

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Çelik Lifin Harç Öze, Öze, Etkisi

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Sema Kılıç

1989

Ref  
İNŞ  
159  
1989

R 150  
169

25.000

1103

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK LİFİN HARÇ ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞ.MÜH.F.SEMA KILIÇ

İSTANBUL, 1989

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON  
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 159  
169

Alındığı Yer : FEN. BİL. ENS.

Tarih : 18.10.1991

Fatura : - - - - -

Fiyatı : 25.000. TL.

Ayniyat No : 1/ 15

Kayıt No : 47762

UDC : 624. 378.242.

Ek :

X



YILDIZ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



ÇELİK LİFİN HARÇ ÖZELLİKLERİ  
ÜZERİNE ETKİSİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞ.MÜH.F.SEMA KILIÇ

İSTANBUL, 1989

## TEŞEKKÜR

Tüm çalışmam boyunca gördüğüm yakın ilgisi ve yol göstericiliği için, danışmanım Sayın Hocam Prof. M.Ali SARAYLI'ya teşekkür ederim.

Ayrıca çalışmam sırasında yakın ilgilerini gördüğüm Öğr.Gör. Hasan BİRİCİK'e  
Arş.Gör. Fevziye AKÖZ'e  
ve emeği geçen herkese teşekkür ederim.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET

YABANCI DİLDE ÖZET

BÖLÜM I	Giriş .....	1
BÖLÜM II	Materyal ve Yöntem .....	3
2.1.	Yol Kaplamalar .....	3
2.1.1.	Beton Yollar .....	3
a-	Beton Yolların Olumlu Özellikleri .....	4
b-	Beton Yolların Olumsuz Özellikleri .....	5
c-	Beton Kaplamalarda Yüklerden Doğan Gerilmeler	6
2.2.	Hava Alanı Betonlarının Üretim Sorunları .....	7
2.2.1.	Tanımlar .....	7
2.2.2.	Kaplama Betonlarının Üretim Sorunları .....	7
2.3.	Kompozit Malzemeler .....	12
2.3.1.	Kompozit Malzeme Çeşitleri .....	13
2.3.2.	Kompozit Malzemelerin Sınıflandırılması ....	13
2.4.	Lifli Betonların Genel Özellikleri .....	14
2.4.1.	Lifli Betonun Tanımı .....	14
2.4.2.	Lifin Tanımı .....	14
2.4.3.	Matris Özellikleri .....	15
2.4.5.	Lifli Betonun Basınç Altındaki Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı .....	15
2.4.6.	Lifli Betonun Direkt Çekme Altındaki Geril- me-Şekil Değiştirme Davranışı .....	16
2.4.7.	Lifli Betonun Eğilme Altında Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı .....	17
2.4.8.	Çarpma Mukavemeti .....	18
2.4.9.	Yorulma Mukavemeti .....	18
2.4.10.	Rötre .....	18
2.4.11.	Sünme .....	19
BÖLÜM III	Deneysel Çalışma ve Bulgular .....	20
3.	Deneysel Çalışma ve Bulgular .....	20
3.1.	Çimento Özelliklerinin Tayini .....	20

3.1.1.	Normal Kıvamın Tayini .....	20
3.1.2.	Prizin Başlama ve Sona Erme Sürelerinin Tayini .....	20
3.1.3.	Dayanım Deneyleri .....	22
a-	Harcın Bileşimi .....	22
b-	Hazırlanması .....	23
3.2.	Kullanılan Kumun Özelliklerinin Tayini ....	24
3.2.1.	Kullanılan Kumun Granülometrisi .....	24
3.2.2.	Kullanılan Kumun Yoğunluğunun Saptanması ..	27
3.2.3.	Kullanılan Kumun Özgül Ağırlığının Saptanması	27
3.3.	Çelik Lifin Özelliklerinin Tayini .....	28
3.3.1.	Çelik Lifin Boyutları .....	28
3.3.2.	Çelik Lifin Özgül Ağırlığı .....	29
3.3.3.	Çelik Lifin Mekanik Özellikleri .....	29
a-	Sertlik .....	29
b-	Vickers Sertliği .....	30
c-	Sertlikle Mukavemet Arasındaki İlişki .....	30
3.4.	Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Hesapları .....	31
3.4.1.	Karışım Hesapları .....	32
3.5.	Deney Aletleri, Yöntemleri ve Deney Sonuçları	34
3.5.1.	Basınç Dayanımı Deneyi .....	34
3.5.2.	Eğilmede Çekme dayanımı Deneyi .....	38
3.5.3.	Rötre Deneyi .....	42
3.5.4.	Kuru Harcın Birim Hacim Ağırlığı .....	45
3.5.5.	Atmosfer Basıncı Altında Su Emme Yüzdesini Tayini .....	45
3.5.6.	Donma Dayanıklılık Tayini Deneyi .....	48
3.5.7.	Sürtünme ile Aşınma Dayanımı Deneyi .....	52
BÖLÜM IV	Deneysel Çalışmadan Sonra Varılan Sonuç ...	57
4.	Deneysel Çalışmadan Sonra Varılan Sonuç ...	57
4.1.	Çelik Lif Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi	58
4.2.	Çelik Lif Miktarının Eğilmede Çekme Dayanı- mına Etkisi .....	58
4.3.	Çelik Lif Miktarının Rötre Üzerine Etkisi .	58

4.4.	Çelik Lif Miktarının Harcın Birim Hacim Ağırlığına, Atmosfer Basıncı Altında Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Yüzdesine Etkisi .....	59
4.5.	Çelik Lif Miktarının Sürtünme ile Aşınma Dayanımı Üzerine Etkisi .....	60
4.6.	Çelik Lif Miktarının Donmaya Karşı Dayanıklılık Üzerine Etkisi .....	60

#### KAYNAKLAR

#### ÖZGEÇMİŞ

## ÖZET

Bu çalışmada, hava alanları ve karayollarında kullanılan kaplama betonlarında aranılan özellikler belirlenmiş, olumlu ve olumsuz özellikleri incelenmiştir. Kaplama betonunda istenen özellikleri sağlamak ve olumsuz özelliklerini en aza indirmek için betona; boy-çap oranı  $\frac{L}{d} = 31,3$  , özgül ağırlığı  $5 \text{ g/cm}^3$  olan ve St 60 sınıfına giren özel çelik lif ilave edilmiştir.

Deneysel çalışma, harç üzerinde yapılmış ve çelik lif miktarları  $1 \text{ m}^3$  harça  $S_f = 30 - 40 - 50 - 60 \text{ kg}$  olarak belirlenmiştir. Daha sonra üretilen çelik lifsiz (şahit) ve çelik lifli numuneler deneylere tabi tutulmuştur. Yapılan bu deneyler sonucunda harç numunelerinin fiziksel, mekanik ve teknolojik özellikleri araştırılmıştır.

Elde edilen deney sonuçlarına göre değişik miktarlarda özel çelik lif ilave edilen numunelerin, çelik lifsiz numunelere göre olumlu ve olumsuz yönleri irdelenmiştir. Daha sonra hangi çelik lif miktarının beton kaplamalarda istenilen özellikleri daha iyi sağlayabileceği ve olumsuz özelliklerini en aza indireceği belirlenmeye çalışılmış ve belirlenen çelik lif miktarının maddi olarak ne kadar ek yük getireceği irdelenmiş ve bir sonuca varılmağa çalışılmıştır.

## SUMMARY

At this study, it was determined the specifications of surface concrete that are used at airfields and highways, and it was searched out the positive and negative characteristics of this type concrete. To satisfy the required characteristics and to reduce the negative characteristics of surface concrete, it was added special steel fibre (Length-radius ratio =  $\frac{L}{d} = 31,3$ ; specific weight =  $5 \text{ g/cm}^3$ ; class: St 60) to concrete.

Experimental study was made with in mortar and it was determined the amount of steel fibre usage to  $1 \text{ m}^3$  mortar as  $S_f = 30 - 40 - 50 - 60 \text{ kg}$ . Then, the samples that were produced with steel fibre and without steel fibre were tested. It was searched out the mechanical, physical and technological characteristics of the samples by the test results.

It was established the positive and negative usage characteristics of the samples that were added various amount of steel fibre, according to the samples without steel fibre. That it was tried to establish that which amount of steel fibre could satisfy the required usage characteristics and reduce the negativness to minimum at surface concrete. Than it was also tried to establish that if the determined steel fibre amount is used, how much additional monetary source will be needed. Last, it was tried to reach reasonable results.

Yapılan bu deneyler kapsamında bulunan değerlere göre çahit ve çelik lifli harçlar arasında kıyaslama yapılarak uygun çelik lif miktarına belirlenmiştir.

## BÖLÜM I

### GİRİŞ

Hava alanları ve karayollarında kullanılan beton kaplamalarda, normal beton özelliklerine ek olarak bazı özellikler aranmaktadır. Bu özelliklerin başlıcaları; yüksek eğilme dayanımı, donmaya ve aşınmaya karşı dayanıklılık, su geçirimsizliğidir. Betonun yol kaplaması olarak kullanılmasının olumlu özellikleri yanında bazı olumsuz özellikleri de vardır. Bunların en önemlileri; betonun rötreden dolayı çatlaması, çatlama sonucunda betonun temele su geçirmesi ve don olaylarının tekrarlanması sureti ile zamanla hasara uğramasıdır.

Bu çalışmada, betona çelik lif ilave edilerek kaplama betonlarında istenilen özelliklerin sağlanması ve olumsuz özelliklerinin en aza indirilmesi amaçlanmıştır. Deneysel çalışma ancak harç üzerinde yapılabilmüş ve çelik lif miktarı  $1 m^3$  harça  $S_f = 30 - 40 - 50 - 60$  kg olarak belirlenmiştir. Daha sonra çelik lifsiz (şahit) ve çelik lifli harç numuneleri üzerinde;

- Basınç dayanımı
- Eğilmede çekme dayanımı
- Rötne
- Atmosfer basıncı altında su emme
- Donmaya karşı dayanıklılık
- Aşınma

deneyleri yapılmıştır.

Yapılan bu deneyler sonucunda bulunan değerlere göre şahit ve çelik lifli numuneler arasında kıyaslama yapılarak uygun çelik lif miktarının tesbitine çalışılmıştır.

## BÖLÜM II

### 2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu bölümde, yapılan çalışmanın amacının daha iyi açıklanabilmesi için hava alanı ve yol kaplama betonlarında aranılacak özelliklere, kaplama betonlarının olumlu ve olumsuz özelliklerine değinilmiştir.

Lifli betonun kompozit malzeme olarak özellikleri incelenmiştir.

#### 2.1. Yol Kaplamaları :

Yol kaplamalarının görevi, trafikten gelen şiddetli tekil yükleri tabana iletmek ve bu sırada tabanın deforme olmasını önlemektir. Yol kaplamaları ;

- a) Bitümsüz hafif kaplamalar ve Stabilize yollar
- b) Bitümlü (esnek) kaplamalar
- c) Beton yollar-Rijit kaplamalar
- d) Parke yollar

olmak üzere 4 grupta toplanabilir. (1)

Bu kısımda, çalışmamıza esas teşkil eden (c) grubundaki beton yolların özelliklerine değinilecektir.

#### 2.1.1. Beton Yollar

Çimento bağlayıcısı ve agrega ile yapılan kaplamalara "Rijit kaplamalar = Beton Yollar" denir. Yol kaplaması olarak betonun görevi, trafikten gelen tekil yükleri tabana iletmek ve

bu sırada tabanın deforme olmasını önlemektir. Bu özelliği sağlamak için, betonun rijitliğinden yararlanır. Beton, çekme direnci düşük bir malzemedir ve deformasyonlar ile gerilmeler arasındaki bağıntı lineer değildir. Üzerindeki yükler kalktıktan sonra, betonda kalıcı deformasyonlar görülmesine karşılık, beton zamanla yavaş yavaş ilk durumuna döner. Bir tekerlek yükü bir beton plâk üzerinden geçerken çekme, basınç ve eğilme gerilmeleri oluşur. Tekerlek yükü geçtikten sonra bu gerilmeler yön değiştirerek kaybolur. (1)

#### 2.1.1.a- Beton yolların olumlu özellikleri :

a) Kayma ve sürtünme katsayıları yüksektir. Kaymaya karşı direnci fazladır. Boyuna sürtünme katsayısı  $\cong 0,70$ , Enine sürtünme katsayısı  $\cong 0,65$  civarındadır. Ayrıca, ıslak oldukları zaman sürtünme katsayısının küçülmesi diğer plâstik bağlayıcılarla yapılan kaplamalara göre daha azdır. Yol yüzeyi düz olduğundan yağış suları kolay akar ve yüzey çabuk kurur.

b) Yuvarlanma ve sürtünme katsayısı, dolayısıyla hareket karşı direnci düşüktür. Vasıtaların yıpranması azalır. Mekanik ömürleri artar. Motordan tekerleklere aktarılan kuvvet düzenli olacağından yağ ve yakıt masrafı azalır. Bandaj ve lastik aşınması az olacağından ekonomi sağlarlar.

c) Dayanıklı bir kaplama tipidir. Dayanma bakımından her türlü etkiye karşı koyacak şekilde hazırlanabilirler. Çatlak oluşmasını önlemek için çelik donatı kullanılabilir. Kaplama çatlarsa bile çelik donatı sayesinde oluşacak çekme gerilmeleri karşılanabilir.

d) Betonun yüksek kalitesi dikkate alındığında; beton asfalt, parke kaplamalar gibi eşdeğer kaplamalardan daha ucuza mal olabileceğinden daha ekonomiktir.

e) Gürültüsüz ve tozsuzdur. Işığı az emerler. Yüzey pürüzlülüğü az olduğu için yüksek hızda az gürültü yapar. Yüzeyin dayanıklılığı malzemenin ufalanıp toz haline dönüşmesini önler. Açık rengi sayesinde gece kolay görünür. Islak olduğu zaman da-

hi asfalt kaplamalarda olduğu gibi tehlikeli far ışığı yansımalarına sebep olmaz. Bu olay trafik güvenliği açısından çok önem taşır.

f) Diğer kaplamalara nazaran daha uzun ömürlüdür. Bakım ve tamiri çok daha kolaydır. Plâstik (Hidro-karbonlu) bağlayıcılarla yapılan yollarda çok sık görülen öndülasyonlar beton yollarda görülmez. Dayanıklı olduklarından fazla tamir gerekmez. Sürtünme katsayısı yüksek olduğundan ve gerektiğinde kademeli de yapılabildiğinden plâstik (hidro-karbonlu) kaplamalara göre daha dik eğimlere uygulanabilir.

g) Temel görevi yapabilir. Uzun süre kullanıldıktan sonra yüzey çok bozulacak olursa, basit bir tamirle diğer kaplamalara (parke veya asfalt) temel görevi yapabilir. Kendi kendisine de temel görevi yapar.(1)

#### 2.1.1.b- Beton yolların olumsuz özellikleri :

a) Proje veya inşaatta küçük bir hata veya ihmal, trafikle ilgili olmadan, kaplamanın çabuk harabolmasına yol açan çatlakların oluşmasına sebep olabilir. Priz sırasındaki rötrelere ve diğer sıcaklık değişiklikleri çatlakların oluşma nedenleridir. Trafik etkileri olmadan da, don olaylarının tekrarlanması sonunda çatlamış olan kaplama tamamen harabolabilir.

b) Yapım sırasında ve beton prizini tamamlayıncaya kadar yol trafiğe kapalı kalacaktır. Tamir ve bakım işleri yapılırken de aynı sakınca ortaya çıkmaktadır. Ancak çabuk sertleşen çimento kullanılarak bekleme süresi kısaltılabilir veya iki ayrı şerit halinde yapım sürdürülerek bir şerit kısmen trafiğe açık tutulup bu mahsur kısmen önlenir.

c) Beton yollar alt tesisler bakımından bazen güçlük yaratabilir. Beton yolların yapımından sonra havagazı, kanalizasyon, su, telefon tesisleri yapım ve tamirleri güçlüklerle yapılır. Yeraltı tesislerinde oluşacak arızaların yerlerini bulmak güçleşir. Arıza giderildikten sonra, beton yolların tamir edilen kısımları zayıf kalabilir.

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

e) Demir bandajlı taşıtlar söz konusu ise, gürültü fazla olur. Demir bandaj azaldığı için bu sakınca önemini kaybetmektedir.

f) Aşınma etkisi ile kaygan hale gelebilir. Ancak aşınma uygun malzeme kullanılarak azaltılır. Ayrıca her tip kaplamada aşınma sözkonusudur.

g) Ülkede, çimento pahalı bir yapı malzemesi ise (ülkemizde asfalta nazaran ucuzdur) beton yol kaplaması pahalı bir yatırım olabilir.

#### 2.1.1.c- Beton kaplamalarda yüklerden doğan gerilmeler :

Bir beton kaplamada oluşan en önemli gerilmeler, tekerlek yüklerinden doğan eğilme-çekme gerilmeleridir. Eğer taşıt durmaktaysa yol yüzeyine gelecek yük tekerleğin basıncından ibarettir. Hareket eden taşıt halinde, yüzey düzgün olduğundan, sademe etkisi pek küçük kalır. Ayrıca yüksek hızda seyreden bir taşıtın tekerleklerinden beton yüzeyine geçen gerilmeler pek kısa sürelerle etkiyeceğinden kaplamada herhangi bir deformasyon meydana gelmez.

Halbuki demir bandajlı taşıtlar betona büyük tekil yüklerin geçmesine sebep olurlar. Döşeme rijit olduğundan bu tekil yüklerin aşındırıcı etkisi döşemeyi kısa sürede bozar. Beton yollarda deformasyonlar ve çeşitli plâklar arasındaki düzey farkı yüzünden sademe etkisi doğurabilecek yerler enine derzlerdir. Bunların sayılarının az tutulması, derzleri mümkün olduğu kadar dar ve çıkıntısız olması ve dayanıklı, bir dolgu malzemesi ile dolu bulunması istenir.

Bir yükten dolayı, kaplamanın kenarında meydana gelen gerilmeler, aynı yük sebebiyle ve aynı kalınlıktaki bir köşede meydana gelen gerilmelerden daha azdır. Aynı zamanda bir yükten dolayı üniform kalınlıktaki bir kaplamanın iç kısımlarında mey-

dana gelen gerilmeler aynı yük sebebiyle kenarda ve köşede meydana gelen gerilmelerden daha azdır.

Bu sebepten köşeler "kritik" noktalardır. Bir beton kaplamada yük ve eğilme momenti öyle bir değere ulaşır ki bu durumda eğilme-çekme gerilmesi betonun kopma limitine eşit olur. Bu durumda beton kaplama bu yüke dayanamaz dolayısıyla "kırılma" olur. (1)

## 2.2. Hava Alanı Betonlarının Üretim Sorunları

### 2.2.1. Tanımlar :

Konuya yaklaşabilmek için önce bazı tanımları açıklamak yararlı olacaktır.

Bir hava alanında uçuş aktivitelerinin olduğu yerlerde zemin kaplamaları üç gruba ayrılır.

- 1- Terminal binasının hemen önünde uçakların yaklaşamadığı, servis otobüslerinin ve kargonun çalıştığı apron'lar.
- 2- Uçakların uçmadan önce veya indikten sonra hareket ettikleri, park ettikleri taksirut'lar.
- 3- Uçuş ve iniş hareketlerinin yer aldığı pist'ler.

Hava alanlarındaki pist, taksirut ve apronların yüzeylerinde rijit ve esnek kaplamalar kullanılır. (2)

### 2.2.2. Kaplama betonlarının üretim sorunları :

\* Taşıma gücü yönünden incelendiğinde kaplama betonundan yüksek eğilme dayanımı istendiği anlaşılmaktadır. Uçakların yarattığı zımbalama etkisi ve zemindeki hareketler betonun eğilmeye çalışmasını da gerektirmektedir.

Her ne kadar amaç yüksek eğilme dayanımlı beton üretmek ve beton üretim kontrol mekanizmasını bu amaca yönelik biçimde örgütlemek olsa bile hava alanı betonlarının diğer betonlardan farklı niteliklere sahip olması gerekir.

Bu nitelikler şöyle sıralanabilir :

- 1- Kaplama betonundan beklenen en önemli mekanik özellik, yüksek eğilme dayanımıdır.
- 2- Kaplama betonundan beklenen yüzey özellikleri bakımından; aşınma dayanıklılığı, pürüzsüzlük, yüzeysel buz tutma ve çözülme, renk problemleridir.
- 3- Kaplama betonunun, zaman içinde servis yeteneğini(performansını) sürdürebilme özelliği olarak tanımlanan durabilitesini etkileyen özellikler; donma-çözölmeye dayanıklılık, su geçirimsizliği, jet yakıtlarına ve yüksek sıcaklığa dayanıklılık,... gibi özelliklerdir.

Hava alanı betonlarında yukarıda istenen özellikleri sağlayabilmek için hazırlanan teknik şartnameler, iyi bir beton üretmek için malzeme özellikleri ve miktarları, karıştırma, yerleştirme, kür, ekipman, v.b. hususlarında bilgiler verirler.

Hava alanı betonları; sınıflandırılmış agregayla ve genellikle tartım metodu (ağırlık sistemi) ile üretilir. Çimento dozajı genelde  $350 \text{ kg/m}^3$ 'tür. Kitle betonu olduğundan agreganın maksimum tane çapı 40 - 50 mm dir, su/çimento oranı maksimum 0,50, taze betondaki çökme kırmataşla yapılan betonlarda en çok 2,5 cm, doğal agrega ile yapılan betonlarda en çok 2.2 cm olarak sınırlandırılmıştır. Beton özelliklerini etkileyici katkı maddeleri koşullu olarak kullanılmalıdır.

İstenilen nitelikte beton üretiminde sadece şartname koşullarına uymak yeterli değildir, hatta bir çok konumda şartname hükümleri dışına çıkmak yararlı olabilmektedir. Kısaca bu hususlara nedenleri ile değinmekte yarar vardır.

Yüksek eğilme dayanımı sağlamada iri agreganın kırmataş olmasında yarar vardır. Eğer kırmataş sağlam kalker olursa harç-iri agrega bağlantısı daha mükemmel olacağından eğilme dayanımı yükselecektir. Kalker karmataşın aşınma yönünden sorun çıkarması beklenebilir. Özellikle ince agrega arasında kalkerin ve kalker tozunun bulunması sakıncalı olmaktadır.

Hava alanı betonlarında; çökme (slump) denetimi üzerinde ısrarla durmak gerekmez. Genellikle alan betonları hareketli karıştırıcılar yerine sabit santraller vasıtası ile üretilirler. Beton daha sonra transmikserlerle döküm yerine iletilir. Bu arada iklim koşullarına ve uzaklığa bağlı olarak çökme kaybı oluşacaktır. Bunu karşılayacak önlemlerin alınması ve su/çimento oranının bir miktar yüksek tutulması veya katkı ilâvesi düşünülebilir.

Hava alanı betonlarının olumsuz özelliklerinden birisi de çatlakların oluşmasıdır. Oluşan bu çatlakların sonucunda, beton geçirimli olacak, alt temele su geçirerek, çamur kabarmasına, don hasarı oluşmasına yol açacaktır. Bu olaylarda betonun çatlama klasik rötire sürecine bağlı değildir; bu bakımdan onun kurallarından ayrı düşünülmalıdır. Olay plastik rötire, priz öncesi rötire veya erken rötire deyimleriyle tanımlanır.(2) Olayı daha iyi açıklamak için aşağıda rötire hakkında açıklayıcı bilgiler verilmiştir.

#### 2.2.2.a- Rötire

Rötirenin kelime anlamı hacim büzülmesi nedeni ile oluşan çatlamalardır. Betonlarda rötire türleri çok çeşitlidir ve farklı nedenlere dayanan rötire türleri vardır. Sadece rötire sözcüğü kullanıldığında "hidrolik rötire" anlaşılır. Diğer rötire türleri termik rötire, erken rötire ve karbonatlaşma rötiresidir.

Termik Rötire : Prizi sona eren ve sertleşmeye başlayan betonda, hidrotasyon ısısının tüm kütleyi ısıtmaya yetecek oranda artmaması sonucu, kütle soğur ve termik büzülme oluşur, bu olaya termik rötire denilmektedir. Erken yaşta (1-2 gün içinde) ortaya çıkan termik rötire, özellikle baraj gibi kütle betonlarında önemli bir sorun olmaktadır.

Erken Rötire : Erken rötire, diğer bir deyişle plâstik rötire; henüz taze beton ve priz süresince ortaya çıkar. İşlenebilme yönünden yeter bir kohezyona sahip olmayan betonlarda iri agrega taneleri dibe çökmeye, çimento flokülleşmesi sonucunda

kusulan su ise yüzeye çıkmaya başlar. Yüzeyde biriken su süratle buharlaştığı takdirde şiddetli bir büzülme meydana gelir. Plâstik rötreye buharlaşan su miktarı, terleyen su miktarını aştığında belirginleşir. Plâstik rötreye nedeniyle donatıların ve iri agregaların alt yüzlerinde hava cepleri oluşur ve aderans yeteneği azalır, yok olur. Erken rötreye çatlakları dökümü izleyen günün ertesinde üst donatıların üstünde oluşan çatlaklarla kendini belli eder. Erken rötreye, özellikle geniş buharlaşma alanı gösteren hava alanı ve yol betonlarında, sık rastlanan bir olaydır.

Hidrolik Rötreye : Hidrolik rötreye, sertleşmiş beton rötresi, kuruma rötresi adları da verilmektedir.

Hidrolik rötreye üretimi izleyen günden itibaren başlar ve (5-6 ay gibi) uzun süre devam eder. Hidrolik rötrenin önemli bölümü birinci ay zarfında meydana gelir. Bu rötrenin nedenini açıklayan kılcal borular, jel teorileri gibi hipotezler vardır.

Sertleşmemiş çimento hamuru jel yapıdadır. Katı taneciklerin adsorpladığı su molekülleri, bu tanecikleri bir arada tutan, bağlayan elektrostatik kuvvetleri oluştururlar. Adsorbe su tabakası incelidikçe taneleri birbirine doğru çeken kuvvetler artmaktadır. Çimento hamurunun kurumması sonucu, önce kılcal boşluklardaki su buharlaşmakta, bu boşluklara jel suyu akımı başlamakta ve daha sonra bu suda kısmen buharlaşmaktadır. Sonuçta adsorbe su tabakası incelenerek ve taneler yaklaşarak hacim büzülmesi meydana gelmektedir.

Karbonatlaşma Rötresi : Karbonatlaşma rötresi prefabriğe eleman üretiminde dikkate alınan bir özelliktir. Priz ve sertleşme aşamasında ortamda mevcut CO<sub>2</sub> gazlarının beton bünyesine diffüzyon yapmaları sonucu, iç yapıda bazı karbonatlaşmalar meydana gelir. Bu olayın da bir büzülme ile meydana geldiği gözlenmiştir. (3)

Rötreye hakkında verilen bu bilgilerden sonra, iç yapı ile ilgili ve plâstik rötreye etkiyen faktörler şöyle sıralanabilir:

1) Betonun suyunun az olması halinde kılcal çekme kuvvetleri daha büyük olacak, çatlama artacaktır.

2) Beton terlerse ve buharlaşma hızı terlemeden çok fazla olursa plâstik rötire çatlakları kütle içine intikal edecektir.

3) Betonda ince taneler ve çimento artarsa plâstik rötire artacaktır, zira meniks çapları küçülecek, çekme gerilmeleri büyüyecektir.

o Plâstik rötrenin azaltılması için alınabilecek önlemler:

Çimentonun ve ince tanelerin belirli bir değerden az olması durumunda terleme artar, bu ise çatlakların büyümesine ve derinleşmesine yol açar. Şu halde dozajı fazla düşürmenin anlamı olmaz. Suyu arttırma cihazına gidildiğinde; dozajı da arttırmak sadece dayanım bakımından değil plâstik rötrenin süresi ve miktarı bakımından da önem taşımaktadır. O halde :

- a) Yüzey gerilimini düşüren bir katkı kullanılması halinde rötire azaltılabilir.
- b) Hava sürükleyici katkıları kullanılarak betonun terlemesi önlenerek böylece rötire, kısmen azaltılabilir.
- c) Prizi hızlandıran katkıları ilâvesi ile, kılcal gerilmelere karşı koyarak, çimento hamurunun kısa sürede dayanım kazanmasına olanak sağlanabilir ve bu önlemlerle rötire azaltılabilir.

o Dış ortamın, rötire üzerine etkisi :

Dış ortamla ilgili faktörler, iç yapıya yönelik faktörlerden daha büyük önem taşırlar. Dış ortamda sıcaklık, bağıl nem ve rüzgârın önemli etkisi vardır. Dış ortam sıcaklığının yüksek olması buharlaşma üzerinde çok etkili değildir. Hatta kuru ve rüzgârlı bir havada beton iç sıcaklığı yüksekken, dış ortam sıcaklığı yüksek olsa dış ortam sıcaklığının düşük olmasından daha az sakıncalı bir duruma çıkabilir. Buradan bağıl nemin az olduğu, rüzgârlı havada sıcaklık artışının rötire üzerinde olumsuz etkisi olmadığı, düşük sıcaklığın olumsuz etkisi olduğu sonucu çıkarılabilir.

Hava alanı betonlarında alt tabaka, betonun karma suyunu emmesi nedeni ile plâstik rötreyi arttıracaktır. Bu bakımdan alt tabakanın suya doygun hale getirilmesi veya bitüm emülsiyonları ile geçirimsiz hale getirilmesi gerekir. (2)

Yapılan bu çalışmada harça çelik lif ilâve etmemin önemli amaçlarından biri de meydana gelebilecek rötreyi azaltmaktır. Bunun için şahit ve çeşitli miktarlarda çelik lif katılan harç numuneleri üzerinde rötreye deneyi yapılmış ve elde edilen sonuçlar Bölüm 3.5.3'de tablo halinde belirtilmiştir.

Özet olarak : Hava alanı betonlarında çatlamanın önlenmesi önemli bir konudur.

Bu tür betonlarda çatlama neden olan rötreye, plâstik rötredir. Plâstik rötrenin önlenmesi için aşağıdaki tedbirler önerilmektedir :

- 1) Karıştırma suyu bir miktar arttırılır, buna paralel olarak dozaj da yükseltilir.
- 2) Hidratasyon ısısı yüksek (örneğin  $3CaO \cdot Al_2O_3$  bileşimi fazla olan) çimentolardan kaçınılır.
- 3) Hava sürükleyici bir katkı kullanılabilir (Bu arada beton yollar için sakıncalı bulunan priz hızlandırıcı katkıları da denenmelidir).
- 4) Temel tabakasının, betonun karma suyunu emmesi önlenmelidir.
- 5) Yüzeğe sadece Curing-compound (koruyucu tabaka) püskürtmeyle kalmayıp, yüzeyin nemli kalmasını sağlayacak ıslak saman, çuval ve polietilen örtüler kullanılması ve rüzgârı kesecek çadır v.b. önlemler alınmalıdır. Rötreyi önlemenin en etkili yolu; yüzeyden buharlaşmayı önleyen bu tür önlemler alınması olmalıdır. (2)

### 2.3. Kompozit Malzemeler

Kompozit malzeme : İki veya daha çok malzemenin fiziksel olarak karıştırılması ile elde edilen ve bileşen malzemelerden

farklı ve daha iyi özelliklere sahip sistemlere kompozit malzeme adı verilir.

Kompozit malzemedeki aranan özellikler :

- 1) İnsan eli ile üretilmelidir.
- 2) Kompozit malzemeyi oluşturan bileşenlerin, birbirinden farklı ara yüzlerle ayrılmış olması ve üç boyutlu olarak bir araya gelmiş olması gerekir. Kompozit malzemedeki kullanılacak bileşenlerin her biri tek bir malzemedeki olabileceği gibi daha çok sayıda malzemedeki de oluşabilir. Örneğin: Beton = Harç + Kaba agrega ; Harç = Çimento hamuru + İnce agrega'dan oluşmuş kompozit malzemelerdir.
- 3) Kompozit malzemeler; bileşenlerden hiç birinin tek başına sahip olmadığı özellikleri sağlamak amacıyla üretilirler.  
(4)

2.3.1. Kompozit malzeme çeşitleri :

Kompozit malzemeler, matris ve dane veya lif olmak üzere iki fazdan oluşurlar. Bu fazlar organik veya inorganik kökenli malzemeler olabilir. Örneğin harçta matris fazı olan çimento hamuru ve dane fazı olan ince agrega inorganik kökenlidir. Asfalt betonunda ise agrega dane fazı inorganik kökenli, matris fazı olan asfalt ise organik kökenli polimer bünyeli bir hidrokarbonlu malzemedeki oluşmaktadır.

Buna göre kompozitler : 1- Daneli kompozitler (Beton, asfalt, polimer betonu, gaz betonu, vb.) 2- Lifle donatılı kompozitler (Asbestli çimentolar) 3- Lamine kompozitler (Kontrplâklar, sandviç yapı panoları v.b.) olarak da sınıflanabilir.(4)

2.3.2. Kompozit malzemelerin sınıflandırılması :

Kompozit malzemeler; fazların mekanik davranışlarına göre aşağıdaki gibi de sınıflandırılırlar.

- 1) Sünek matris, kırılğan lif (SM-KL). Bu gruba örnek olarak; asfalt ve polimerlerle üretilmiş betonlar verilebilir.

- 2) Kırılğan matris, sünek lif (KM-SL). Bu gruba örnek olarak; cam lifi ve çelik çubukla güçlendirilmiş beton ve ferrocement verilebilir.

Liflerle güçlendirilmiş çimento bağlayıcılı kompozitlerin, lifsiz çimento bağlayıcı kompozitlere nazaran bazı üstün özellikleri vardır. Bunlar aşağıda açıklanmıştır.

- a) Lifli kompozitlerin, çatmalamaya ve dağılmaya karşı dayanımı daha fazladır.
- b) Termal şoka karşı dayanımı daha yüksektir.
- c) Bu tür kompozitlerin atmosfer etkileri altında servis ömürleri daha uzundur.
- d) Lifli kompozitlerin üretim maliyeti yüksektir. Fakat lifsiz kompozitlere göre daha küçük kesitler kullanıldığından ve durabilitesi yüksek olduğundan, getirdiği ek masrafları uzun vadede karşılayabilir.(4)

#### 2.4. Lifli Betonların Genel Özellikleri

Bu çalışmada kırılğan matris (harç), sünek lif(çelik lif) kompozit malzeme grubuna giren çelik lifli harç numuneleri üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Bu nedenle, bu tür kompozitler ve kompoziti oluşturan bileşenler hakkında açıklayıcı bilgiler aşağıda açıklanmıştır.

##### 2.4.1. Lifli betonun tanımı :

Çimento, agrega ve sürekli veya süreksiz liflerden oluşan betona "lifli beton" denilmektedir. Öte yandan yalnızca çimento ve liflerden oluşan kompozitler de lifli beton teriminin kapsamı içine girmektedir. Fakat matris olarak yalnızca çimento hamurunun kullanılması, hacim kararsızlığı nedeniyle sakıncalı olmaktadır. Bundan dolayı lifli beton kompozitlerin bileşiminde, asbest-çimento ürünleri hariç, genellikle agrega bulunmaktadır.(5)

##### 2.4.2. Lifin tanımı :

Betonu takviye için uygun lifler çelik, cam, seramik, ve

organik polimerlerden üretilmektedir. Lifler çeşitli boyutta ve biçimde olabilirler.

Bir lifin kesin bir tanımı yapılamamaktadır. ACI komitesi, bir lifi tanımlayan en uygun nümerik parametrenin "boy-çap oranı (aspect ratio)" olduğunu ileri sürmektedir. "boy-çap oranı" lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen orandır. Eşdeğer lif çapı ise; alanı, lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tarif edilir.(5) Örneğin bir kenarının uzunluğu "a" olan kare kesitli bir lifin eşdeğer lif çapı :

$$a^2 = \pi \times \frac{D^2}{4} \quad D = \frac{2a}{\sqrt{\pi}}$$

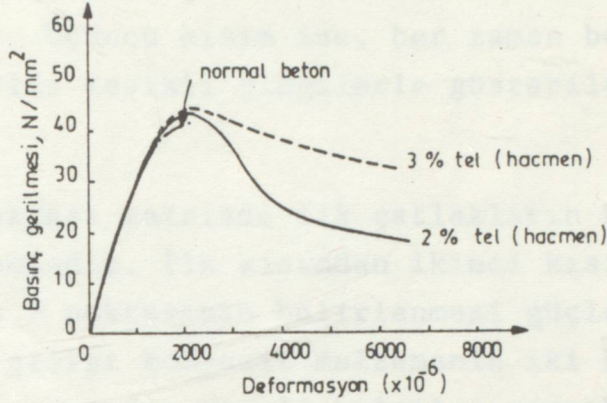
olarak hesaplanır.

#### 2.4.3. Matris özellikleri :

Lifli beton malzemelerde, matrisin fonksiyonu lifleri birarada tutmak, onları korumak ve liflere veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır. Lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda, portland çimentosu kullanılmıştır. Matris olarak portland çimentosu hamurunun kullanılmasının çeşitli yararlar sağlamasına karşılık önemli bir sakıncası da vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden % 0.02 - 0.06 mertebesinde düşük olmasıdır. Bunun sonucunda ise bir yükleme durumunda, kompozitin elastik limitinden önce, çimento hamurunun matrisinde çatlaklar oluşmasıdır.(5)

#### 2.4.5. Lifli betonun basınç altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışı

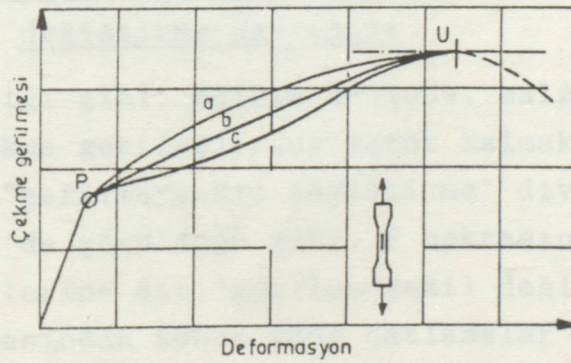
Şekil 1'de çelik lifli betonun gerilme-şekil diyagramı ( $\sigma_B - \epsilon$ ) görülmektedir. Şekilden anlaşıldığı üzere tel katıldığı zaman basınç mukavemeti ve basınçta şekil değiştirme artmaktadır. Diğer taraftan elastik modülünde, orantılık sınırında ve poisson oranında belirgin bir değişiklik olmamaktadır.(5)



Şekil 1. Çelik lifli betonun gerilme-deformasyon diyagramı

2.4.6. Lifli betonun direkt çekme altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışı :

Lifli beton kompozitlerinin direkt çekmedeki gerilme-şekil değiştirme ( $\sigma_c - \epsilon$ ) diyagramı Şekil 2'de görüldüğü gibi, iki veya üç kısımdan oluşmaktadır.



Şekil 2. Çekme halinde gerilme-şekil değiştirme diyagramı (FRC) için.

Birinci kısım başlangıçtan P noktasına kadar olan doğru-

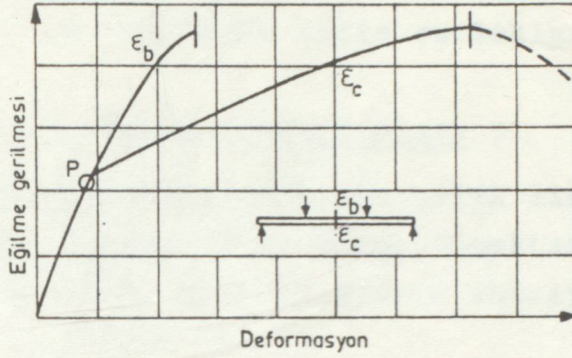
dur. Bu doğrunun eğimi pratik olarak takviye edilmemiş matrisin elastiklik modülüne eşit kabul edilebilir. İkinci kısım, P noktasından malzemenin çekme mukavemetine kadar olan daha az eğimli bölgedir. Üçüncü kısım ise, her zaman belirlenmesi mümkün olmayan, şekilde kesikli çizgilerle gösterilen yükün azaldığı bölgedir.

P noktası matrisde ilk çatlakların başladığı duruma karşılık gelmektedir. İlk kısımdan ikinci kısma geçiş yumuşak olduğu oranda P noktasının belirlenmesi güçleşir. İkinci kısımdaki eğrinin gidişi kompozit malzemenin iki bileşeninin birbirini etkilemesi açısından önemli bilgiler vermektedir. Eğer lif ile matris arasında çok iyi bir bağ oluşmuşsa, şekildeki (a) eğrisi elde edilir (yukarıya doğru dışbükey). Şayet çok zayıf bir bağ var ise (c) eğrisi elde edilir (yukarıya doğru iç bükey), bu durumda P noktası belirgin olarak ortaya çıkmaktadır.

U noktasına yaklaşıldığında kırılma, liflerin kopmaya başlaması, liflerin sıyrılması ile veya liflerin tamamen kopması ile meydana gelir. Eğer kırılma liflerin sıyrılması ile meydana gelirse eğrinin üçüncü kısmı elde edilir. Çünkü, kompozit tamamen kırılmadığı için yük almaya devam etmektedir (5)

#### 2.4.7. Lifli betonun eğilme altında gerilme-şekil değiştirme davranışı

Bilindiği gibi; eğilme halinde, malzeme aynı zamanda hem basınç hem çekme gerilmelerine maruz kalmaktadır. bu bakımdan eğilmede iki "gerilme-şekil değiştirme" diyagramı elde edilir. Ancak Şekil 3'de görüldüğü gibi, P noktasına kadar basınç ve çekme gerilmelerine ait "gerilme-şekil değiştirme" diyagramı aynıdır. P noktasından sonra yani çatlama başladıktan sonra zaman iki eğri birbirinden ayrılır. Çekme bölgesindeki deformasyon basınç bölgesindeki göre çok daha hızlı artar. Maksimum gerilmeye gelindiğinde çekme tarafındaki deformasyon basınç tarafındaki deformasyonun iki veya üç katı olabilir. (5)



Şekil 3. Eğilmede "gerilme-şekil değiştirme" diyagramları

#### 2.4.8. Çarpma mukavemeti

Lifli betonun çarpma mukavemeti matrisin çarpma mukavemetinden daha büyük olmaktadır. Harça %2 oranında çelik tel katıldığında matrisin kırılma işinden 2 kat daha büyük bir değer aldığı yapılan deneyler sonucunda görülmüştür. (5)

#### 2.4.9. Yorulma mukavemeti

Tel donatılı betonlar üzerinde yapılan yorulma deneylerinde tel yüzdesinin artması ile yorulma mukavemetinin de arttığı gözlenmiştir. Eğilme yorulması deneylerinde telli betonların yorulma mukavemeti, %2 tel oranı için statik dayanımın %50 si civarında olmaktadır ( $10 \times 10^6$  tekrar). Bu değer tel yüzdesi ile artmaktadır. (5)

#### 2.4.10. Rötire

Burada rötire, lifli betonların hidrolik rötresi ile karbonatlaşma rötresi anlamındadır. Yapılan deneyler, hacmen %10 dan daha az lif kullanılması halinde lif miktarının rötreyi pek az etkilediğini göstermiştir. Betonda lifleri kullanmanın esas amaçlarından biri çatlak ilerlemesini durdurmak ve çatlamalara

karşı dayanımı arttırmak olduğuna göre; liflerin etkisi, lifli betonun rötire yapamadığı zaman ortaya çıkmaktadır. Lifli betonlarda çatlak genişliklerinin en küçük değerleri alması beklenebilir ve en iyi hallerde rötire çatlakları görülmeyebilir.(5)

#### 2.4.11. Sünme (Creep) olayı :

Betonun sünmesi üzerine çelik liflerin etkisi basınç halinde ihmal edilebilir derecede olmaktadır. Fakat çekme halinde çelik, cam, polipropilen liflerin sünmeyi değişik oranlarda azalttığı saptanmıştır.(5)

## BÖLÜM III

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA VE BULGULAR

Bu bölümde, harç üretiminde kullanılan çimentonun, kumun ve ilâve edilen çelik lifin fiziksel ve mekanik özellikleri araştırılmıştır. Üretilen şahit ve çelik lifli numunelere fiziksel, mekanik ve teknolojik deneyler uygulanarak elde edilen sonuçlar verilmiştir.

#### 3.1. Çimento Özellikleri Tayini

Numunelerin üretiminde bağlayıcı malzeme olarak Yunus Çimento Fabrikasının ürettiği Katkılı Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel özellikleri T.S.24'e göre tayin edilmiştir.

##### 3.1.1. Normal kıvamın tayini :

Normal kıvamın tayini için Vicat aleti ve sondası kullanıldı. 300 g çimento kaba konularak ortasına açılan çukura çimento ağırlığının % 29'ükadar (87 g) su konuldu. Hamurun yoğrulmasına, çimento ile suyun karıştığı andan itibaren 3 dakika devam edildi. Bundan sonra çimento hamuru 1 dakika içinde vicat halkasına yerleştirildi. Hamurun yüzeyi bir spatula ile düzeltildi. Vicat aletinin silindirik şeklindeki sondası temizlenip kurulandıktan sonra, camın üzerine kadar indirilerek aletin göstergesi sıfıra getirildi. Sondanın ucu hazırlanmış olan Vicat halkasının ortasına hamurun üst yüzeyine dokunacak kadar indi-

rildi ve serbest bırakıldı. Sonda cam levhaya 7 mm kalıncaya kadar battı. Batma miktarı T.S.24'de istenen 5-7 mm sınırı içinde kaldığından yoğurma suyunun uygun olduğu tesbit edildi.

3.1.2. Prizin başlama ve sona erme sürelerinin tayini :

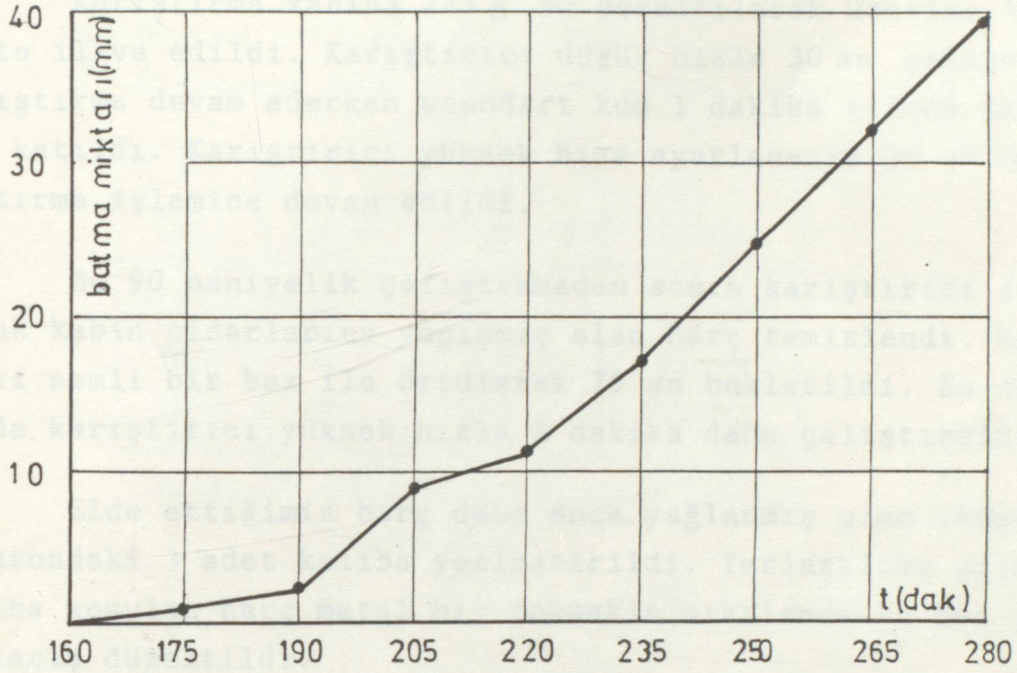
Priz süresinin tayini normal oda sıcaklığında, laboratu-  
arda yapıldı. Vicat aletine iğne takıldı. Normal kıvamın tayi-  
ninde kullanılan Vicat halkası ve çimento hamuru alete yerleş-  
tirildi. Vicat iğnesi camın üzerine kadar indirilerek aletin  
göstergesi sıfıra getirildi. Vicat iğnesi halka içindeki hamurun  
üst yüzeyine dokunacak kadar indirildi ve yan tarafındaki vida  
sıkıştırıldı. Sonra vida gevşetilerek iğnenin hamur içine girme-  
si sağlandı. Priz başlangıç süresinin tesbiti için iğne her 5  
dakikada bir hamura batırıldı. İğnenin bir defa girmiş olduğu  
yere bir daha girmemesi için Vicat halkasının durumu her batırı-  
lıştan sonra değiştirildi. Çimento hamuruna batan iğne cam lev-  
haya 3 mm uzaklıkta kaldığı an priz başlamış kabul edildi. Pri-  
zin sona erme süresinin tesbiti için deney her 15 dakikada bir  
tekrarlandı. İğne ehamura 1 mm girdiği zaman prizin sona erdiği  
kabul edildi.

Yapılan bu deney sonucunda Şekil 4'te görüleceği gibi,

Prizin başlama süresi : 175 dak = 2 saat 55 dakika

Prizin sona erme süresi : 280 dak = 4 saat 40 dakika

Normal özelliklere sahip olan çimentolarda priz başlama süresi  
2-3 saat, priz sona erme süresi 3-5 saat arasında olmalıdır.(6)



Şekil 4. Prizin başlama ve sona erme süreleri

### 3.1.3. Dayanım deneyleri

#### 3.1.3.a- Harcın bileşimi :

Harç ağırlıkça 1 kısım çimento, 3 kısım standart kum ve 1/2 kısım suyun karıştırılması ile hazırlanmıştır. Kullanılan standart kumun elek analizi aşağıda verilmiştir.

Elek gözü mm (kare)	Elekte kalan (%)
2.00	0
1.60	5 ± 5
1.00	33 ± 5
0.50	67 ± 5
0.16	88 ± 5
0.08	98 ± 2

3.1.3.b- Hazırlanması :

Karıştırma kabına 225 g su boşaltılarak üzerine 450 g çimento ilave edildi. Karıştırıcı düşük hızla 30 sn çalıştırıldı. Karıştırma devam ederken standart kum 1 dakika içinde yavaş yavaş katıldı. Karıştırıcı yüksek hıza ayarlanarak 30 sn daha karıştırma işlemine devam edildi.

Bu 90 saniyelik çalıştırmadan sonra karıştırıcı durdurularak kabın cidarlarına yapışmış olan harç temizlendi. Kabın üzeri nemli bir bez ile örtülerek 75 sn bekletildi. Bu süre sonunda karıştırıcı yüksek hızla 1 dakika daha çalıştırıldı.

Elde ettiğimiz harç daha önce yağlanmış olan 160x40x40 mm boyutundaki 3 adet kalıba yerleştirildi. Yerleştirme sırasında kalıba konulan harç metal bir tokmakla sıkılandı ve üst yüzeyi masterla düzeltildi.

Dökümden itibaren 24 saat sonra kalıplar söküldü. Harç prizmaları, musluk suyu içinde bütün yüzeyleri su değecek biçimde 28 gün bekletildi. Prizma şeklindeki numuneler, iki mesnet üzerine yerleştirildi. Açıklığın tam ortasından numunenin bütün genişliği boyunca çizgisel bir P yükü uygulandı. Numunelerin kırıldığı P kuvvetine göre, çimento hamurunun eğilmede çekme dayanımı hesaplandı (Tablo.1). Daha sonra bu kırılan parçalar, 7-35 tonluk universal basınç aletinde deneye tabi tutularak basınç dayanımları hesaplandı (Tablo 2).

P (kg)	M (kgcm)	W cm <sup>3</sup>	$\bar{\sqrt{\zeta}}$ kg/cm <sup>2</sup>	$\bar{\sqrt{\zeta}}$ N/mm <sup>2</sup>
143	572	10,67	53,6	5,36
143	572	10,67	53,6	5,36
150	600	10,67	56,5	5,65

Tablo 1. 28 günlük ortalama eğilmede çekme dayanımı :

$$\bar{\sqrt{\zeta}} = 54,5 \text{ kg/cm}^2 = 5,45 \text{ N/mm}^2$$

M = Eğilme momenti  $(\frac{P \times L}{4})$

P = Prizmanın ortasına uygulanan kuvvet

L = Destek silindirleri arasındaki uzaklık

W = Prizmanın 40 x 40 mm kesitindeki mukavemet momenti

P (kg)	F (cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_b$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\bar{\sigma}_b$ (N/mm <sup>2</sup> )
4100	16	256,3	25,63
3800	16	237,5	23,75
3600	16	225	22,50

Tablo 2. 28 günlük ortalama basınç dayanımı :

$$\bar{\sigma}_b = 239,5 \text{ kg/cm}^2 = 23,95 \text{ N/mm}^2$$

### 3.2. Kullanılan Kumun Özelliklerinin Tayini

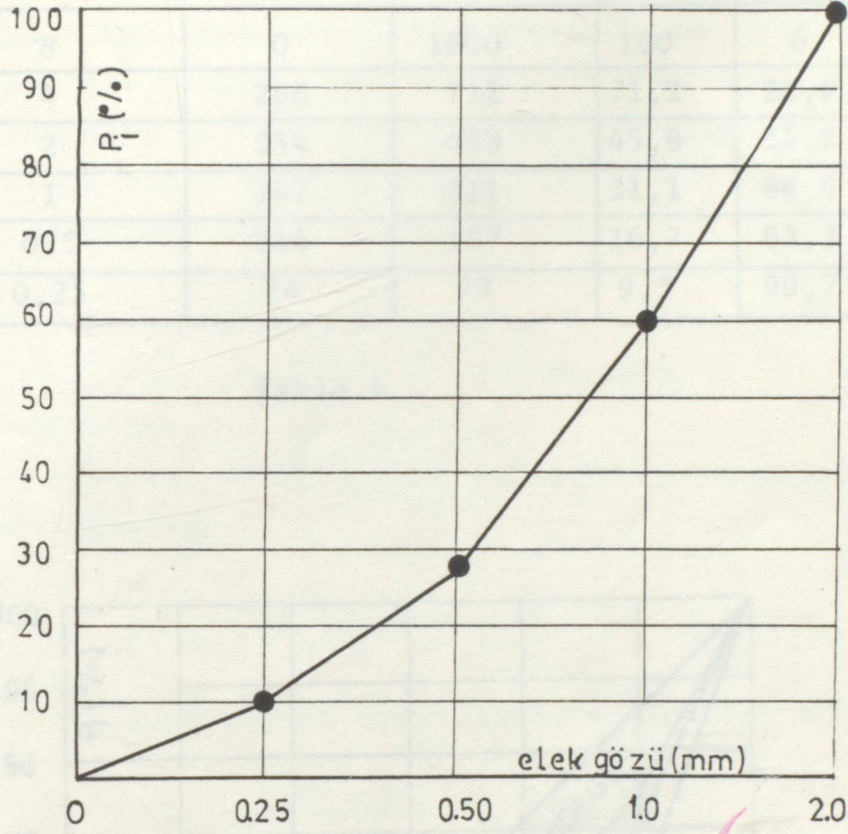
#### 3.2.1. Kullanılan kumun granülometrisi :

Numunelerin üretilmesinde dere kumu kullanılmıştır. Üretilen numuneler, 70 x 70 x 70 mm ve 40 x 40 x 160 mm boyutlarında olmak üzere iki gruptadır. Bu iki gruptaki numunelerde kullanılan kumun granülometrisi farklıdır.

40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun granülometri değerleri Tablo 3'de ve granülometri eğrisi Şekil 5'de verilmiştir.

Elek gözü (mm)kare	El.Kalan (gr)	El.Geçen (gr)	Pi (%)	100-Pi (%)
2	0	1000	100	0
1	397	603	60,3	39,7
0,5	338	265	26,5	73,5
0,25	158	107	10,7	89,5

Tablo.3

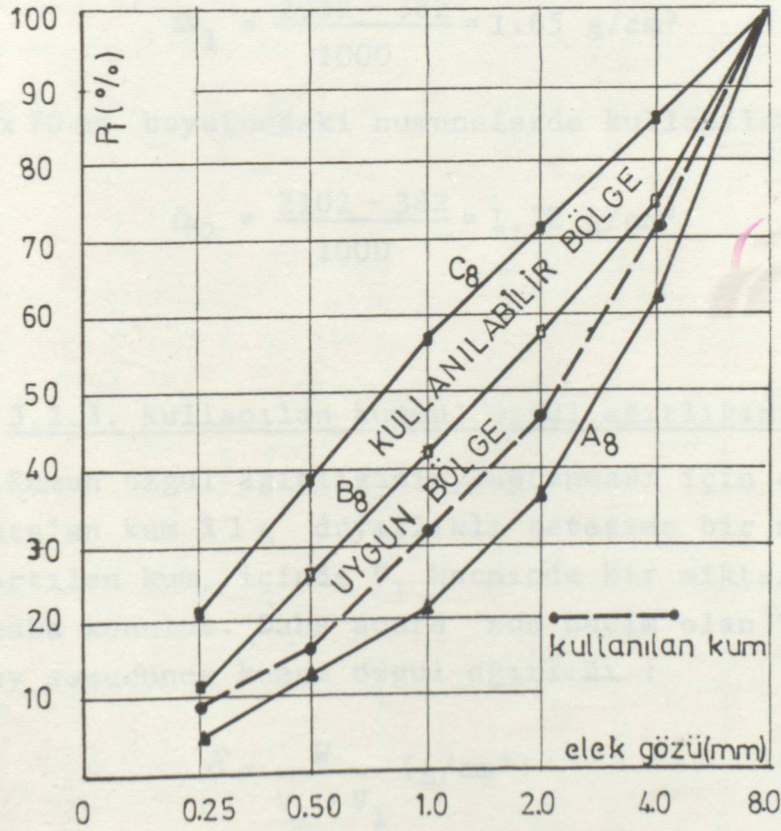


Şekil 5. 40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun granülometri eğrisi

70 x 70 x 70 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun granülometri değerleri T.S. 706'da verilen uygun bölgede olması sağlanmıştır. Kullanılan kumun granülometri değerleri Tablo 4' de granülometri eğrisi Şekil 6'da verilmiştir.

Elek gözü (mm)kare	El.kalan (gr)	El.Geçen (gr)	$P_i$ (%)	$100-P_i$ (%)
8	0	1000	100	0
4	288	712	71,2	28,8
2	254	458	45,8	54,2
1	147	311	31,1	68,9
0,5	144	167	16,7	83,3
0,25	74	93	9,3	90,7

Tablo.4



Şekil 6. 70 x 70 x 70 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun granülometri eğrisi

### 3.2.2. Kullanılan kumun yoğunluğunun saptanması :

Bir miktar kum, etüvde 100 - 110°C de kurutuldu. Daha sonra soğutulan kum numunesi 4 cm yüksekten 2 cm delik çapı olan huniden serbest olarak 1 dm<sup>3</sup> hacmindeki kaba dolduruldu. Kabın üzerinde meydana gelen yığın sarsmadan düzeltilerek kab tartıldı (W<sub>1</sub>). Daha sonra kab boş olarak tartılarak darası belirlendi. Bu deney sonucunda kumun yoğunluğu :

$$\Delta = \frac{W_1 - W_2}{v} \text{ g/cm}^3$$

olarak belirlenir.

Bu bilgilere göre, 40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun yoğunluğu :

$$\Delta_1 = \frac{2032 - 382}{1000} = 1.65 \text{ g/cm}^3$$

70 x 70 x 70 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun yoğunluğu:

$$\Delta_2 = \frac{2102 - 382}{1000} = 1,72 \text{ g/cm}^3$$

dür.

### 3.2.3. Kullanılan kumun özgül ağırlığının saptanması :

Kumun özgül ağırlığının saptanması için etüvde kurutulan ve soğutulan kum %1 g duyarlıklı terazide bir miktar tartılır (W). Tartılan kum, içinde V<sub>1</sub> hacminde bir miktar su bulunan ölçekli kaba konulur. Daha sonra son hacim olan V<sub>2</sub> okunur. Bu deney sonucunda kumun özgül ağırlığı :

$$\delta = \frac{W}{V_2 - V_1} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

olarak belirlenir.

Bu bilgilere göre, 40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun özgül ağırlığı :

$$\delta_1 = \frac{300}{320 - 200} = 2,5 \text{ g/cm}^3$$

70 x 70 x 70 mm boyutundaki numunelerde kullanılan kumun özgül ağırlığı :

$$\delta_2 = \frac{300}{315 - 200} = 2,6 \text{ g/cm}^3$$

dür.

### 3.3. Çelik Lifin Özelliklerinin Tayini

#### 3.3.1. Çelik lifin boyutları :

25 adet çelik lif üzerinde, 4 ayrı kesitte çelik lifin eni, boyu ve et kalınlığı ölçülerek ortalamaları alınmış ve  $\frac{l}{d}$  oranı tesbit edilmiştir (Tablo.5).

No	Boyut	Ölçüm Değeri (mm)	No	Boyut	Ölçüm Değeri (mm)	No	Boyut	Ölçüm Değeri (mm)
1	a	0,22	10	a	0,26	19	a	0,24
	b	1,98		b	4,00		b	3,50
	l	32,00		l	32,50		l	32,5
2	a	0,25	11	a	0,26	20	a	0,26
	b	2,55		b	3,53		b	3,00
	l	32,00		l	32,00		l	33,00
3	a	0,28	12	a	0,23	21	a	0,22
	b	2,43		b	4,10		b	3,30
	l	32,00		l	32,00		l	32,00
4	a	0,28	13	a	0,25	22	a	0,25
	b	4,50		b	2,13		b	4,88
	l	33,00		l	33,00		l	31,50
5	a	0,26	14	a	0,25	23	a	0,22
	b	4,05		b	3,00		b	3,00
	l	32,00		l	32,50		l	31,50
6	a	0,24	15	a	0,26	24	a	0,24
	b	4,10		b	4,00		b	3,38
	l	32,50		l	32,50		l	32,00
7	a	0,26	16	a	0,24	25	a	0,22
	b	3,10		b	3,50		b	3,23
	l	32,00		l	32,00		l	32,00
8	a	0,24	17	a	0,25	$\bar{a} = 0,25 \text{ mm}$ $\bar{b} = 3,35 \text{ mm}$ $\bar{l} = 32,3 \text{ mm}$		
	b	3,50		b	2,38			
	l	32,50		l	33,00			
9	a	0,26	18	a	0,20			
	b	3,63		b	2,88			
	l	32,0		l	32,50			

Tablo.5

$\bar{a}$  = Çelik lifin ortalama et kalınlığı

$\bar{b}$  = Çelik lifin ortalama eni

$\bar{l}$  = Çelik lifin ortalama boyu

$d$  = Eşdeğer lif çapı = alanı, lif kesit alanına eşit bir dairenin çapı

$$a.b = \pi \times \frac{d^2}{4} \quad d^2 = \frac{4 \times 0,25 \times 3,35}{\pi} \quad d = 1,03 \text{ mm}$$

$$\frac{l}{d} = \frac{32,3}{1,03} = 31,3$$

### 3.3.2. Çelik lifin özgül ağırlığı :

Çelik lifin özgül ağırlığı, 3.2.3'den yararlanılarak  $\rho_{sf} = 5 \text{ g/cm}^3$  olarak saptanmıştır.

### 3.3.3. Çelik lifin mekanik özellikleri :

Çelik lifin, boyutu küçük olduğundan çekme mukavemetini saptamak için çekme deneyine tabi tutulamamıştır. Çekme deneyi yerine sertlik deneyi yapılmış ve bu yolla çekme mukavemeti tayin edilmiştir.

Deneyin nasıl yapıldığını daha iyi anlamak için öncelikle sertlik hakkında kısaca bilgi verilmesi uygun görülmüştür.

#### 3.3.3.a- Sertlik :

Sertlik, bir malzemenin yüzeyine batırılmak istenen sert bir cisme gösterdiği direnç olarak tanımlanır. (7)

Cisimlerin sertlikleri muhtelif metodlar uygulanarak ölçülebilir. Bu metodlar dayandıkları ilkelere göre üç gruba ayrılabilir.

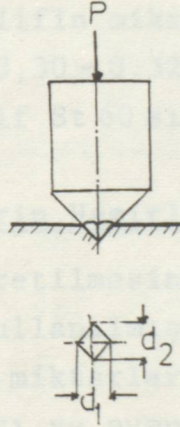
- Malzeme içine sert bir cisim kuvvet altında batırmak suretiyle yapılan sertlik deneyleri.
- Malzemenin yüzeyinde sert bir cisim çizerek yapılan sertlik deneyleri.
- Bir bilyanın cisim üzerine düşürmek ve sıçratmakla gerçekleştirilen sertlik deneyleri.

Burada Bu grup deneyler içinde metaller için en çok kullanılanları Brinell, Vickers ve Rockwell sertlik deneyleridir.(8)

Çelik life, boyutu küçük olduğundan Vickers sertlik deneyi uygulanmıştır.

### 3.3.3.b- Vickers Sertliği :

Bu yöntemde batıcı uç piramit şeklinde olup, elmastan yapılmıştır. Belirli bir yükü malzeme yüzeyine bastırılan batıcı uç Şekil 7'de görüldüğü gibi bir dörtgen oluşturur. Dörtgenin ortalaması  $(d = \frac{d_1 + d_2}{2})$  alınır.  $H_V = 1,854 \frac{P}{d^2}$  formülünde yerine konularak  $H_V$  sertlik sayısı hesaplanır. Burada yük, oluşan eğik yüzeyin alanına bölüldüğünden boyutu  $\text{kgf/mm}^2$  dir. (7)



Şekil 7

### 3.3.3.c- Sertlikle mukavemet arasındaki ilişki :

Sertlik bir malzemenin plastik şekil değiştirmeye karşı direnci ile ilgilidir. Akma sınırı da aynı biçimde tanımlanabilir. Akma sınırı yüksek, dolayısıyla, mukavemeti yüksek bir malzemenin sertliğinin de yüksek olması beklenir. Bu amaçla yapılan araştırmalar sonucunda yalnız çelikler için geçerli olan aşağıdaki bağıntı elde edilmiştir.

$$\sqrt{\sigma_s} = 0,35 H_B$$

Burada  $H_B$  Brinell sertliği ( $\text{kgf/mm}^2$ ),  $\sqrt{C}$  ise aynı malzemenin, çekme mukavemetidir ( $\text{kgf/mm}^2$ ). Deneyle ölçülen Rockwell ve Vickers sertlikleri tablolar yardımıyla Brinell sertliğine dönüştürülür ve yukarıdaki denklemde yerine konarak çeliklerin çekme mukavemeti oldukça iyi bir yaklaşımla bulunur.(7)

Bu bilgilere göre çelik life uygulanan Vickers sertlik deneyi ile malzemenin sertliği  $H_V = 180 \text{ kgf/mm}^2$  olarak bulunmuştur. Tablo yardımı ile Brinell sertliğine gidilmiştir. Tabloda  $H_V = 310 \text{ kgf/mm}^2$ 'ye kadar olan değerler  $H_B$ 'ye eşittir. Buna göre  $H_B = H_V = 180 \text{ kgf/mm}^2$  dir.

Buradan çelik lifin çekme mukavemeti :

$\sqrt{C} = 0,35 \times 180 = 63 \text{ kgf/mm}^2$  dir. Bu çekme mukavemetine göre çelik lif St 60 sınıfına girmektedir.

Ayrıca çelik lifin mikro yapısına bakılmış ve içindeki karbon miktarı %C, 0,30 - 0,32 olarak tesbit edilmiştir. Bu değere göre de çelik lif St 60 sınıfına girmektedir.(9)

#### 3.4. Numunelerin Hazırlanması ve Karışım Hesapları

Numunelerin üretilmesinde  $70 \times 70 \times 70 \text{ mm}$  ve  $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}$  boyutunda kalıplar kullanılmıştır. Çelik lif miktarı  $1 \text{ m}^3$  harçta  $S_f = 30 - 40 - 50 - 60 \text{ kg}$  miktarlarında konulmuştur. Tablo.6 ve Tablo.7'de deney grupları ve numune sayıları verilmiştir.

Grup	Basınç dayanımı deneyi		Aşınma deneyi	Su emme yüzdeleri ve donma çözülme deneyi
	7 G.	28 G.		
Şahit	6	6	6	6
30 $\text{kg/m}^3$	6	6	6	6
40 $\text{kg/m}^3$	6	6	6	6
50 $\text{kg/m}^3$	6	6	6	6
60 $\text{kg/m}^3$	6	6	6	6

Tablo 6.  $70 \times 70 \times 70 \text{ mm}$  boyutundaki numunelerin miktarı ve deney grupları

Grup	Eğilmede çekme dayanımı deneyi		Rötire deneyi
	7 G.	28 G.	
Şahit	6	6	3
30 kg/m <sup>3</sup>	6	6	3
40 kg/m <sup>3</sup>	6	6	3
50 kg/m <sup>3</sup>	6	6	3
60 kg/m <sup>3</sup>	6	6	3

Tablo 7. 40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerin miktarı ve deney grupları

3.4.1. Karışım hesapları :

Karışım hesapları ağırlık esasına göre yapılmıştır. Dozaj 400 kg ve  $w = \frac{S}{Ç} = 0,50$  olarak kabul edilmiştir.

70 x 70 x 70 mm boyutundaki numunelerin karışım hesapları:

$$\begin{aligned} W_{Ç} &= 400 \text{ kg} & \delta_k &= 2,6 \text{ g/cm}^3 & \Delta_k &= 1,72 \text{ g/cm}^3 \\ w &= 0,50 & \delta_{sf} &= 5 \text{ g/cm}^3 & V_b &= \% 1 \\ W_s &= 200 \text{ kg} & \delta_{çim} &= 3,15 \text{ g/cm}^3 & V_{num} &= 7 \times 7 \times 7 \\ & & & & &= 343 \text{ cm}^3 \\ & & & & &= 0,343 \text{ dm}^3 \end{aligned}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ harç} = V_k + V_{Ç} + V_s + V_b \quad (10)$$

$$1000 = V_k + \frac{400}{3,15} + 200 + 10$$

$$V_k = 663 \text{ dm}^3$$

1 numune için gerekli malzeme miktarları :

$$W_k = \frac{0,343}{1000} V_k \times \delta_k \quad W_k = \frac{0,343}{1000} \times 663 \times 2,6 = 0,59 \text{ kg}$$

$$W_{Ç} = \frac{0,343}{1000} \times 400 = 0,137 \text{ kg} \quad W_s = \frac{0,343}{1000} \times 200 = 0,068 \text{ kg}$$

1 numune için %10 arttırılmış malzeme miktarları :

$$W_{\zeta} = 150 \text{ g}$$

$$W_k = 650 \text{ g}$$

$$W_s = 75 \text{ g}$$

1 numune için gerekli çelik lif miktarı :

$$S_f = 30 \text{ kg/m}^3 \quad \text{için} \quad W_{sf} = \frac{0,343}{1000} \times 30 = 0,011 \text{ kg} = 11 \text{ g}$$

$$S_f = 40 \text{ kg/m}^3 \quad \text{için} \quad W_{sf} = \frac{0,343}{1000} \times 40 = 0,014 \text{ kg} = 14 \text{ g}$$

$$S_f = 50 \text{ kg/m}^3 \quad \text{için} \quad W_{sf} = \frac{0,343}{1000} \times 50 = 0,0175 \text{ kg} = 17,5 \text{ g}$$

$$S_f = 60 \text{ kg/m}^3 \quad \text{için} \quad W_{sf} = \frac{0,343}{1000} \times 60 = 0,021 \text{ kg} = 21 \text{ g}$$

40 x 40 x 160 mm boyutundaki numunelerin karışım hesabı :

$$W_{\zeta} = 400 \text{ kg}$$

$$\delta_k = 2,5 \text{ g/cm}^3$$

$$\Delta_k = 1,65 \text{ g/cm}^3$$

$$w = 0,50$$

$$\delta_{sf} = 5 \text{ g/cm}^3$$

$$V_b = \% 1$$

$$\delta_{\zeta im} = 3,15 \text{ g/cm}^3$$

$$V = 4 \times 4 \times 16 = 256 \text{ cm}^3 \\ = 0,256 \text{ dm}^3$$

$$1000 = V_k + \frac{400}{3,15} + 200 + 10$$

$$V_k = 663 \text{ dm}^3$$

1 numune için gerekli malzeme miktarı :

$$W_k = \frac{0,256}{1000} \times 663 \times 2,5 = 0,425 \text{ kg} = 425 \text{ g}$$

$$W_{\zeta} = \frac{0,256}{1000} \times 400 = 0,105 \text{ kg} = 105 \text{ g}$$

$$W_s = \frac{0,256}{1000} \times 200 = 0,053 = 53 \text{ g}$$

1 numune için gerekli çelik lif miktarı :

$$S_f = 30 \text{ kg/m}^3 \quad \text{için} \quad W_{sf} = \frac{0,256}{1000} \times 30 = 0,008 \text{ kg} = 8 \text{ g}$$

$$S_f = 40 \text{ kg/m}^3 \text{ için } W_{sf} = \frac{0,256}{1000} \times 40 = 0,010 \text{ kg} = 10 \text{ g}$$

$$S_f = 50 \text{ kg/m}^3 \text{ için } W_{sf} = \frac{0,256}{1000} \times 50 = 0,013 \text{ kg} = 13 \text{ g}$$

$$S_f = 60 \text{ kg/m}^3 \text{ için } W_{sf} = \frac{0,256}{1000} \times 60 = 0,015 \text{ kg} = 15 \text{ g}$$

### 3.5. Deney Aletleri, Yöntemleri ve Deney Sonuçları

#### 3.5.1. Basınç dayanımı deneyi :

70 x 70 x 70 mm boyutundaki numuneler 7-35 tonluk üniversal basınç aletinde basınç deneyine tabi tutuldu. Her gruptan 6 numune üzerinde yapılan basınç deneyinde bulunan değerlerin ortalaması alındı ( $\bar{\sigma}_b$ ). Her grup için standart sapma hesaplanarak % 90 güvenlikle normal dağılımda (gouss) güvenlik parametresi  $t = 1,65$  alınarak  $\sigma_{max}$  ve  $\sigma_{min}$  gerilmeleri hesaplandı (Tablo 8).

Çelik lif miktarının basınç dayanımına etkisi Şekil 8 ve 9'da verilmiştir.

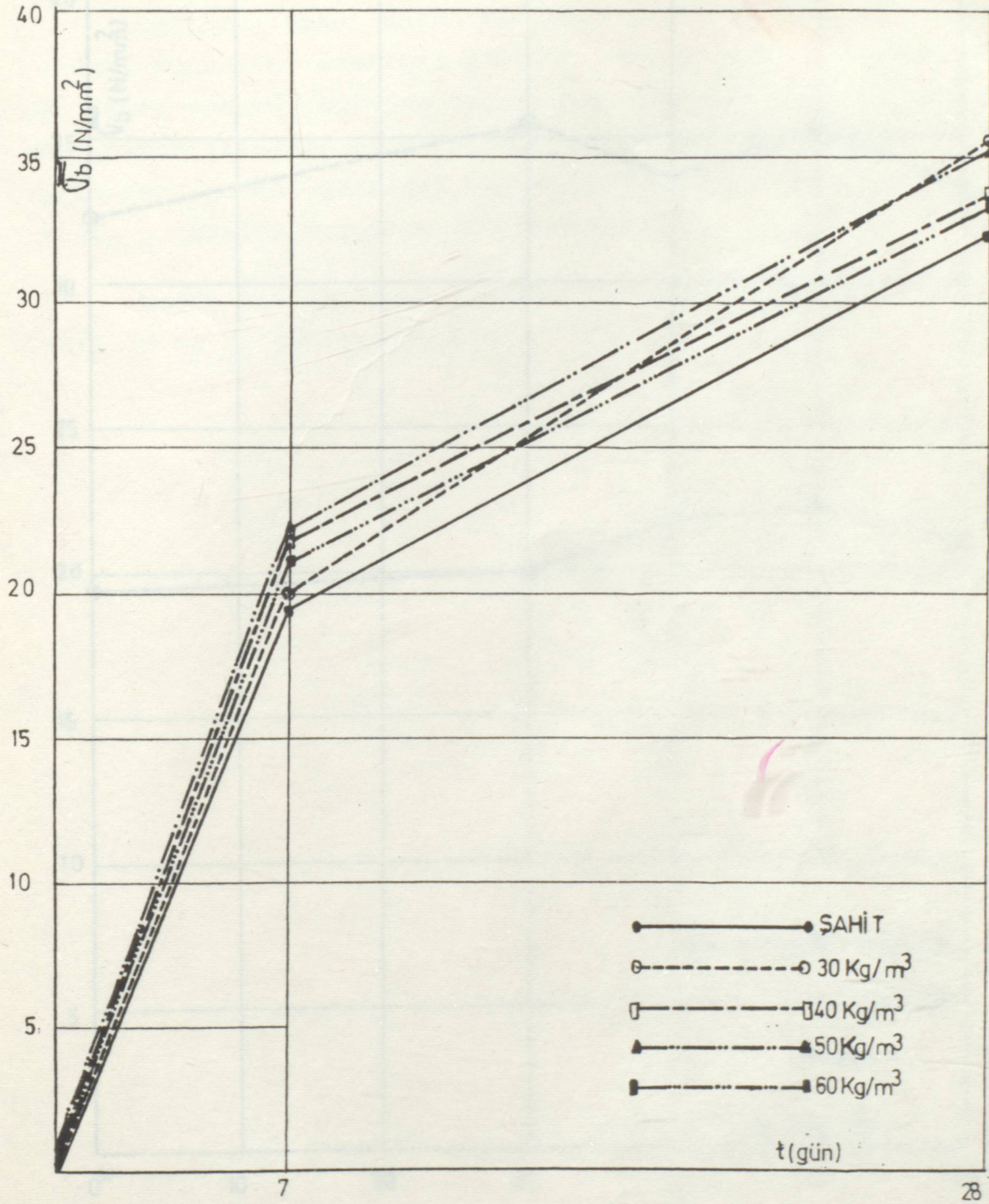
Burada,

$$\sigma_{max} = \bar{\sigma}_b + t S_{n-1}$$

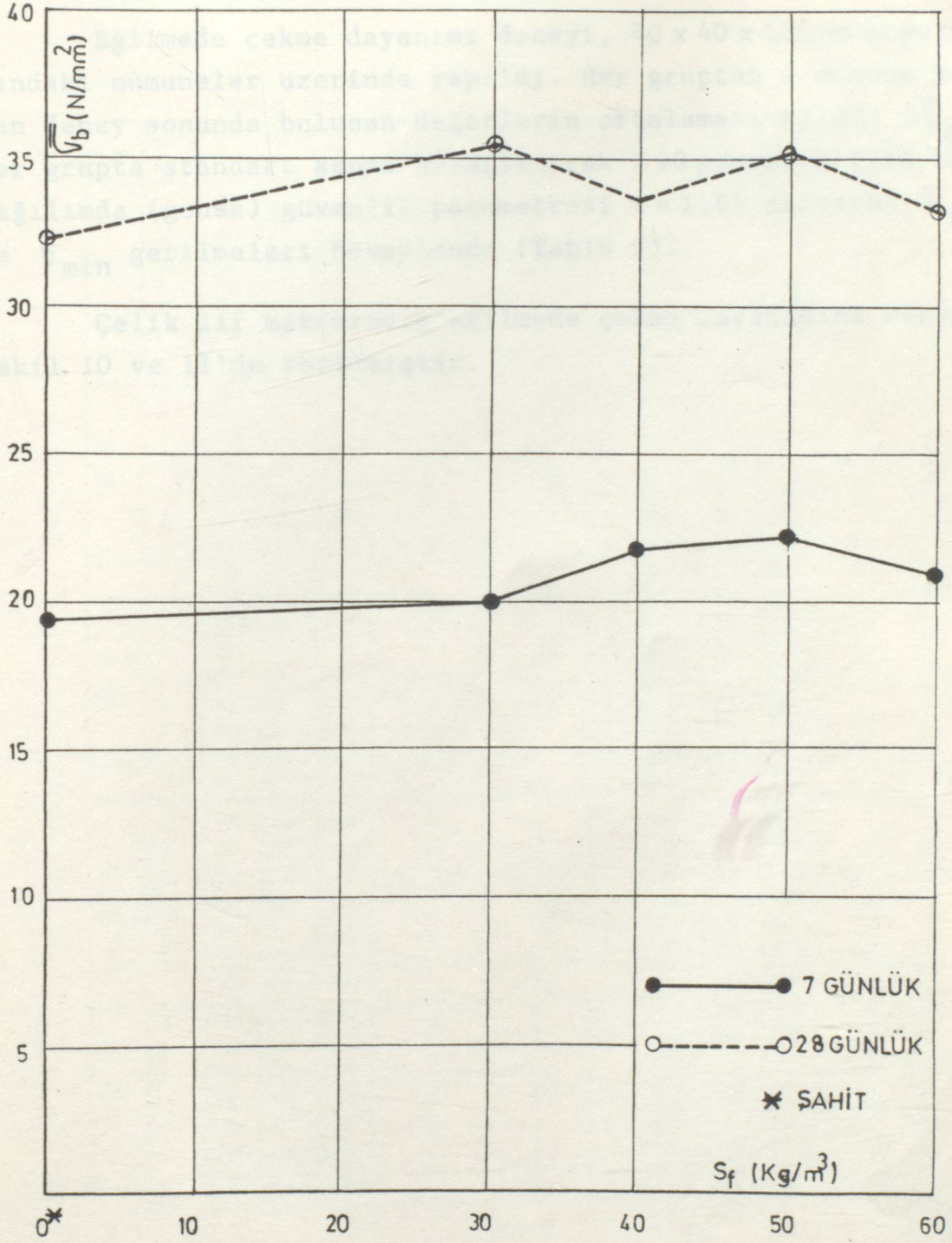
$$\sigma_{min} = \bar{\sigma}_b - t S_{n-1} \text{ dir.}$$

7 GÜNLÜK (Suda kür)							28 GÜNLÜK (Suda kür)						
GRUP	Numune No	P x 10 <sup>3</sup> N	$\bar{\sigma}_b$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_b$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_{min}$ N/mm <sup>2</sup>	GRUP	Numune No	P x 10 <sup>3</sup> N	$\bar{\sigma}_b$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_b$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{\sigma}_{min}$ N/mm <sup>2</sup>
Şahit	1	98	20				Şahit	1	126	25,7			
	2	100	20,41					2	162	33,06			
	3	91	18,57	20,62	19,52	18,42		3	173	35,31	37,86	32,31	26,76
	4	94	19,18					4	164	33,47			
	5	94	19,18					5	160	32,65			
	6	97	19,8					6	165	33,67			
$S_{n-1} = 0,67 \text{ N/mm}^2$							$S_{n-1} = 3,36 \text{ N/mm}^2$						
30 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	93	18,98				30 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	170	34,69			
	2	93	18,98					2	175	35,71			
	3	102	20,82	21,62	20,00	18,38		3	181	36,94	38,25	35,37	32,49
	4	105	21,43					4	185	37,76			
	5	98	20,00					5	164	33,47			
	6	97	19,80					6	165	33,67			
$S_{n-1} = 0,98 \text{ N/mm}^2$							$S_{n-1} = 1,75 \text{ N/mm}^2$						
40 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	104	21,22				40 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	170	34,69			
	2	110	22,45					2	181	36,94			
	3	111	22,65	23,14	21,84	20,54		3	165	33,67	37,35	33,57	29,79
	4	109	22,24					4	160	32,65			
	5	101	20,61					5	147	30,00			
	6	107	21,84					6	164	33,47			
$S_{n-1} = 0,79 \text{ N/mm}^2$							$S_{n-1} = 2,29 \text{ N/mm}^2$						
50 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	107	21,84				50 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	180	36,73			
	2	101	20,61					2	165	33,67			
	3	115	23,47	24,16	22,24	20,32		3	171	34,90	37,28	35,1	32,92
	4	106	21,63					4	164	33,47			
	5	109	22,24					5	176	35,92			
	6	116	23,67					6	176	35,92			
$S_{n-1} = 1,16 \text{ N/mm}^2$							$S_{n-1} = 1,32 \text{ N/mm}^2$						
60 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	114	23,27				60 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$	1	167	34,08			
	2	109	22,24					2	167	34,08			
	3	99	20,20	24,0	21,16	18,32		3	162	33,06	35,25	33,13	31,01
	4	110	22,45					4	160	32,65			
	5	93	18,98					5	167	30,82			
	6	97	19,80					6	151	30,82			
$S_{n-1} = 1,72 \text{ N/mm}^2$							$S_{n-1} = 1,29 \text{ N/mm}^2$						

Tablo 8



Şekil 8. Çelik lif miktarının basınç dayanımına etkisi  
( $\bar{\sigma}_b - t$ )



Şekil 9. Çelik lif miktarının basınç dayanımına 7. ve 28.günlerdeki etkisi. ( $\bar{\sigma}_b - S_f$ ).

3.5.2. Eğilmede çekme dayanımı deneyi :

Eğilmede çekme dayanımı deneyi, 40 x 40 x 160 mm boyutlarındaki numuneler üzerinde yapıldı. Her gruptan 6 numune yapılan deney sonunda bulunan değerlerin ortalaması alındı ( $\bar{\sigma}_{\zeta}$ ). Her grupta standart sapma hesaplanarak % 90 güvenlik için normal dağılımda (gouss) güvenlik parametresi  $t = 1,65$  alınarak  $\sigma_{\max}$  ve  $\sigma_{\min}$  gerilmeleri hesaplandı (Tablo 9).

Çelik lif miktarının eğilmede çekme dayanımına etkisi Şekil-10 ve 11'de verilmiştir.

7 GÜNLÜK (Suda kür)								28 GÜNLÜK (Suda kür)							
GRUP	Numune No	P N	M x 10 <sup>2</sup> N mm	$\bar{V}_\zeta$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_\zeta$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_{min}$ N/mm <sup>2</sup>	GRUP	Numune No	P N	M x 10 <sup>2</sup> N mm	$\bar{V}_\zeta$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_{max}$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_\zeta$ N/mm <sup>2</sup>	$\bar{V}_{min}$ N/mm <sup>2</sup>
Şahit	1	780	312	2,92				Şahit	1	890	356	3,34			
	2	780	312	2,92					2	1360	544	5,09			
	3	860	344	3,22	3,84	3,15	2,46		3	1150	460	4,31	5,03	3,95	2,87
	4	800	320	3,00					4	920	368	3,45			
	5	770	308	2,89					5	1020	408	3,82			
	6	1060	424	3,97					6	980	392	3,67			
$S_{n-1} = 0,42 \text{ N/mm}^2$								$S_{n-1} = 0,66 \text{ N/mm}^2$							
30 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	800	320	3,00				30 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	1090	436	4,09			
	2	810	324	3,04					2	930	372	3,49			
	3	760	304	2,85	3,32	2,98	2,64		3	980	392	3,67	4,39	3,91	3,43
	4	750	300	2,81					4	1050	420	3,94			
	5	750	300	2,81					5	1050	420	3,94			
	6	890	356	3,34					6	1150	460	4,31			
$S_{n-1} = 0,20 \text{ N/mm}^2$								$S_{n-1} = 0,29 \text{ N/mm}^2$							
40 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	990	396	3,71				40 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	1070	428	4,01			
	2	750	300	2,81					2	1110	444	4,16			
	3	1010	404	3,79	3,97	3,27	2,57		3	1080	438	4,11	4,49	4,15	3,81
	4	750	300	2,81					4	1040	416	3,90			
	5	840	336	3,15					5	1200	480	4,50			
	6	900	360	3,37					6	1130	452	4,24			
$S_{n-1} = 0,43 \text{ N/mm}^2$								$S_{n-1} = 0,21 \text{ N/mm}^2$							
50 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	750	300	2,81				50 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	1270	508	4,46			
	2	720	288	2,70					2	1180	472	4,42			
	3	800	320	3,00	3,19	2,89	2,59		3	930	372	3,49	5,52	4,42	3,62
	4	760	304	2,85					4	1250	500	4,69			
	5	850	340	3,19					5	1170	468	4,39			
	6	740	296	2,77					6	1270	508	4,76			
$S_{n-1} = 0,18 \text{ N/mm}^2$								$S_{n-1} = 0,48 \text{ N/mm}^2$							
60 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	980	392	3,67				60 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$	1	1020	408	3,82			
	2	690	276	2,59					2	1140	456	4,27			
	3	750	300	2,81	3,82	3,08	2,34		3	1260	504	4,27	5,53	4,65	3,77
	4	790	316	2,96					4	1320	528	4,95			
	5	930	372	3,49					5	1290	516	4,84			
	6	710	284	2,66					6	1420	568	5,32			
$S_{n-1} = 0,45 \text{ N/mm}^2$								$S_{n-1} = 0,53 \text{ N/mm}^2$							

Tablo 9

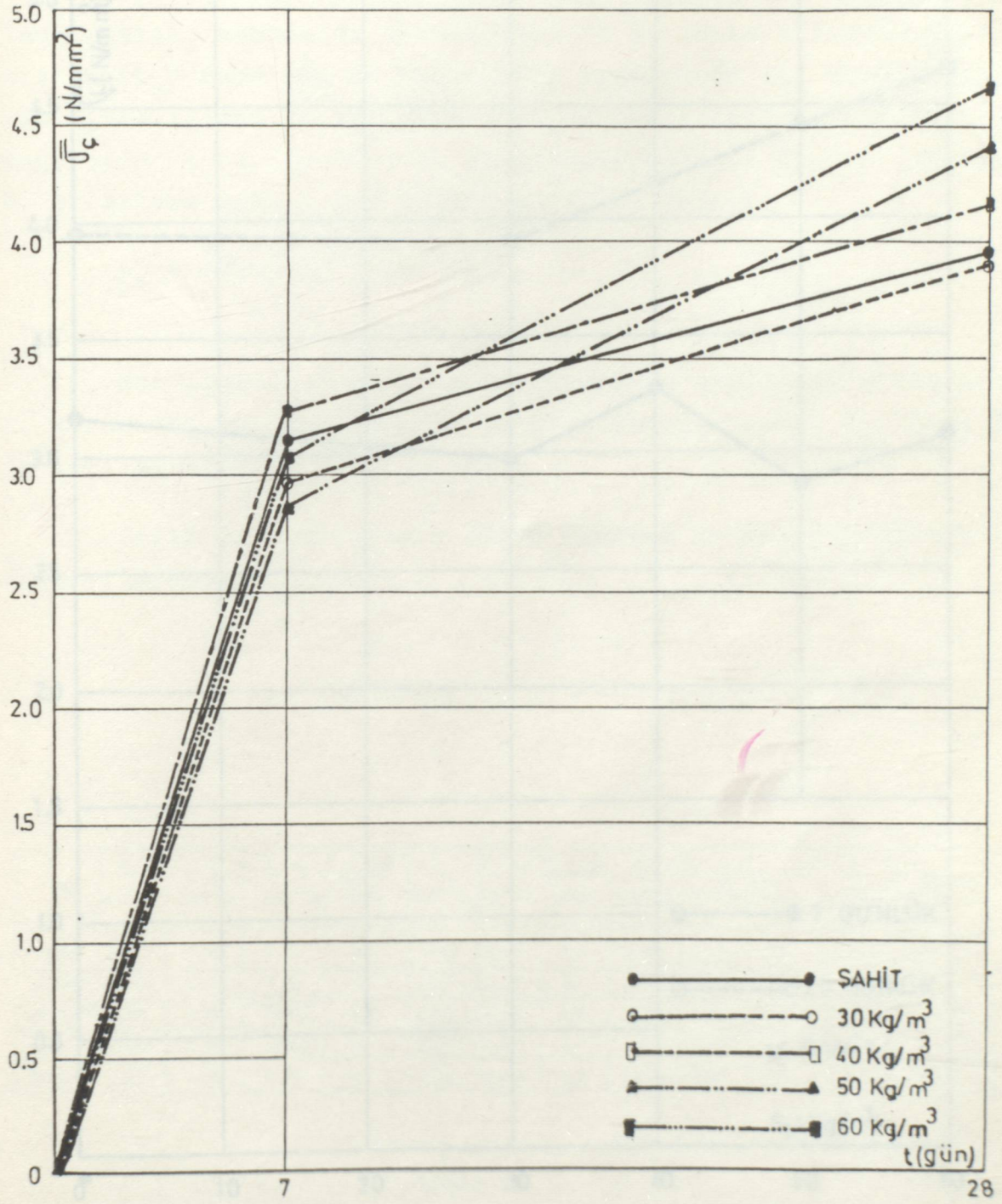
$$\bar{V}_{max} = \bar{V}_\zeta + t S_{n-1}$$

$$\bar{V}_{min} = \bar{V}_\zeta - t S_{n-1}$$

$$M = \text{Eğilme momenti } \left( \frac{P \times L}{4} \right)$$

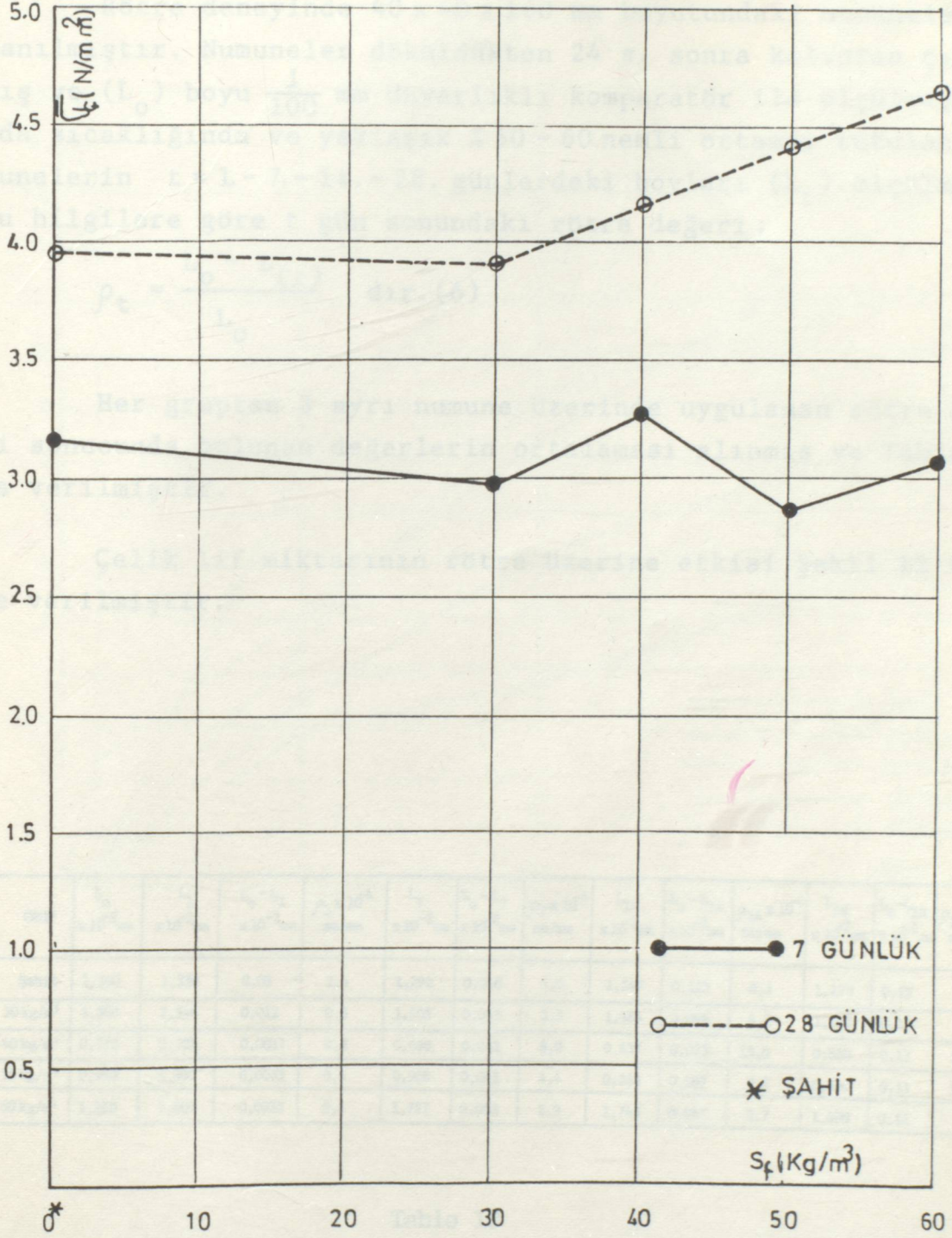
P = Prizmanın ortasına uygulanan kuvvet

L = Destek silindirleri arasındaki uzaklık



Şekil 10. Çelik lif miktarının eğilmede çekme dayanımına etkisi. ( $\bar{\sigma}_\zeta - t$ ).

3.9.3: Etilme deneyi :



Şekil 11. Çelik lif miktarının eğilmede çekme dayanımına 7. ve 28. günlerdeki etkisi. ( $\bar{\sigma}_\zeta - S_f$ ).

### 3.5.3. Rötire deneyi :

Rötire deneyinde 40 x 40 x 160 mm boyutundaki numuneler kullanılmıştır. Numuneler döküldükten 24 s. sonra kalıptan çıkarılmış ve ( $L_0$ ) boyu  $\frac{1}{100}$  mm duyarlıklı komparatör ile ölçülmüştür. Oda sıcaklığında ve yaklaşık % 50 - 60 nemli ortamda tutulan numunelerin  $t = 1 - 7 - 14 - 28$ . günlerdeki boyları ( $L_t$ ) ölçülmüştür. Bu bilgilere göre  $t$  gün sonundaki rötire değeri :

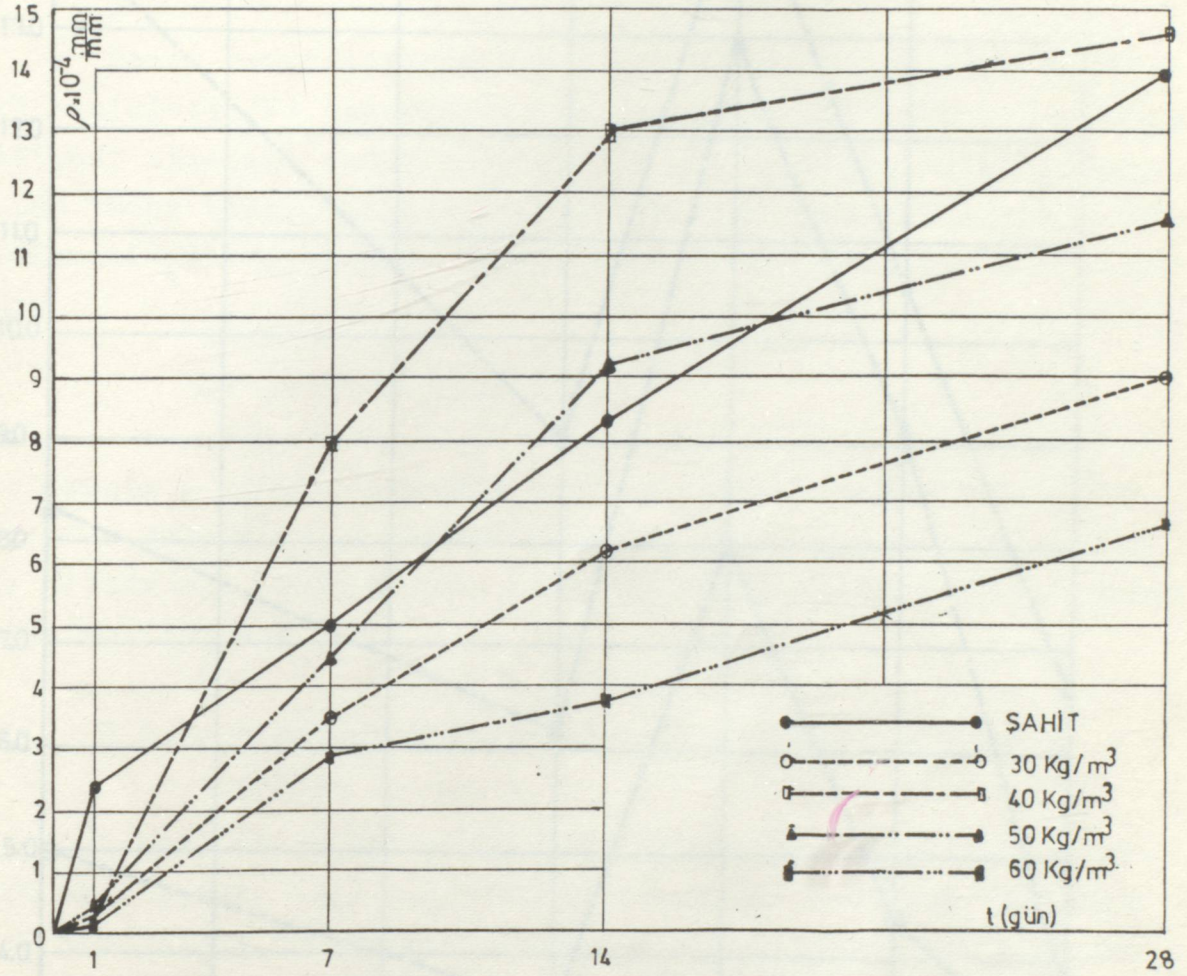
$$\rho_t = \frac{L_0 - L(t)}{L_0} \text{ dır. (6)}$$

Her gruptan 3 ayrı numune üzerinde uygulanan rötire deneyi sonucunda bulunan değerlerin ortalaması alınmış ve Tablo 10' da verilmiştir.

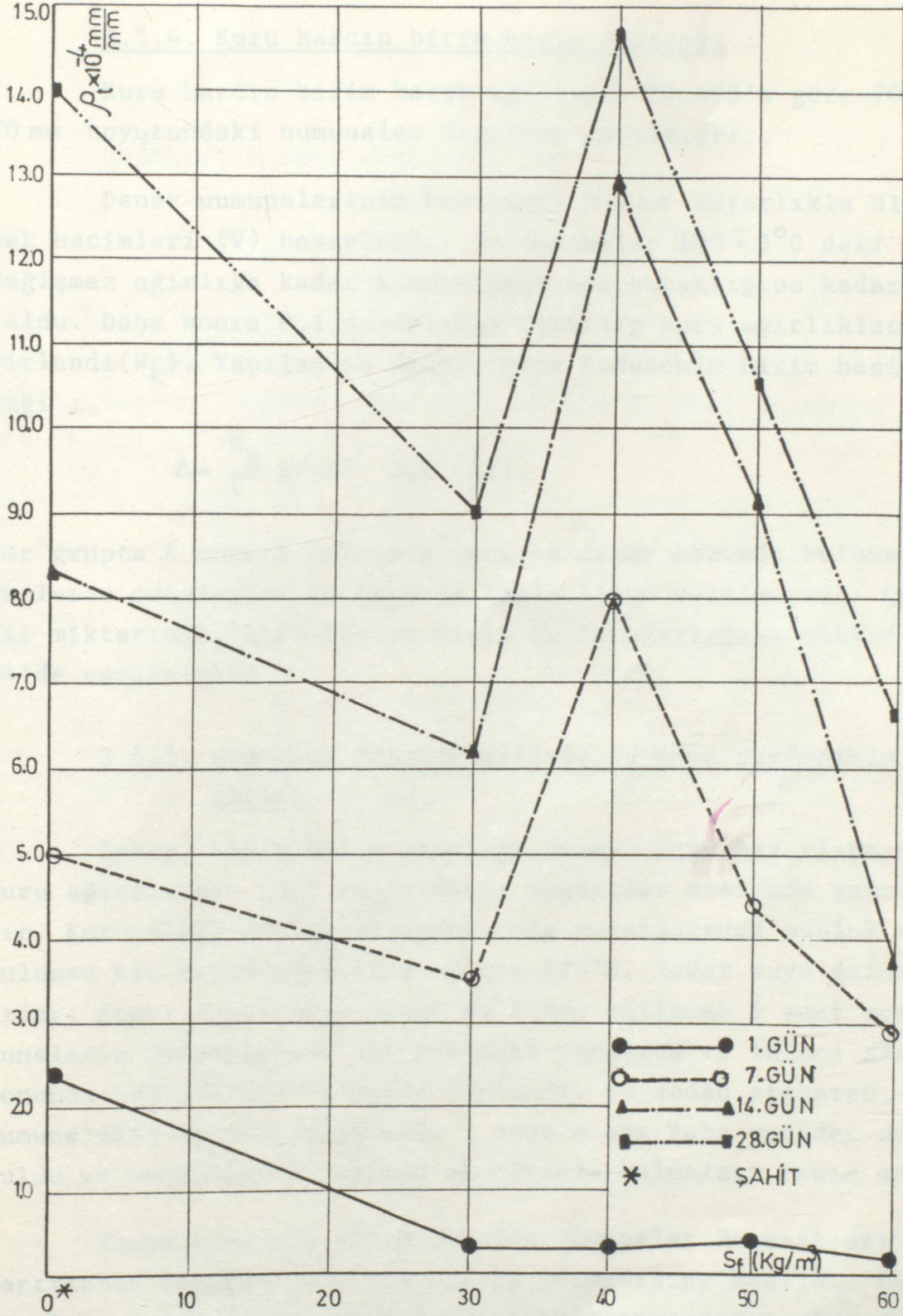
Çelik lif miktarının rötire üzerine etkisi Şekil 12 ve 13' de verilmiştir.

GRUP	$L_0$ $\times 10^{-2}$ mm	$L_1$ $\times 10^{-2}$ mm	$L_0 - L_1$ $\times 10^{-2}$ mm	$\rho_1 \times 10^{-4}$ mm/mm	$L_7$ $\times 10^{-2}$ mm	$L_0 - L_7$ $\times 10^{-2}$ mm	$\rho_7 \times 10^{-4}$ mm/mm	$L_{14}$ $\times 10^{-2}$ mm	$L_0 - L_{14}$ $\times 10^{-2}$ mm	$\rho_{14} \times 10^{-4}$ mm/mm	$L_{28}$ $\times 10^{-2}$ mm	$L_0 - L_{28}$ $\times 10^{-2}$ mm	$\rho_{28} \times 10^{-4}$ mm/mm
Şahit	1,360	1,330	0,03	2,4	1,292	0,068	5,0	1,247	0,113	8,3	1,170	0,19	14
30 kg/m <sup>3</sup>	1,560	1,548	0,012	0,3	1,505	0,055	3,5	1,464	0,096	6,2	1,420	0,14	9
40 kg/m <sup>3</sup>	0,730	0,728	0,0017	0,3	0,668	0,062	8,0	0,637	0,093	13,0	0,620	0,11	14,6
50 kg/m <sup>3</sup>	0,950	0,947	0,0033	0,4	0,908	0,042	4,4	0,863	0,087	9,2	0,840	0,11	11,6
60 kg/m <sup>3</sup>	1,810	1,807	0,0033	0,2	1,757	0,053	2,9	1,743	0,067	3,7	1,690	0,12	6,6

Tablo 10



Şekil 12 . Çelik lif miktarının rötire üzerine etkisi.  
( $\rho_t - t$ ).



Şekil 13 . Çelik lif miktarının rötre üzerine 1.-7.-14.-28. günlerdeki etkisi ( $\rho_t - S_f$ ).

#### 3.5.4. Kuru harcın birim hacim ağırlığı :

Kuru harcın birim hacim ağırlığı, TS.699'a göre 70 x 70 x 70 mm boyutundaki numuneler üzerinde yapılmıştır.

Deney numunelerinin boyutları 0,1mm duyarlıkla ölçülerek hacimleri (V) hesaplandı. Bu numuneler  $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$  deki etüvde değişmez ağırlığa kadar kurutulularak oda sıcaklığına kadar soğutuldu. Daha sonra 0,1 duyarlıkla tartılıp kuru ağırlıkları belirlendi ( $W_k$ ). Yapılan bu deneye göre numunenin birim hacim ağırlığı :

$$\Delta = \frac{W_k}{V} \text{ g/cm}^3 \text{ dür (11).}$$

Her grupta 6 numune üzerinde yapılan deney sonunda bulunan değerlerin ortalaması alınmış ve Tablo 11'de verilmiştir. Çelik lif miktarının, kuru harcın birim hacim ağırlığına etkisi Şekil 14'de verilmiştir.

#### 3.5.5. Atmosfer basıncı altında su emme yüzdesinin tayini :

Deney, birim hacim ağırlığı deneyi için hazırlanmış ve kuru ağırlıkları ( $W_k$ ) belirlenmiş numuneler üzerinde yapılmıştır. Kurutulmuş numuneler içinde oda sıcaklığında musluk suyu bulunan bir kaptaki yüksekliklerinin 1/4'ü, kadar suya daldırıldılar. Sonra kaba yavaş yavaş su ilave edilerek 1 saat sonra numunelerin yüksekliklerinin yaklaşık yarısına ve ikinci saatin sonunda ise 3/4'üne ulaşması sağlandı. Bu andan itibaren, yani numunelerin suya konulduğundan 2 saat sonra kaba yeniden su konuldu ve numunelerin tamamen su altında kalmaları temin edildi.

Tamamen su altında bırakılan numuneler 24 saat ara ile tartılarak değişmez ağırlığa gelip gelmediğine bakıldı. Değişmez ağırlığa gelen numuneler 0,1 duyarlıkla tartılarak suya doymuş ağırlıkları tesbit edildi ( $W_d$ ).

Yapılan bu deneye göre atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme yüzdesi ;

$$a_s = \frac{W_d - W_k}{W_k} \times 100 \quad (\%) \quad (11)$$

Hacimce su emme yeteneği ise,

$$h_s = a_s \cdot \Delta \quad (\%)$$

Her gruptan 6 numune üzerinde yapılan deney sonunda bulunan değerlerin ortalaması alınmış ve Tablo 11'de verilmiştir. elik lif miktarının atmosfer basıncı altında su emme yzdelerine etkisi Şekil 15 ve 16'da verilmiştir.

Grup	$W_k$ g	V $cm^3$	$\Delta$ $g/cm^3$	$W_d$ g	$a_s$ %	$h_s$ %
Şahit	772,2	343	2,25	809,3	4,8	10,8
30 kg/m <sup>3</sup>	781,6	343	2,28	819,5	4,8	10,9
40 kg/m <sup>3</sup>	781,1	343	2,28	817	4,6	10,5
50 kg/m <sup>3</sup>	789,5	343	2,30	825,4	4,5	10,4
60 kg/m <sup>3</sup>	788,4	343	2,30	822,4	4,3	10,0

Tablo 11

$W_k$  = Numunenin kuru ağırlığı (g)

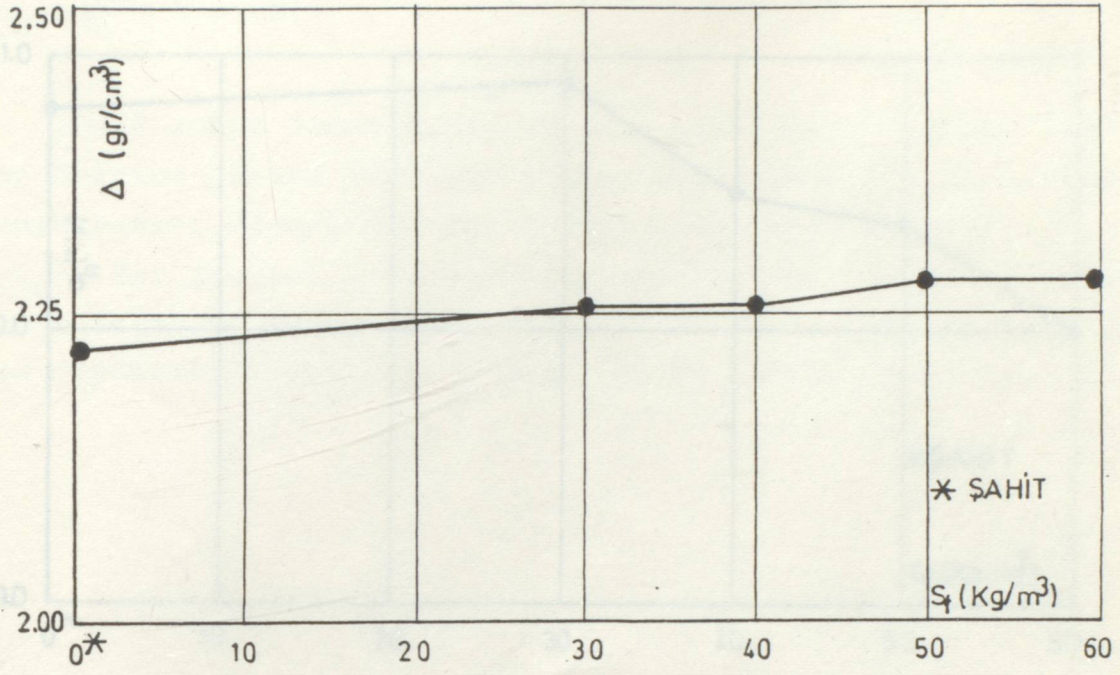
$W_d$  = Numunenin suya doymuş ağırlığı (g)

V = Numunenin hacmi ( $cm^3$ )

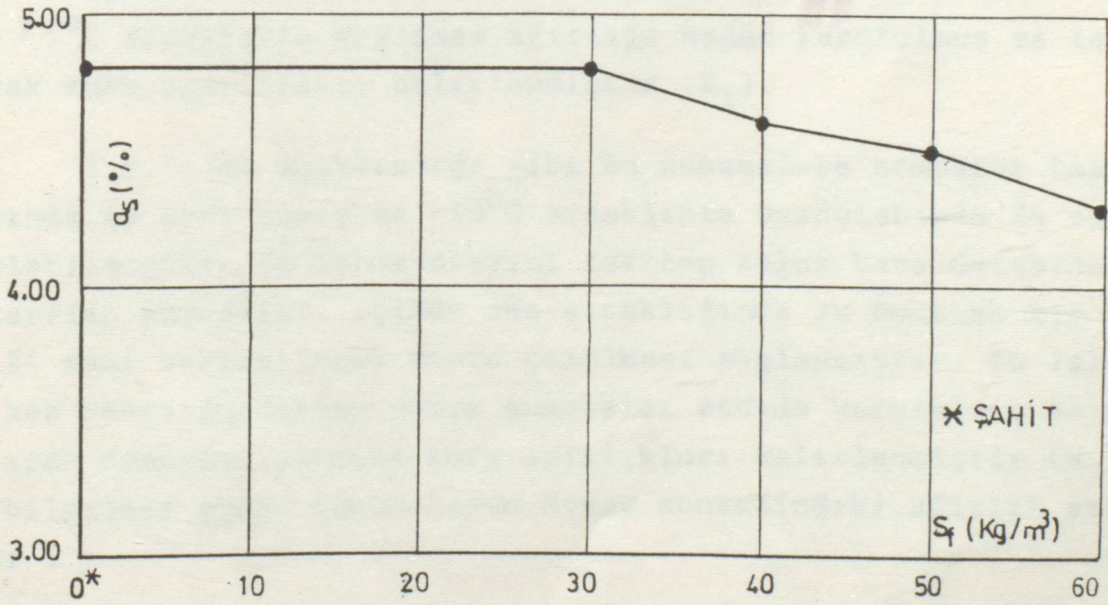
$\Delta$  = Numunenin birim hacim ağırlığı ( $g/cm^3$ )

$a_s$  = Atmosfer basıncı altında ağırlıkça su emme yzdesi (%)

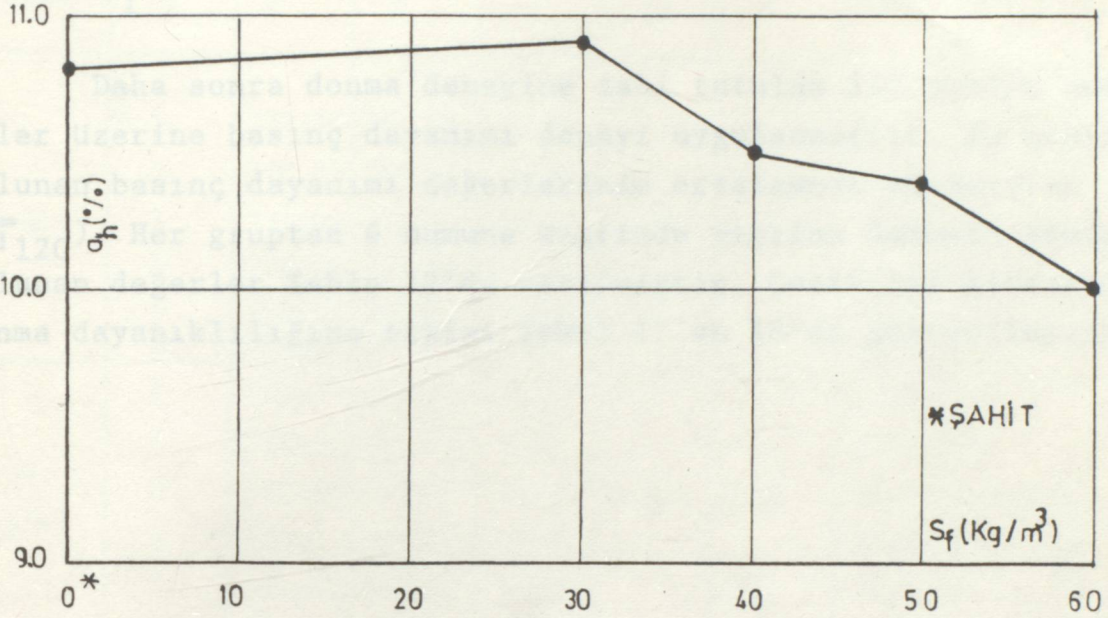
$h_s$  = Atmosfer basıncı altında hacimce su emme yzdesi (%)



Şekil 14. Çelik lif miktarının kuru harcın birim hacim ağırlığı üzerine etkisi ( $\Delta - S_f$ )



Şekil 15. Çelik lif miktarının ağırlıkça su emme yüzdesi üzerine etkisi ( $a_s - S_f$ ).



Şekil 16. Çelik lif miktarının hacimce su emme yüzdesi üzerine etkisi ( $a_h - S_f$ ).

### 3.5.6. Donma dayanıklılık tayini deneyi :

70 x 70 x 70 mm boyutundaki deney numuneleri, etüvde  $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta değişmez ağırlığa kadar kurutulmuş ve tartılarak kuru ağırlıkları belirlenmiştir ( $W_1$ ).

3.5.5.'de açıklandığı gibi bu numunelere atmosfer basıncı altında su emdirilmiş ve  $-10^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta buzdolabında 24 saat bekletilmiştir. Bu donma olayını takiben soğuk hava dolabından çıkarılan numuneler, içinde oda sıcaklığında su bulunan bir kabta 24 saat bekletilerek donun çözülmesi sağlanmıştır. Bu işlem 20 kez tekrarlandıktan sonra numuneler etüvde kurutulmuş ve tartılarak deneyden sonraki kuru ağırlıkları belirlenmiştir ( $W_2$ ). Bu bilgilere göre, numunelerin deney sonrasındaki ağırlık azalması :

$$\Delta W = W_1 - W_2 \text{ (g)}$$

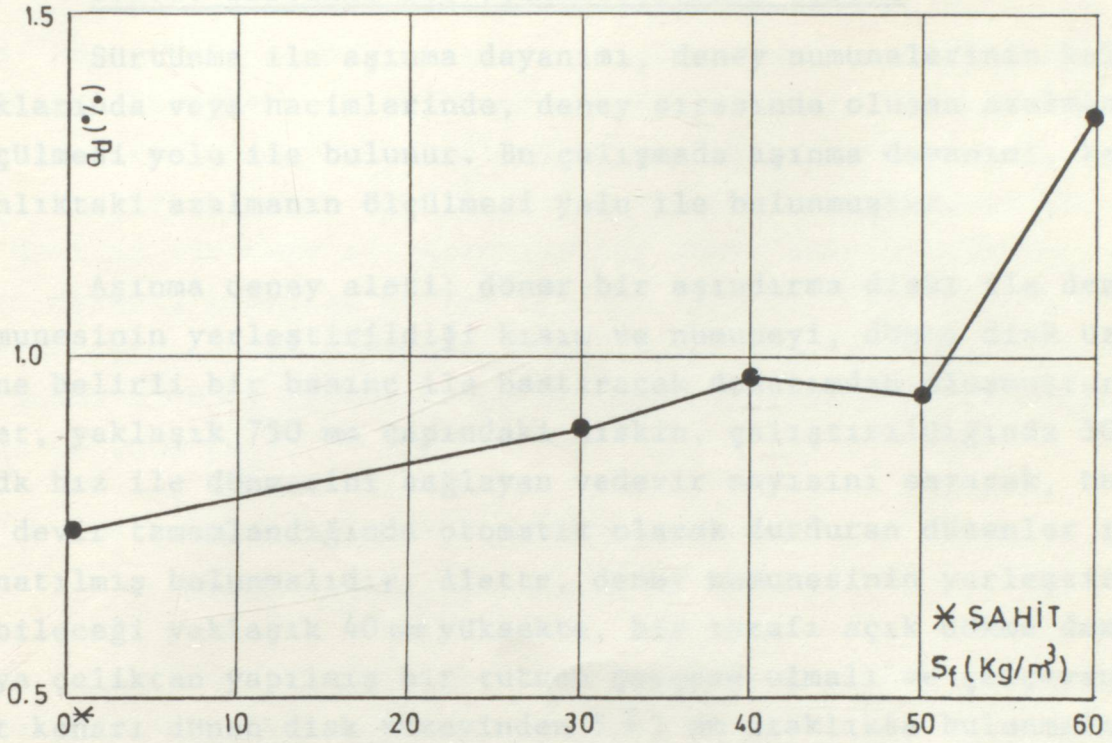
Ağırlık azalması, ağırlık yüzdesi olarak :

$$a_d = \frac{\Delta W}{W_1} \times 100 (\%)$$

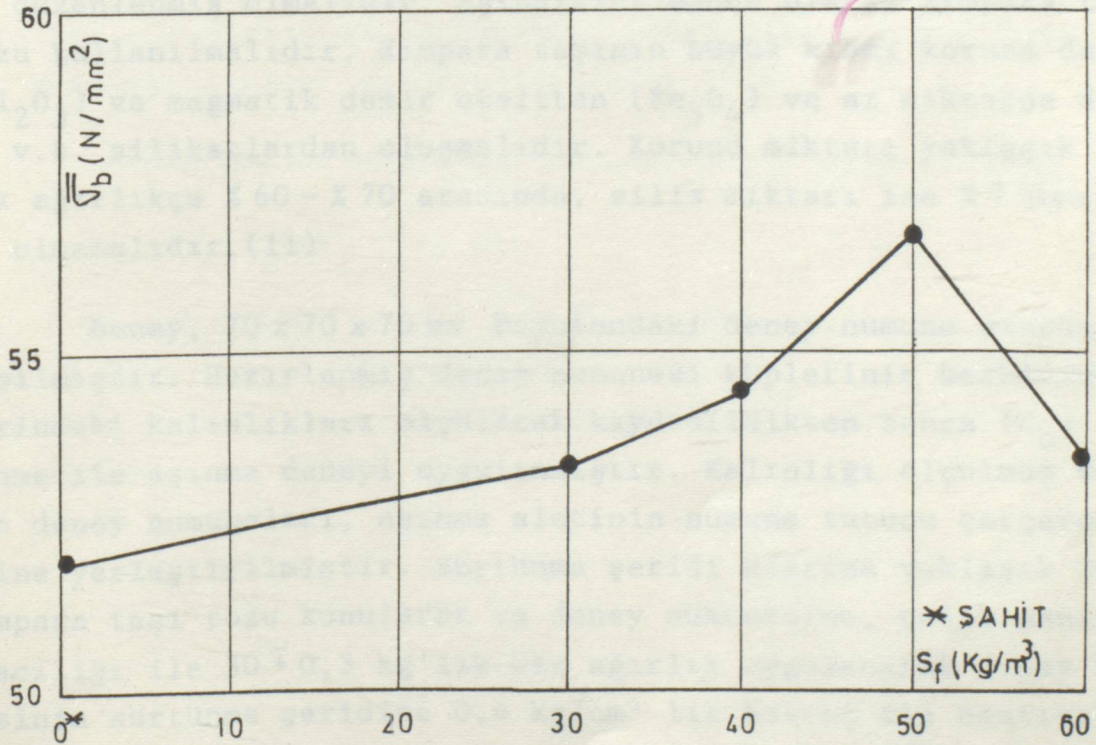
Daha sonra donma deneyine tabi tutulan 120 günlük numuneler üzerine basınç dayanımı deneyi uygulanmıştır. Bu şekilde bulunan basınç dayanımı değerlerinin ortalaması alınmıştır ( $\bar{\sigma}_{120}$ ). Her gruptan 6 numune üzerinde yapılan deneyin sonunda bulunan değerler Tablo 12'de verilmiştir. Çelik lif miktarının donma dayanıklılığına etkisi Şekil 17 ve 18'de gösterilmiştir.

GRUP	Numune No	W <sub>1</sub> g	W <sub>2</sub> g	ΔW g	$\overline{\Delta W}$ g	a <sub>d</sub> %	$\overline{U_b}$ 120 N/mm <sup>2</sup>	$\overline{U_b}$ 120 N/mm <sup>2</sup>
Şahit	1	773,75	768,40	5,35	5,74	0,74	53,06	51,90
	2	770,55	764,60	5,95				
	3	771,90	765,70	6,2				
	4	776,05	770,30	5,75				
	5	770,55	764,0	6,55				
	6	770,05	765,40	4,65				
30 kg/m <sup>3</sup>	1	790,0	782,15	6,15	6,98	0,89	57,55	53,30
	2	774,30	768,15	6,15				
	3	775,25	767,9	7,35				
	4	789,0	782,50	6,50				
	5	782,40	775,15	7,25				
	6	778,8	772,0	6,8				
40 kg/m <sup>3</sup>	1	782,70	775,40	7,3	7,61	0,97	53,27	54,39
	2	777,50	769,55	7,95				
	3	776,20	768,30	7,90				
	4	784,20	776,85	7,35				
	5	784,30	778,9	5,40				
	6	784,30	771,95	9,80				
50 kg/m <sup>3</sup>	1	769,8	789,6	7,20	7,39	0,94	56,53	56,70
	2	787,50	781,0	6,50				
	3	788,70	781,25	7,45				
	4	791,4	783,70	7,70				
	5	784,8	777,0	7,80				
	6	788,0	780,3	7,70				
60 kg/m <sup>3</sup>	1	794,20	783,95	10,25	10,61	1,35	53,47	53,39
	2	793,0	781,95	11,05				
	3	790,80	778,90	11,90				
	4	786,80	776,35	10,45				
	5	775,50	765,40	10,10				
	6	790,20	780,30	9,90				

Tablo 12



Şekil 17. Çelik lif miktarının donmaya dayanıklılık üzerine etkisi ( $a_d - S_f$ )



Şekil 18. Çelik lif miktarının donmaya dayanıklılık üzerine etkisi ( $\bar{\sigma}_b - S_f$ )

### 3.5.7. Sürtünme ile aşınma dayanımı deneyi :

Sürtünme ile aşınma dayanımı, deney numunelerinin kalınlıklarında veya hacimlerinde, deney sırasında oluşan azalmanın ölçülmesi yolu ile bulunur. Bu çalışmada aşınma dayanımı, kalınlıktaki azalmanın ölçülmesi yolu ile bulunmuştur.

Aşınma deney aleti; döner bir aşındırma diski ile deney numunesinin yerleştirildiği kısım ve numuneyi, dönen disk üzerine belirli bir basınç ile bastıracak donatımdan oluşmuştur. Alet, yaklaşık 750 mm çapındaki diskin, çalıştırıldığında  $30 \pm 1$  d/dk hız ile dönmelerini sağlayan vedevir sayısını sayarak, her 22 devir tamamlandığında otomatik olarak durduran düzenler ile donatılmış bulunmalıdır. Alette, deney numunesinin yerleştirilebileceği yaklaşık 40 mm yüksekte, bir tarafı açık dökme demir veya çelikten yapılmış bir tutucu çerçeve olmalı ve çerçevenin alt kenarı dönen disk yüzeyinden  $5 \pm 1$  mm uzaklıkta bulunmalıdır.

Kısa kolunda karşı ağırlık bulunan, çelikten bir manivela, deney numunesine  $30 \pm 0,3$  kg kadar bir yük etki edecek şekilde düzenlenmiş olmalıdır. Aşındırıcı madde olarak zımpara taşı tozu kullanılmalıdır. Zımpara taşının büyük kısmı korund'dan ( $Al_2O_3$ ) ve magmatik demir oksitten ( $Fe_3O_4$ ) ve az miktarda da mika v.b. silikatlardan oluşmalıdır. Korund miktarı yaklaşık olarak ağırlıkça % 60 - % 70 arasında, silis miktarı ise % 7'den fazla olmamalıdır.(11)

Deney, 70 x 70 x 70 mm boyutundaki deney numune üzerinde yapılmıştır. Hazırlanmış deney numunesi küplerinin herbirinin 9 yerindeki kalınlıkları ölçülerek kaydedildikten sonra ( $d_0$ ) sürtünme ile aşınma deneyi uygulanmıştır. Kalınlığı ölçülmüş bulunan deney numuneleri, aşınma aletinin numune tutucu çerçevesi içine yerleştirilmiştir. Sürtünme şeridi üzerine yaklaşık 20 g zımpara taşı tozu konularak ve deney numunesine, çelik manivela aracılığı ile  $30 \pm 0,3$  kg'lık bir ağırlık uygulanarak deney numunesinin sürtünme şeridine  $0,6$  kg/cm<sup>2</sup> lik basınç ile bastırılması sağlandıktan sonra, alet çalıştırılıp disk harekete geçirildi.

Her 22 devir sonunda otomatik olarak duran disk ve sürtünme şeridi üzerindeki zımpara tozları ve deney numunesinden ayrılan kısımlar temizlenerek sürtünme şeridine tekrar 20 g zımpara tozu konularak, deney numunesi düşey eksenini etrafından  $90^{\circ}$  çevrilerek suretiyle 22 şer devirlik 20 aşındırma periyodu uygulandı. Bu şekilde sürtünme ile aşındırılmış deney numunesinin üzerindeki aşınmış kısımlar ve taş tozları sert bir kıl fırça ile temizlendikten sonra numunelerin kalınlığı yine 9 yerden ölçülür. Bu dokuz ölçünün aritmetik ortalaması alınarak numunenin kalınlığı bulunur ( $d_a$ ).

Kalınlık cinsinden aşınma dayanımı :

$$d = d_o - d_a \text{ (cm)}$$

Deney numunesinin  $50 \text{ cm}^2$  lik aşınma yüzünde meydana gelecek hacim azalması cinsinden aşınma dayanımı :

$$\Delta V = (d_o - d_a) \cdot 50 (\text{cm}^3 / 50 \text{ cm}^2) \quad (11)$$

Ayrıca numunelerin deneye tabi tutulmadan önceki kuru ağırlıkları belirlenmiştir ( $W_1$ ). Deneyden sonra aşındırılmış numunelerin kuru ağırlıkları da belirlenmiştir ( $W_2$ ).

Aşınma deneyi sonundaki numunelerdeki ağırlık kaybı :

$$\Delta W = W_1 - W_2 \quad (\text{g}) \text{ dir.}$$

Her gruptan 6 numune üzerinde uygulanan deney sonucunda bulunan değerlerin ortalaması alınarak Tablo 13'de verilmiştir. Çelik lif miktarının aşınma dayanımına etkisi Şekil 19 ve 20'de verilmiştir.

GRUP	Numune No	W <sub>1</sub> g	W <sub>2</sub> g	ΔW g	ΔW <sub>ort</sub> g	d <sub>o</sub> cm	d <sub>a</sub> cm	ΔV cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup>	ΔV <sub>ort</sub> cm <sup>3</sup> / 50 cm <sup>2</sup>
Şahit	1	762,7	746,8	15,9	16,5	7,00	6,92	4	3,3
	2	755,5	739,1	16,4		7,00	6,97	1,5	
	3	756,3	741,2	15,1		7,05	7,00	2,5	
	4	764,0	746,9	17,1		7,02	6,96	3,0	
	5	758,1	740,1	18,0		7,05	6,96	4,5	
	6	760,9	744,6	16,3		7,05	6,96	4,5	
30 kg/m <sup>3</sup>	1	765,9	746,8	19,1	18,5	7,00	6,93	3,5	3,6
	2	773,9	755,2	18,7		7,00	6,93	3,5	
	3	769,1	751,9	17,2		7,00	6,94	3,0	
	4	772,5	753,4	19,1		7,00	6,93	3,5	
	5	774,2	755,5	18,7		7,05	6,97	4,0	
	6	776	758	18		7,02	6,94	4,0	
40 kg/m <sup>3</sup>	1	785,3	766,5	18,8	19,2	7,05	6,98	3,5	3,8
	2	778,8	758,7	20,1		7,00	6,92	4,0	
	3	785,2	766,6	18,6		7,05	6,96	4,5	
	4	780,7	760,9	19,8		7,02	6,94	4,0	
	5	781,2	762,2	19		7,01	6,94	3,5	
	6	780,7	761,7	18,8		7,00	6,94	3,0	
50 kg/m <sup>3</sup>	1	793,9	775,0	18,9	18,4	7,05	6,98	3,5	3,5
	2	791,5	774,4	17,1		7,05	6,98	3,5	
	3	777,9	759,2	18,7		7,05	6,98	3,5	
	4	796,6	778,3	18,3		7,05	6,99	3,0	
	5	776,6	758,4	18,2		7,00	6,93	3,5	
	6	784,1	764,9	19,2		7,02	6,94	4,0	
60 kg/m <sup>3</sup>	1	785,4	766,4	19	18,8	7,02	6,93	4,5	3,8
	2	784,7	765,6	19,1		7,02	6,95	3,5	
	3	776,3	760,5	15,8		7,02	6,96	3,0	
	4	784,1	763,9	20,2		7,03	6,95	4,0	
	5	788,8	770,5	18,3		7,02	6,95	4,0	
	6	775,7	758,7	17		7,01	6,93	4,0	

Tablo 13

$W_1$  = Numunenin deneyden önceki kuru ağırlığı (g)

$W_2$  = Numunenin deneyden sonraki kuru ağırlığı (g)

$\Delta W$  = Numunenin deneyden sonraki ağırlık kaybı (g)

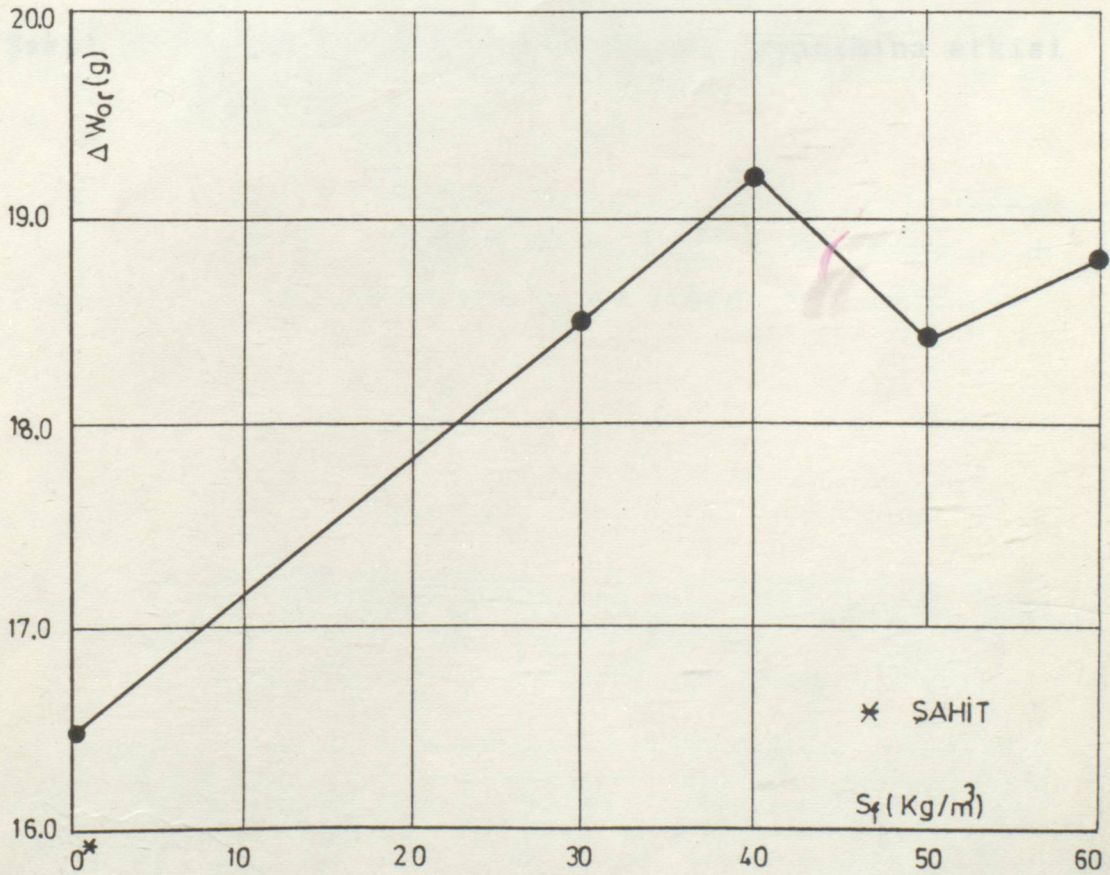
$\Delta W_{or}$  = Numunenin deneyden sonraki ağırlık kaybı ortalaması (g)

$d_o$  = Numunenin deneyden önce ortalama kalınlığı (cm)

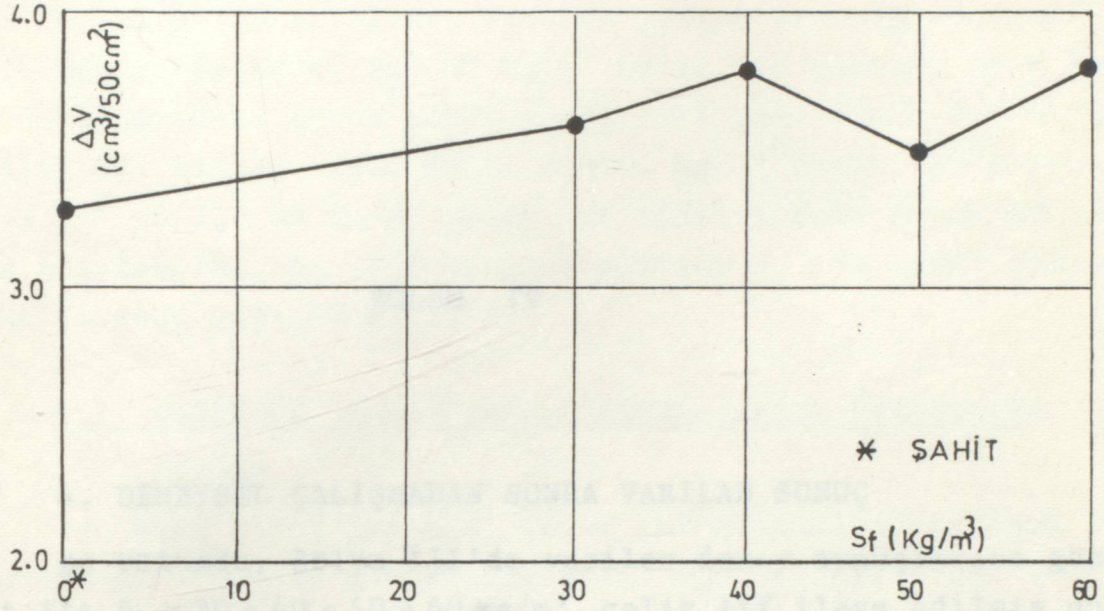
$d_a$  = Numunenin deneyden sonra ortalama kalınlığı (cm)

$\Delta V$  = Sürtünme ile aşınma dayanımı ( $cm^3/50 cm^2$ )

$\Delta V_{or}$  = Sürtünme ile aşınma dayanımı ortalaması ( $cm^3/50 cm^2$ )



Şekil 19. Çelik lif miktarının aşınma dayanımına etkisi ( $\Delta W - S_f$ )



Şekil 20. Çelik lif miktarının aşınma dayanımına etkisi  
( $\Delta V - S_f$ )

4.1. Çelik lif miktarının etkisi

Harcın çelik lif ilave etmesiyle birlikte basınç dayanımı artmış ve eğilme dayanımı da artmıştır.  $S_f = 30$  kg/m<sup>3</sup> çelik lif ilavesiyle basınç dayanımındaki artış şahit numunesine göre %1,3 olarak görülmüştür.  $S_f = 40$  kg/m<sup>3</sup> çelik lif miktarı ile  $S_f = 50$  kg/m<sup>3</sup> çelik lif miktarı için %1,3 ve  $S_f = 60$  kg/m<sup>3</sup> çelik lif miktarı için %2,2 artış görülmüştür. Bu artışlar çelik lif miktarında görülen artışla paraleldir.

BÖLÜM IV

4.2. SONUÇ

4. DENEYSEL ÇALIŞMADAN SONRA VARILAN SONUÇ

Bu bölümde, Bölüm III'de verilen deney sonuçlarına göre şahit ile  $S_f = 30 - 40 - 50 - 60$  kg/m<sup>3</sup> çelik lif ilave edilmiş numuneler kıyaslanmış ve uygun çelik lif miktarı seçilmeye çalışılmıştır. Seçilen çelik lif miktarının maddi olarak ne kadar ek yük getireceği irdelenmiştir.

Tablo 14'de her deney grubu için, çelik lifli numunelerin deney sonuçlarının, şahit numunelerin deney sonuçlarına göre artma ve eksilme miktarları yüzde olarak verilmiştir.

$S_f$ :Çelik lif miktarı kg/m <sup>3</sup>	28g. Basınç dayanımı $\sqrt{f_{b28}}$ N/mm <sup>2</sup>		28g. Eğilmede çekme dayanımı $\sqrt{f_{c28}}$ N/mm <sup>2</sup>		28g. RÖstre $\rho_{28}$ mm/mm		Kuru harcın birim hacim ağırlığı $\Delta$ g/cm <sup>3</sup>		Ağırlıkça su emme yüzdesi $a_s$ %		Hacimce su emme yüzdesi $a_h$ %		Aşırma dayanımı $\Delta V$ cm <sup>3</sup> /50cm <sup>2</sup>		Dormeya dayanıklılık $a_d$ %	
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
30	9,4	-	-	1	-	36	1,3	-	-	-	0,9	-	9	-	20	-
40	4,0	-	5	-	4	-	1,3	-	-	4,2	-	2,8	15	-	31	-
50	8,7	-	11,9	-	-	17	2,2	-	-	6,2	-	3,7	6	-	27	-
60	2,5	-	17,7	-	-	53	2,2	-	-	10,4	-	7,4	15	-	82	-

Tablo 14

#### 4.1. Çelik Lif Miktarının Basınç Dayanımına Etkisi :

Harça çelik lif ilave etmenin basınç dayanımına etkisi olumlu yönde olmuştur.  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için basınç dayanımındaki artma şahit numunelere göre % 9.4,  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 4.0,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 8,7 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 2.5'luk bir artış görülmüştür. En yüksek artma miktarı  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarında gerçekleşmiştir.

#### 4.2. Çelik Lif Miktarının Eğilmede Çekme Dayanımına Etkisi

Eğilmede çekme dayanımı çelik lif miktarının artması ile doğru orantılı olarak gerçekleşmiştir.  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için eğilmede çekme dayanımında şahit numunelere göre % 1'lik bir azalma görülmüştür. Bu azalmanın deney sırasında okuma hatasından oluşabileceği gözönüne alınırsa  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarının eğilmede çekme dayanımına etkisi olmadığı söylenebilir.  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için, eğilmede çekme dayanımının, şahit numunelere göre artış miktarı % 5,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için artış miktarı % 11,9 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için artış miktarı ise % 17,7 olarak görülmüştür. Eğilmede çekme dayanımında en yüksek artış miktarı  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı da gerçekleşmiştir. Karayolu ve hava alanı betonlarında; eğilmede çekme dayanımı basınç dayanımına göre daha önemli olduğundan çelik lif miktarının seçiminde bu husus gözönünde tutulacaktır.

#### 4.3. Çelik Lif Miktarının Rötreye Üzerine Etkisi

Harça çelik lif ilave etmenin 28.gündeki rötreye üzerinde olumlu etkisi olmuştur.  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için rötreye şahit numunelere göre % 36 azalmış,  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 4'lük bir artış göstermiş,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 17 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 53'lük azalmalar göstermiştir. Bu sonuçlara göre  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı hariç diğer çelik lif miktarlarının rötreyi

azalttığı görülmüştür. En büyük azalma ise  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarında görülmüştür. Karayollarında ve hava alanlarında betonun kaplama olarak kullanılmasının olumsuz özelliklerinden biri rötreden dolayı çatlakların oluşmasıdır. Bu çatlaklar yoluyla oluşabilecek hasarlar 2.2.2'de açıklanmıştı. Betona çelik lif ilave etmenin, betonun bu olumsuz özelliğini azalttığı görülmüştür.

#### 4.4. Çelik Lif Miktarının Harcın Birim Hacim Ağırlığına Atmosfer Basıncı Altında Ağırlıkça ve Hacimce Su Emme Yüzdelerine Etkisi :

İlave edilen çelik lif miktarının artması ile doğru orantılı olarak kuru harcın birim hacim ağırlığı da artmıştır. Bu artış şahit numunelere göre,  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  ve  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarları için % 1.3,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarları için % 2.2 dir.

Atmosfer basıncı altında harcın ağırlıkça ve hacimce su emme yüzdeleri ise, ilave edilen çelik lif miktarı arttıkça azalmıştır.

Ağırlıkça su emme yüzdesine  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarının bir etkisi olmamıştır.  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için ağırlıkça su emme yüzdesi şahit numunelere göre % 4.2 azalmış,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarında azalma % 6.2,  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için ise azalma % 10,4 miktarında olmuştur.

$S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarında, hacimce su emme yüzdesi % 0.9 miktarında artmıştır. Bu artım miktarı ihmal edilecek olursa  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarının, ağırlıkça su emme yüzdesine olduğu gibi hacimce su emme yüzdesine de bir etkisi olmadığı söylenebilir.  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için, şahit numunelere göre hacimce su emme yüzdesindeki azalma % 2.8,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için azalma miktarı % 3.7 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için azalma miktarı % 7.4 olarak gerçekleşmiştir.

#### 4.5. Çelik Lif Miktarının Sürtünme İle Aşınma Dayanımı Üzerine Etkisi :

Harça çelik lif ilave etmenin aşınma dayanımı üzerine olumsuz etkisi olmuştur.  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için, aşınma dayanımı şahit numunelere göre % 9,  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 15,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 6 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 15 artış miktarları gösterilmiştir.

#### 4.6. Çelik Lif Miktarının Donmaya Karşı Dayanıklılık Üzerine Etkisi

Harça çelik lif ilave etmenin donmaya karşı dayanıklılık üzerine olumsuz etkisi olmuştur. Deney sonrasında numunelerde oluşan ağırlık azalması yüzdesi, çelik lifli numunelerde şahit numunelere göre artmıştır. Artma miktarının şahit numunelere göre yüzdesi;  $S_f = 30 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 20,  $S_f = 40 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 31,  $S_f = 50 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için % 27 ve  $S_f = 60 \text{ kg/m}^3$  çelik lif miktarı için ise %82 dır.

Elde edilen bu sonuçlara göre, üretilecek betonda hangi özellikler ağır basıyor ise, ilave edilecek lif miktarı bu özellikler gözönüne alınarak seçilmelidir.

İlave edilecek lif miktarı betonun maliyetini her oran için artıracığı gözönüne alınmalıdır. 1 kg çelik lif miktarının ücreti bugün için yaklaşık 2 DM = 2000 TL.dir. Elde edilen deney sonuçlarına göre 1 m<sup>3</sup> betona 30 veya 50 kg lif katılması önerilebilir. Bu da 1 m<sup>3</sup> beton fiyatına 60.000 TL. veya 100.000 TL. ek bir maliyet getirmektedir. Eğer beton kalitesinin iyileştirilmesi söz konusu ise bu farkı ödemenin yerinde olacağı düşünülebilir.

## KAYNAKLAR

- (1) UMAR F., AĞAR E., "Yol Üst Yapısı", İ.T.Ü. 1982 s.107-124
- (2) AKMAN S., "Hava Alanı Betonlarının Üretim ve Denetim Sorunları", Malzeme Seminerleri İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi 1984 s.19-37.
- (3) AKMAN S., "Yapı Malzemeleri I", İ.T.Ü. 1987 s.72-77.
- (4) KOCATAŞKIN F., "Kompozit Malzemeler Ders Notları" (basılmamış).
- (5) UYAN M., "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi", Malzeme Seminerleri İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi 1984 s.121-131.
- (6) POSTACIOĞLU B., "Beton cilt 1", İstanbul 1986 s.117-119.
- (7) ONARAN K., "Malzeme Bilimi", İstanbul 1985 s.145-147.
- (8) POSTACIOĞLU B., "Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri Cilt 1", İstanbul 1981 s.560-569.
- (9) TÜKEL N., "Demir-Karbon Alaşımları", Yıldız Üniversitesi Metalurji Müh.Böl. 1986 s.45-100.
- (10) SARAYLI M.A., "Yapı Malzemeleri Ders Notları", (basılmamış).
- (11) TS 699 "Doğal Yapı Taşlarının Muayene ve Deney Metodları", 1978

## ÖZGEÇMİŞ

F.Sema KILIÇ, 1961 yılında İstanbul'da doğdu. Orta öğrenimini Kandilli Kız Lisesi'nde yaptı. 1980 senesinde girdiği YILDIZ Üniversitesi'nden 1985 yılında mezun oldu. 1 yıl özel bir şirkette İnşaat Mühendisi olarak çalıştı. Halen 1986 yılında girdiği Yıldız Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Bölümü Yapı Malzemeleri Bilim Dalında araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.



