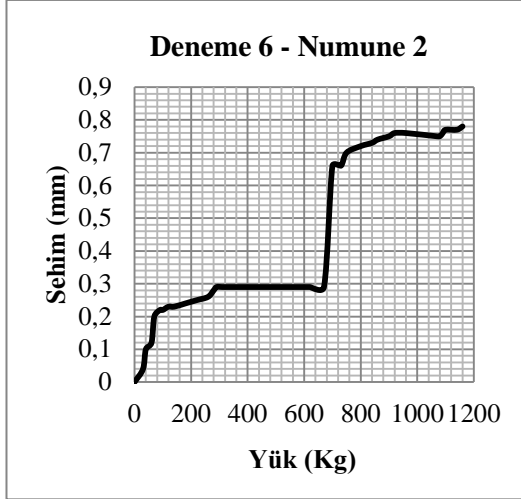
## EKLER

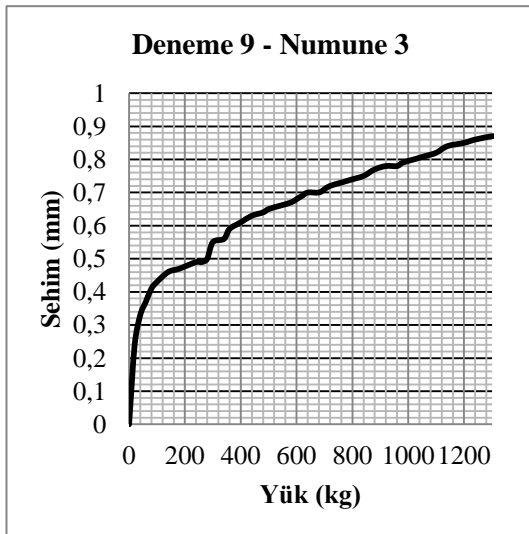
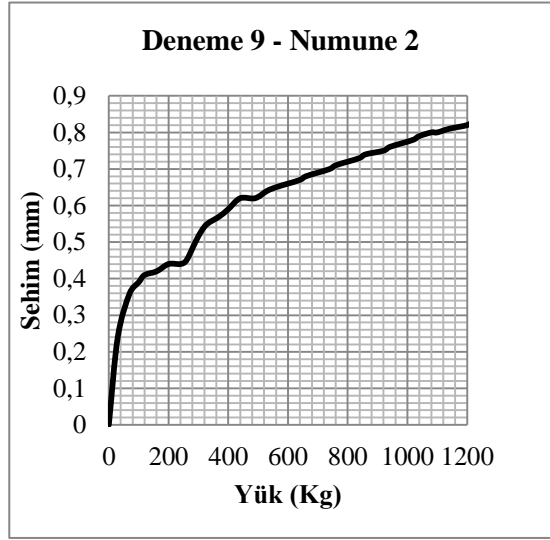
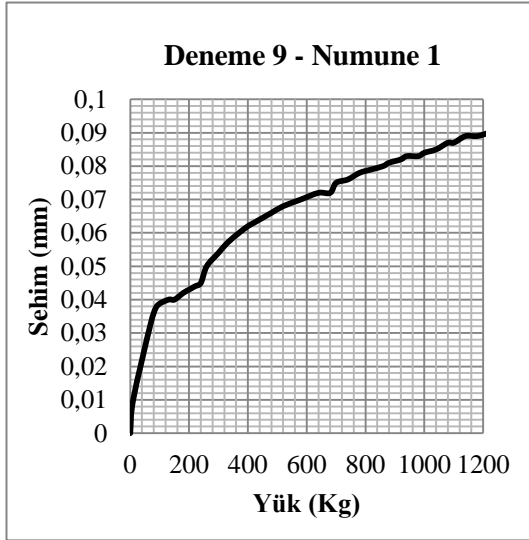
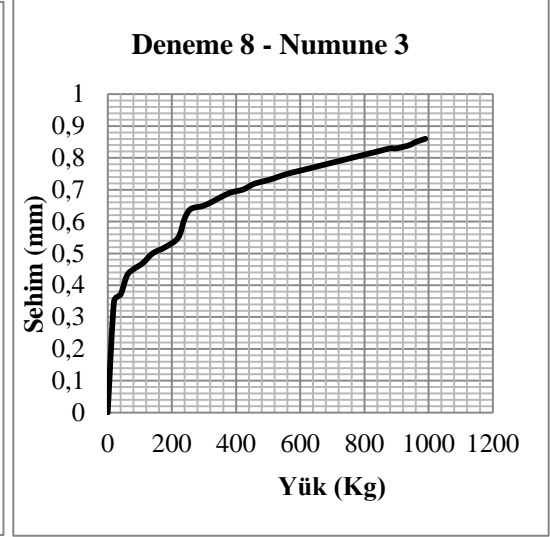
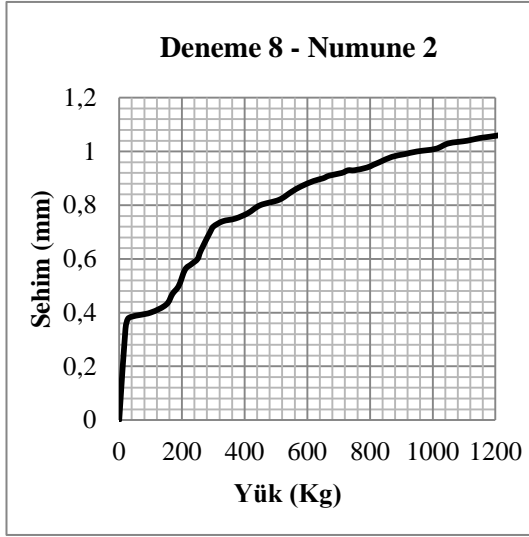
### EK A.1 7 Numunelerin Günlük Eğilmede Çekme Deneyi Yük - Sehim Grafikleri



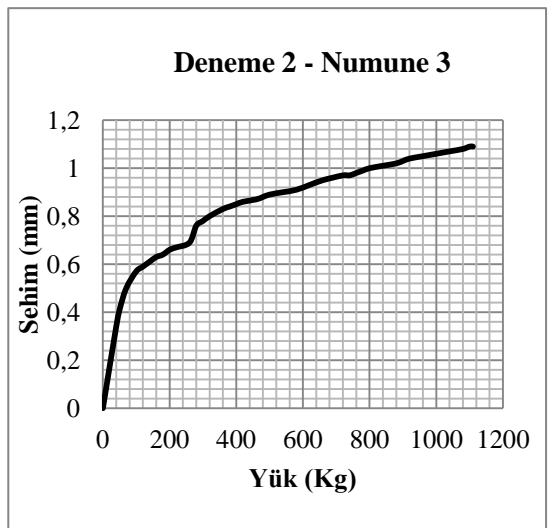
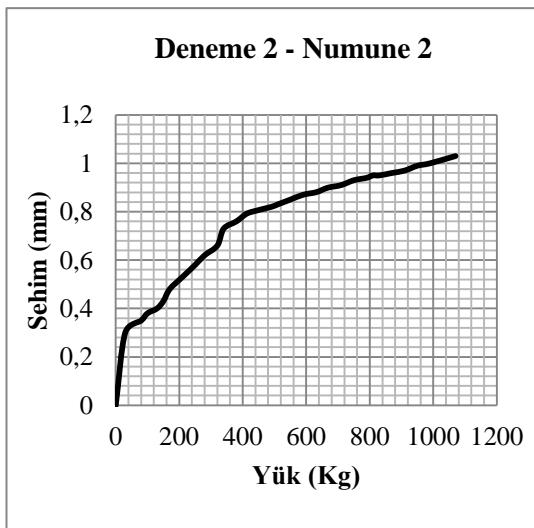
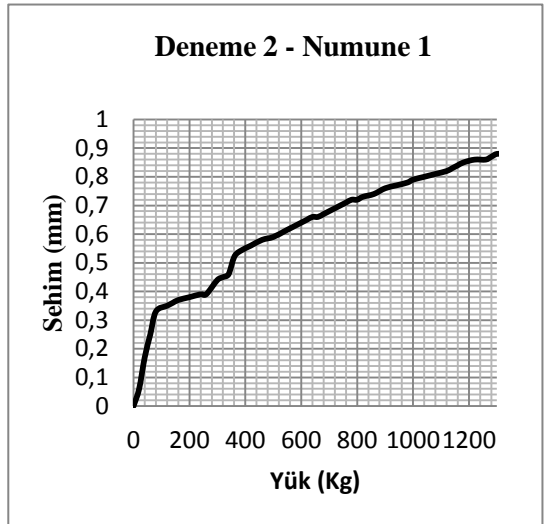
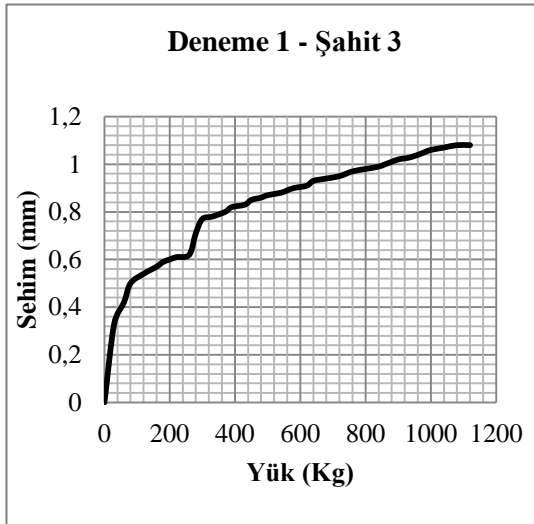
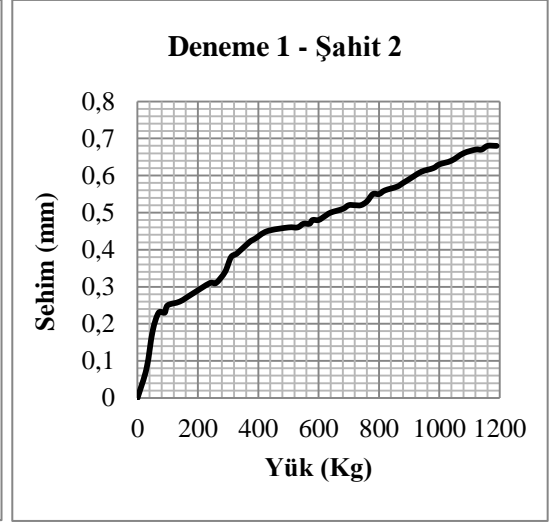
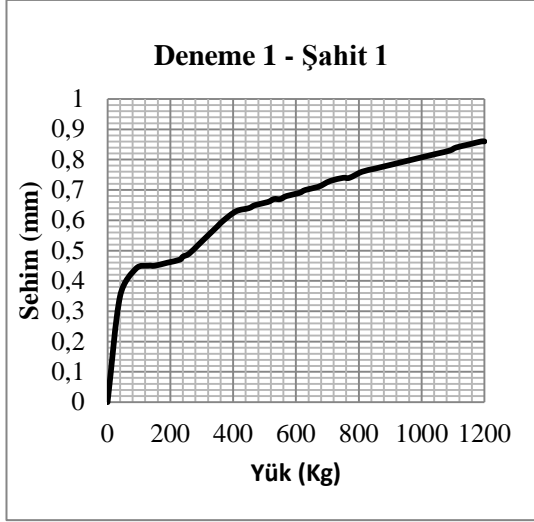






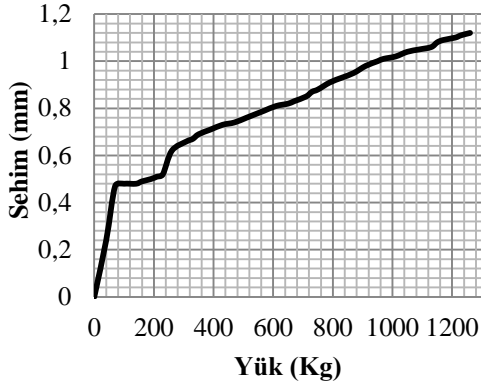


**EK A.2** 14 Günlük Numunelerin Eğilmede Çekme Deneyi Yük - Sehim Grafikleri

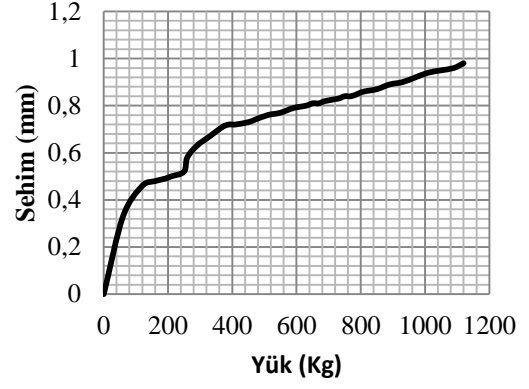




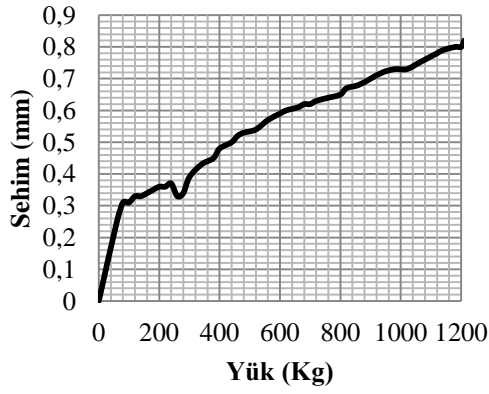
**Deneme 3 - Numune 1**



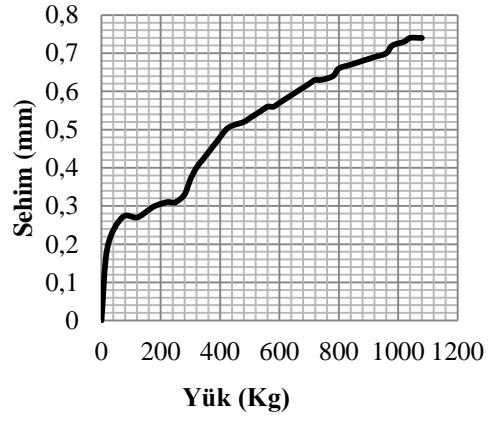
**Deneme 3 - Numune 2**



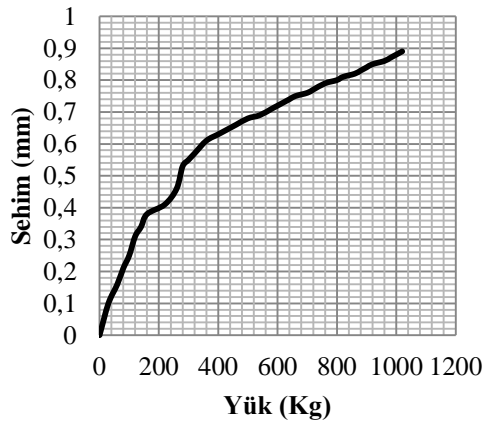
**Deneme 4 - Numune 1**



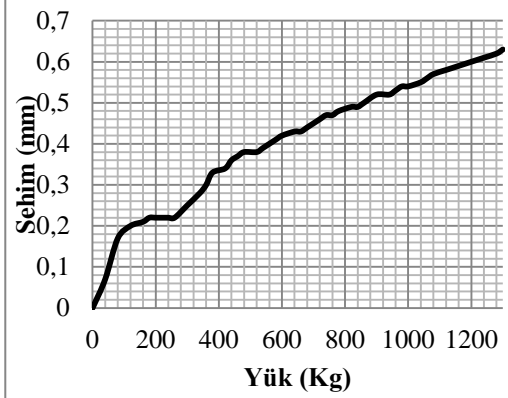
**Deneme 4 - Numune 2**



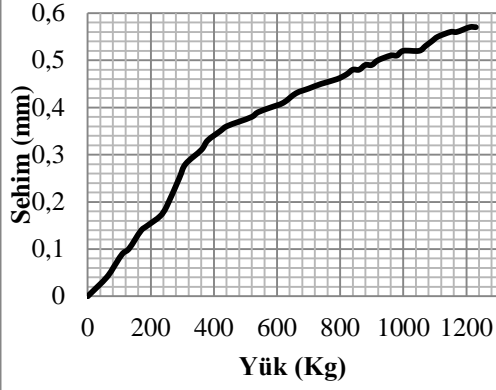
**Deneme 4 - Numune 3**



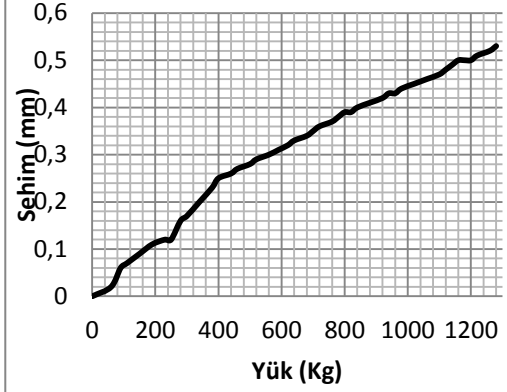
**Deneme 5 - Numune 1**



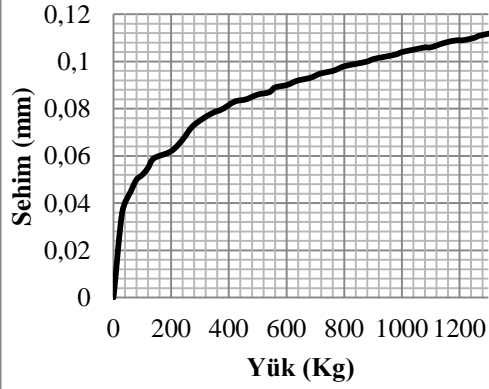
**Deneme 5 - Numune 2**



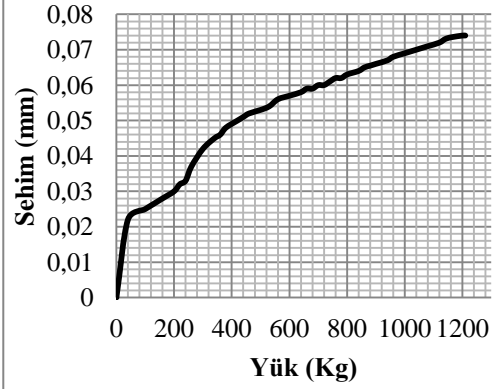
**Deneme 5 - Numune 3**



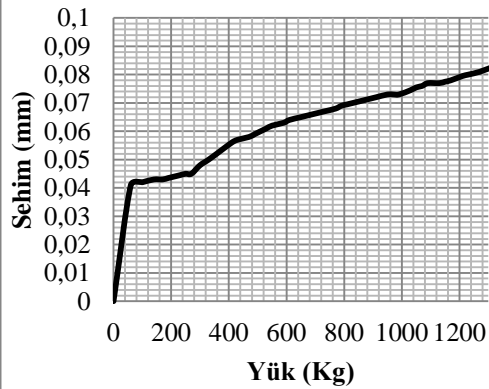
**Deneme 6 - Numune 1**



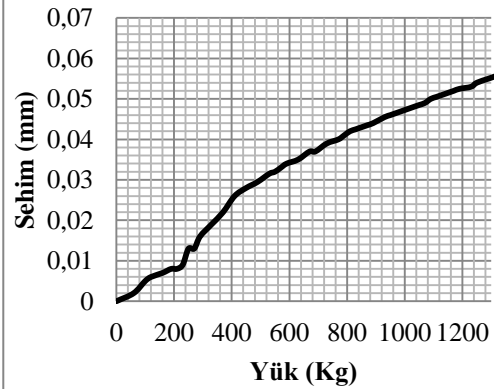
**Deneme 6 - Numune 2**

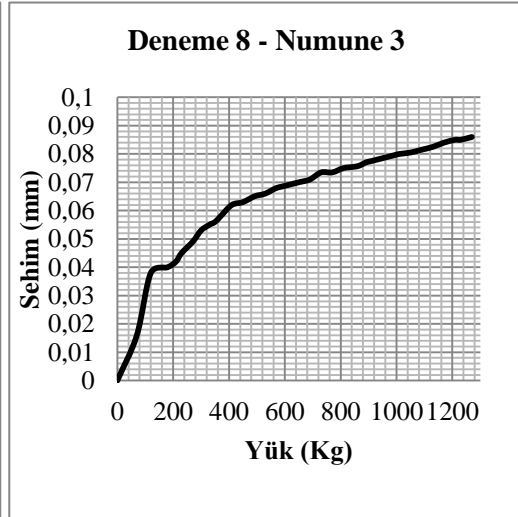
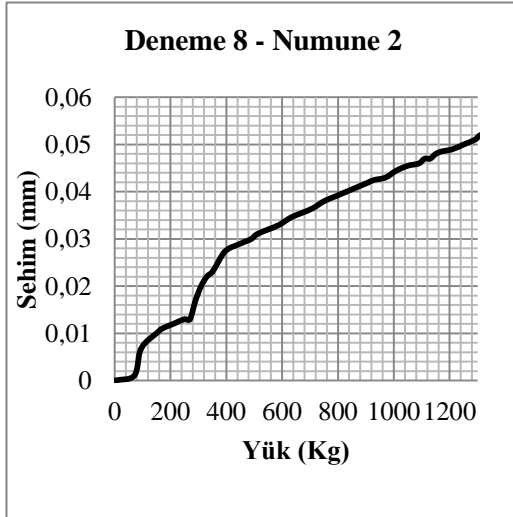
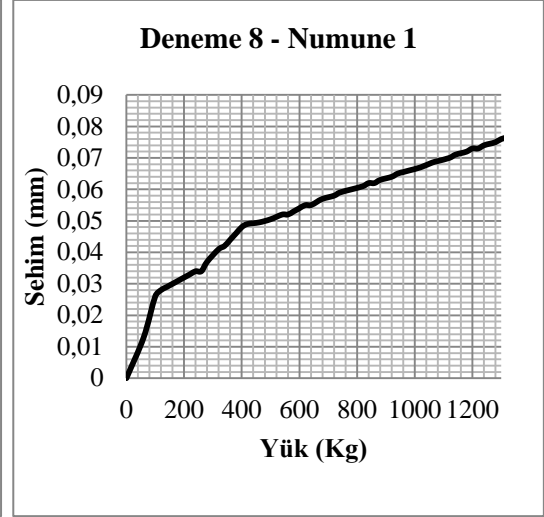
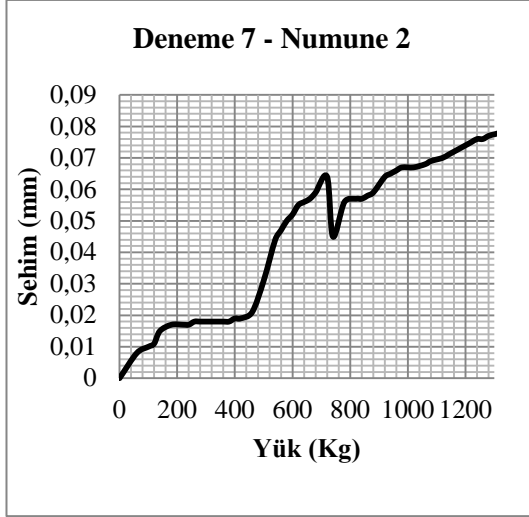


**Deneme 6 - Numune 3**

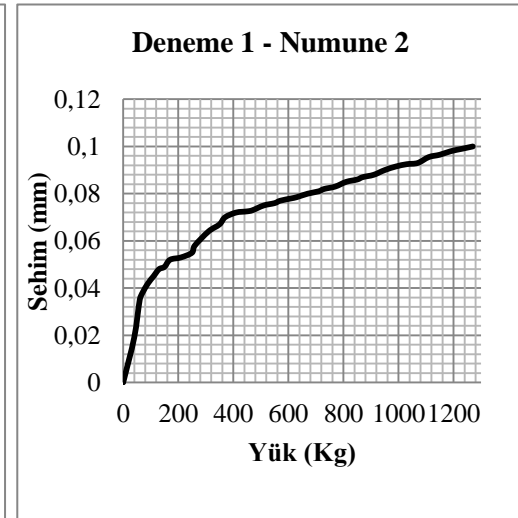
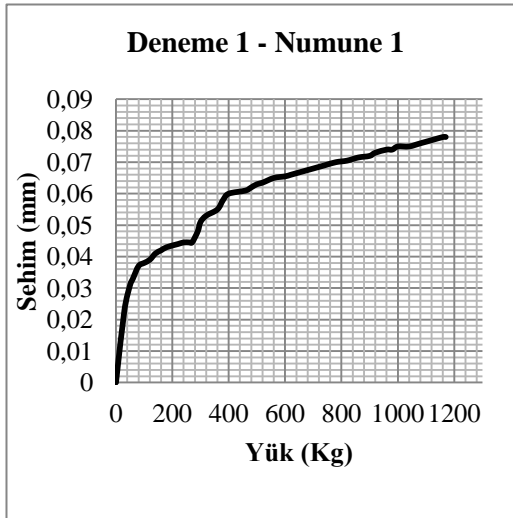


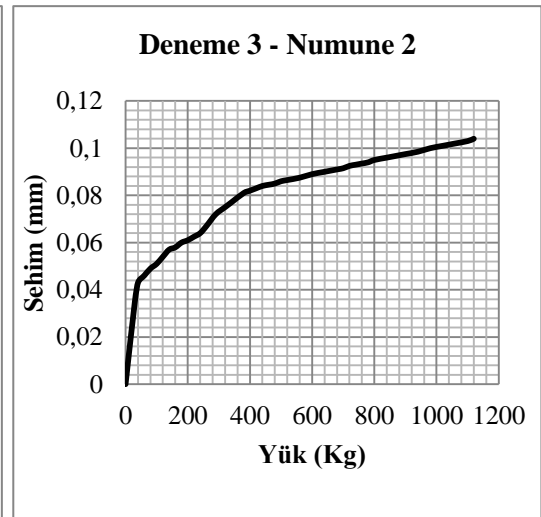
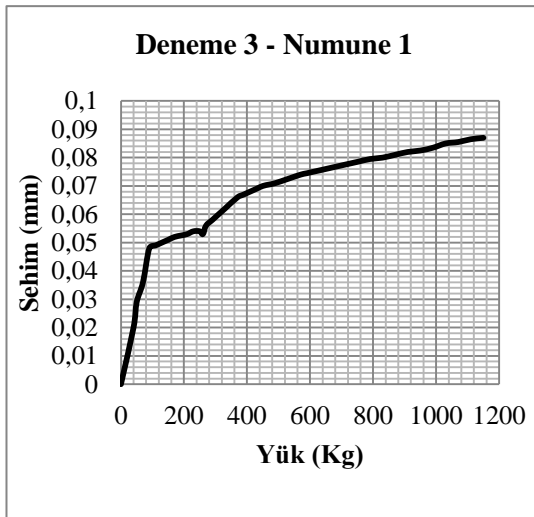
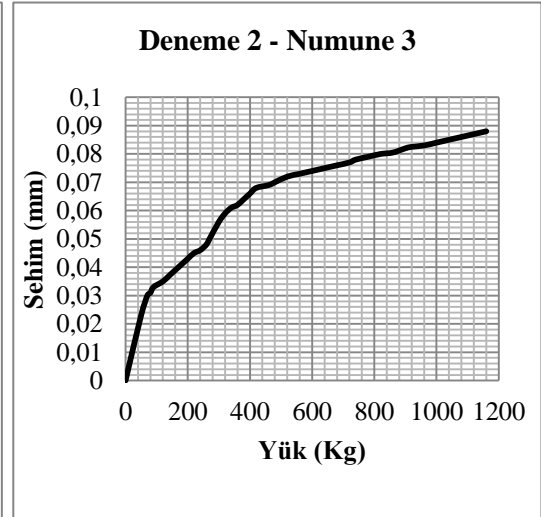
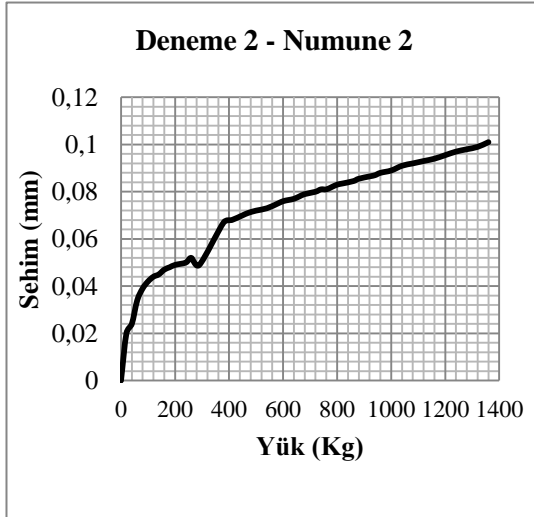
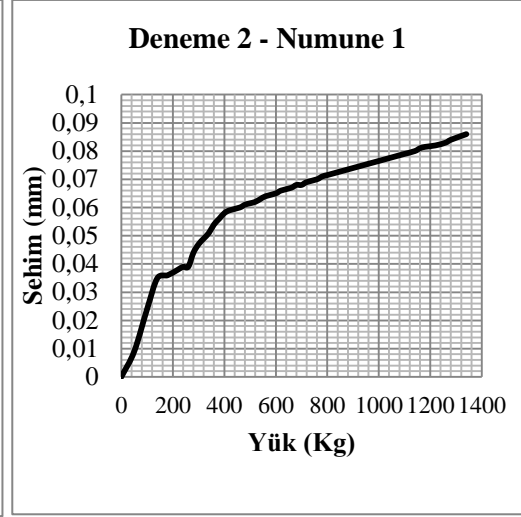
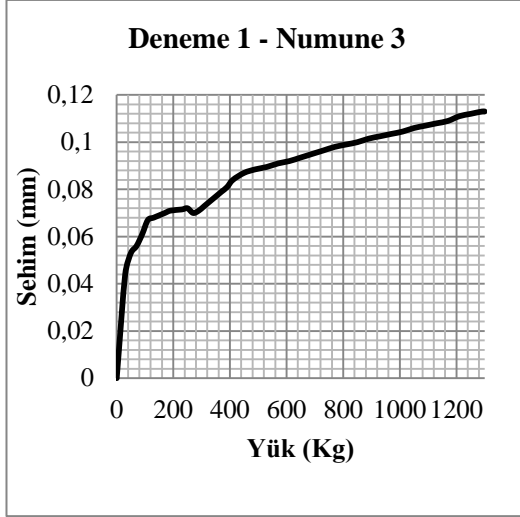
**Deneme 7 - Numune 1**

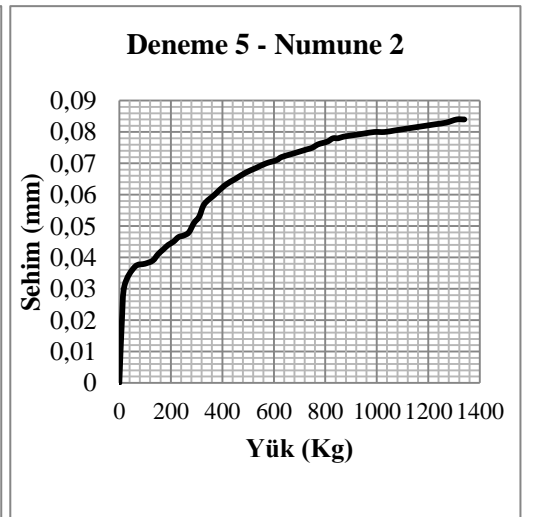
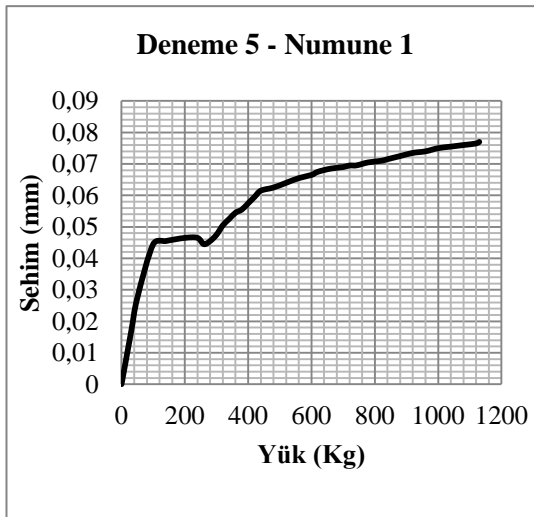
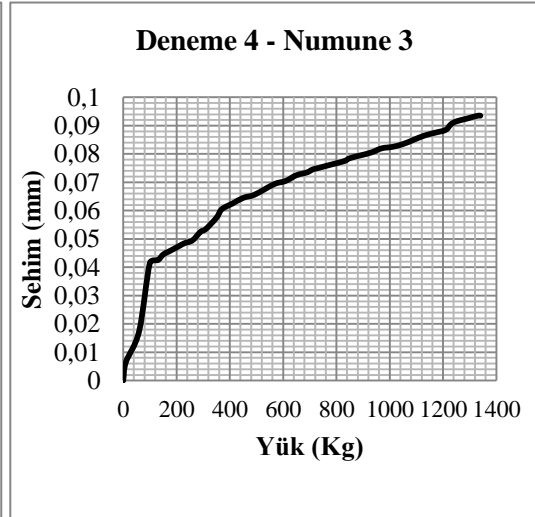
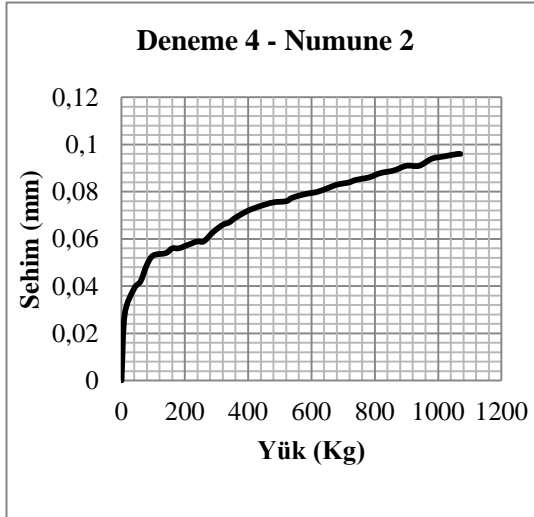
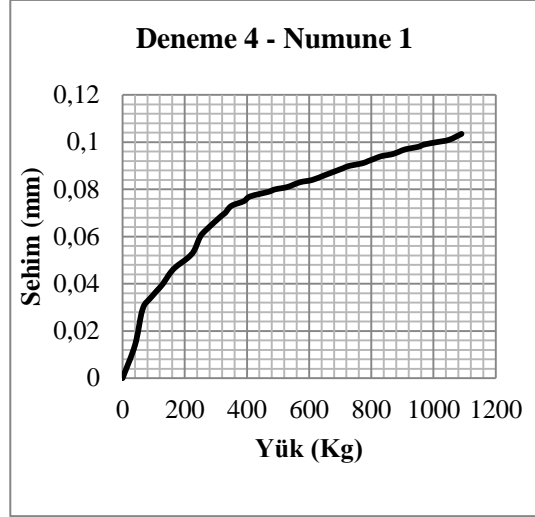
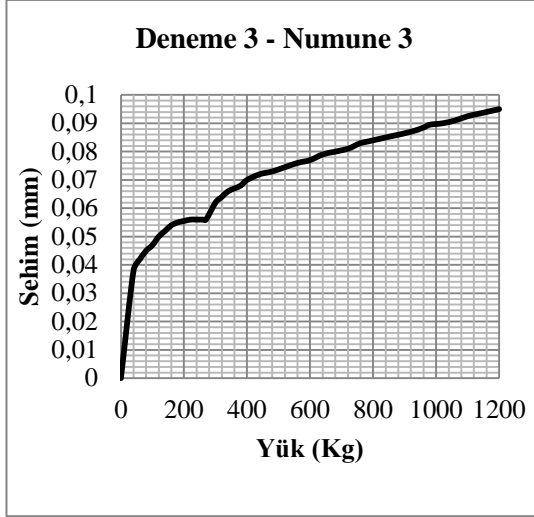


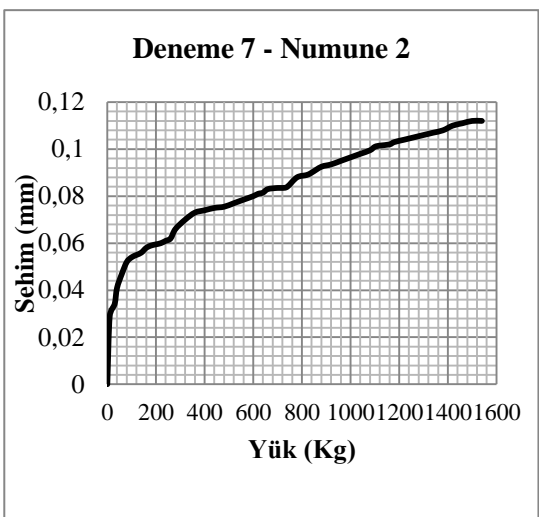
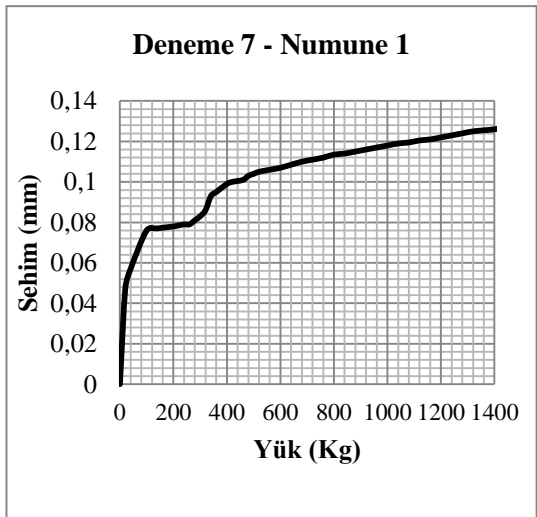
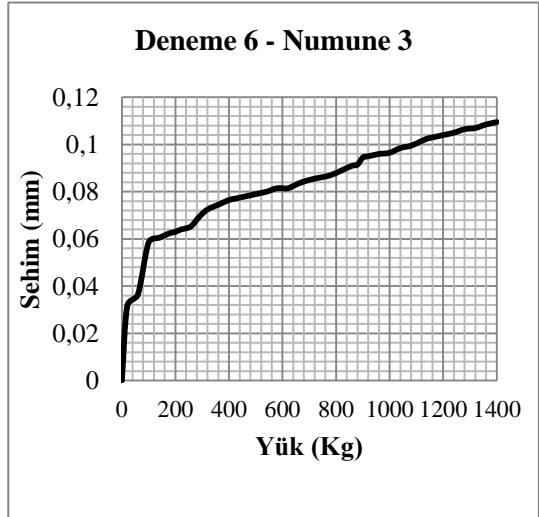
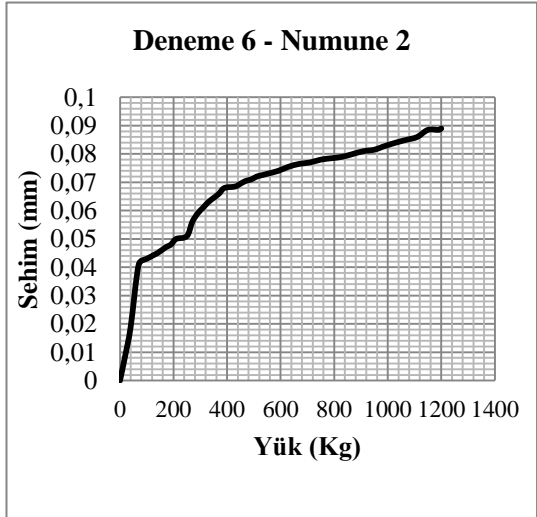
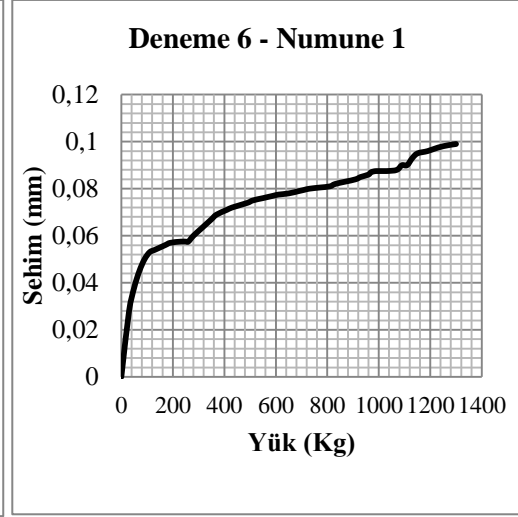
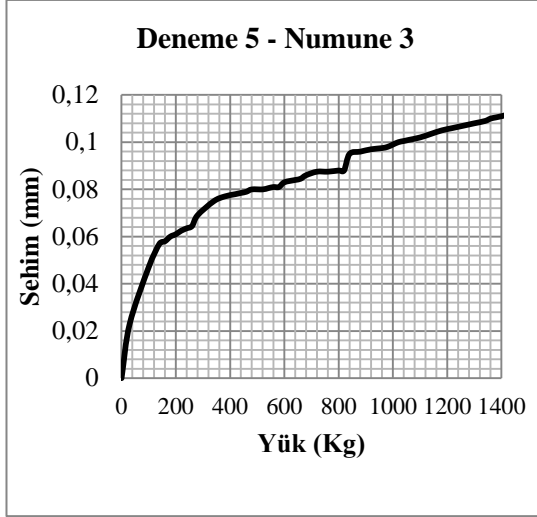


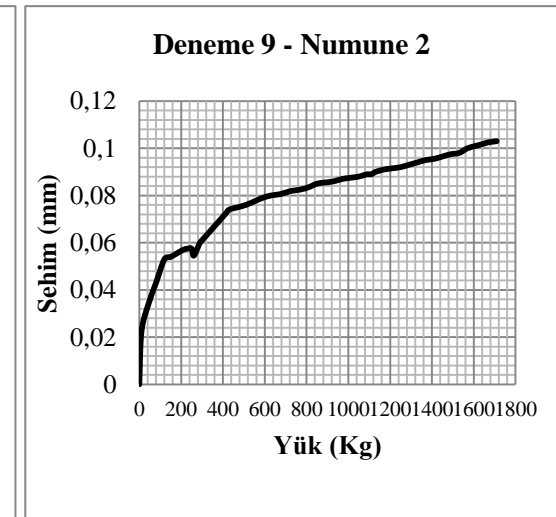
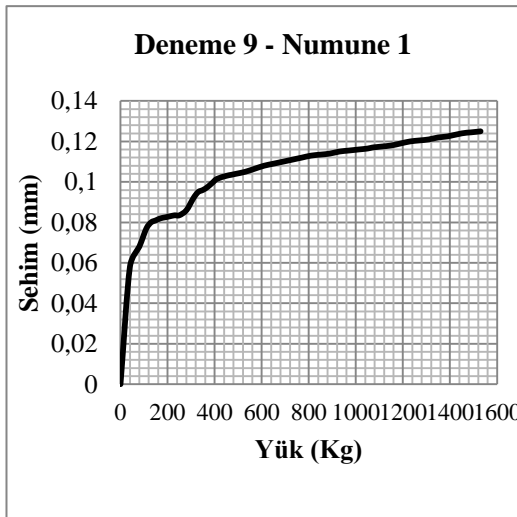
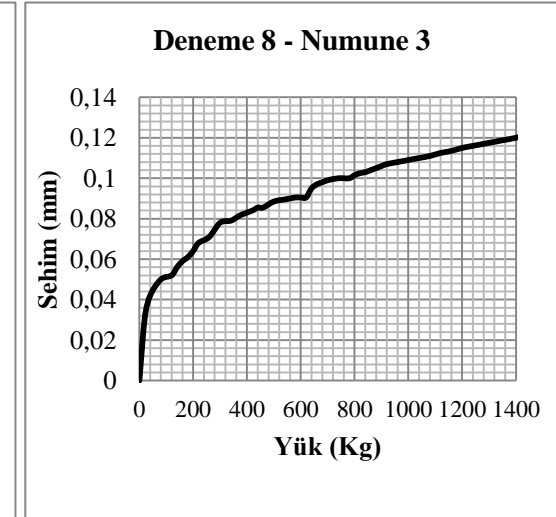
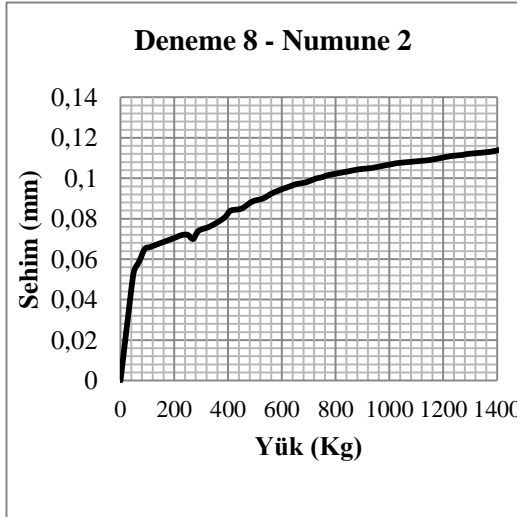
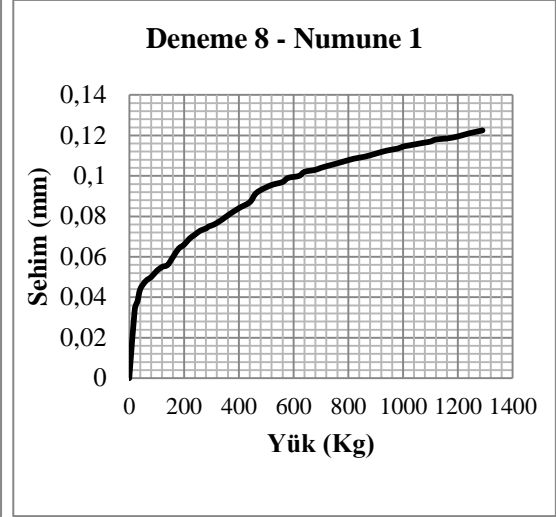
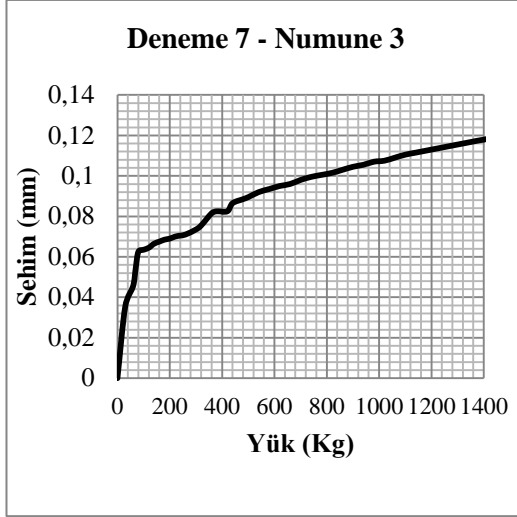
**EK A.3 28 Günlük Numunelerin Eğilmede Çekme Deneyi Yük - Sehim Grafikleri**



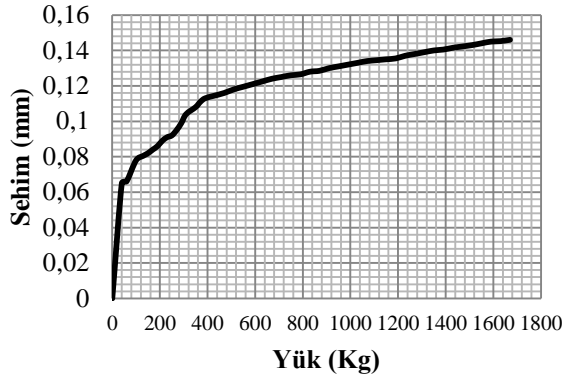








### Deneme 9 - Numune 3







## ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Nagihan ÇEVİK

Doğum Yeri ve Tarihi: KARABÜK, 25/06/1986

Adres: Yunus Emre Mah. Tokat Cad. No: 57 İlke Apart Daire No: B-4

Merkez / DENİZLİ

Lisans Üniversitesi: Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü