

133484

SİLİS DUMANI VE SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI LİFLİ  
BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

Selim HALİLOV

DOKTORA TEZİ  
(Yapı Eğitimi)

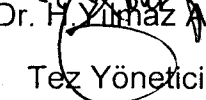
GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz, 2003  
ANKARA


T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU  
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

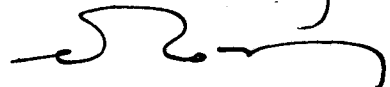
133484

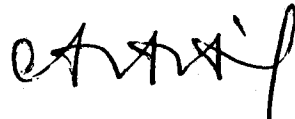
Selim HALILOV tarafından hazırlanan SİLİS DUMANI ve SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI LİFLİ BETONLARIN ÖZELLİKLERİ adlı bu tezin doktora tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

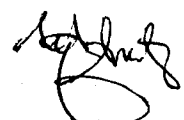
  
Doç. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ  
Tez Yöneticisi

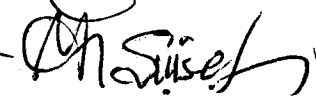
Bu çalışma, jürimiz tarafından Yapı Eğitimi Anabilim Dalında doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan : Prof.Dr. M.Haluk ÇELİK 

Üye : Prof.Dr. Mustafa TOKYAY 

Üye : Doç.Dr. Atıla DORUM 

Üye : Doç.Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ 

Üye : Yrd.Doç.Dr. Osman ŞİMŞEK 

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

## İÇİNDEKİLER

ÖZET .....	I
ABSTRACT .....	III
TEŞEKKÜR .....	V
ÇİZELGELERİN LİSTESİ .....	VI
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR .....	XI
1. GİRİŞ .....	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI .....	4
2.1. Beton ve Bileşenleri .....	4
2.1.1. Agrega .....	4
2.1.1.1. Agregaların özellikleri .....	6
2.1.1.2. Agregaların fiziksel özellikleri .....	6
2.1.1.3. Agregaların mekanik özellikleri .....	7
2.1.1.4. Agregaların kapasitesi .....	7
2.1.2. Çimento .....	8
2.1.2.1. Çimento çeşitleri .....	9
2.1.2.2. Portland çimentosu (PÇ) .....	10
2.1.2.3. Çimento dayanım sınıfları .....	10
2.1.3. Su .....	11
2.1.4. Katkılar .....	13
2.1.4.1. Kimyasal katkılar .....	13
2.1.4.2. Mineral katkılar (Puzolanlar) .....	15
2.1.5. Silis Dumanı (SD) .....	15
2.1.5.1. SD' nin tanımı .....	15
2.1.5.2. SD üretimi ve kullanımı .....	17
2.1.5.3. SD'nin beton özelliklerine etkisi .....	18
2.1.5.3.1. Şu gereksinimi ve işlenebilme .....	19
2.1.5.3.2. Priz süresi .....	20
2.1.5.3.3. Terleme ve plastik rötre .....	20
2.1.5.3.4. Basınç dayanımı .....	21
2.1.5.3.5. Çekme ve eğilme dayanımları .....	23

2.1.5.3.7. Aşınmaya karşı dayanıklılık.....	24
2.2. Lifli beton .....	25
2.2.1. Lif Çeşitleri.....	27
2.2.2. Çelik Lif (ÇL).....	28
2.2.3. ÇL'lerin sınıflandırılması .....	31
2.2.4. ÇL'lerin betona kazandırdığı nitelikler.....	32
2.2.5. ÇL'lerin beton içerisindeki davranışı .....	34
2.2.6. Liflerle güçlendirilmiş kompozitlerde matris özellikleri.....	35
2.2.7. ÇLB'un teknik özellikleri.....	35
2.2.8. ÇL'li taze betonun özellikleri .....	36
2.2.9. Eğilmede çekme dayanımı .....	37
2.2.10. Basınç dayanımı.....	38
2.3. ÇLB'ların Karışım Teknikleri .....	39
2.4. ÇLB'un Kullanım Alanları.....	42
3. MATERYAL VE METOT.....	43
3.1. Materyal.....	43
3.1.1. Agrega.....	43
3.1.2. Çimento .....	44
3.1.3. Silis Dumanı (SD).....	45
3.1.4. Çelik lif (ÇL).....	46
3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı (SA).....	47
3.1.6. Beton karma suyu .....	48
3.2. Metot .....	48
3.2.1. Deney Programı .....	48
3.2.1.1. Beton karışım hesabı.....	50
3.2.1.2. Numune boyutları, betonun dökümü ve bakımı .....	52
3.2.2. Çimento deneyleri .....	55
3.2.2.1. Normal kıvam .....	55
3.2.2.2. Priz süresi.....	55
3.2.3. Taze beton deneyleri.....	56
3.2.3.1. Çökme (slump) deneyi.....	56
3.2.3.2. Birim Ağırlık Deneyi.....	57
3.2.3.3. Hava miktarı .....	58
3.2.3.4. Ve-Be deneyi.....	59

3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri .....	60
3.2.4.1. Eğilmede çekme dayanımı deneyi.....	60
3.2.4.2. Basınç dayanımı.....	62
3.2.4.3. Aşınma Dayanımı Deneyi.....	64
3.2.4.4. Donma – çözülme dayanıklılığı deneyi.....	66
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA .....	69
4.1. SD ve SA'nın Çimentoların Priz Sürelerine Etkisi.....	69
4.2. SD ve SA'nın Taze Beton Özelliklerine Etkisi.....	70
4.3. SD ve SA'nın Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi.....	72
4.3.1. SD ve SA'nın eğilmede çekme dayanımına etkisi .....	72
4.3.2. SD ve SA'nın basınç dayanımına etkisi.....	80
4.3.3. SD ve SA'nın aşınma dayanımına etkisi.....	91
4.3.4. SD ve SA'nın donma-çözülme dayanıklılığına etkisi .....	97
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	103
5.1. Sonuçlar .....	103
5.1.1. Priz süreleri .....	103
5.1.2. İşlenebilirlik.....	103
5.1.3. Birim ağırlık .....	103
5.1.4. Hava miktarı .....	103
5.1.5. Eğilmede çekme dayanımı .....	104
5.1.6. Basınç dayanımı.....	104
5.1.7. Aşınma dayanımı .....	104
5.1.8. Donma-çözülme dayanıklılığı .....	104
5.2. Öneriler.....	105
KAYNAKLAR.....	107
ÖZGEÇMİŞ .....	112

# SİLİS DUMANI VE SÜPER AKIŞKANLAŞTIRICI KATKILI LİFLİ BETONLARIN ÖZELLİKLERİ

(Doktora Tezi)

Selim HALILOV

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2003

## ÖZET

Bu çalışmada, endüstriyel bir atık olan silis dumanı ile süper akışkanlaştırıcı bir katkının lifli beton özelliklerine etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla BS 25 beton sınıfına göre lifli ve lifsiz beton karışımları üretilmiştir. Deneylerde, PÇ 42,5 çimentosu ve yalnız çelik lif kullanılmış ve çelik lif oranı ile s/ç oranı 0,53 olarak sabit tutulmuştur. Beton karışımlarında silis dumanı ağırlıkça % 7,5, % 10 ve % 15 oranlarında çimento ile ikameli olarak ve süper akışkanlaştırıcı ağırlıkça % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 oranlarında kullanılmıştır. Taze betonların fiziksel özellikleri, deneylerle belirlenmiştir. Elde edilen betonlar ile 10x10x50 cm boyutlu kırış numuneler üretilmiş ve bu numuneler, 28, 90 ve 180 gün süreyle laboratuvar ve açık hava kürüne tabi tutulmuştur. Numuneler üzerinde eğilmede çekme dayanımı, basınç dayanımı, aşınma dayanımı ve donma-çözülme dayanıklılığı deneyleri yapılmıştır. Üretilen lifli ve lifsiz betonlar, hem birbirleri ile hem de PÇ 42,5 kullanılan kontrol betonu ile karşılaştırılmıştır. En yüksek basınç dayanımı, %1,5 SA katkılı ve % 10 SD ikameli lifli betonlarda elde edilmiştir.

**Bilim kodu** : 967

**Anahtar kelimeler** : Lifli beton, elik lif, silis dumanı, süper akışkanlaştırıcı

**Sayfa adedi** : 112

**Tez Yöneticisi** : Doç. Dr. H. Yılmaz ARUNTAş



**EFFECT ON PROPERTIES OF FIBER REINFORCED CONCRETE OF  
SILICA FUME AND SUPERPLASTICIZER**

**(Ph.D. Thesis)**

**Selim HALILOV**

**GAZİ UNIVERSITY**

**INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

**July 2003**

**ABSTRACT**

In this study, the effects of silica fume and superplasticizer on properties of fiber reinforced concrete were investigated. For this purpose, fiber reinforced concrete and normal concrete mixtures were produced according to C 25. In concrete mixtures, PC 42,5 cement and steel fiber were used. Steel fiber ratio and w/c ratio were kept constant. Silica fume were used as a replacement material some of the cement used in concrete. Silica fume was added to portland cement 7,5 %, 10 %, and 15 % by weight of cement. Superplasticizer in concrete mixtures was used 1,0 %, 1,5 %, 2,0 %. Physical properties of fresh concretes were determined by tests 10x10x50 cm beam specimens were produced and cured at 28, 90, and 180 days. Specimens were cured under two different conditions being standard continuous moist curing and open air curing. Compressive strength, tensile strength, abrasion strength and freeze-thaw resistance tests on hardened concrete specimens were carried out. Fiber reinforced concretes and normal concretes were compared with each other as well as with Portland cement concrete. The highest compressive strength was obtained with 1.5 % superplasticizer and with 10 % silica fume replacement fiber reinforced concretes.



**Science code : 967**

**Key words : Fiber reinforced concrete, Steel fiber, silica fume, superplasticizer**

**Page number : 112**

**Adviser : Assoc. Prof. Dr. H. Yılmaz ARUNTAŞ**



## TEŞEKKÜR

Bu çalışmada bana rehberlik eden, yardımlarını ve manevi desteğinin esirgemeyen danışmanım Sayın Doç.Dr. H.Yılmaz ARUNTAŞ'a, bilgisi ve manevi yardımıyla her zaman yanımda olan Yrd.Doç.Dr. Osman ŞİMŞEK ve Doç.Dr. Atila DORUM'a, laboratuvar çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Arş.Gör.Mürsel ERDAL ve Arş.Gör. Emre SANCAK'a, Sayın Prof.Dr.M. Haluk ÇELİK başta olmak üzere tüm Yapı Eğitimi Ana Bilim Dalının değerli hocalarına, tezi destekleyen Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğüne, deney çalışmalarında bana yardımcı olan sevgili kardeşim Rahim HALILOV'a, Tez yazımında yardımlarını esirgemeyen arkadaşım Adem ALİYEV ve İlker TEKİN'e, malzeme temininde yardımcı olan Ankara Set Çimento Fabrikası yöneticilerine, silis dumanı temini için GEBZE KOCA BETON yetkililerine, Sika firmasından Hazım ÜLGEN'e, BEKSA ÇELİK KORD SANAYİ VE TİCARET A.Ş. den teknik müdür Mehmet YERLİKAYA'ya, bazı deneylerin yapılmasında yardımlarını esirgemeyen DSİ TAKK Dairesi Başkanı Sayın Orhan UZUN'un başkanlığında Yüksek İnşaat Mühendisleri Sayın Fatih KOCABEYLER'e, Sayın Aydın SAĞLIK'a ve Sayın Ergin TUNC'a ve manevi destekleri ile bana çalışma azmi veren eşim ve kızıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

## ÇİZELGELER LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 2.1. Agrega tane çapının en büyük değerleri.....	6
Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları .....	11
Çizelge 2.3. Suların zararlılık dereceleri için sınır değerleri .....	12
Çizelge 2.4. SD'nin kimyasal kompozisyonu .....	17
Çizelge 2.5. Etibank sanayi baca tozlarının özellikleri .....	18
Çizelge 2.6. Normal betonla ÇLB'un bazı özelliklerinin karşılaştırılması .	26
Çizelge 2.7. LB uygulamalarında kullanılan liflere ait örnekler .....	27
Çizelge 2.8. Değişik malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri.....	27
Çizelge 2.9. ÇLB karışımlarında kum içerisinde bulunması gerekli 0,25 mm'den küçük ince malzeme miktarı .....	40
Çizelge 2.10. Agrega maksimum tane çapına göre betonda kullanılması gerekli lif miktarları .....	41
Çizelge 3.1. Agregaların deneylerle belirlenen teknik özellikleri.....	43
Çizelge 3.2. PÇ 42,5 çimentosunun özellikleri .....	45
Çizelge 3.3. SD'nin kimyasal bileşimi.....	46
Çizelge 3.4. ÇL'in teknik özellikleri.....	47
Çizelge 3.5. ÇL'in tavsiye edilen karıştırma dozajı.....	47
Çizelge 3.6. Deney çalışma planı.....	49
Çizelge 3.7. 1m <sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları .....	51
Çizelge 4.1. SD ikameli ve SA katkılı çimentoların priz süreleri .....	69
Çizelge 4.2. Taze beton deney sonuçları .....	70
Çizelge 4.3. Betonların eğilmede çekme dayanımı sonuçları.....	72
Çizelge 4.4. Betonların basınç dayanımı sonuçları .....	81
Çizelge 4.5. Betonların aşınma ve donma – çözülme deney sonuçları .....	92

## ŞEKİLLER LİSTESİ

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. SD'nın su gereksinimine etkisi .....	20
Şekil 2.2. SD'nın betonda terlemeye etkisi .....	21
Şekil 2.3. SD'nın beton dayanımına etkileri .....	22
Şekil 2.4. SD ikameli betonlarda dayanım artışı .....	22
Şekil 2.5. ÇL tipleri ve en kesitleri .....	29
Şekil 2.6. Değişik ÇL'lerin en kesitleri .....	30
Şekil 2.7. ÇL'li betonlarda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi, çatlak yayılmasının önlenmesi .....	33
Şekil 2.8. ÇL'li betonlarda liflerle gerilmenin dağıtılması .....	34
Şekil 2.9. Basınç dayanımını etkileyen lif yönlenmesi .....	39
Şekil 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agreganın granülometri eğrisi .....	44
Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan ÇL tipi .....	46
Şekil 3.3. Beton karışımı .....	53
Şekil 3.4. Betonun vibratör masada sıkıştırılması .....	53
Şekil 3.5. Betonun laboratuvarında bakımı .....	54
Şekil 3.6. Betonun açık havada bakımı .....	54
Şekil 3.7. ASTM C 995'e göre LB'larda işlenebilirlik ölçme düzeneği.....	56
Şekil 3.8. Betonun eğilmede çekme dayanımı deney cihazı .....	61
Şekil 3.9. Eğilme çekme deneyinde sehim ölçme cihazının görünüşü ....	62
Şekil 3.10. Betonun basınç dayanımı deneyi düzeneği.....	63
Şekil 3.11. Betonun aşınma deneyi için Rotating Cutter cihazının görünüşü .....	65

Şekil 3.12.	Beton numunelerinin aşınma deneyinde sonraki görünüşleri .....	65
Şekil 3.13.	Betonda ultrasonik ses dalgası ölçüm düzeneği .....	68
Şekil 3.12.	Donma-çözülme deneyinde kullanılan tam otomatik donma çözülme cihazı .....	68
Şekil 4.1.	28 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı – SA katkı oranı ilişkisi .....	73
Şekil 4.2.	90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı – SA katkı oranı ilişkisi .....	74
Şekil 4.3.	28 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	75
Şekil 4.4.	90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	75
Şekil 4.5.	28 günlük %1,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	76
Şekil 4.6.	90 günlük %1,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	77
Şekil 4.7.	28 günlük %1,5 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	78
Şekil 4.8.	90 günlük %1,5 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	78
Şekil 4.9.	28 günlük % 2,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	79
Şekil 4.10.	90 günlük %2,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi .....	80
Şekil 4.11.	28 günlük betonların basınç dayanımı – SA katkı oranı ilişkisi .....	82
Şekil 4.12.	90 günlük betonların basınç dayanımı – SA katkı oranı ilişkisi .....	82

Şekil 4.13. 180 günlük betonların basınç dayanımı – SA katkı oranı ilişkisi.....	83
Şekil 4.14. 28 günlük betonların basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	84
Şekil 4.15. 90 günlük betonların basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	84
Şekil 4.16. 180 günlük betonların basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	85
Şekil 4.17. 28 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	86
Şekil 4.18. 90 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	86
Şekil 4.19. 180 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	87
Şekil 4.20. 28 günlük % 1,5 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	88
Şekil 4.21. 90 günlük % 1,5 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	88
Şekil 4.22. 180 günlük % 1,5 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	89
Şekil 4.23. 28 günlük % 2,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	90
Şekil 4.24. 90 günlük % 2,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	90
Şekil 4.25. 180 günlük % 2,0 SAKB'lerin basınç dayanımı – SD ikame oranı ilişkisi.....	91
Şekil 4.26. Betonların aşınma – SA katkı oranı ilişkisi .....	93
Şekil 4.27. Betonların aşınma – SD ikame oranı ilişkisi .....	94
Şekil 4.28. % 1,0 SAKB'lerin aşınma – SD ikame oranı ilişkisi.....	96

Şekil 4.29. % 1,5 SAKB'ların aşınma – SD ikame oranı ilişkisi.....	96
Şekil 4.30. %2,0 SAKB'ların aşınma – SD ikame oranı ilişkisi.....	97
Şekil 4.31. Betonların DF–SA katkı oranı ilişkisi.....	98
Şekil 4.32. Betonların DF–SD ikame oranı ilişkisi.....	99
Şekil 4.33. %1,0 SAKB'ların DF – SD ikame oranı ilişkisi.....	100
Şekil 4.34. %1,5 SAKB'ların DF – SD ikame oranı ilişkisi.....	101
Şekil 4.35. % 2,0 SAKB'ların DF – SD ikame oranı ilişkisi.....	102



## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simge ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur:

Simgeler	Açıklama
$p_b$	Taze betonun birim hacim ağırlığı ( $kg/m^3$ )
$W_n$	Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)
$W_k$	Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi ( $m^3$ )
$W_d$	Dolu kap ağırlığı (kg)
$W_b$	Boş kap ağırlığı (kg)
$\sigma_u$	En büyük gerilme ( $kgf/cm^2$ )
$P_u$	Maximum yük (kgf)
$L$	İki mesnet arasındaki uzunluk (mm)
$B$	Deney numunesinin genişliği (mm)
$H$	Deney numunesinin yüksekliği (mm)
$f_g$	Beton deney numunesi basınç dayanımı ( $kgf/cm^2$ ),
$F$	Kırılma yükü (kgf)
$A$	Deney numunesi kesit alanı ( $cm^2$ )
$P_c$	Bağıl dinamik elastisite modülü,
$t_0$	Deney başlangıcında ultrasonik ses dalga geçiş süresi
$t_c$	C döngülük ses dalga geçiş süresi
$DF$	Dayanıklılık faktörü
$M$	Deneyin bitirileceği devir sayısı



## Kısaltmalar

<b>SD</b>	Silis dumanı
<b>SA</b>	Süper akışkanlaştırıcı
<b>G.Ü.T.E.F.</b>	Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi
<b>DSİ</b>	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
<b>TAKK</b>	Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Daire Başkanlığı
<b>TS</b>	Türk Standardı
<b>PÇ</b>	Portland çimentosu
<b>S/Ç</b>	Su/çimento oranı
<b>S/B</b>	Su/bağlayıcı oranı
<b>L/B</b>	Uzunluk/çap oranı
<b>BS</b>	Beton sınıfı
<b>YDB</b>	Yüksek dayanımlı beton
<b>DKY</b>	Doygun kuru yüzey
<b>ÇL</b>	Çelik lif
<b>PÇ42,5</b>	Portland Çimentosu 42,5
<b>SAKÇ1,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı katkıli çimento
<b>SAKÇ 1,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı katkıli çimento
<b>SAKÇ 2,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı katkıli çimento
<b>SDİÇ 7,5</b>	% 7,5 Silis dumanı ikameli çimento
<b>SDİÇ 10,0</b>	% 10,0 Silis dumanı ikameli çimento
<b>SDİÇ 15,0</b>	% 15,0 Silis dumanı ikameli çimento
<b>SA1,0 + SDİÇ 7,5</b>	%1 ,0 Süperakışkanlaştırıcı + %7,5 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA1,0 + SDİÇ 10,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + %10,0 silis dumanı ikameli çimento

<b>SA1,0 + SDİÇ 15,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + %15,0 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA1,5 + SDİÇ 7,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA1,5 + SDİÇ 10,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA2,0 + SDİÇ 15,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA2,0 + SDİÇ 7,5</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA2,0 + SDİÇ 10,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + %10,0 silis dumanı ikameli çimento
<b>SA2,0 + SDİÇ 15,0</b>	%2,0 Süperakışkanlaştırıcı + %15,0 silis dumanı ikameli çimento
<b>KB</b>	Kontrol betonu (katkısız)
<b>ÇLB</b>	Çelik lifli beton
<b>SAKB 1,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı katkılı beton
<b>SAKB 1,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı katkılı beton
<b>SAKB 2,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı katkılı beton
<b>SDİB 7,5</b>	% 7,5 Silis dumanı ikameli beton
<b>SDİB 10,0</b>	% 10,0 Silis dumanı ikameli beton
<b>SDİB 15,0</b>	% 15,0 Silis dumanı ikameli beton
<b>SA1,0+SDİB7,5</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 Silis dumanı ikameli beton
<b>SA1,0+SDİB 10,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli beton
<b>SA1,0+SDİB 15,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli beton
<b>SA1,5+SDİB 7,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli beton
<b>SA1,5+SDİB 10,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli beton

<b>SA1,5+SDİB 15,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli beton
<b>SA2,0+SDİB 7,5</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli beton
<b>SA2,0+SDİB 10,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli beton
<b>SA2,0+SDİB 15,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli beton
<b>SAKLB 1,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı katkıli lifli beton
<b>SAKLB 1,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı katkıli lifli beton
<b>SAKLB 2,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı katkıli lifli beton
<b>SDİLB 7,5</b>	% 7,5 Silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SDİLB 10,0</b>	% 10,0 Silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SDİLB 15,0</b>	% 15,0 Silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,0+SDİLB 7,5</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,0+SDİLB 10,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,0+SDİLB 15,0</b>	% 1,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 Silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,5+SDİLB 7,5</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,5+SDİLB 10,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA1,5+SDİLB 15,0</b>	% 1,5 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA2,0+SDİLB 7,5</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 7,5 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA2,0+SDİLB 10,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 10,0 silis dumanı ikameli lifli beton
<b>SA2,0+SDİLB 15,0</b>	% 2,0 Süperakışkanlaştırıcı + % 15,0 silis dumanı ikameli lifli beton

## 1. GİRİŞ

Bilindiği gibi inşaat sektöründe en çok kullanılan yapı malzemesi betondur. Günümüzde beton, bina yapılarından baraj inşaatlarına kadar kullanım amacı birbirinden çok farklı olan yapıların inşasında kullanılmaktadır. Her bir yapı betondan değişik özellikler beklemektedir. Bir yapıda mukavemet aranırken diğerinde dayanıklılık önem kazanmaktadır. Su yapılarında ise geçirimsizlik en önemli faktör olarak karşımıza çıkmaktadır. 1900'lü yılların başında betonarmenin bulunması ile inşaat sektöründe yeni bir dönem başlamış ve buna bağlı olarak betonun kullanım alanları da giderek artmıştır. Zaman içinde beton teknolojisinde yeni gelişmeler meydana gelmiş ve değişik ihtiyaçları karşılayan beton çeşitleri üretilmiştir. Bunlar arasında hafif beton, ağır beton, ön gerilmeli beton, püskürtme beton, vakumlu beton, hazır beton, pompalanabilir beton, kendiliğinden yerleşen beton vb. sayılabilir.

Son yıllarda ortaya çıkmış olan diğer bir beton çeşidi de lifli betondur. Agregası, çimento ve su gibi ana beton bileşenleri ile değişik miktarlarda ve çeşitli metotlarla liflerin karıştırılması ile elde edilen kompozit yapı malzemesine lifli beton (LB) denilmektedir [1]. Sadece çimento ve liflerden meydana gelen kompozit malzeme de LB olarak kabul edilmektedir. LB, betonarmede kullanılan donatı yerine beton içerisinde çeşitli liflerin kullanılması ile elde edilmektedir. Anadolu'da duvar malzemesi olarak kullanılan ve içerisinde lif olarak saman bulunan kerpiç, LB'un bir benzeridir. LB içinde çelik, polipropilen, cam vb. lifler kullanılmaktadır. Bu lifler değişik şekil ve boyutlarda üretilmektedir. LB, görünüş bakımından normal beton karışımları ile benzer bir özellik göstermektedir. Ancak LB, çeşitli yükler altında gösterdiği performans ve davranış bakımından normal betondan farklıdır. Liflerin beton karışımı içerisinde gelişigüzel dağılımı olmasına karşılık yük altında iken LB, homojen bir malzeme olarak davranmaktadır. Geleneksel beton, genellikle çekme dayanımı, çarpma dayanımı, yorulma dayanımı, çatlama sonrası yük taşıma dayanımı, aşınma dayanımı ve kavitsiyon kayma dayanımı, deformasyon kapasitesi ve tokluk (enerji yutma kapasitesi)

gibi mekanik özellikler bakımından zayıf bir performans göstermektedir. Bu özelliklerin betonda istenildiği durumlarda, beton içerisine farklı malzemelerden üretilmiş olan ve teknik özellikleri yüksek fiber (lif) malzemenin karıştırılması sonucunda elde edilen LB kullanılarak, yukarıda belirtilen mekanik özelliklerin iyileştirilmesi ile betonun güçlendirilmesi sağlanmaktadır. LB'un yüksek elastik mukavemet ve çatlamaya karşı yüksek dayanım, çok yüksek enerji yutma kapasitesi (toughness), darbe dayanımı, yorulma ve kesme kuvvetlerine karşı yüksek dayanım gösterdiği yapılan araştırmalarla tespit edilmiştir. LB, ağır çalışma şartlarına maruz kalan yapılarda, ince kesitlerde ve yukarıda sayılan dayanımların gerektiği yerlerde kullanılmaktadır. Bazı uygulamalarda ise betonda donatı ve hasır kullanmamak için ekonomi sağlamak amacıyla tercih edildiği görülmektedir. LB'un yaygın olarak kullanıldığı yerler; endüstriyel döşemeler (fabrika döşeme kaplamaları, hangar ve ambar döşemeleri, iskele ve rıhtım döşeme kaplamaları vb.), havalimanı kaplama betonları, liman kaplama betonları, su yapıları, püskürtme beton (shotcrete) kaplamaları, tünel kaplamaları, şev stabilitesi, depreme dayanıklı yapılar, ateşe dayanıklı beton yapılar, prefabrik beton elemanlar, beton borular, çeşitli kaplamalar ve askeri güvenlik yapılarıdır.[2].

Beton katkı maddeleri, beton özelliklerini iyileştirmek ve değiştirmek amacıyla kullanılan malzemelerdir. Bunlar arasında akışkanlaştırıcılar en çok kullanılan katkı maddesidir. Akışkanlaştırıcılar (A) ve süper akışkanlaştırıcılar, (SA), beton karışım suyunu azaltarak yüksek dayanım elde edilmesini sağlamaktadırlar. Çimentodan bir miktar azaltarak betonda aynı dayanımı sağlamak mümkün olmaktadır. Öte yandan endüstriyel atıklar, betonda katkı malzemesi olarak uzun zamandan beri kullanılmaktadır. Bu atıklar arasında uçucu kül, silis dumanı ve yüksek fırın cürufu sayılabilir. Bu atık maddeler, puzolanik özellik taşıdıkları için çimento ve betonda katkı veya ikame malzemesi olarak kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar, bu malzemelerin beton dayanımını artırdığını, taze beton özelliklerini olumlu yönde etkilediğini,

enerji tasarrufu sağladığını, beton maliyetini azalttığını göstermektedir. Aynı zamanda bu malzemelerin değerlendirilmesi ile ülke ekonomisine katkıda bulunmakta ve atıkların çevre kirliliğine yol açması önlenmektedir. Bu çalışmada, endüstriyel bir atık olan silis dumanının (SD) ve SA katkının LB özelliklerine etkisinin belirlenmesi amaçlanmıştır. Farklı oranlardaki SA katkının yanı sıra karışımda katılan değişik oranlarda çimento yerine kullanılan SD katkısının taze ve sertleşmiş beton özelliklerine etkisi karşılaştırılmalı olarak incelenmiştir. Çalışma, bir tip lif ile sınırlandırılmış ve çelik lif (ÇL) seçilerek betonlarda kullanılmıştır. Ayrıca lifsiz betonlar üzerinde de aynı deneyler yapılarak LB'lar ile kıyaslamalar yapılmıştır. Diğer taraftan LB ve lifsiz betonlar iki ayrı kür ortamında bırakılarak, farklı kür uygulamasının betonlar üzerindeki etkisi de karşılaştırmalı olarak incelenmiştir.

## 2. KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

### 2.1. Beton ve Bileşenleri

Beton, kum, çakıl veya kırma taş ve çimentonun bir araya gelmesi ile meydana gelen bir yapı malzemesidir. Çimento, kum ve iri agrega tanelerini birbirine bağlar. Kum ise iri agrega taneleri arasındaki boşlukları doldurarak betonun kompasitesini artırır [3].

#### 2.1.1. Agrega

Betonun ana iskeletini oluşturan, toplam hacmin yaklaşık % 60-80 oranlarında yer işgal eden mineral kökenli, taneli malzeme, agrega olarak isimlendirilir. Agregalar elde edilmesine göre doğal ve yapay agrega olarak ikiye ayrılır. Betonda kullanılacak agregaların bazı özelliklere sahip olması gereklidir. Agrega; suyun etkisi altında yumuşamamalı, dağılmamalı, çimentonun bileşenleri ile birlikte zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemelidir.

Agregalar, yeryüzünde oluşturduğu kütlelerin özelliklerini taşırlar. Bu da bazı sorunlar meydana getirir. Bu sorunları:

- Yeterli mekanik dayanıma sahip olmamak, dağılabilir olması nedeniyle don etkisine dayanıksızlık,
- Su karşısında kararsız oluşları nedeniyle şişip hacim genişlemesine yol açmak,
- Sülfat etkisine neden olmak,
- Bazı kimyasal reaksiyonlarda betona hasar verme eğilimi göstermek şeklinde sıralanabilir.

Agregaların kalitesi, yüksek dayanımlı betonu (YDB) direkt olarak etkilediği için çimento kalitesi kadar önemlidir. Araştırmalar, agregaların standartlarda konmuş kriterlere uymasının yeterli olmayabileceğini vurgulayarak YDB' da şu amaçlara yönelik özellik aranmasını tavsiye etmektedirler [3].

- mümkün olan en düşük s/ç oranı,
- yeterli yerleştirme kolaylığı,
- aderans gerilmelerini alabilecek yeterli yüzey alanı.

Özet olarak agregada silt ve kil kirliliği olmaması, maksimum tane çapının SA kullanılmadığında 10-16 mm, SA kullanıldığında 25 mm alınması, iyi bir aderans için kırma taş agregası kullanılması, şekli bozuk tanelerin % 5'i geçmemesi, düşük s/ç oranlı karışımlarda bir miktar su emen agregası seçilmesi, kaba agregası mekanik özelliklerinin yeterli düzeyde olması, ince agregası olarak düşük s/ç oranları için kaba kum, yüksek dozda SA kullanılacaksa ince bir kum kullanabileceği belirtilmiştir. Diğer taraftan agregası tane çapının ( $D_{mak}$ ) büyük olması, genel olarak betonda iri tanelerin fazla bulunduğunu gösterir. Bu durum agregası için gerekli su miktarının azalmasına neden olur. Şu halde tane çapı büyük olan agregalar kullanılarak üretilen betonların kompasitesi büyük olacak ve ayrıca bunlar az miktarda suya ihtiyaç gösterecektir. Böylece bunlardan dolayı agregası tane çapı büyük olan betonların mukavemetinde önemli bir artış sağlanacaktır. Yalnız mukavemetin yüksek olmasını sağlamak için agregası çapının artırılması yönünde fazla ilerlemek, bu karakteristiğin işlenebilme özelliğini azaltması bakımından elverişli değildir. Bir betonda aranılan işlenebilme özelliği ise yapı koşullarına bağlı bulunmamaktadır. Bu durumda betonun maksimum agregası çapı, yapı durumunun izin verdiği en büyük değer olmalıdır [3].



Çizelge 2.1. Agregata tane çapının en büyük değerleri

Yapının cinsi	D <sub>mak</sub> (mm)
Betonarme	16-32
Yol ve hava meydanları inşaatı	63-90
Barajlar	90-250

Mak. tane çapı 1" ya da 32 mm olan betonlarda 1/2" veya 16 mm'den büyük agregata miktarı, toplam agreganın % 15-20'si arasında sınırlandırılır. Yapılan uygulamalarda kaliteli kırma taş çakıllı betonlar, doğal çakıl kullanılarak yapılan betonlardan daha iyi sonuçlar vermiştir [4].

#### 2.1.1.1. Agregaların özellikleri

- İyi bir beton üretimi için agregalarda bulunması gereken koşullar şunlardır:
- Sağlam olmalı, aşınmamalı, suyun etkisiyle yumuşamamalı, dağılmamalı,
- Çimento bileşenleriyle zararlı bileşikler meydana getirmemeli ve donatının korozyona karşı korunmasını tehlikeye düşürmemeli,
- Tanelerin biçimi, dokusu iyi olmalı,
- Tanelerin büyüklük bakımından dağılımı, amaca ve standartlara uygun olmalı,
- Agregata içinde zararlı maddeler bulunmamalıdır [5].

#### 2.1.1.2. Agregaların fiziksel özellikleri

Agregaların fiziksel özellikleri denildiğinde başlıca şu özellikler ön plana çıkar; birim ağırlığı, özgül ağırlığı, kompasitesi, boşluk oranı, agreganın su emme kapasitesi ve mevcut rutubet durumu, donma-çözülme ve diğer fiziksel etkilere karşı dayanıklılık. Agreganın fiziki sağlamlığı, agreganın kökeni, boyutları, taneler içerisindeki boşlukları toplam hacmi ve bu boşlukların sürekliliği ile ilgilidir [5].

### 2.1.1.3. Agregaların mekanik özellikleri

Agregalarda aranılan en önemli özelliklerden biri, mekanik mukavemetlerinin bunların içinde özellikle basınç mukavemetinin yüksek olmasıdır.

Basınç mukavemeti: Basınç mukavemetinin, malzemenin porozitesi ile yakın ilişkisi vardır. Porozitenin küçük olması, agrega mukavemetini artırır. Agreganın jeolojik bakımdan durumu bize mekanik mukavemeti ile ilgili kuvvetli fikirler verir. Betonda kullanılacak agreganın basınç dayanımının en az  $600 \text{ kgf/cm}^2$  olması istenir.

Aşınma dayanımı: Yol ve hava meydanlarındaki beton, çarpma ve aşınma etkisi altındadır. Betonun bu etkilere dayanabilmesi için, yapımında kullanılan iri agreganın aşınmaya ve çarpmaya karşı yüksek mukavemete sahip olması gerekir.

Çarpmaya dayanıklılığı: Betonun çarpmaya dayanıklı olmasında, kullanılan agreganın önemli etkisi vardır. Bu nedenle kullanılmadan önce kontrol edilmelidir [5].

### 2.1.1.4. Agregaların kompasitesi

Agreganın kompasitesi ile birim hacimdeki agregada tanelerin işgal ettiği hacmin toplamı anlaşılmaktadır. Agreganın kompasitesi, özgül ve birim ağırlıkları kullanılarak hesaplanabilir.

- Agregaların kompasitesinin küçük olması, şu zararları meydana getirir:
- Üretilen betonun kompasitesi ve mukavemeti düşük olur,
- Kullanılan çimento miktarı artar,
- Betonun maliyeti yükselir,

- Kusurlu malzeme miktarı artar. Bu da işlenebilme özelliğine etki yaparak mukavemetin düşmesine neden olur,
- Dış etkilere karşı dayanıklılık azalır [5].

### 2.1.2. Çimento

Beton oluşumunda en büyük rolü üstlenen elemanlardan birisi de çimentodur. Çimentonun mineralojik yapısı, betonun bileşimin üzerinde etkilidir. Çimentonun üretimi sırasında asit ve bazik ögeler birbirleriyle birleşerek portland çimentolarının dört ana bileşenini oluştururlar. Bunlar;

2 CaO. SiO <sub>2</sub>	Dikalsiyum Silikat (C <sub>2</sub> S)
3 CaO. SiO <sub>2</sub>	Trikalsiyum Silikat (C <sub>3</sub> S)
3 CaO. Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Trikalsiyum Alüminat (C <sub>3</sub> A)
4 CaO.Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Tetrakalsiyum Alümino-Ferrit (C <sub>4</sub> AF)

Silikatlar, çimentonun dayanımını sağlayan esas bileşenlerini oluşturarak hidratasyon sonunda kalsiyum silikat hidrat (CSH) ile sönmüş kireç Ca (OH)<sub>2</sub> meydana getirirler. Ca (OH)<sub>2</sub>'in varlığı istenmez çünkü, su içinde çözülerek yerinin boş kalmasına neden olur, beton dayanımını ve dayanıklılığını azaltır. Diğer bileşenler C<sub>3</sub> A ve C<sub>4</sub> AF' da benzer davranış gösterirler. Ancak C<sub>3</sub> A'ın etkileri daha belirgindir. Özellikle çimentonun kimyasal etkilere karşı dayanıklılığını bu bileşen yönlendirir. Çimentoda prize ilk başlayan bileşen, C<sub>3</sub> A'dır. Süratle priz yapar ve hidratasyon ısısının yükselmesine neden olur [6].

Çimentonun prize başlama süresi, 1 saatten az 10 saatten fazla olmamalıdır [7]. Çimento dozajı, agreganın granülometri bileşimi ile yakından ilgilidir. Genel olarak agrega karışımında ince tanelerin miktarı fazla ise çimento miktarı büyük olmalıdır.

Çimento miktarının minimum değeri, agrega içindeki bütün boşlukları doldurmaya olanak sağlamalıdır. Çimento dozajı belirli bir değeri geçtikten sonra çekme mukavemetinin çimento dozajı ile birlikte artması ya çok azalmakta veya tamamen ortadan kalkmaktadır [8]. Beton içindeki çimento miktarının gereğinden fazla veya az olması, bazı teknik olumsuzlukları meydana getirir [9]. Beton içindeki gereğinden fazla olan çimento, rötreye, sünmeye, yüzeysel ve kılcak çatlamalara neden olmaktadır. Beton içindeki çimento miktarı öyle ayarlanmalıdır ki, agrega taneleri arasında birbiriyle bağıntılı boşluk en az düzeyde olmalıdır. Çimento tanesi ne kadar ince ise mukavemeti ve su geçirmezliği o kadar yüksektir. Betonda kullanılacak çimento hamuru, su kusmayacak veya terlemeyecek özellikte olmalıdır. Çimento hamurunun korezyonu olması, harç ve betonda su geçirmezliği sağlaması ve dayanım yönünden istenilen özelliklerindedir [10].

Çimentoda kullanılan puzolanik katkı miktarı, göre, sadece çimentonun maliyetini düşürmekle kalmayıp bazı teknik özellikler de kazandırır [11]. Genellikle puzolanik katkılı çimentolar, kanal kaplamalarında, su altı inşaatlarında, sanayii ve evsel atık suların olduğu yerlerde yapılan betonlarda, geçirimsizlik sağlaması, hidrasyon ısısını düşürmesi, alkali agrega reaktivitesini azaltması, betonun ileri yaştaki dayanımlarında artış sağlaması gibi sebeplerle betonda kullanılmaktadır.

#### **2.1.2.1. Çimento çeşitleri**

Genel olarak çimentolar, ana malzemelerine göre isim almaktadırlar. Çimentolardan istenilen düzeyde yararlanabilmek için kullanılacak yerlerin özelliğine göre çimento seçmek gerekir. Sülfatlı zeminle veya su ile temas eden inşaatlarda sülfata dayanıklı çimento kullanılması, kütle betonlarda ise hidrasyon ısısı düşük çimento seçmek gerekir [5].

### 2.1.2.2. Portland çimentosu (PÇ)

PÇ, çimentolar içinde en yaygın olarak bilinen çimento türüdür. Günümüzde üretimi çok az veya özel istek üzerine yapılmaktadır. Bunun nedeni, diğer çimentolara göre pahalı olmasıdır. Diğer çimento türlerinin bir çoğunun bileşimlerinde yer almaktadır.

PÇ' nin kimyasal bileşimi yaklaşık olarak % 65 CaO, % 20 SiO<sub>2</sub>, % 6 Al<sub>2</sub> O<sub>3</sub>, % 3 Fe<sub>2</sub> O<sub>3</sub>, % 3 Mg O ve % 3 S0<sub>4</sub>'tür. Çimentoda, reaktif CaO ve reaktif SiO<sub>2</sub> toplamları, en az kütlece % 50 olmalıdır [5].

#### PÇ' nin üstünlükleri:

- Kirecin, asitli ve CO<sub>2</sub>'li suların etkisiyle erimesini önler ve kimyasal mukavemeti artırır. Su içinde yapılan yapılarda kullanılır.
- Hidratasyon ısı ve bu ısının çıkış hızı düşüktür. Kütle beton üretimi ve sıcak havada beton dökümü için uygundur,
- Geçirimsizliği az ve dona dayanımı daha fazladır.

#### PÇ' nin sakıncaları:

- Mukavemeti yavaş kazandırır.
- Hidratasyon ısılarının düşük olmasından dolayı soğuk iklimler için uygun değildir [5].

### 2.1.2.3. Çimento dayanım sınıfları

Çimento dayanım sınıfları, 32,5, 32,5 R, 42,5, 42,5R, 52,5 ve 52,5R olmak üzere altıya ayrılmıştır. Bu sınıflandırmada, 28 günlük minimum basınç dayanımı değerinin yanında belirtilmiş olan "R" harfi, erken dayanım koşulu getirmektedir. Çizelge 2.2.'te ENV 197-1 standardındaki dayanım sınıfları ve basınç dayanımı sınırları verilmiştir.

Çizelge 2.2. Çimento dayanım sınıfları [12].

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanım Sınırları (N/mm <sup>2</sup> )		
	2 Gün	7 Gün	28 Gün
32.5	-	≥16	≥32.5, ≥52.5
32.5R	≥10	-	≥32.5, ≥52.5
42.5	≥10	-	≥42.5, ≥62.5
42.5R	≥20	-	≥42.5, ≥62.5
52.5	≥20	-	≥52.5
52.5R	≥30	-	≥52.5

ENV 197-1 standardında 32.5 ve 42.5 dayanım sınıfı çimentolar için ilk priz süresi en az 60 dakika, 52.5 dayanım sınıfı çimentoların ise en az 45 dakika olarak belirlenmiştir.

### 2.1.3. Su

Kural olarak içilebilen bütün sular, beton üretiminde endişe duyulmadan kullanılabilirler. Ancak her zaman bu özellikte su bulmak mümkün olmayabilir. Beton karma suyu asidik olmamalıdır. Yani, pH derecesi 7 ve 7'nin üzerinde olmamalıdır. Doğada bulunan sulardan, priz geciktirmeleri açısından ağır metal tuzları ve asitlerinden, organik maddelerden kaçınmak gerekir. Suların zararlılık dereceleri, çizelge 2.2' ye göre değerlendirilebilir [6,13].

Çizelge 2.3. de belirtilen madde ve özelliklerden biri zararlı etki düzeyine ulaşıyor ise, suyun zararlı etkinlik derecesinin tayininde bu düzeye ait değer esas alınır. İncelenen özelliklerden iki veya daha fazlasının söz konusu olması halinde, aralarında en yüksek zararlı etkinlik derecesine karşılık gelen değer esas alınarak zararlı etkinlik derecesi tayin edilir. Suyun zararlı etkinlik derecesinin tayininde esas alınan değer, o derece için Çizelge 2.3.'de belirtilen sınır değerleri aralığının üst dörtte birine yani 3/4' üne ulaşıyorsa, zararlı etkinlik bir üst dereceye yükseltilir [6,13].

Çizelge 2.3. Suların zararlılık dereceleri için sınır değerleri

Sıra No	İncelenen Özellikler	Zararlı Etkinlik Derecesi		
		Zayıf	Kuvvetli	Çok Kuvvetli
1	PH Değeri	6.5-5.5	5.5-4.5	4.5'dan küçük
2	Kireç Çözücü (CO <sub>2</sub> mg/L) (Heyer Mermer Deneyi İle)	15-30	30-60	60'dan büyük
3	Amonyum (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/L	15-30	30-60	60'dan büyük
4	Magnezyum (Mg <sup>2+</sup> ) mg/L	100-300	300-1500	1500'den büyük
5	Sülfat (SO <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) mg/L	200-600	600-3000	3000'den büyük

Beton üretiminde kullanılan karma suyu;

- Bağlayıcı maddenin hidratasyonunu sağlar,
- İnce ve iri agrega tanelerini ıslatır,
- Betonun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasına yardım eder.
- Belirli miktar da çimento, kum ve iri agrega kullanarak beton üretimi istendiğinde en uygun gelen bir optimum su miktarı vardır ki, bu miktar suyun kullanılmasıyla mukavemeti maksimum olan beton elde edilir [8].

*Optimum miktardan daha az su kullanılması halinde;*

- Yeter miktarda su bulunmamasından dolayı çimento hidratasyonunu tam bir şekilde yapamayacaktır,
- Agrega tanelerinin yüzeyleri tamamen ıslanmayacak dolayısıyla agrega ile çimento arasındaki aderans zayıflatacaktır,
- Betonun işlenebilme özelliği yeterli düzeyde bulunmayacaktır.
- Bütün bu gelişmelerin sonunda hidratasyonunu tamamlamış olarak elde edilen betonun mukavemeti düşük olacaktır.

*Betona konulan suyun optimum miktardan büyük olması halinde ise;*

- Çimento hamurunun mukavemeti azalacak,
- Fazla su, betonun sıkışmasına engel olarak boşluk azalmasına yol açacaktır.

Betonda gereğinden % 10 eksik su kullanımı, basınç dayanımında % 10 azaltmaya neden olduğu gibi geçirgenliğe ve dış faktörlere karşı dayanımı da olumsuz yönde etkiler. Karışım suyunun % 20'den fazla olması ise, basınç dayanımında % 30 azalmaya neden olduğu gibi diğer özellikleri de olumsuz yönde etkilemektedir.

Beton karışımında, çimento ağırlığının % 36-42'si arasında karma suyu kullanılması çimentonun hidrasyonu için yeterlidir. Bundan fazla su, betonun işlenebilme özelliği için gereklidir. Karışım suyu miktarı, çimentonun inceliği ve ağredaki çok ince malzeme ile doğru orantılıdır. Kimyasal olarak bağlanamayan su, betonda büzülme ve istenmeyen boşluklara neden olur [10].

#### **2.1.4. Katkılar**

##### **2.1.4.1. Kimyasal katkı**

Genel olarak katkı maddeleri, harç ve betonun taze veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştiren, çimento dozajının % 5'ini aşmayacak şekilde betona, çimentoya veya harca katılan organik ve inorganik kökenli maddeler olarak tanımlanmaktadır. A ve SA katkı maddeleri, etki açısından pratik olarak aynı görünmekle beraber, özellikle SA' ların normal akışkanlaştırıcı katkı maddelerine oranla daha az hava sürüklediği bilinmektedir [14].



Katkı maddeleri, kullanım amaçlarına göre,

1. Beton üretiminde kullanılan çimento miktarından azaltmaya gitmeden veya dayanımdan ödün vermeden elde edilen betonun akıcı ve kolay yerleşebilir olmasını sağlamak için,
2. s/ç oranını düşürerek YDB üretmek amacıyla işlenebilirliği sağlamak için,
3. s/ç oranı sabit kalmak kaydıyla, hem su hem de çimento miktarı azaltılarak tasarruf yapılması durumunda işlenebilirliği ilk seviyesinde tutabilmek amacıyla kullanılırlar [14].

SA bir katkının, s/ç oranı sabit ve s/ç azaltılan betonlara etkisinin incelendiği bir araştırmada aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- s/ç oranı sabit betonların çökme değerleri, kontrol betonuna göre 2-3 kat artmıştır.
- s/ç oranı azaltılan betonların çökme değerleri, s/ç oranı sabit olan kontrol betonuna göre daha yüksektir.
- Basınç dayanımı göz önüne alındığında, s/ç oranı sabit betonlar için % 1.0'den yüksek katkı kullanımının sakıncalı olduğu söylenebilir.
- s/ç oranı azaltılırken katkı oranı artırılan betonların basınç dayanımları devamlı olarak yükselmektedir.
- Yarmada çekme dayanımları, s/ç oranı azaltılan betonlarda % 1,0 katkıya kadar azalmış, % 1,5 ve % 2,0 katkılı betonlarda ise artmıştır [15].

Kimyasal katkı maddeleri, sertleşmiş kütle betonuna da önemli faydalar sağlamaktadır. Bunlar; sertleşme sürecinde hidrasyon ısısını kontrol etmesi, dayanımı artırması, çimento dozajını düşürmesi, dayanıklılığı artırması, geçirgenliği azaltması ve aşınma/kavitasyon dayanımını artırması olarak sıralanabilir [16].

#### 2.1.4.2. Mineral katkıları (Puzolanlar)

Mineral katkıları, kendi başına bağlayıcı özellik taşımayan, ince öğütüldüğünde ve önemli ortamda çimento hidratasyonu sonucu açığa çıkan kireç ile reaksiyona girerek bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler oluşturan silisli veya silisli-alüminli malzemelerdir [17]. Puzolanlar, doğal ve yapay olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Tras, diatomit, volkanik kül vb. doğal, uçucu kül, SD, yüksek fırın curufu vb. yapay puzolanlar arasında yer alır [18,19].

#### 2.1.5. Silis dumanı (SD)

##### 2.1.5.1. SD' nin tanımı

SD, yüksek oranda (% 85-98)  $\text{SiO}_2$  içeren, puzolanik özelliğe sahip, gri renkli, çimentodan 100 kat daha ince, 0,1 ve 0,2 mm çapında toz halinde bir malzemedir. İçerdiği karbon oranına bağlı olarak koyu gri veya beyaza yakın gri renk alır.  $200-300 \text{ kg/m}^3$  arasında olan birim ağırlığı, sıkıştırılarak en çok  $540-600 \text{ kg/m}^3$ 'e kadar arttırılabilir, bu nedenle depolanması ve taşınması problemdir. SD, sıkıştırılmış veya sıkıştırılmış halde 20-40 kg'lık kağıt veya plastik torbalarda, su ile karıştırılarak bulamaç haline getirilmiş olarak bidonlarda veya çimentoya katılmış olarak pazarlanmaktadır [20].

SD çok ince oluşu nedeni ile betonun yoğurma suyu ihtiyacını arttırdığından, SA birlikte kullanılması gerekir. Bu durumda çimentodan çok ince olan SD tanecikleri, floküle olmuş çimento tanelerinin arasına girip buradaki suyun yerini alabilir, ve dolayısı ile işlenebilmeyi artırır. Ayrıca küresel biçimdeki SD taneleri, su ile bağlanmış olan hidrate çimento jelinin arasında bulunan boşlukları da doldurur [21].

Çimento hamuru içindeki SD taneciklerinin bir kısmının, 24 saat içinde çözündüğü, bir kısmının ise bir aydan önce reaksiyona girmediği elektron mikroskop ile tesbit edilmiştir [22]. SD katkılı çimento hamurunda, X-Ray difraktometresi ile yapılan araştırmalarda, hegzagonal kristal halde veya hegzagonal jel halde yığılmış portlanditin (kalsiyum hidroksitin) bulunmayışı, silis dumanının serbest kireci bağliyerek C-S-H jeli oluşturması ve kristallerin zayıf kristaline dönüşmesi hatta amorf halde bulunduğu şekilde yorumlanmaktadır. XRD ve SEM ile tespiti çok zor olan portlanditin, çok küçük kristaller halinde olduğu, diferansiyel termogravimetri ile 450°C'deki karakteristik ağırlık kaybı ile belirlenmiştir [23].

Silisyum ve ferrosilisyum alaşımlarının üretiminde bir yan ürün olarak elde edilen SD, çimentoya göre çok ince taneli olup yaklaşık % 90 oranında amorf silis içerdiğinden puzolanik değeri yüksek bir maddedir. Betonda katkı maddesi olarak kullanılması SA' ların geliştirilmesi sonucu giderek yaygınlaşmıştır. Betona SA ile birlikte uygun oranlarda katılan SD, ilk günlerden itibaren dayanımları arttırmakta betonu daha geçirimsiz kılarak zararlı çevre koşullarının etkilerini azaltmaktadır [24].

SD'nin değerlendirilmesi konusunda ilk çalışmalar 1950'li yıllarda Norveç'te başlamıştır. Çok ince taneli ve puzolanik değeri yüksek olan bu maddenin çimento katkısı olarak kullanımı, NORCEM firması tarafından 1969'da denendi. Betonda SA' ların kullanılması, SD' nin birçok beton özelliği üzerindeki olumlu etkilerinin ortaya çıkması ve endüstriyel atıkların çevre kirliliğine karşı daha sıkı kontrolü gibi faktörler, SD konusundaki çalışmaların, son on yıl içerisinde hızla yaygınlaşmasına neden olmuştur. Bugün SD, artık bir endüstri atığı değil, parayla alınıp satılan kıymetli bir beton katkı maddesi haline gelmiştir [25].

Betona tras, uçucu kül, curuf, SD gibi puzolan malzeme katılarak serbest kirecin aktif silika ile bağlanması ve suda erimeyen silikat jeli (C-S-H) oluşması sağlanır, kirecin erimesi önlenir ve böylece betonun dayanıklılığı artar. Puzolanlar içinde aktif silika oranı yüksek ve çok ince olan SD bu amaçla yaygın olarak kullanılmaktadır [20]. SD' nin kimyasal kompozisyonu çizelge 2.4. de görülmektedir

Çizelge 2.4. SD' nin kimyasal kompozisyonu [24].

Kimyasal Bileşim %	Norveç	Kanada	A.B.D.
SiO <sub>2</sub>	90,-96,0	29,0-95,0	80,0-93,0
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,5-3,0	0,1-0,7	0,5-0,6
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,2-0,8	0,1-3,1	3,4-4,5
CaO	0,1-0,5	0,1-1,0	0,5-0,8
MgO	0,5-1,5	0,3-1,0	0,3-0,5
Na <sub>2</sub> O	0,2-0,7	0,1-0,2	0,1-0,3
K <sub>2</sub> O	0,4-1,0	0,5-1,4	1,0-1,2
S	0,1-0,4	0,1-0,2	0,1-0,2
SO <sub>3</sub>	-	0,1-0,6	0,4-1,3
C	0,5-1,4	2,1-4,2	1,3-3,6
Kızdırma Kaybı	0,7-2,5	2,3-4,4	1,4-3,8

### 2.1.5.2. SD üretimi ve kullanımı

Türkiye'de SD, Etibank Elektro Metalurji Sanayii İşletmesinin Antalya'daki tesislerinde elde edilmektedir. Fabrikanın ferrosilisyum (FeSi), siliko ferrokrom (SiFeCr) ve kalsiyum kromit, Demir krom (FeCr) fırınlarında özel filitreli toz tutucularla elde edilen tozların özellikleri Çizelge 2.5'de verilmiştir. FeSi ve SiFeCr baca tozları, inşaat, yalıtım ve ateş tuğlası endüstrisinde, FeCr tozları ise soda, krom endüstrisinde kullanılmaktadır [26].

Çizelge 2.5. Etibank sanayii baca tozlarının özellikleri

Kimyasal Bileşim %	Ferrosilisyum Fırını	Silikoferrokrom Fırını	Kalsiyumkromit Fırını
SiO <sub>2</sub>	94,00-95,00	85,00-90,00	4,20-7,00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,40-1,35	0,80-3,00	10,00-11,00
FeO <sub>3</sub>	0,40-1,00	0,50-1,40	10,00-11,00
CaO	0,60-1,00	0,90-1,80	26,00-28,00
MgO	1,00-1,50	3,00-3,65	13,00-14,00
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-	0,50-1,75	30,00-32,00
S	0,15-0,30	0,40-1,00	0,40-0,80
C	0,80-1,00	1,00-1,50	0,30-0,50
Kızdırma Kaybı	0,50-1,00	1,30-2,50	0,80-1,00

### 2.1.5.3. SD' nin beton özelliklerine etkisi

SD, özgül yüzeyinin fazla olması ile özellikle SA ile birlikte kullanıldığında, taze, betonun viskozitesini ve kohezyonunu artırır, segregasyon olasılığını azaltır. Ancak eşit dayanım düzeyindeki betonda istenen işlenebilmenin sağlanması için gerekli olan su ihtiyacını artırdığından, su indirgeyici veya SA katkı kullanılması gerekir. Sabit oranda hava sürükleyici katkı maddesi katılarak üretilen, 40-50 Mpa basınç dayanımındaki betonlara belirli oranda SD katılması hava boşluğunu azaltır [27]. Bağlayıcı miktarının 400 kg/m<sup>3</sup>'e, bağlayıcı içindeki SD oranının % 20'ye kadar artırılması durumunda hava sürükleyici katkı maddesi ihtiyacı da artar [28]. SD, betonda sıcak ve kuru ortamlarda plastik rötre çatlağının oluşması riskini artırır. İşlenebilmenin sağlanması için gerekli A veya SA kullanılması nedeni ile özellikle yüksek dozlu betonlarda priz süresi gecikir [29].

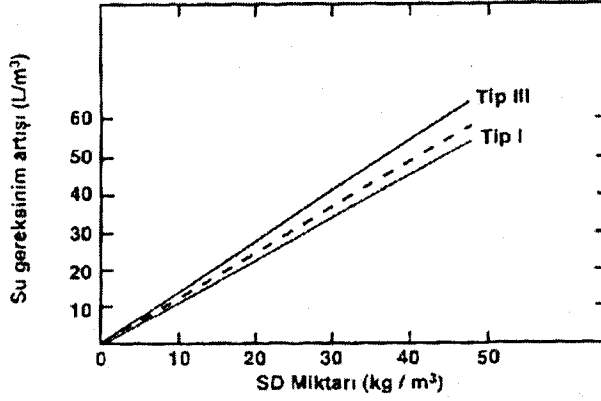
Puzolanlar arasında yoğunlaştırılmış SD, yüksek amorf silika yüzdesi ve betondaki yüksek dayanımı ile en kullanışlısıdır. SD'nin betondaki başlıca

etkileri, doldurucu etki ve puzolanik etki olmak üzere iki şekilde açıklanır. Elde edilen bilgiler SD'nin beton dayanımını artırdığını göstermektedir. SD, betona dayanım artışı ve geçirimsizlik sağlayarak, bu çift etki sayesinde beton, daha büyük bir fiziksel ve kimyasal direnç kazanır. Sülfat ve klor etkisinin betonları on yıllık bir süre içerisinde hızla tahrip ettiği gözlenmiştir. SD'li betonlarda ise dayanım ömrünün 50 yıl daha fazla olacağı sanılmaktadır. Kimyasal direnç ve geçirimsizlikleri nedeniyle, kimyasal atık ve atık suların fabrikalardan, gübre depolarından ve lağımlardan tehlikeli olabilecek sızıntı riskini azaltır. Kuru paketlenmiş SD ürünleri, 1987'den beri küçük projelerde tercih edilmiştir [30].

#### **2.1.5.3.1. Su gereksinimi ve işlenebilme**

SD taneleri, daha büyük çimento tanelerinin arasındaki su ile yer değiştirerek granülometriyi iyileştirirler ve serbest su miktarını artırır. Ancak bu olumlu etkiye neden SD tanelerinin ıslanması gereken çok büyük toplam yüzey alanı su gereksiniminin Şekil 2.1'de görüldüğü gibi SD miktarı ile orantılı olarak artmasına neden olur. Bu durumda  $1\text{m}^3$  betona her 1 kg SD için 1 litre su ilavesi önerilmektedir. Yüksek dozlu betonlarda veya SD'nin çimentonun % 5'i civarında katılması halinde su ilavesine gerek olmayabilir. Ancak normal olarak SD katkısı, A veya SA katkılarıyla birlikte kullanılmalıdır. Böylece SD katkısı artsa bile su miktarını artırmadan ve hatta azaltarak aynı işlenebilmeyi sağlamak mümkün olmaktadır [24].

SD katılmış taze betonlar, daha yapışkan olurlar. İşlenebilirliklerini bir süre koruyabilmeleri için ilk çökme değerlerinde 50 mm civarında bir artış öngörülmelidir [31].



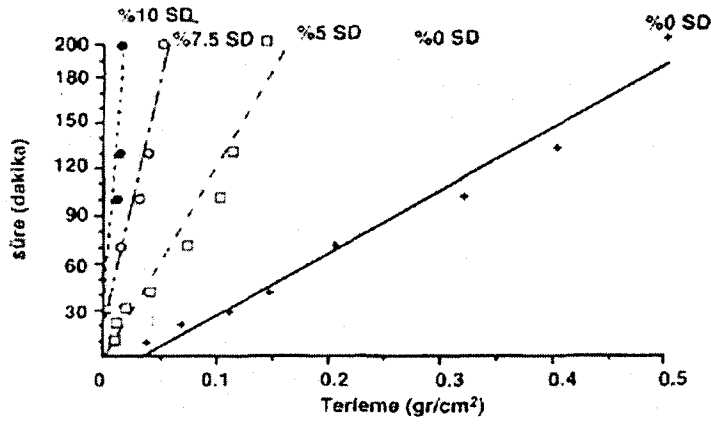
Şekil 2.1. SD'nin su gereksinimine etkisi

### 2.1.5.3.2. Priz süresi

SD, çimento hamurunda priz sürelerini uzatmaktadır. Benzer etki taze betonda da görülür. Katkı miktarı çimento ağırlığının % 10'unu geçmedikçe bu etki önemsenmeyebilir. İlâveten betonda kullanılan SA'ların da priz geciktirici etkileri olacaktır. Örneğin, çimentonun % 15'i yerine SD katılmış ve SA kullanılmış betonlarda priz başlangıç ve bitiş sürelerinde sırası ile 1 ve 2 saatlik uzamalar gözlenmiştir. Diğer taraftan, gibi aktivitesi daha az olan puzolanların sebep olduğu priz gecikmeleri, SD ilavesi ile kısmen telafi edilebilmektedir [24].

### 2.1.5.3.3. Terleme ve plastik rötne

SD tanelerinin büyük yüzey alanı, taze beton içindeki serbest suyun büyük bir kısmını bağlar. Şekil 2.2.'de görüldüğü gibi SD miktarı ile orantılı olarak betonda terleme önemli miktarda azalmaktadır [20].



Şekil 2.2. SD'nin betonda terlemeye etkisi

SD katılmış taze betonda terlemenin çok azalması veya hiç meydana gelmemesi, özellikle beton yüzeyinden buharlaşmanın fazla olduğu ortamlarda plastik büzülmeden dolayı çatlama riskini artırır. Çatlakların oluşması priz başlangıcına kadar sürebilir. Bu süre içinde beton yüzeyinin örtülerek buharlaşmanın önlenmesi yararlı olur [24].

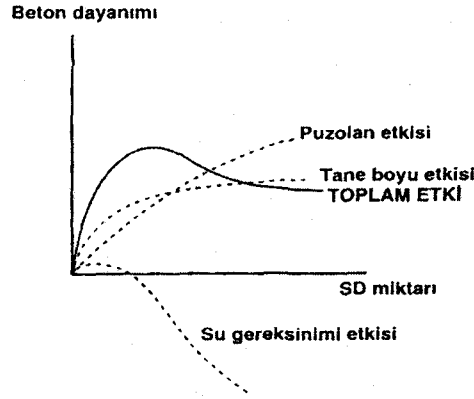
#### 2.1.5.3.4. Basınç dayanımı

SD puozolanik aktivitesi nedeni ile serbest kireci bağlayarak silikat jeli oluşturur, agrega etrafındaki geçiş bölgesi kalınlığını azaltır, filler etkisi ile de boşluk miktarını ve boyutunu azaltır, çimento hamurunun yoğunluğunu artırır, bunların sonucu olarak basınç dayanımı artar. Ancak su indirgeyici veya SA kullanılmaz ise, istenen işlenebilmeyi sağlamak için su gereksinimi artacağından dayanımda bir miktar azalma olur [20] Bu nedenle istenen beton özellikleri için optimum SD oranı, s/b oranı ve katkı maddesi oranı ön deneylerle belirlenmelidir.

SD'nin beton dayanımı üzerindeki olumlu etkisi, uçucu kül ve curuf gibi katkılara oranla daha fazladır, diğer bir deyimle 1kg SD, 2-5 kg çimentoya eşdeğer sayılabilmektedir [31].

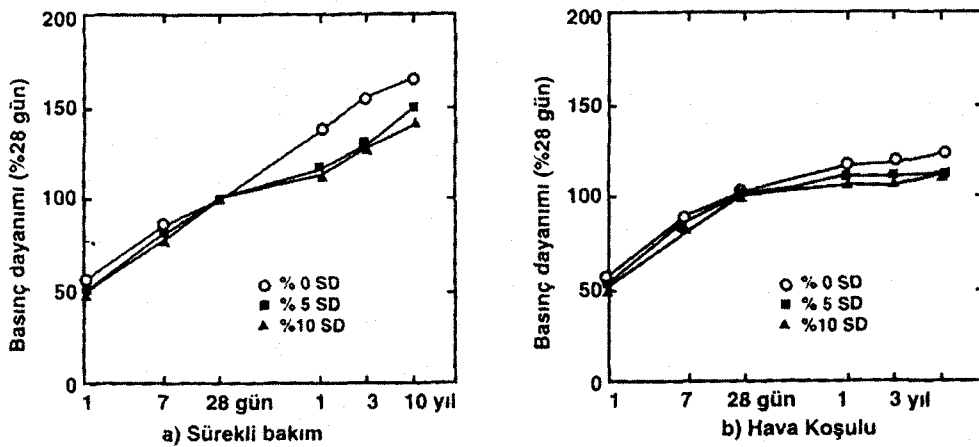
SD katkısının beton dayanımına olan etkisi Şekil 2.3'deki gibi açıklanabilir.





Şekil 2.3. SD'nin beton dayanımına etkileri

Normal bakım koşullarında SD'nin beton dayanımına olumlu etkisi 3-28 gün arasında olur. Ancak  $S/(Ç+P)$  oranını 0,40 indirerek 1 günlük dayanımları daha yükseltmek mümkündür. Diğer puzolanlarda olduğu gibi SD'nin olumlu etkileri, iyi bakım koşulları ile geliştirebilmektedir. Şekil 2.4.'te görüldüğü gibi bakım yapılmadığı takdirde katkısız ve SD katkılı betonlarda dayanım artışı azalmaktadır. Şekilden ortaya çıkan diğer bir husus, bakım yapılsa dahi SD katkısının betonlarda 28 günden sonraki dayanım artışlarını azaltmasıdır [32]. Bu konuda bazı araştırmacılar tam olarak aynı görüşte değildir.



Şekil 2.4. SD katkılı betonlarda dayanım artışı

Betonun 28 günlük basınç dayanımını arttırmayı amaçlayan çalışmalarda SD'nin genellikle çimentonun % 5-% 20'si oranlarında betona katıldığı ve gerekli işlenebilmeyi sağlamak için % 10'dan yukarı miktarların SA ile birlikte kullanıldığı görülmektedir. SD ve SA'ların birlikte kullanılması ile elde edilen YDB'larda SD miktarı, çimentonun ağırlıkça % 15'i civarındadır [33,34].

SD, betonun dayanımını artırdığı kadar çimento pastasının da dayanımını artırır. % 10 SD içeren pastalar, betonun dayanımının artmasından evvel belli bir zaman süresi boyunca dayanımını kaybetmektedir [35]. Son yıllardaki uygulamalarda betona katılan SD'nin sertleşmiş çimento hamurunda oluşacak boşlukları incelttiği (çimentodan 100 kat daha ince olduğundan) ince basınç mukavemeti 270 MPa'la kadar çıkmaktadır [36].

SD'nin beton dayanımına olumlu etkisi, agrega-hamur geçiş bölgesinin kuvvetlenmesi ve daha kaliteli bir çimento hamuru oluşmasından kaynaklanmaktadır. SD içeren betonların yüksek mukavemet, yüksek durabilite ve taze halde işlenebilme mükemmelliğe sahip oldukları ve SD ile SA kullanıldığında daha iyi özelliklere ulaşılmaktadır. Artan geçirimsizlik, donatı çevresindeki betonda oksijen yayılmasını önlemekte ve elektrik direncini yükseltmektedir [37].

#### **2.1.5.3.5. Çekme ve eğilme dayanımları**

SD katkılı betonlarda çekme ve eğilme dayanımlarının basınç dayanımına oranları, katkısız betonlarınkine benzemektedir. SD miktarının artması veya SA kullanılmaması, eğilme-basınç dayanım oranının katkısız betonlarınkinden daha küçük olmasına yol açmaktadır [20].

### 2.1.5.3.6. Donma-çözölmeye karşı dayanıklılık

Betonun donma-çözölmeye karşı dayanıklılığı, geçirimsizliği ve boşluk yapısı ile yakından ilişkilidir. İyi beton yapım kurallarına uyulması (düşük s/ç oranı, iyi sıkıştırma ve etkin kür) ve kimyasal katkıları yolu ile hava sürüklenmesi alınacak başlıca önlemlerdir. Araştırmalara göre s/b oranı 0.25 iken SD % 30'a varan katılma oranlarında donma-çözölme dayanıklılığını olumlu etkilemekte ancak daha yüksek s/b oranlarında etki olumsuz olmaktadır. Hava katkılı ve s/b 0,40 olan betonlarda çimentonun % 20-% 30'u yerine katılan SD, donma, çözölme dayanıklılığını azaltmıştır. SD, % 5 oranında katıldığında ise az bir miktar olumlu etki gözlenmiştir. Geçirgenliği az olan SD'li hamurlarda oluşan hidrolik basıncın olumsuz etkiye neden olduğu ileri sürölmektedir. Ayrıca düşük s/b oranlı betonlarda SD arttıkça hava sürüklenmesi zorlaşmakta ve hava kabarcıkları arasındaki gerekli kritik mesafenin de daha küçük olması gerekmektedir. Hava katkılı veya katkısız betonlarda çimentonun % 7.5 veya % 15'i yerine katılan SD'nin donma-çözölme direnci üzerindeki etkisi s/b orantısına bağlı olarak değişebilmektedir. Olumlu etki, s/b oranı 0.60 olduğunda az, 0.45 olduğunda ise fazladır. Yüksek dayanımlı (s/b=0.32) betonlarda ise etki olumsuzlaşmaktadır [26].

### 2.1.5.3.7. Aşınmaya karşı dayanıklılık

Beton yüzeylerinin servis koşulları altında bozulup çatlayarak parçalanması, trafik yükleri altında veya akar suların etkisi ile erozyon ve oyulma şeklinde meydana gelir. SD, gerek hamur gerekse hamur-agrega ara yüzey dayanımlarını artırması nedeni ile betonun bu gibi yıpratıcı etkilere karşı direncini arttırmaktadır. Böhme cihazı ile yapılan deneylerde çimentonun % 10'u kadar katılan SD ile aşınma kaybının % 40 mertebesinde azaltılabileceği bulunmuştur [38].

## 2.2. Lifli Beton

Belirli özellikleri olan liflerle homojen olarak takviye edilmiş olan LB, ilk görünüşte normal beton karışımlarına benzemesine rağmen değişik yükler altında gösterdiği davranış ve performans açısından geleneksel betondan oldukça farklı bir özellik gösterir. LB içerisinde gelişigüzel dağılımına rağmen LB yük altında homojen bir malzeme olarak davranır. Beton içerisine katılan lifler, çimento matrisini (ya da harç fazını) takviye ederek beton içerisinde, üzerinden gerilmelerin geçtiği küçük köprüler olarak rol oynarlar.

Deney çalışmalarında, taze betonun içerisinde bulunan lif miktarının artması ile betonda işlenebilirliğin giderek zorlaştığı tespit edilmiştir. Çelik lifli betonlar (ÇLB) üzerinde yapılan çalışmalarda, liflerin basınç dayanımını her zaman artırmadığı, bazen de dayanım kaybına sebep olduğu görülmüştür. Buradaki dayanımın artması ve azalması yaklaşık % 25 dolayındadır. Yapılan araştırmalarda, beton kırıldıktan sonra ÇL'lerin kırılan beton parçalarını bir arada tutmaya devam ettiği ve kırılma yükünden daha fazla bir yükü taşıdığı belirlenmiştir. Diğer taraftan ÇLB'ların yorulma dayanımının lifsiz betonlara göre % 50 ile % 100 arasında artış gösterdiği deneylerle tespit edilmiştir. Benzer bir durum darbe dayanımı içinde geçerlidir. Ortalama bir lif dozajında ( $30 \text{ kg/m}^3$ ) LB'un darbe dayanımı, lifsiz betondan 10-20 kat arasında daha yüksektir. Yüksek deformasyona uğramış ÇLB'la üretilmiş borularda parçalanmanın meydana gelmediği deneylerle belirlenmiştir. Endüstriyel döşemelerde ÇL kullanılması halinde döşeme kalınlığı azalmakta, hasır donatı kullanılmamakta, çatlakların yayılması durmakta, daha düşük bakım ve tamir maliyeti olmaktadır.

ÇLB'un özelliği, onun arttırılmış plastik davranışı ve enerji tutma yeteneğidir. LB uygulamaları, esas itibariyle, betonda çatlakların ilerlemesini ve yayılmasını önlemek, sünekliği ve tokluğu arttırmak maksadıyla yapılır. Uygulamanın etkinliği;

- Kullanılan lif miktarına,
- Lif şekline,
- Liflerin beton içindeki yönlenmesine ve dağılımına,
- Boy-çap oranlarına,
- Liflerin ve betonun elastisite modüllerinin oranına ve
- LB'nun sıkıştırılma yöntemine bağlıdır.

Lif kullanılmasıyla beton özelliklerinde meydana gelen değişikliklere örnek olarak s/ç oranı 0.5, en büyük agrega boyutu 10 mm olan bir normal betonla aynı betonun hacimce % 2 çelik lif içeren halinin karşılaştırılması Çizelge 2.6 da verilmiştir.

Çizelge 2.6. Normal betonla ÇLB'un bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Beton	Çekme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Basınç Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Eğilme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Kesme Dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (X1000N/mm <sup>2</sup> )	Kırılma Birimi D	Göreceli Tokluk
Normal	2.1	44.0	5.0	3.0	16	0.015	1
ÇLB	2.5	49.0	8.0	5.0	17	0.045	3

LB'lar, genel olarak çatlak ilerlemesinin istenmediği, enerji yutma kapasitesinin yüksek olması gereken yerlerde kullanılır. Bunlara örnek olarak; köprüler, beton yollar, hava alanları, endüstriyel döşemeler, kayalarda şev stabilizasyonu gibi işler gösterilebilir

### 2.2.1. Lif çeşitleri

LB üretiminde çeşitli lifler kullanılmaktadır. Bunlar arasında çelik, polipropilen, cam vb. sayılabilir. LB uygulamalarında kullanılan liflere ait örnekler, çizelge 2.7. de verilmiştir.

Çizelge 2.7. LB uygulamalarında kullanılan liflere ait örnekler

Lif	Çap (mm)	Boy (mm)
Çelik lif	0,13-1,00	30-70
Cam Lifi	0,01-0,02	25-50
Asbest Lif	20 x 1 0 <sup>0</sup>	1-20
Polipropilen Lif	4 x 1 0 <sup>3</sup>	25-50

Betonun özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacıyla taze beton içerisine çeşitli yöntemler ile değişik miktarlarda katılan lifler (çelik, plastik, cam gibi) değişik malzemelerden farklı tip ve boyutlarda üretilmektedirler. Değişik malzemelerden üretilmiş lifler ve bunlara ait özellikler Çizelge 2.8' de görülmektedir [39].

Çizelge 2.8. Değişik malzemelerden üretilmiş lifler ve özellikleri

LIF CINSİ	Çekme Dayanımı (MPa)	Elastisite Modülü (10 <sup>3</sup> ,MPa)	Maksimum Uzama (%)	Ozgül Kütle (g /cm <sup>3</sup> )
Akrilik	207-414	2,1	25-45	1,1
Asbestler	552-966	83-138	0,6	3,2
Pamuk	414-690	4,8	3-10	1,5
Cam	1035-3795	69	1,5-3,5	2,5
Naylon	759-828	4,1	16-20	1,1
Polyester	724-863	8,3	11-13	1,4
Polietilen	690	0,14-0,4	10	0,95
Polipropilen	552-759	3,5	25	0,90
Pamuk – Yün	414-621	6,9	10-25	1,5
Mineral Yün	483-759	69-117	0,6	2,7
Çelik	276-2760	200	0,5-35	7,8

### 2.2.2. Çelik lif (ÇL)

Agrega, çimento ve su gibi temel bileşenler ile üretilmiş kompozit bir malzeme olan beton içerisine çeşitli yöntemler ile değişik miktarlarda (çelik plastik, cam, vb.) liflerin katılması ile elde edilen malzemeye lifli beton denilir [1].

ÇL'ler birbirinden farklı yöntemlerle ve düşük karbonlu çelik kullanılarak yapılmaktadır. ÇL'lerin çapları, 0,13 mm ile 1,0 mm, boyları ise 13 mm ile 70 mm arasında değişmektedir. ÇL'lerde uzunluk çap oranı önemlidir ve bu oran 30-150 arasında değişmektedir.

ÇL, birbirinden farklı değişik yöntemlerle üretilmektedir. Bunlar, genel olarak şöyle sıralayabilir [40].

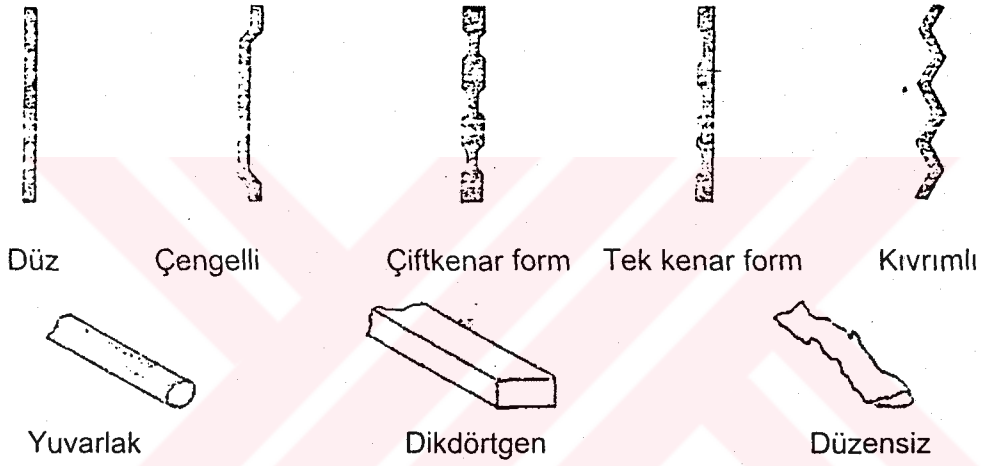
- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi,
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi,
- Sıcak çekme yöntemi,
- Çelik tellerin öğütülmesi yöntemi.

ÇL'ler şu şekilde tanımlanırlar;

- Görünüm oranı ( lif uzunluğu / lif çapı ),
- Geometrik yapı,
- Lifi çekme gerilmesi.
- ÇL'ler, düşük karbonlu çelik C 1008' den üretilmişlerdir. En önemli nitelikleri yüksek ve üniforma çekme gerilmesine karşılık düşük uzama özellikleridir.
- Çekme gerilmeleri ortalama olarak  $1200 \text{ N/mm}^2$  ( $12000 \text{ kgf /cm}^2$ ) olup elastik limitleri % 0,2 'in altındadır. ÇL'lerin, geometrik şekilleri, çekme gerilmeleri çap ve uzunlukları arasında belli bir oran vardır. Kullanılan ÇL'lerin çapları, 0,13-1,0 mm arasında olup uzunluk/çap oranları 30 ila

150 arasında değişmektedir. Lif boyları ise 13 mm' den başlayıp 70 mm' ye kadar değişmektedir. Lif hacmi fraksiyonu (  $V_f$  ) diye tanımlanan ve betonda belirli bir yüzey alandaki lif alanını gösteren lif hacmi de % 0,5 ile % 3 arasında değişmektedir [41].

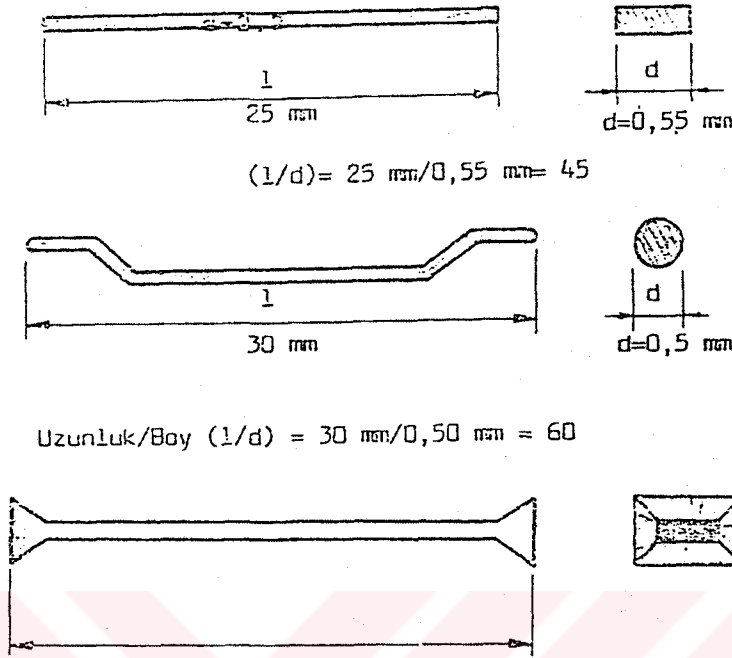
Lifler; düz, dalgalandırılmış (kırımlı) olabileceği gibi uçları bükülmüş de olabilir. Şekil 2.5. de ÇL tip ve kesitleri görülmektedir.



Şekil 2.5. ÇL tip ve en kesitleri

ÇL'lerin beton içerisindeki performansı bu malzemelerin uzunluk/çap oranı, beton içerisindeki konsantrasyonu ve liflerin geometrik yapısı ile de yakından ilgili olduğu için piyasada değişik lifler bulunmaktadır. Şekil 2.6.da değişik ÇL'lerin en kesitleri gösterilmiştir [1].





Şekil 2.6. Değişik ÇL'lerin en kesitleri

Özellikle çekme ve kesme kuvvetlerine çalışan liflerin beton ile aderansı lifli betonun işlevini olumlu yada olumsuz yönde etkiler. Dalgalandırılmış ve uçları bükülmüş liflerin çekme kuvvetleri etkisi ile matristen ayrılması düz liflere göre daha zordur. ÇL'lerin yüksek çekme mukavemetleri sayesinde kırılıp kopmaları çok zordur. Fakat bu liflerin yükün belli bir gerilme değerinden sonra matristen sıyrılması lifli betonun performansını olumsuz yönde etkileyen en önemli öğedir. Bu olay harç fazının (matris) yapısı ile ilgili olmakla birlikte kullanılan liflerin geometrik yapısı ile de yakından ilgilidir.

ÇLB'ların genel uygulamalarında yüzeyi kaplanmamış çelik teller kullanılır. Bu tellerin tek sakıncası, özellikle beton vibrasyonlu master ile yerleştirilmiyorsa açıkta kalan tellerin paslanarak yüzeyde kırmızı pas lekeleri meydana getirmesidir. Aşırı paslanmanın olabileceği ortamlarda ya da estetik kaygının ağır bastığı kaplamalarda ve ön yapımlı beton elemanlarda galvanize olmuş liflerin kullanılması daha uygundur. Isıya dayanıklı ve 'su ile "doğrudan temas eden betonlarda ise paslanmaz çelik liflerin kullanılması

tavsiye edilir. Bu liflerin teknik özellikleri diğerleri ile aynı olup sadece korozyona karşı daha dirençlidirler.

Taşıma ve kullanmada kolaylık açısından liflerin 10 ya da 30 adedi suda eriyebilen ya da mekanik etkiler ile kopabilen bir tutkal ile birbirlerine yapıştırılmıştır. Aşağıdaki şekilde bu durum görülmektedir. Bu şekillerde tutkal tipi, kullanıma ve karışıma bağlı olarak iki çeşit olup çözülme süreleri:

P tipi : Birkaç saniye,

C tipi : 30-60 saniyedir,

TS 10513/93'de lif özellikleri ile ilgili iki önemli parametre mevcuttur. Bunların birincisi, her bir lifin çekme dayanımının  $310 \text{ N/mm}^2$  ( $31 \text{ 00 kgf/cm}^2$ ) den az olmayacağı zorunluluğudur. Diğer ise  $16 \text{ }^\circ\text{C}$  in üzerindeki ortamda  $3,18 \text{ mm}$  bir iç çap çevresinde yapılan lif eğilme deneyinde teste tabi tutulan liflerin % 90 kırılmaksızın  $90^\circ$  eğilme kabiliyeti gösterebilmesi şarttır. Bu özellikler, betonda kullanılan liflerin daha sünek ve çekme dayanımı yönünden daha yüksek bir mukavemet ile davranabilmesine imkan sağlar [37,42].

### 2.2.3. ÇL'lerin sınıflandırılması

Çelik teller şekillerine göre;

- A Sınıfı Teller: Düz, pürüzsüz yüzeyli teller
- B Sınıfı Teller: Bütün uzunluğunca deforme olmuş teller
- C Sınıfı Teller. Sonu kancalı teller Olmak üzere 3 sınıfa ayrılırlar.
- B Sınıfı teller, uzunluğu boyunca deforme olma şekline göre;
- Üzerinde girintiler (çentikler) açılmış teller.
- Uzunluğu boyunca dalgalı (kivrımlı) teller.

Ay biçimi dalgalı teller Olmak üzere 3 tipe ayrılırlar.

*C Sınıfı teller sonlarındaki kancalara göre ;*

- İki ucu kıvrılmış teller.
- Bir ucu kıvrılmış teller.

Olmak üzere iki tipe ayrılırlar [43].

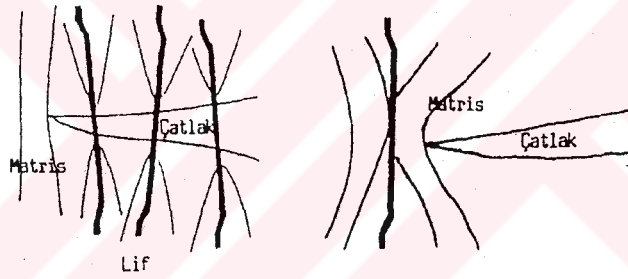
#### **2.2.4. ÇL'lerin betona kazandırdığı nitelikler**

ÇL'lerin betona sağladığı katkıların en önemlileri şöyle özetlenebilir; Özellikle kavitasyon, erozyon dayanımı, darbe dayanımı, ilk çatlak oluşumu dayanımı, çekme dayanımı, yorulma dayanımı, deformasyon dayanımı, süneklilik ve tokluk açısından lifsiz betonlardan çok daha iyi performans göstermesi [44]. Betonun bu özelliklerindeki performans artışı, liflerin beton içerisindeki davranışı, betonun bu özelliklere karşı tepkisi, betonda ilk çatlak ve nihai yükte meydana gelen kopma ile açıklanabilir. Yukarıda sayılan özellikler liflerden en fazla etkilenen kompozit özellikleridir. LB'da değişik gerilmeden yada değişik nedenlerle meydana gelmiş çatlaklardan her biri çatlak ucuna yakın bir yerdeki bir lif ile takviye edilmiştir. Şekil 2.7(a)'da görüldüğü gibi, beton içerisinde lif bulunmaması durumunda betona herhangi bir gerilme uygulandığında meydana gelen mikro çatlaklar gerilmenin artması ile birlikte çeşitli yönlerde doğru yayılarak belli bir gerilme değerinde betonun parçalanmasına neden olur. LB kompozitlerde ise, betonun kırılma mekaniği değişiktir.. Bu kompozitler, ilk çatlağın oluşmasından sonra çimento hamurundan çelik liflere doğru bir gerilme transferi meydana getirir. Bunun sonucunda beton içerisindeki lifin miktar ve geometrik özelliklerine bağlı olarak, ÇL'ler bir kısmını kendi üzerlerinde taşıdıkları gibi bir kısmını da, matrisin sağlam bölgelerine transfer ederek yayarlar.

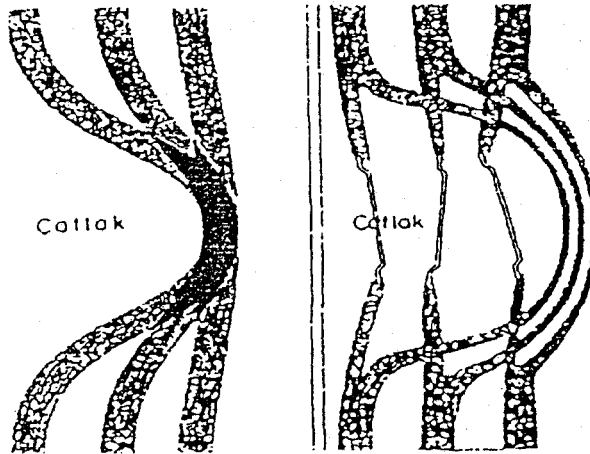
Lifsiz betonda başlangıçta meydana gelen çatlağın (gerilmenin artması ile) yayılması için gerekli enerji düşüktür. Genellikle böyle bir çatlağın başlatılması için gerekli enerjinin yaklaşık yarısı kadardır. Beton içerisinde lif

bulunması halinde ise başlangıçtaki mikro çatlak meydana getiren enerji, lifler aracılığı ile çatlak yanındaki sağlam çimento hamuru bölgelerine taşınır. Bu durum Şekil 2.4 ve 2.5'de görülmektedir.

ÇL'in bu özelliği nedeniyle çatlak yayılması için daha fazla enerji gerekir. Böyle bir enerjinin bulunması durumunda bile bu enerjinin büyük bir bölümü lifler tarafından taşınır ve taşıma liflerin çimento hamuru matrisinden çekilip sıyrılması için gerekli enerji seviyesine kadar devam eder. Bu enerjinin sağlanması için çok büyük bir kuvvet gereklidir. Nihai yüke ulaştıktan (beton kırıldıktan) sonra bile, ÇL'ler kınlan beton parçalarını bir arada tutarak nihai yükten bir miktar fazlasını da taşımaya devam eder [1].

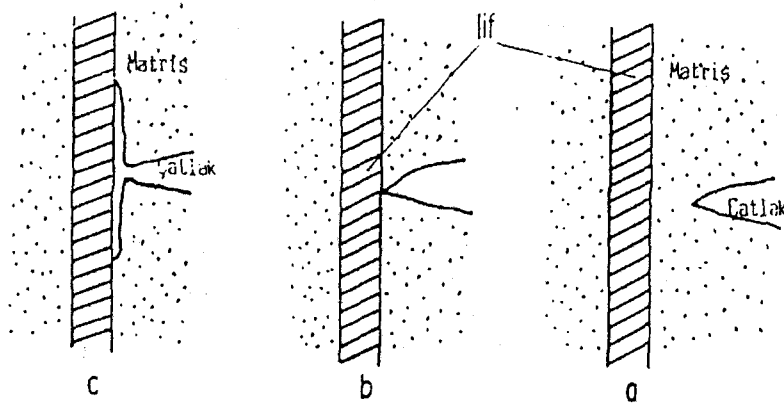


(a)



(b)

Şekil 2.7. ÇLB'larda liflerin çatlak sonlarını takviye etmesi, çatlak yayılmasının önlenmesi



Şekil 2.8. ÇLB'larda liflerle gerilmenin dağılımı [1].

Polipropilen ve ÇL'li YDB'ların basınç ve çekme yükleri altındaki davranışlarının incelendiği çalışma, polipropilen liflerin basınç dayanımlarını 7 ve 28 günde, lifsiz YDB'a göre % 0,4-0,5 civarında azalttığı, buna karşılık yarmada çekme dayanımlarını, % 12-14 arttırdığı belirlenmiştir. ÇL'lerin ise basınç dayanımına, % 1 civarında artış sağlayarak önemli ölçüde etkilemediği, yarmada çekme dayanımlarında ise, % 35'lik önemli bir artışa neden olduğu gözlenmiştir.

### 2.2.5. ÇL'lerin beton içerisindeki davranışı

ÇL'lerin beton içerisindeki işlevi ile betonda kullanılan çeliğin (donatının) işlevi hiçbir zaman birbirine karıştırılmamalıdır. Bir çok yerde donatı ve ÇL belli bir yere kadar aynı işlevi görebilir. Fakat bunlar arasındaki en önemli fark beton içerisindeki fonksiyonları ve buradaki çatlakların kontrolünü nasıl ve ne zaman yaptıklarıdır [45].

ÇL'ler en büyük etkiyi, çatlakların ilk oluşum anında, çatlak sonlarındaki gerilmeleri kendi üstlerine ve sağlam alanlara transfer ederek işlevlerini yerine getirirler. Ayrıca içerisine çelik liflerin katılması ile performansında büyük artışlar görülen betonun tokluk, ilk çatlak dayanımı, kravitasyon-erozyon dayanımı, yorulma dayanımı ve çarpma dayanımı gibi özellikleri, işlev açısından daha farklı davranış gösterecek ve onun matris özelliklerini değiştirecek bir malzeme olan çelik liflere karşı daha duyarlıdır.

### 2.2.6. Liflerle güçlendirilmiş kompozitlerde matris özellikleri

LB literatüründe matris (matrix) diye tanımlanan yapı, lifin etrafını saran ortam malzemesidir. Kısacası; çimento hamuru matris diye tanımlanır. LB kompozitlerinde matrisin fonksiyonu lifleri bir arada tutmak onları korumak (sarmalamak) ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır [45].

LB'ların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland ya da katkıli portland çimentosu kullanılmıştır. Matrisin nitelikli olmasını sağlamak üzere LB karışımlarının S/Ç oranları 0,55 'den küçük olacak şekilde karışımlar hazırlanarak betonun çimento dozajı minimum  $300 \text{ kg/m}^3$  tutulmuştur. Yine bu amaçla, yapılan çalışmalarda matrisi güçlendirmek amacıyla betonda silika tozu da kullanılmaktadır.

### 2.2.7. ÇLB'un teknik özellikleri

Normal beton içerisine değişik miktarlarda belli özelliklerde ÇL'lerin katılması ile elde edilen LB, teknik olarak normal betonun zayıf olan bir çok özelliğini iyileştirerek performansını artırır. Bu iyileşmeleri özetlersek aşağıdaki gibi sıralayabiliriz [4].

Beton özelliği	Artış%
Tokluk	100-1200
Darbe dayanımı	100-1200
İlk çatlak dayanımı	25-100
Çekme dayanımı	25-100
Nihai eğilme dayanımı	50-100
Yorulma dayanımı	50-100
Deformasyon	50-100
Basınç dayanımı	+25
Kavitasyon–erozyon dayanımı	300
Elastisite modülü	+25

### 2.2.8. ÇL'li taze betonun özellikleri

Beton içerisine ÇL'lerin katılması sonucu taze beton özelliklerde bazı değişiklikler gözlenir. ÇL'lerle güçlendirilmiş karışımların taze beton özelliklerini doğru tespit edebilmek için bu karışımların taze beton özelliklerinin de sağlıklı yöntemlerle tespit edilmesi gerekir.

Şimdiye kadar yapılmış olan tüm çalışmalarda betona lif ilave edilmesi ile işlenebilirlikte önemli derecede azalmalar tespit edilmiştir. Bu azalma üzerindeki en önemli iki parametre, karışımdaki lif hacmi ve lif görünüm oranı diye tanımlanan lifin uzunluk / çap oranıdır. Bu önemli parametrelerin dışında liflerin betona katılması, karıştırma teknikleri ve LB'un karışım tasarımı da lifli taze betonun özelliklerini önemli ölçüde değiştirir.

Lifsiz betonlarda işlenebilirliği ölçmek için pratik olması nedeni ile çok kullanılan slump (çökme) deneyi ÇL'lerle güçlendirilmiş beton karışımlarında pek kullanılmaz. Slump yöntemi ile yapılan işlenebilirlik deneylerinde LB'un işlenebilirliği sağlıklı olarak tespit edilememiştir.

ÇL'lerle güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğini ölçmek için en uygun yöntem ve Be deneyidir. Bu deney en sağlıklı yöntem olmasına rağmen şantiye şartlarına uygun olmaması nedeni ile şantiyelerde kullanılmaz. Ancak laboratuvar çalışmalarında kullanılabilir. Gerek şantiyelerde ve gerekse de laboratuvar da çelik liflerle güçlendirilmiş betonların işlenebilirliğini ölçmek için kolayca kullanılabilen ve sonuçları açısından sağlıklı veriler ortaya koyan ASTM C 995 'de tanımlanan ters çevrilmiş koni deneyidir. Bu deneyde dahili vibratör hareketi ile ters koniden, koni ağzı açıklığı boyunca betonun akması için geçen süre ölçülür. Bu yöntem, ÇLB'ların betonların işlenebilirliğini ölçmek için geliştirilmiştir. Bu deney yöntemi, SA'lar ile yüksek oranda akışkanlaştırılmış betonlar için uygun değildir. Çünkü bu yöntemde beton vibrasyon ile akma eğilimindedir [45].

Bu konuda yapılan çalışmaların sonuçları şöyle sıralanabilir:

- LB çalışmalarında işlenebilirliği sağlıklı olarak tespit etmek için şantiyede ters çevrilmiş koni, laboratuarda ise Ve-Be yöntemi kullanılmalıdır.
- Lif hacmi fraksiyonunun ( $V_f$ ) ya da beton içerisindeki lif içeriğinin artması sonucu işlenebilirlikte azalmalar meydana gelmektedir.
- Lifin geometrik şeklide işlenebilirliği olumlu ya da olumsuz yönde etkilemektedir,
- Görünüş oranı dediğimiz ( $1/d$ ) in büyümesi ile de işlenebilirlikte zorluklar meydana gelmektedir.
- Bu nedenlerle işlenebilirlik değerlendirilirken lifle güçlendirme indeksi  $V_f$  ( $1/d$ ) sas alınmalıdır.
- İşlenebilirlik şu lif şekli sırasına göre azalmaktadır; kıvrımlı, düz, çift kenarlı, çengelli.
- Özellikle çimento ağırlığının % 0,3 'ü oranındaki katkı miktarından sonra işlenebilirlikte iyi artışlar tespit edilmiştir [46].

### 2.2.9. Eğilmede çekme dayanımı

ÇL'li betonların nihaî eğilme dayanımları normal betonlara göre % 50 - % 100 arasında artış göstermektedir. Bu artış, ÇL'lerin yüksek çekme dayanımlarından ileri gelmektedir.

Swamy ve Mangat (1974) ÇL'ler ile yaptığı araştırmada ÇL'lerin eğilmede çekme dayanımı üzerine; çatlak gelişimine ve kompozit malzeme mekaniğine dayanan bir teori sundular. 10x10x50 cm ölçülerinde prizmatik deney numuneleriyle 25,4 mm ÇL'lerle yapılan deneylerle desteklenen bu teoriye göre ilk çatlak lif sıyrılmasından meydana gelmekte ve nihai göç liflerin sıyrılması ve yüzeysel kayma gerilmesinin maksimum kenetlenme dayanımına ulaşması ile olmaktadır.

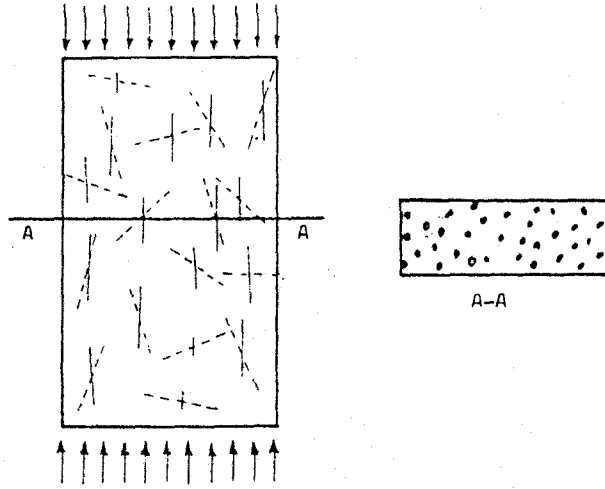


Zielinski ve Reihardt (1982) çalışmalarında Split – Hopkinson Bour deney düzeneğinde mikro betondan imal edilen kiriş ve küf numuneler kullandılar. Normalde, betonun çekme dayanımının ihmal edildiğini belirterek, betonda çatlamanın ve kayma kuvvetleri nedeniyle lif ve donatıların kenetlenme özelliklerinin çekme dayanımını etkilediğini vurguladılar, yükleme hızının yavaş olduğu deneylerde, çatlağın daha az enerji gerekerek izleyebileceği zayıf noktaları bularak kendine yol çizdiğini, bu nedenle genelde agrega etrafından dolaşan matris içinde çatlaklar oluştuğunu ifade ettiler [47].

Maksimum eğilme dayanımı genellikle narinlik oranı ve betondaki lif'hacmine bağlı olarak artar. Düşük narinlik oranına sahip liflerin (50'den az) hacmin % 0,5'inden az olması statik dayanım özellikleri üzerinde önemsiz etkiler yapar. Prizmatik lifler, çengelli lifler ya da ucu genişletilmiş lifler, takviyesiz matrislerin eğilme dayanımının % 100'ü kadar dayanım artışı yapar. Son çatlama yük deformasyon karakteristikleri, çoğunlukla lif tipi seçimine ve kullanılan spesifik lif tipinin hacim yüzdesine bağlıdır.

#### **2.2.10. Basınç dayanımı**

Betonun basınç dayanımı üzerinde, ÇL'lerin etkisinin değişken olduğu görülmüştür. ÇL'lerle güçlendirilmiş betonlar üzerinde yapılmış değişik araştırma sonuçlarına göre lifler, betonun basınç dayanımını doğrudan olumlu etkilemekte, % 25 seviyesinde basınç dayanımı artışı görülebileceği gibi bazen de bu düzeyde bir dayanım kaybı ortaya çıkmaktadır. Bu durum beton içerisinde gelişi güzel dağılan ÇL'lerin yönelimi ile doğrudan ilgilidir (Şekil 2.9.)



Şekil 2.9. Basınç dayanımını etkileyen lif yönlendiği [1].

Yükleme düzlemine dik olan lifler basınç gerilmesinde herhangi bir işlev yüklenmezler. Liflerin yüklemeye düzlemine paralellikleri ölçüsünde basınç gerilmesi artmasına duyarlıdır.

Schutgen'e (1992) göre, ÇL'li betonun basınç zorlanmasında değışen ince çekme davranışını nedeniyle çok az artan bir basınç mukavemeti oluşur. Ancak uygun süneklilik değeri ulaşılır. Bu özellikler sadece lif miktarına bağılı kalmaz, aynı zamanda malzeme özellikleri ve geometrisine de bağılılık gösterir.

### 2.3. ÇLB'ların Karışım Teknikleri

Karışım işlemleri, LB uygulamalarının başarılı olabilmesi için yani betona lif katılması sonucu elde edilmesi düşünölen teorik performansın yakalanabilmesi için dikkat edilmesi gerekli olan en önemli süreçtir.

Bu süreçte dikkat edilmesi gereken hususları şöyle sıralayabiliriz:

- S/Ç oranı 0.40 ila 0.55 arasında olmalıdır. Bazı özel betonlar için bu değeri 0.38 ila 0.44 arasında sınırlandırılmıştır [2,48].

- Çimento miktarı  $250 \text{ kg/m}^3$  'ten az olmayacaktır. Bazı kaynaklarda bu sınırlama en az  $320 \text{ kg/m}^3$  'tür. Üst sınır ise  $420 \text{ kg/m}^3$  tür [48].
- Beton içerisindeki kum miktarı toplam agrega kütlelerinin en az % 45 - 55 'i olmalıdır. Bu oran TS 10514 'te % 40 - 45 'e kadar toleranslıdır.
- Karışımlarda doğal kum tercih edilmelidir.
- Matrisin yoğunluğunu ve kompasitesini arttırmak üzere doğal puzolan, uçucu kül özellikle de silika tozu kullanılmasında fayda vardır.
- Kum içerisinde  $0,25 \text{ mm}$  den (ya da 30 no lu elekten) küçük ince malzeme miktarı çizelge 2.9. da olduğu gibi verilmiştir [48].

Çizelge 2.9. ÇLB karışımlarında kum içerisinde bulunması gerekli  $0,25 \text{ mm}$  'den küçük ince malzeme miktarı

Agrega maksimum tane çapı (mm)	İnce Malzeme Miktarı ( $< 0.25 \text{ mm}$ )	
	$\text{kg/m}^3$	$\text{L/m}^3$
8	525	180-185
16	450	150-155
32	400	130-135

- Günümüzde LB uygulamalarında çok değişik lifler kullanılmakla birlikte en çok düz ve çengelli ÇL'ler kullanılmaktadır. Çengelli ÇL'lerin performansı düz olanlara göre daha yüksektir.
- Çengelli liflerin kullanılması halinde düz lifler için verilmiş olan kullanım miktarı % 40-45 oranında azaltılabilir.
- Tatminkar bir karışım için lif içeriği beton hacmine oranla % 0,5 ila % 1,5 arasındadır. Bu oranı % 2'ye çıkarmak mümkün olmakla birlikte etkili bir fayda sağlamak için hiçbir zaman % 0,5'in altına düşürülmemelidir. ÇL konsantrasyonunun % 2'in üzerine çıkması karıştırma ve yerleştirme işlemlerinde çok büyük problemler çıkarır. Ancak çengelli lif kullanılması durumunda bu oranı % 2 'ye kadar çıkarmak mümkün olabilmektedir [1].

Çizelge 2.10'da değişen agrega maksimum tane çapına göre betonda kullanılması gerekli lif miktarı  $\text{kg/m}^3$  olarak verilmiştir [48].

Çizelge 2.10. Agrega maksimum tane çapına göre betonda kullanılması gerekli lif miktarları

Agrega Maksimum Tane apı (mm)	Kullanılacak Lif Miktarı ( $\text{kg/m}^3$ )					
	Uzunluk/ap = 60		Uzunluk/ap = 75		Uzunluk/ap =100	
	Normal Beton	Pompa Betonu	Normal Beton	Pompa Betonu	Normal Beton	Pompa Betonu
4	160	120	125	95	55	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

Bu tablodan görüleceği üzere maksimum tane çapının ve uzunluk/çap oranının büyümesi ile gereksinim duyulan lif miktarı orantılı olarak azalmaktadır.

Aynı şekilde pompa betonlarında kullanılan lif miktarı da normal, lifli betona göre miktar olarak daha azdır. Liflerin uzunluk/çap (görünüş) oranının 80 ila 100 arasında olması betonun performansı açısından gerekli bir ldr. Bu oran püskürtme beton uygulamaları hariç hiçbir zaman 60'ın altına düşürülmemelidir.

Gerek yüksek miktarda lif kullanılması ve gerekse de uzunluk/çap oranı (1/d) 100-60 aralığının dışında olan liflerin kullanılması sonucunda, lifler karışım sırasında bir araya toplanıp kümeleşerek karışımı zorlaştırırlar.

Lif seçiminde dikkat edilecek bir husus da lif boyunun agrega maksimum tane çapının en az 2 veya 1.5 katı olması zorunluluğudur. Bu nedenle uzun liflerin kullanılması sonucu kütle betonlarında lifli beton uygulaması yoktur.

ÇLB uygulamalarında genellikle maksimum tane çapı 1" ile 3/8" (yada 32 mm ile 4 mm) arasında değişen agregalar kullanılır. Maksimum tane çapı 1" yada 32 mm olan betonlarda 14" yada 16 mm' den büyük agrega miktarı toplam agreganın % 15 yada % 20'si arasında sınırlandırılır [49].

#### 2.4. ÇLB'un Kullanım Alanları

ÇL'lerin beton içerisindeki davranışı ve yapısal özellikleri nedeni ile betonun bir çok özelliğini güçlendirmesi sonucu ÇLB, ağır çalışma koşullarına maruz kalan yapılarda, ince kesitlerin ve yüksek dayanım özelliklerinin, (çekme, darbe, kavitezyon, erozyon, yorulma, tokluk, vs.) gerektiği yerlerde kullanılmaktadır. Bazı yerlerde ise beton içerisinde donatı ve hasır kullanmak için ekonomik gerekçelerle kullanılmaktadır. ÇLB'un en yaygın olarak kullanıldığı alanlar aşağıda sıralanmıştır [2].

- Endüstriyel döşemeler,
- Su yapıları,
- Püskürtme beton uygulamaları,
- Şev stabilizesi ve tünel kaplamaları,
- Havaalanı kaplama betonları,
- Liman kaplama betonları,
- Çeşitli kaplamalar,
- Depreme dayanıklı yapılar,
- Ateşe dayanıklı beton yapılar,

#### Ön yapımlı beton elemanlar

- Beton borular,
- Askeri güvenlik yapıları (sığınak, hangar, vs.)

### 3. MATERYAL VE METOT

#### 3.1. Materyal

Beton karışımlarında kırma agrega, Ankara Set Çimento Fabrikası ürünü PÇ 42,5 Çimentosu, Antalya Elektrometalurji Sanayi İşletmeleri A.Ş ürünü SD, BEKSA Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş ürünü ÇL, SİKA firması ürünü SA ve karışım suyu olarak şehir suyu kullanılmıştır.

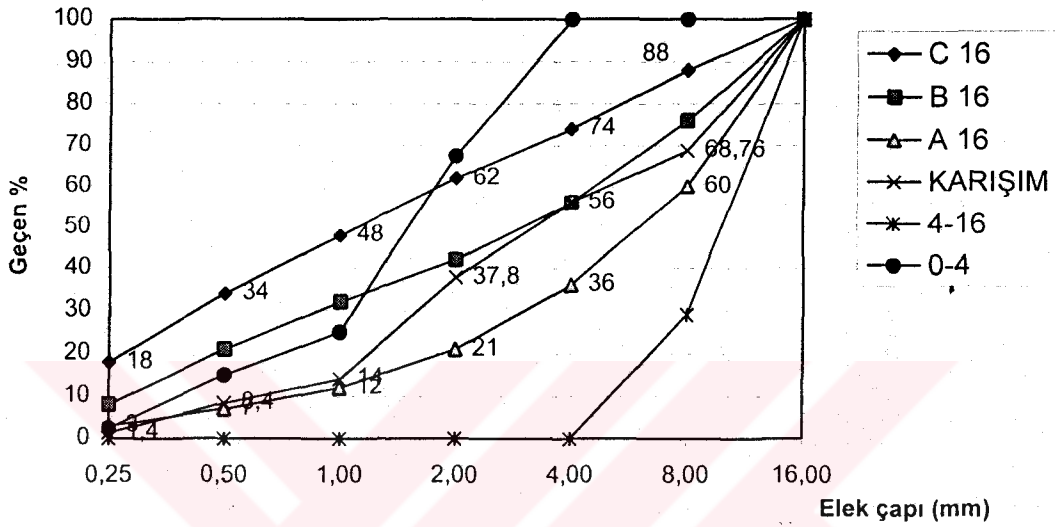
##### 3.1.1. Agrega

Çalışmada, Ankara yöresinden temin edilen 0-4 mm ve 4-16 mm olmak üzere iki farklı grup kırma agrega kullanılmıştır. TS 707 "Beton Agregalarından Numune Alma ve Deney Numunelerinin Hazırlanması" standardına uygun olarak alınan agregaların su emme ve özgül ağırlık deneyleri, TS 3526 "Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Tayini", standardına göre agrega doymun kuru yüzey (DKY) halindeyken yapılmıştır. Agregaların deneylerle belirlenen teknik özellikleri, Çizelge 3.1'de verilmiştir. Agregaların granülometrik bileşimi, TS 3530 "Beton agregalarının tane büyüklüğü dağılımı tayini" standardına göre belirlenmiş ve agrega granülometri eğrisi Şekil 3.1'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Agregaların deneylerle belirlenen teknik özellikleri

Agrega Boyutu (mm)	Elekten geçen (%)							İncelik modülü	Özgül ağırlık (gr/cm <sup>3</sup> )	Su Emme (%)	Hafif madde oranı (%)	Organik madde oranı (%)
	0,25	0,5	1	2,	4	8	16					
4-16	0	0	0	0	0	29	100	6,71	2,66	0,56	Yok	Yok
0-4	2,5	15	25	67,5	100	100	100	2,9	2,47	2,6	Yok	Yok

Agrege elek analiz sonuçlarına göre elde edilen granülometri eğrisi şekil 3.1'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Beton karışımlarında kullanılan agreganın granülometri eğrisi

### 3.1.2. Çimento

Deneylerde, Ankara Set Çimento Fabrikasında üretilen PÇ 42,5 kullanılmıştır. Çimento laboratuvara getirildikten sonra depolama şartlarına dikkat edilmiş ve üretim tarihinden itibaren bir ay içerisinde tüketilmiştir. PÇ 42,5 çimentosunun kimyasal kompozisyonu ve fiziksel özellikleri, Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. PÇ 42,5 Çimentosunun özellikleri

Kimyasal Özellikler	PÇ 42,5	TS 19
CaO	63,35	—
SiO <sub>2</sub>	20,35	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,98	—
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,06	—
MgO	1,89	En çok 5,00
SO <sub>3</sub>	2,89	En çok 3,50
K <sub>2</sub> O	0,88	—
Na <sub>2</sub> O	0,58	—
Kızdırma Kaybı	0,50	En çok 4,00
Çözünmeyen Kalıntı	0,52	En çok 1,50
Fiziksel Özellikler		
Özgül ağırlık, g/cm <sup>3</sup>	3,08	—
Özgül yüzey (blaine), cm <sup>2</sup> /g	3200	en az 2800
200 µm elek üstü, %	—	—
90 µm elek üstü, %	1,0	—
Priz başlangıcı, saat	2,00	en az 1
Priz sonu, saat	3,10	en çok 10
Hacim genişmesi, mm	3,0	en çok 10
Mekanik Özellikler, kgf/cm <sup>2</sup>		
Basınç dayanımı, 2 gün	229	En az 200
7 gün	472	En az 315
28 gün	570	En az 425
Eğilme dayanımı, 7 gün	74	—
28 gün	85	—

### 3.1.3. Silis dumanı (SD)

Beton karışımlarında Antalya Elektro Metalurji Sanayi İşletmeleri A.Ş ürününde SD kullanılmıştır. SD, % 7,5, % 10,0 ve % 15,0 oranlarında çimento ile ikameli olarak kullanılmıştır. SD'nin Ankara Set Çimento Fabrikası laboratuvarında yapılan kimyasal analizi, Çizelge 3.3'de verilmiştir.

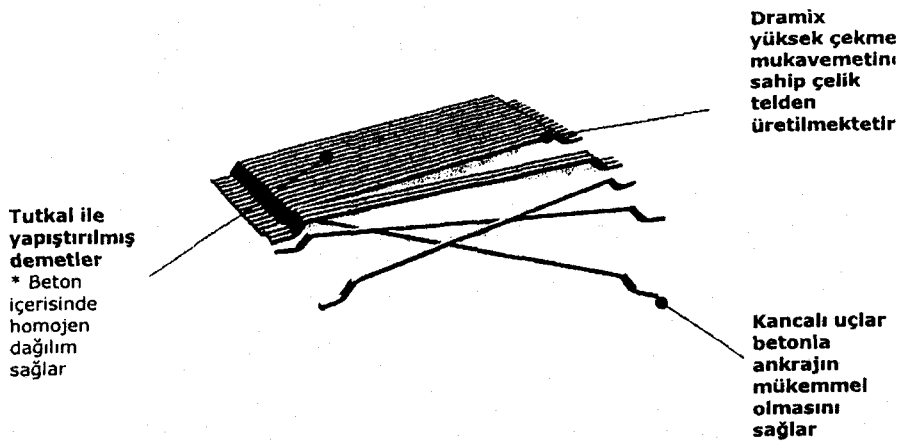


Çizelge 3.3. SD'nın kimyasal bileşimi

Kimyasal Bileşim	(%)
SiO <sub>2</sub>	81,88
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,71
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,92
CaO	1,27
MgO	5,80
SO <sub>3</sub>	0,33
K <sub>2</sub> O	3,45
Na <sub>2</sub> O	0,00

### 3.1.4. Çelik lif (ÇL)

Deneylerde, BEKSA Çelik Kord Sanayi ve Ticaret A.Ş. ürünü TS 10513 "Çelik Teller – Beton Takviyesinde kullanılan" standardına uygun, uçları kancalı, birbirlerine tutkalla birleştirilmiş sınıfı C, tipi A olan soğuk çekilmiş ZP 305 tipli ÇL kullanılmıştır. ÇL tipi, Şekil 3.2'de gösterilmiştir. ÇL'in teknik özellikleri, Çizelge 3.4'te verilmiştir.



Şekil 3.2. Çalışmada kullanılan ÇL tipi

Çizelge 3.4. ÇL'in teknik özellikleri

LİF Tipi	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik oranı	Çekme dayanımı (N/mm <sup>2</sup> )	Elastisite Modülü (N/mm <sup>2</sup> )	Ozgül ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )	Kilogramdaki Lif sayısı (kg/Ad)
ZP 305	30	0,55	60	1100	20000	7800	16750

Agrega tane çapına göre firma tarafından tavsiye edilen lif miktarı, Çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. ÇL'in tavsiye edilen karıştırma dozajı

Agrega Çapı (mm)	Dozaj (kg/m <sup>3</sup> )	
	Dökme	Pompa
8	110	80
16	70	55
32	60	45

TS 10514 "Beton Tel Takviyeli - Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları" Standardına uygun olarak karışımlarda kullanılan lif miktarı, 65 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit tutulmuştur.

### 3.1.5. Süper akışkanlaştırıcı (SA)

Beton karışımlarında, yüksek oranda su azaltıcı ve erken yüksek dayanım sağlayan ASTM C 494 Tip F-e uygun olan SİKAMENT-FF-N SA kullanılmıştır. SA, SİKA Yapı Kimyasalları A.Ş. Ankara bölge temsilciliğinden temin edilmiştir. SA, kahverengi sıvı şeklindedir. Yoğunluğu, +20<sup>0</sup>C'de 1,21 kg/lit-dir. Firma tarafından tavsiye edilen miktar çimento ağırlığının % 0,8-3'ü arasındadır. Optimum dozaj oranı, çimento, agrega kalitesi, s/ç oranı ve ortam sıcaklığına bağlıdır. SA, laboratuara 5 kg'lık plastik bidonlarda getirilmiş ve karışım suyuna ilave edilerek kullanılmıştır.

### 3.1.6. Beton karma suyu

Beton karışımlarının hazırlanmasında karma suyu olarak Ankara şehir içme suyu kullanılmıştır.

### 3.2. Metot

Beton deney numuneleri, G.Ü.T.E.F. Yapı Eğitimi Bölümü Beton laboratuvarında 10x10x50 cm ebatlarındaki kalıplarda titreşimli masa vibratörü kullanılarak elde edilmiştir. Araştırmada, bütün betonlarda s/ç oranı, LB'larda ise ÇL oranı sabit tutulmuştur. SD, ağırlıkça % 7,5, % 10,0 ve 15,0 oranlarında çimento ile ikame edilerek kullanılmıştır. SA ise, çimento ağırlığının % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 oranında betonlara katılmıştır. Her bir beton karışımından 28, 90 ve 180 gün yaşları için toplam 394 adet beton numunesi hazırlanmıştır. Bu numunelerin yarısı açık havada, yarısı da su sıcaklığı  $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  olan su tankında laboratuvarda kür edilmiştir.

Taze beton deneyleri, G.Ü.T.E.F Yapı Eğitimi Bölümü Beton laboratuvarında, sertleşmiş beton deneyleri ise aynı laboratuvar ile DSİ TAKK Dairesi Başkanlığı beton laboratuvarında yapılmıştır.

#### 3.2.1. Deney programı

Çalışmada üretilen bütün betonlara ve yapılan deneylere ait bilgiler, Çizelge 3.6'da özet olarak verilmiştir.

Çizelge 3.6. Deney çalışma planı

DENEY METODU		TS 3114 - TS 3289		TS 10515 TS 3284 - TS 3285		ASTM C 944	TS 3449	KÜR ŞARTI
Beton Çeşidi	Deney Tipi	BASINÇ DAYANAMI		EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI		AŞINMA	DONMA ÇÖZÜLME	
		100x100x100		100x100x500		100x100x100	100x50	
		28	90	28	90	180	180	
KONTROL BETONU (Lifsiz)		3	3	3	3	1	3	SUDA
%1,0-1,5-2,0-SA KATKILI BETON		3	3	3	3	1	3	A.HAVA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ BETON		9	9	9	9	3	9	SUDA
%1,0-1,5-2,0-SA KATKILI BETON		9	9	9	9	3	9	A.HAVA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ BETON		9	9	9	9	4	9	SUDA
%1,0-1,5-2,0-SA KATKILI BETON		9	9	9	9	4	9	A.HAVA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ ve %1,0-1,5-2,0-SA KATKILI BETON		27	27	27	27	9	27	SUDA
LİFLİ BETON		27	27	27	27	9	27	A.HAVA
%1,0-1,5-2,0, SA KATKILI LİFLİ BETON		3	3	3	3	1	3	SUDA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ LİFLİ BETON		3	3	3	3	1	3	A.HAVA
%1,0-1,5-2,0, SA KATKILI LİFLİ BETON		9	9	9	9	3	9	SUDA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ LİFLİ BETON		9	9	9	9	3	9	A.HAVA
%1,0-1,5-2,0, SA KATKILI LİFLİ BETON		9	9	9	9	4	9	SUDA
%7,5-10,0-15,0-SD İKAMELİ VE		9	9	9	9	4	9	A.HAVA
%1,0-1,5-2,0-SA KATKILI LİFLİ BETON		27	27	27	27	9	27	SUDA
TOPLAM NUMUNE SAYISI		27	27	27	27	9	27	A.HAVA
Genel Toplam		192	192	192	192	68	192	1220

Üretilen betonlara ait kodlandırmada, aşağıdaki metot izlenmiştir:

SA katkılı betonlarda sıra ile SA ve katkı miktarı (% olarak) verilmiştir. Örneğin SAKB 1,0, % 1,0 SA katkılı betonu ifade etmektedir. SD ikameli betonlarda sıra ile SD ve ikame miktarları (% olarak) verilmiştir. Örneğin; SDİB 15,0, % 15,0 SD ikameli beton tipini göstermektedir. SD ve SA'nın birlikte kullanıldığı karışımlarda ise SA 1,5 + SDİB 7,5, % 1,5 SA + 7,5 SD ikameli betonu temsil etmektedir. LB karışımları ise, yukarıda verilmiş olan kodlamalarda, "L" harfi ilave edilerek gösterilmiştir. Örneğin; SAKLB 1,5, % 1,5 SA katkılı lifli betonu, SDİLB15,0, % 15,0 SD ikameli lifli betonu, SA 2,0+SDİLB10,0 ise, % 2,0 SA + % 10,0 SD ikameli lifli betonu ifade etmektedir.

#### 3.2.1.1. Beton karışım hesabı

Beton karışım hesabı, TS 802 "Beton karışım hesap esasları" standardına göre yapılmıştır. Karışım hesapları yapılırken betonun uygulama yerleri dikkate alınarak bazı kabuller yapılmıştır. Agregaya en büyük tane büyüklüğü  $D_{\max} = 16$  mm, agregaya tane dağılımı % 56 ince agregaya ve % 44'ü iri agregaya, agregaya tane sınıfları 0-4 mm ve 4-16 mm, s/ç oranı 0.53 (sabit), slump değeri 7 cm, karışım suyu  $192 \text{ Lt} / \text{m}^3$  (sabit), hava miktarı % 2 ve çimento miktarı  $337 \text{ kg} / \text{m}^3$  olarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.7'de  $1 \text{ m}^3$  beton karışımına giren malzeme miktarları verilmiştir.

Çizelge 3.7. 1 m<sup>3</sup> beton karışımına giren malzeme miktarları

Beton Çeşidi	Betonda kullanılan Malzemelerin Numune Tipine Göre Ağırlıkları (kg/m <sup>3</sup> )							
	Agrega		PÇ 42,5	Su	S D	ÇL	SA	Toplam Ağırlık
	İri	İnce						
KB	810,2	957,6	337	192	-	-	-	2296,80
SAKB 1,0	810,2	957,6	337	192	-	-	3,37	2300,17
SAKB 1,5	810,2	957,6	337	192	-	-	5,05	2301,85
SAKB 2,0	810,2	957,6	337	192	-	-	6,74	2303,54
SDiB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	-	-	2296,80
SDiB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	-	-	2296,80
SDiB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	-	-	2296,80
SA1,0+SDiB7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	-	3,37	2300,17
SA1,0+SDiB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	-	3,37	2300,17
SA1,0+SDiB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	-	3,37	2300,17
SA1,5+SDiB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	-	5,05	2301,85
SA1,5+SDiB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	-	5,05	2301,85
SA1,5+SDiB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	-	5,05	2301,85
SA2,0+SDiB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	-	6,74	2303,54
SA2,0+SDiB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	-	6,74	2303,54
SA2,0+SDiB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	-	6,74	2303,54
LB	810,2	957,6	337	192	-	65	-	2361,80
SAKLB 1,0	810,2	957,6	337	192	-	65	3,37	2365,17
SAKLB 1,5	810,2	957,6	337	192	-	65	5,05	2366,85
SAKLB 2,0	810,2	957,6	337	192	-	65	6,74	2368,54
SDiLB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	65	-	2361,80
SDiLB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	65	-	2361,80
SDiLB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	65	-	2361,80
SA1,0+SDiLB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	65	3,37	2365,17
SA1,0+SDiLB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	65	3,37	2365,17
SA1,0+SDiLB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	65	3,37	2365,17
SA1,5+SDiLB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	65	5,05	2366,85
SA1,5+SDiLB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	65	5,05	2366,85
SA1,5+SDiLB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	65	5,05	2366,85
SA2,0+SDiLB 7,5	810,2	957,6	311,80	192	25,20	65	6,74	2368,54
SA2,0+SDiLB 10,0	810,2	957,6	303,30	192	33,70	65	6,74	2368,54
SA2,0+SDiLB 15,0	810,2	957,6	286,50	192	50,50	65	6,74	2368,54

### 3.2.1.2. Numune boyutları, betonun dökümü ve bakımı

Beton karışımları 60 dm<sup>3</sup> hacimli düşey eksenli mikserde hazırlanmıştır. Homojen bir beton karışımı elde etmek için (TS 1297, TS 1247) karışım kurallarına dikkat edilmiştir. SA ve SD karma suyuna karıştırılarak karışımlara ilave edilmiştir. ÇLB'ların karışımı, TS 10514 standardına göre yapılmıştır. Agregası ve ÇL, mikserde konduktan sonra 1-2 dakika süre ile kuru karışım yaptırılarak tellerin ayrılıp dağılması sağlanmıştır. Sonra çimento ve karma suyu, gerektiği hallerde de SA ve SD ilave edilerek homojen bir karışım elde edilene kadar karıştırılmıştır. Karışım, 3-5 dakika içinde tamamlanmış ve ÇL'lerin topaklanmamasına dikkat edilmiştir. Karıştırma tamamlandıktan sonra taze beton deneyleri yapılmış ve beton, önceden temizlenip yağlanmış 100x100x500 mm'lik kalıplara dökülmüştür. Daha sonra kalıplar, vibrasyon masasına yerleştirilmiş ve beton, 40 sn süre ile sıkıştırılmıştır. ÇLB'ların kalıba yerleştirilmesi, standarda uygun olarak iki kademe halinde gerçekleştirilmiştir. Betonların üzeri mala ile düzeldikten sonra özel sehpa üzerine konulmuş ve üzerleri ıslak bezle örtülerek 24 saat bekletilmiştir. Kalıptan çıkarılan beton numunelerin yarısı, sıcaklığı 20°C ± 2°C olan su tankında kür edilmiş diğer yarısı ise açık havada (atmosfer altında) bekletilmiştir. Açık havada kür edilen beton numuneler, sabah ve akşam olmak üzere 7 gün süre ile günde iki kez sulanmıştır. Betonların karıştırılması, sıkıştırılması ve laboratuvar ile açık havada kür edilmesine ait resimler, Şekil 3.3, Şekil 3.4, Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da gösterilmiştir.

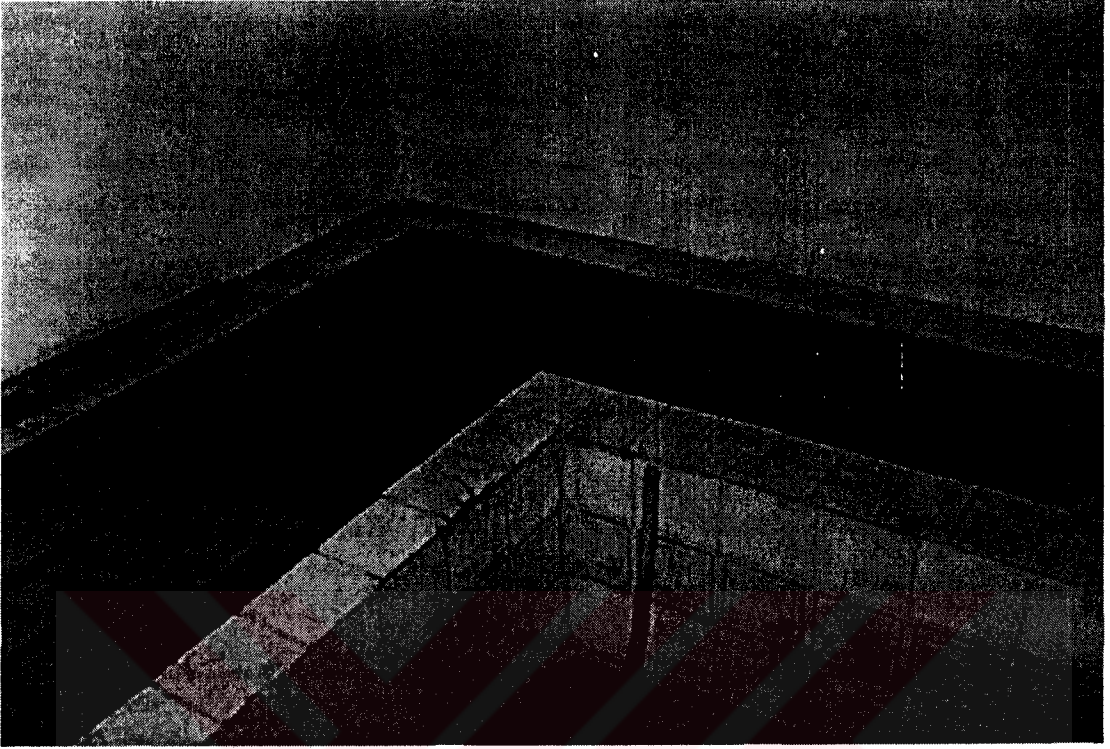


Şekil 3.3. Beton karışımı



Şekil 3.4. Betonun vibratör masada sıkıştırılması





Şekil 3.5. Betonun laboratuarda bakımı



Şekil 3.6. Betonun açık havada bakımı

### 3.2.2. Çimento deneyleri

#### 3.2.2.1. Normal kıvam

Çimentoda normal kıvamın tayini, TS 24'e göre vikat aletinde sonda kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İkame metodu ile elde edilen SD bulunan çimento numuneleri, ayrı ayrı tartılmış ve homojen bir karışım sağlamak amacıyla bir kap içerisinde kuru olarak 1 dk harmanlandıktan sonra su ilave edilerek 3 dk. karıştırılmıştır. Hazırlanan çimento hamuru, vikat halkasına yerleştirilerek halka alete konulmuştur. Sonra, yarım dakika içinde cam levhaya 5-7 mm uzaklıkta kaldığında çimento için gerekli olan su miktarı belirlenmiştir. Deney sonunda kontrol çimentosu olan PÇ 42,5 için normal kıvam su ihtiyacı, % 33 olarak bulunmuştur. SD ikameli ve SA katkılı çimentolarda normal kıvam su ihtiyacı deneyi yapılmamış ve PÇ 42,5 için bulunan bu değer kullanılmıştır.

#### 3.2.2.2. Priz süresi

Priz başlangıcı ve sona erme süreleri, TS 24'e göre vikat aletinde vikat iğnesi kullanılarak tespit edilmiştir. Deney, SD ikameli ve SA katkılı çimentolarda normal kıvam su ihtiyacı PÇ 42,5 için bulunan % 33 alınarak hazırlanan çimento hamuru üzerinde gerçekleştirilmiştir. Vikat iğnesinin, cam levhaya 3-5 mm uzaklıkta kaldığı an priz başlangıcı, çimento hamuruna en çok 1 mm girebildiği anda priz sonu olarak kaydedilmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen priz süreleri, Çizelge 4.1'de verilmiştir.

### 3.2.3. Taze beton deneyleri

#### 3.2.3.1. Çökme (slump) deneyi

Çökme deneyi, lifsiz betonlarda TS 2871'e göre yapılmıştır. Deneyin sonucu, ölçüleri belli olan huniye doldurularak sıkıştırılan taze beton yüksekliğinin, huni çekilip alındıktan sonraki beton yüksekliği ile kıyaslanması ile elde edilir. Aradaki yükseklik farkı, çökme değeri olarak alınmıştır.

ÇLB'ların işlenebilirliği ASTM C 995 standardına uygun olarak ters çevrilmiş koni deneyi ile belirlenmiştir. Deney düzeneği Şekil 3.7'de görülmektedir. Bu deneyde, dahili vibratör hareketi ile ters koniden, koni ağzı açıklığı boyunca betonun akması için geçen süre ölçülmüştür.



Şekil 3.7. ASTM C 995'e göre lifli betonlarda işlenebilirlik ölçme düzeneği

Deney numunesi, betonu temsil edecek şekilde alınmış, ve deneyler her bir beton karışımı için yapılmıştır. Çökme deneyi, dolaylı olarak s/ç hakkında bilgi vermektedir. Hazırlanan taze betonun çökme deneyi, beton kalıba yerleştirilmeden önce yapılmıştır. Çökme hunisi ve tablası, temizlenip ıslak bir bezle silindikten sonra düzgün bir yere yerleştirilmiştir. Huninin 1/3'ü beton ile doldurularak şişleme çubuğu ile 25 defa şişlenmiştir. Sonra 1/3'ü daha doldurulmuş ve 25 defa şişlenerek sıkıştırılmıştır. Kalan 1/3 kısmı da doldurularak yine 25 defa şişlenmiştir ve mala ile yüzey düzeltildikten sonra huni yavaşça kaldırılmış ve beton kütesinin yanına konmuştur. Huninin üst yüzeyinden yatay olarak uzatılan çelik çubuk ile çöken beton kütesi arasındaki mesafe metre ile cetvelle ölçülerek kaydedilmiştir.

ÇLB'larda ASTM C 995'e uygun olarak ters koni, yüksekliği ve çapı daha büyük olan bir kabın üzerine monte edilerek sabitleştirilmiştir. Beton karışımından kürekle alınarak ters koninin 1/3'ü kadar doldurulmuş ve üzeri mala ile kabaca düzeltilmiştir. Yine kürekle betondan alınarak koninin 1/3'i doldurulmuş ve üzeri kabaca düzeltilmiştir. Kalan 1/3 kısmı da doldurularak şişleme çubuğu ile düzeltildikten sonra koninin üst kısmından çıkan çelik lifler elle alınarak temizlenmiştir. Uç çapı 3 cm olan daldırma vibratörü, taze betonla dolu olan ters koniye düşey doğrultuda daldırılmış ve daldırma süresi 2-3 sn içerisinde gerçekleştirilerek vibratörün ucunun koniye dokunmamasına dikkat edilmiş ve betonun koniden geçme süresi kayıt edilmiştir. Deney sonuçları, Çizelge 4.2'de verilmiştir.

### 3.2.3.2. Birim ağırlık deneyi

Taze betonda birim ağırlık deneyi, TS 2941 standardına uygun olarak yapılmıştır. Birim hacim ağırlığı, belirli bir hacim içerisinde sıkıştırılarak yerleştirilmiş taze betonun birim hacmine uygun gelen ağırlığının  $\text{kg/m}^3$  olarak gösterilmesidir. Deneye başlamadan önce, agrega tane büyüklüğüne uygun ölçme kabı seçilmiş ve kabın boş ağırlığı kayıt edilmiştir. Hazırlanan

beton karışımından alınmış ve üç tabaka halinde şişlenerek sıkıştırılmıştır. Sıkıştırma işlemi bittikten sonra kabın kenarlarına tokmak ile 10-15 kere vurularak beton içinde olan boşluk ve hava kabarcıkları giderilmiştir. Betonun yüzeyi, sıyırma levhası ile düzeltildikten sonra kap terazide tartılmıştır. Önceden tartılarak bulunan kap ağırlığı düşülerek betonun net ağırlığı, aşağıdaki eşitliklere göre hesaplanmıştır:

$$P_b = \frac{W_n}{V_k}$$

Burada:

$P_b$  = Taze betonun birim hacim ağırlığı ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$V_k$  = Ölçme kabının kalibre edilmiş hacmi ( $\text{m}^3$ )

$$W_n = W_d - W_b$$

Burada:

$W_n$  = Ölçme kabındaki betonun net ağırlığı (kg)

$W_d$  = Dolu kap ağırlığı (kg)

$W_b$  = Boş kap ağırlığı (kg)

Taze betonun birim ağırlık deney bulguları, Çizelge 4.2'de verilmiştir.

### 3.2.3.3. Hava miktarı deneyi

Taze betonda hava miktarının tayini, TS 2901 standardına uygun olarak basınç metodu ile yapılmıştır. Beton karışımı hazır olduktan sonra deney numunesi yaklaşık eşit hacimlerde üç tabaka halinde ölçme kabına yerleştirilmiştir. Her tabaka 25 defa şişleme yöntemi ile sıkıştırılmıştır. Her tabakanın şişlenmesinden sonra kabın kenarlarına 10-15 kere vurularak beton içinde kalan boşluk ve hava kabarcıkları giderilmiştir. Şişleme işlemi bittikten sonra sıyırma çubuğu ile kabın tam dolu ve beton yüzeyinin düzgün olması sağlanmış, kapak oturma yeri iyice temizlendikten sonra kapak yerleştirilip kilitlemiştir. Hava hücresi ile ölçme kabı arasındaki ana hava

musluğu kapatılarak kapaktaki iki boşaltma musluğu açılmış ve cihaza su ilave edilmiştir. Bu işlem, diğer musluktan su çıkıncaya kadar devam ettirilmiş ve cihaz, hafifçe sarsılarak havanın tamamen musluktan dışarıya çıkması sağlanmıştır. Hava boşaltma musluğu kapatılarak, manometre göstergesi ile basınç çizgisine gelinceye kadar hava pompalanmıştır. 3-5 saniye sonra göstergenin durumunu sabitleştirmek için tekrar hava pompalanmış bazen de boşaltılmıştır. Sonra kapaktaki boşaltma muslukları kapatılmış ve hücre ile kap arasındaki ana hava musluğu açılmıştır. Göstergenin sabitleşmesi sağlandıktan sonra ibrenin gösterdiği hava miktarı okunup kayıt edilmiştir. Bu işlemler, her bir beton tipi için ayrı ayrı yapılarak hava miktarları yüzde (%) olarak Çizelge 4.2'de verilmiştir.

#### **3.2.3.4. Ve-Be deneyi**

Taze betonda kıvam deneyinin Ve-Be metodu ile tayini TS 2872 standardına uygun olarak yapılmıştır. Bu metod işlenebilirliği az olan taze beton kıvamının tayininde uygundur. Deneye başlamadan önce aparatın sağlam bir tabana oturtulup ve kabın vidalar ile sabitleştirildiği kontrol edilmiştir. Çökme hunisi, kabın içine yerleştirilmiş ve taze beton numunesinden alınarak çökme hunisine uygun olarak doldurulmuş ve 25 defa şişlenmiştir. Huninin üst yüzeyi mala ile tesviye edildikten sonra düşey doğrultuda yukarı dikkatle çekilip alınmıştır. Sonra diskin sabitleştirme vidası gevşetilerek yavaşça alıştırılmış ve aynı anda geçen süre için saate bakılmıştır. Bu işlem yapılırken disk üzerinden taze betonun nasıl sıkıştığına dikkat edilmiştir. Diskin alt yüzeyi çimento harcı ile kapandığı an vibrasyon işlemi durdurulmuş ve geçen zaman saniye olarak kaydedilmiştir. Deney sonuçları, Çizelge 4.2'de verilmiştir.

### 3.2.4. Sertleşmiş beton deneyleri

#### 3.2.4.1. Eğilmede çekme dayanımı deneyi

Betonların eğilmede çekme dayanımı deneyi, 100x100x500 mm'lik kirişler üzerinde TS 10515 "Beton – Çelik Tel Takviyeli Eğilme Mukavemeti Deney Metodu" standardına göre yapılmıştır. Deney numunesi kür odasından alındıktan sonra, doygun kuru yüzey haline getirilmiş ve deney cihazındaki yataklara yerleştirilmiştir. Deney, 4 tonluk üniversal test cihazı üzerinde kontrollü ve sabit bir artış hızı ile yapılmıştır. Numunenin kalıp içinde iken üste gelen yüzünün, deney sırasında yüklemenin yönüne paralel olmasına dikkat edilmiştir. Numune yataklara yerleştirildikten sonra açıklığın orasında sehimi hassas biçimde belirlemek için ölçüm cihazı yerleştirilmiştir. Açıklığın 1/3 noktalarında P/2 yük düzenlemesi kullanılarak 1,2 Km/ Sn yükleme hızı altında eğilmede çekme deneyi yapılmıştır. Sehim 3 mm olduğu anda yükleme durdurulmuş ve değerler kaydedilmiştir. Deney numunesi kırıldıktan sonra, kırılan yüzeyin en yakın çelik yatağa olan uzaklığı, deney numunesinin alt yüzey ekseninde ve kenarlarda olmak üzere üç yerde 1 mm duyarlıkta ölçülmüş ve aritmetik ortalaması alınmıştır. Bütün numunelerde kırılma, serbest açıklığın orta 1/3'ü içinde olduğu için hesaplamalar aşağıdaki eşitliğe göre yapılmıştır:

$$\sigma = P_u \frac{4}{bh^2}$$

Burada;

$\sigma$  = En büyük gerilme (kgf/cm<sup>2</sup>)

$P_u$  = Maksimum yük (kgf)

$L$  = Deney numunesinin iki mesnet arasındaki uzunluğu (cm)

$b$  = Deney numunesinin genişliği (cm)

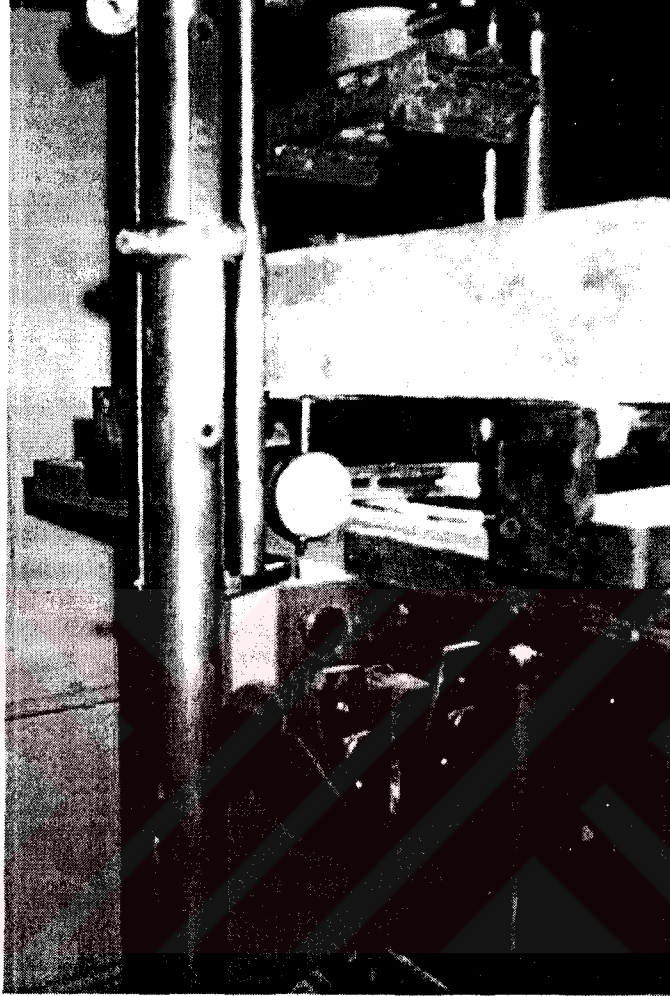
$h$  = Deney numunesinin yüksekliği (cm)

Eğilmede çekme deneyi düzeneği, Şekil 3.8 ve Şekil 3.9'da gösterilmiştir. Deney sonuçları ise, Çizelge 4.3'de verilmiştir.



Şekil 3.8. Betonun eğilmede çekme dayanımı deney cihazı





Şekil 3.9. Eğilme çekme deneyinde sehim ölçme cihazının görünüşü

#### 3.2.4.2. Basınç dayanımı deneyi

Betonların basınç dayanımı deneyi, 100x100x100 mm'lik küp numuneler üzerinde TS 3114 "Beton Basınç Mukavemeti Tayini" standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney, Auto Test 3000 deney makinasında 2.00 kN/sn yükleme hızı ile yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda numunelerin taşıyabileceği maksimum basınç gerilmeleri  $\text{kgf/cm}^2$  olarak belirlenmiştir. Numunelerin basınç dayanımı sonuçları, hem lifli hem de lifsiz betonlar için üç numunenin aritmetik ortalaması olarak verilmiştir. Deney numunelerinin basınç dayanımı, aşağıdaki eşitlik ile hesaplanmıştır:

$$f_g = \frac{F}{A}$$

Burada;

$f_g$ = Beton deney numunesi basınç dayanımı (kgf/cm<sup>2</sup>)

F= Kırılma yükü (kgf)

A= Deney numunesi kesit ortalama alanı (cm<sup>2</sup>)

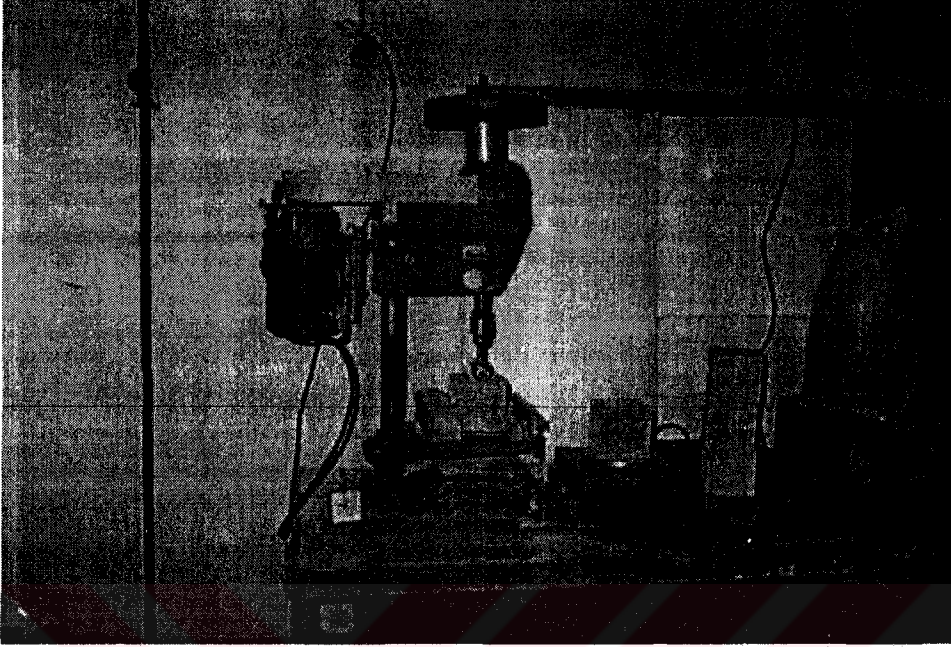
Deney düzeneği, Şekil 3.10'da, deney sonuçları ise Çizelge 4.4'de verilmiştir.



Şekil 3.10. Betonun basınç dayanımı deneyi düzeneği

### 3.2.4.3. Aşınma dayanımı deneyi

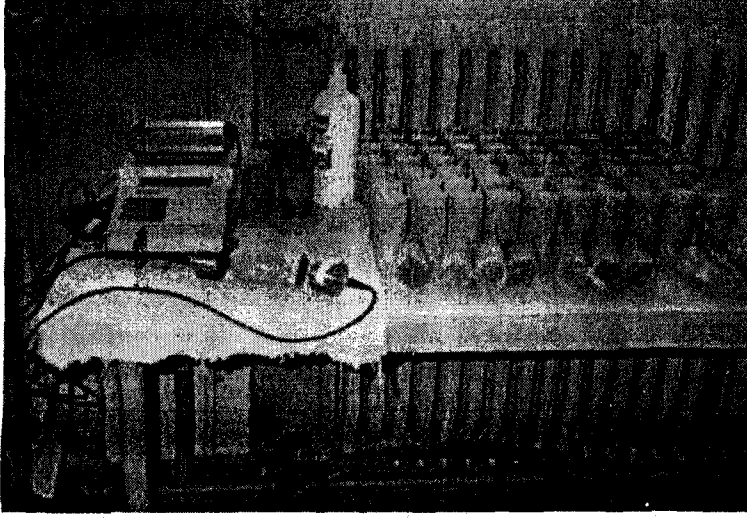
Aşınma dayanımı deneyi, 100x100x100 mm'lik küp numuneler üzerinde ASTM C 944 "Standart Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar surfaces by the Rotating- Cutter Method" Standardına uygun olarak yapılmıştır. Deney, Soiltest marka aşınma cihazında ve 180 günlük numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Standarda uygun olarak her yüzey için aşınma zamanı 2 dakika, numune üzerine etki eden yük 197 N olarak alınmıştır. Cihazın dönme hızı, 200 devir /dakika olarak ayarlanmıştır. Numuneler, etüvde kurutulduktan sonra deneye tabi tutulmuştur., Deneye başlamadan önce numuneler 0,01 g hassasiyetli DI-4K marka, dijital terazide tartılarak ağırlıkları kaydedildikten sonra aşınma cihazına yerleştirilmiş ve sabitlenmiştir. Deney, numunenin üç ayrı yüzeyinde 2 dakika olmak üzere toplam 6 dakika sürmüştür. Her 2 dakika sonunda numune üzerindeki kırıklar ve tozlar, fırça ile temizlenip numune tartıldıktan sonra tekrar aşınma işlemi yapılmıştır. Deneyler, hem lifli hem de lifsiz beton numuneler üzerinde aynı devir / dakika ve aynı yük altında yapılmıştır. Deney sonunda, ilk ağırlık ile 6 dakika aşınma sonrası ağırlık arasındaki fark hesaplanmış ve yüzde olarak verilmiştir. "Rotating-Cutter" cihazı ve çalışma düzeneği ile deney numuneleri, Şekil 311 ve Şekil 3.12'da, deney sonuçları ise Çizelge 4.5'de gösterilmiştir.



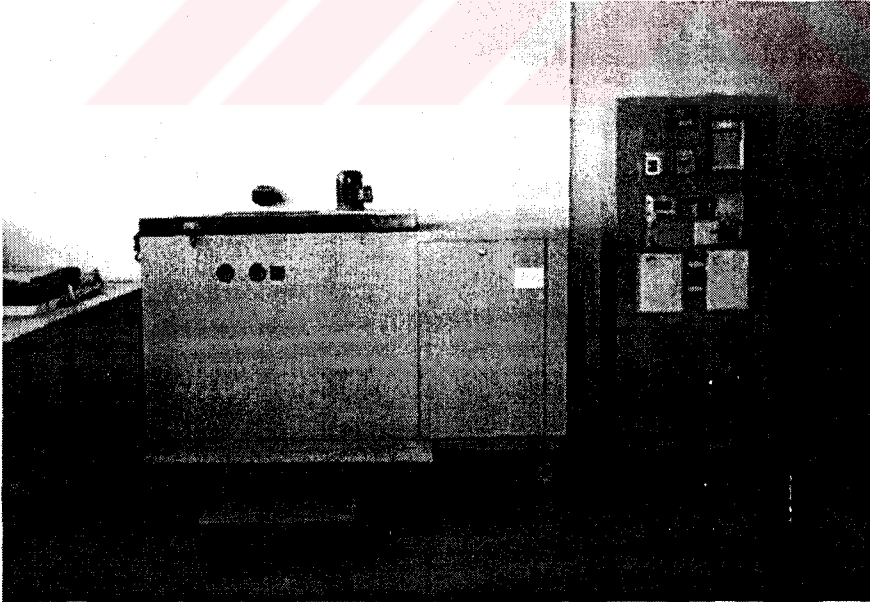
Şekil 3.11. Betonun aşınma deneyi için Rotating Cutter cihazının görünüşü



Şekil 3.12. Beton numunelerinin aşınma deneyinden sonraki görünüşleri



Şekil 3.13. Betonda ultrasonik ses dalgası ölçüm düzeneği



Şekil 3.14. Donma-çözülme deneyinde kullanılan tam otomatik donma - çözülme cihazı

## 4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

### 4.1. SD ve SA'nın Çimentoların Priz Sürelerine Etkisi

SD ikameli ve SA katkılı çimentoların priz süreleri, PÇ 42,5 kontrol çimentosu ile birlikte Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. SD ikameli ve SA katkılı çimentoların priz süreleri

Çimento çeşidi	Priz başlangıcı (saat/dakika)	Priz sonu (saat/dakika)
PÇ 42,5	3,35	5,15
SAKÇ 1,0	5,15	8,25
SAKÇ 1,5	6,00	10,15
SAKÇ 2,0	6,30	11,30
SDİÇ 7,5	4,55	6,20
SDİÇ 10,0	5,10	6,35
SDİÇ 15,0	5,25	7,00
SA1,0+ SDİÇ 7,5	5,55	8,35
SA1,0+ SDİÇ 10,0	6,20	8,55
SA1,0+ SDİÇ 15,0	6,55	9,20
SA1,5+ SDİÇ 7,5	6,50	10,25
SA1,5+ SDİÇ 10,0	7,10	11,00
SA1,5+ SDİÇ 15,0	7,25	11,30
SA2,0+ SDİÇ 7,5	8,00	12,00
SA2,0+ SDİÇ 10,0	8,20	12,25
SA2,0+ SDİÇ 15,0	8,45	13,00

Çizelge 4.1'de görüldüğü gibi SA, kontrol çimentosu olan PÇ 42,5 çimentosuna göre priz sürelerini uzatmaktadır. Bu etki, priz sonunda daha belirgindir. Priz sürelerinin iki katına varan oranlarda artmasında, çimento hamurundaki normal kıvam su ihtiyacının sabit alınmasının da etkisi bulunmaktadır.

SDİÇ'larda kullanılan SD ise, kontrol çimentosuna göre ikame oranı arttıkça SAKÇ'larda olduğu gibi priz sürelerini geciktirmektedir. Ancak bu gecikme, SAKÇ'lardan özellikle priz sonunda çok daha azdır. Bunun nedeni, SD yüzey alanının fazla olması dolayısıyla SD taneciklerinin daha çok suya ihtiyaç

göstermesi olarak açıklanabilir. SD'nin çimentoda priz süresini geciktirmesi, önceki çalışmalarla da benzerlik göstermektedir [20].

% 1,0, % 1,5 ve % 2,0 SAKÇ'larda ise SD, kontrol çimentosuna göre çimento hamurundaki SA miktarının artışına paralel olarak priz sürelerini uzatmaktadır. Yine burada da çimento hamurundaki kıvam suyunun sabit alınmasının olumsuz etkisi görülmektedir.

#### 4.2. SD ve SA'nın Taze Beton Özelliklerine Etkisi

SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz taze betonların deney sonuçları, kontrol betonları ile birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Taze beton deney sonuçları

Beton çeşitleri	Çökme (mm)		Ters koni metodu (sn)		Birim ağırlık (kg/m <sup>3</sup> )		Hava miktarı (%)	
	lifli	lifsiz	lifli	lifsiz	lifli	lifsiz	lifli	Lifsiz
KB	-	65	3	10	2419,5	2375,2	3,2	3,1
SAKB 1,0	-	125	4	7	2415,7	2380,3	3,3	3,0
SAKB 1,5	-	170	3	6	2400,5	2392,9	3,5	2,5
SAKB 2,0	-	190	2	5	2343,5	2394,2	3,8	2,0
SDİB 7,5	-	40	7	9	2387,8	2330,8	3,5	3,5
SDİB 10,0	-	35	11	11	2349,8	2311,9	3,8	3,8
SDİB 15,0	-	10	26	15	2254,8	2248,5	5,6	5,5
SA1,0+SDİB 7,5	-	120	4	4	2404,4	2375,2	2,9	3,4
SA1,0+SDİB 10,0	-	110	6	5	2400,5	2362,5	3,2	3,2
SA1,0+SDİB 15,0	-	90	11	8	2387,8	2337,2	3,6	3,5
SA1,5+SDİB 7,5	-	180	4	3	2406,8	2349,8	3,4	3,0
SA1,5+SDİB 10,0	-	160	5	4	2400,5	2343,5	3,5	3,1
SA1,5+SDİB 15,0	-	140	8	7	2375,2	2318,2	3,8	3,7
SA2,0+SDİB 7,5	-	220	3	4	2384,0	2356,2	3,3	3,3
SA2,0+SDİB 10,0	-	200	4	6	2375,2	2337,2	3,4	3,7
SA2,0+SDİB 15,0	-	180	6	8	2360,0	2324,5	3,7	3,9

SA katkılı lifsiz betonların çökme değerleri, SA katkı oranı artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Bu artış, % 2,0 SAKB'da üç katına ulaşmaktadır. Ancak betonda s/ç oranının sabit alınmasının da bunda etkisi bulunmaktadır. Diğer taraftan SA katkılı lifsiz betonlardaki durumun tersine SD ikameli lifsiz betonların çökme değerleri, ikame oranı arttıkça azalma göstermektedir. Bu durum, karışıma giren SD yüzey alanının çimento yüzey alanından çok büyük olması sebebiyle daha çok suya ihtiyaç göstermesi ile açıklanabilir. Benzer bir durum, % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 SA katkılı SDİB'larda da gözlenmektedir. Bu betonlarda SA artışı ile birlikte çökme değerleri artmaktadır. Buna karşılık karışımdaki SD ikame oranı arttıkça çökme değerleri azalmaktadır.

Ters koni metodu ile belirlenen LB'ların işlenebilirliğine bakıldığında çökme deneyine benzer sonuçlar elde edilmiştir. SA, SAKB'larda katkı oranı arttıkça işlenebilirliği artırmaktadır. SDİB'larda ise beklendiği gibi SD ikame oranı arttıkça işlenebilirlik azalma göstermektedir. % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 SA katkılı SDİB'larda ise, karışımdaki SA artışına rağmen SD ikame oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır.

Lifsiz betonların ve-be değerleri ile çökme değerleri arasında benzerlik bulunmaktadır. SA katkılı lifsiz betonların ve-be değerleri, SA katkı oranı artışı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. SA, lifsiz betonların işlenebilirliğini iyileştirmektedir. SD ise, SDİB'ların çökme değerlerinde olduğu gibi ikame oranı arttıkça KB'na göre ve-be sürelerini artırmakta dolayısıyla betonların işlenebilirliğini azaltmaktadır. % 1,0, % 1,5 ve % 2,0 SA katkılı SDİB'larda da karışımdaki SA artışına rağmen SD ikame oranı arttıkça işlenebilirlik azalmaktadır.

Betonların birim ağırlık ve hava miktarı değerleri incelendiğinde, SA ile SD'nin belirgin bir etkisi gözlenmemiştir.



### 4.3. SD ve SA'nın Sertleşmiş Beton Özelliklerine Etkisi

#### 4.3.1. SD ve SA'nın eğilmede çekme dayanımına etkisi

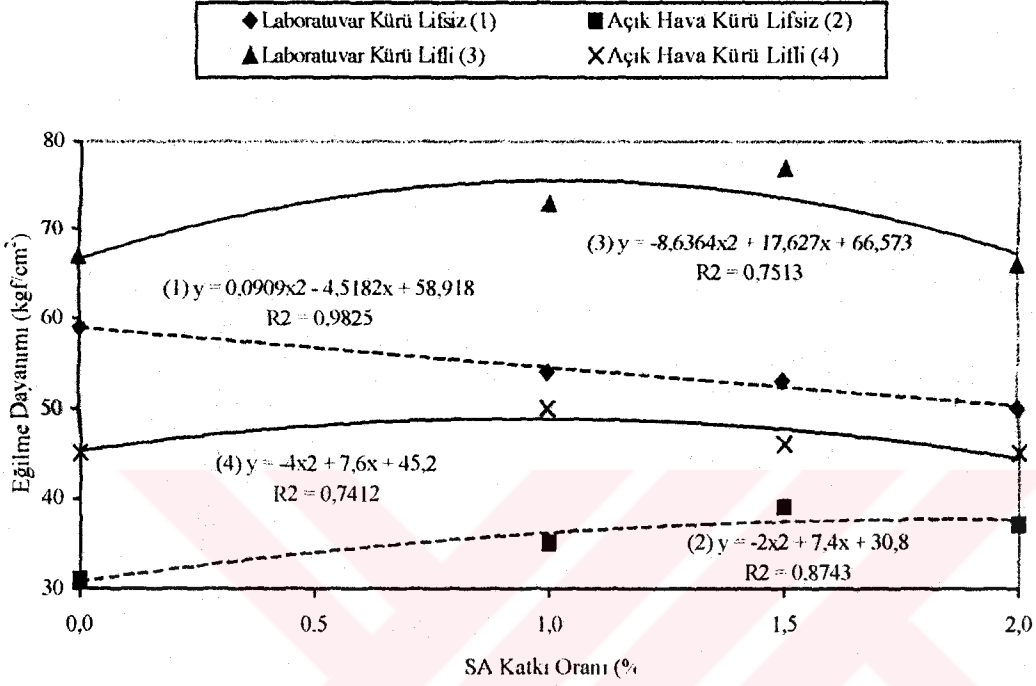
SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz betonların eğilmede çekme dayanımı sonuçları, kontrol betonları ile birlikte Çizelge 4.3'te verilmiştir. 28 ve 90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi, Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de ayrı ayrı gösterilmiştir.

Çizelge 4.3. Betonların eğilmede çekme dayanımı sonuçları

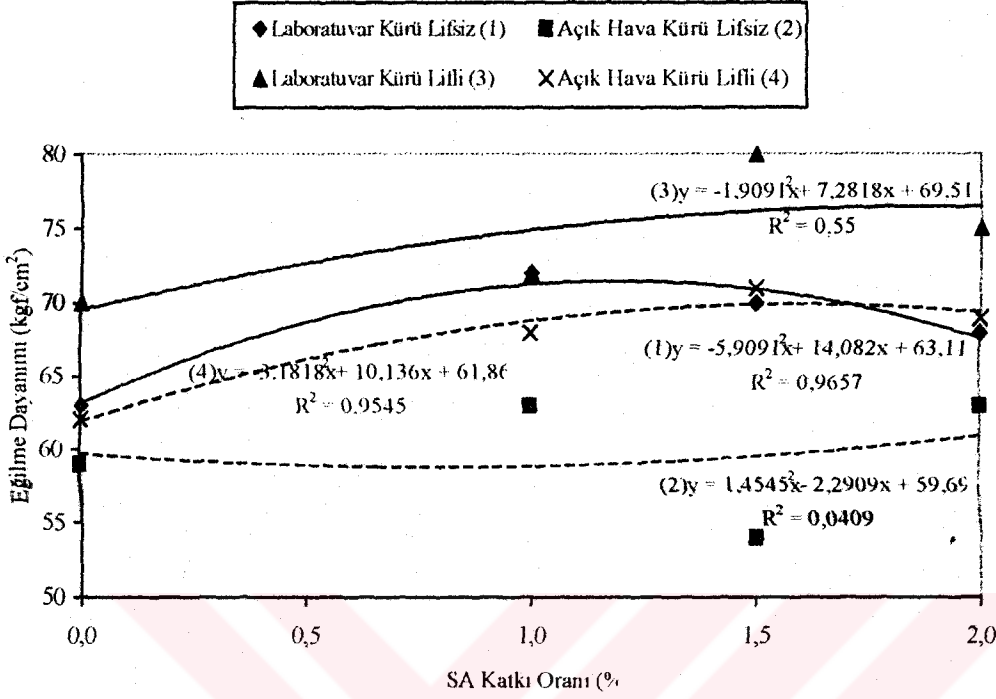
Beton Tipi	Eğilmede Çekme Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )							
	Laboratuvar Kürü				Açık Hava Kürü			
	Lifli		Lifsiz		Lifli		Lifsiz	
	28 Gün	90 Gün	28 Gün	90 Gün	28 Gün	90 Gün	28 Gün	90 Gün
KB	67	70	59	63	45	62	31	59
SAKB 1,0	73	72	54	72	50	68	35	63
SAKB 1,5	67	80	53	70	46	71	39	60
SAKB 2,0	66	75	50	68	45	69	37	54
SDİB 7,5	72	69	65	66	60	68	34	64
SDİB 10,0	70	73	68	68	62	70	36	60
SDİB 15,0	68	75	65	64	64	72	35	56
SA1,0+SDİB 7,5	69	77	68	61	59	72	45	51
SA1,0+SDİB 10,0	72	79	63	60	72	78	41	50
SA1,0+SDİB 15,0	68	77	68	59	54	68	45	45
SA1,5+SDİB 7,5	69	79	64	65	63	69	50	51
SA1,5+SDİB 10,0	72	80	60	64	66	70	51	48
SA1,5+SDİB 15,0	71	84	68	63	58	68	49	45
SA2,0+SDİB 7,5	69	78	54	59	67	73	32	41
SA2,0+SDİB 10,0	74	75	54	62	69	76	36	44
SA2,0+SDİB 15,0	71	74	51	68	80	67	36	38

Her iki şekilden de görüldüğü gibi SA, katkı oranı arttıkça KB'una göre lifli ve lifsiz betonların eğilmede çekme dayanımlarını artırmaktadır. Bununla birlikte sadece 28 günlük laboratuvar küründeki lifsiz betonda, SA katkı oranı arttıkça KB'una göre dayanım azalmıştır. En yüksek dayanım, laboratuvar küründeki LB'da, en düşük dayanım ise açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların eğilmede çekme dayanımı-SA katkı oranı ilişkileri,

polinom fonksiyon olarak hesaplanmış olup Şekil 4.1 ve Şekil 4.2 üzerinde gösterilmiştir.

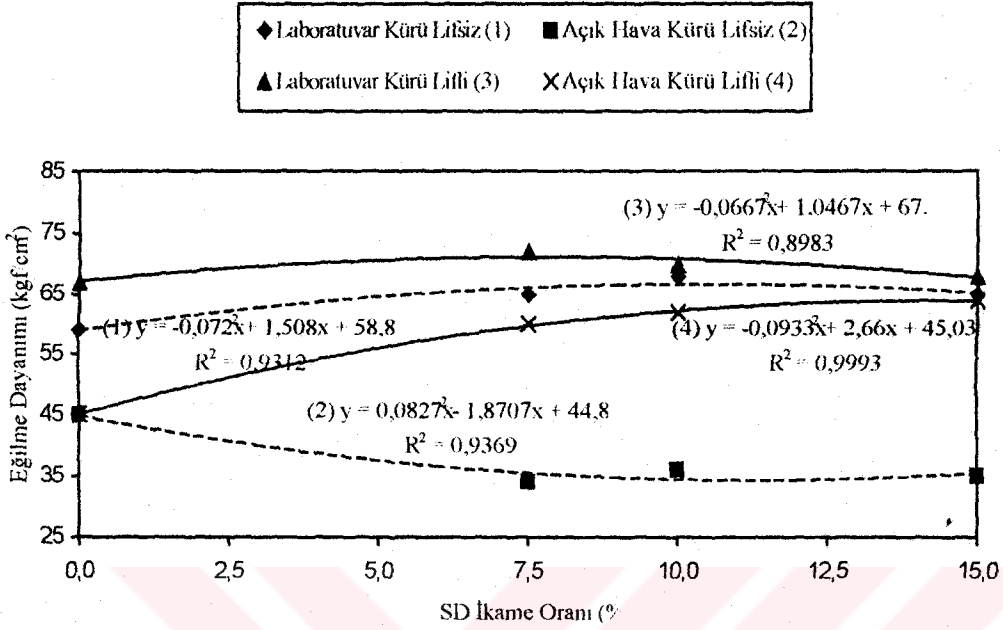


Şekil 4.1. 28 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi

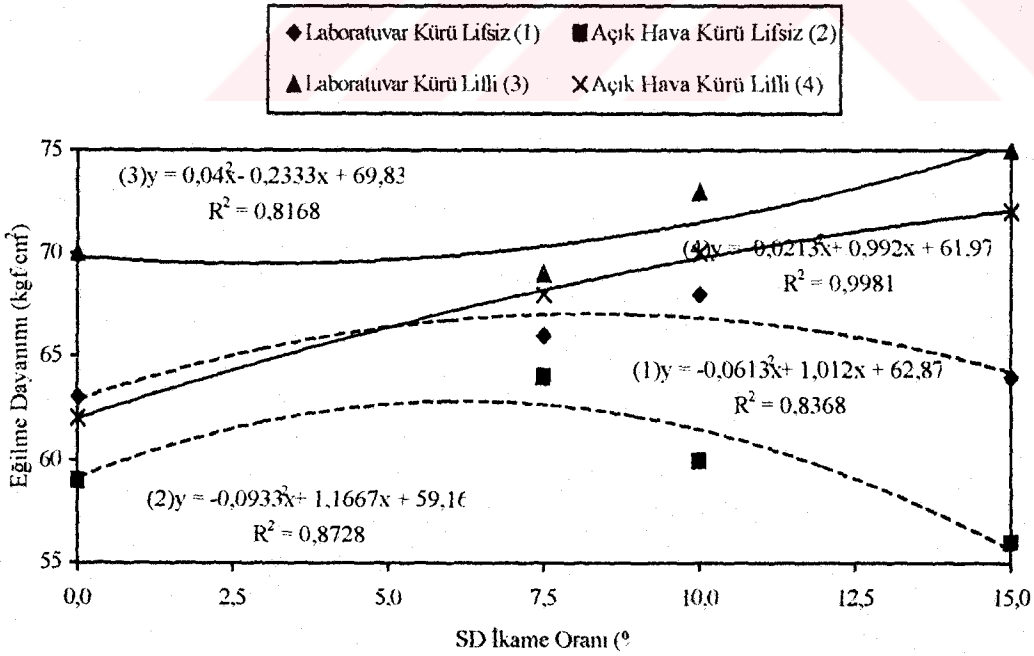


Şekil 4.2. 90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi

28 ve 90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.3 ve Şekil 4.4'de ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi SD, LB'larda ikame oranı arttıkça KB'una göre hem 28 günde hem de 90 günde eğilmede çekme dayanımlarını artırmaktadır. Lifsiz betonlarda ise LB'ların tersine, ikame oranı arttıkça hem 28 günde hem de 90 günde eğilmede çekme dayanımları azalmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanım, SAKB'larda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB'da ve açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri de, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekillerin üzerinde gösterilmiştir.

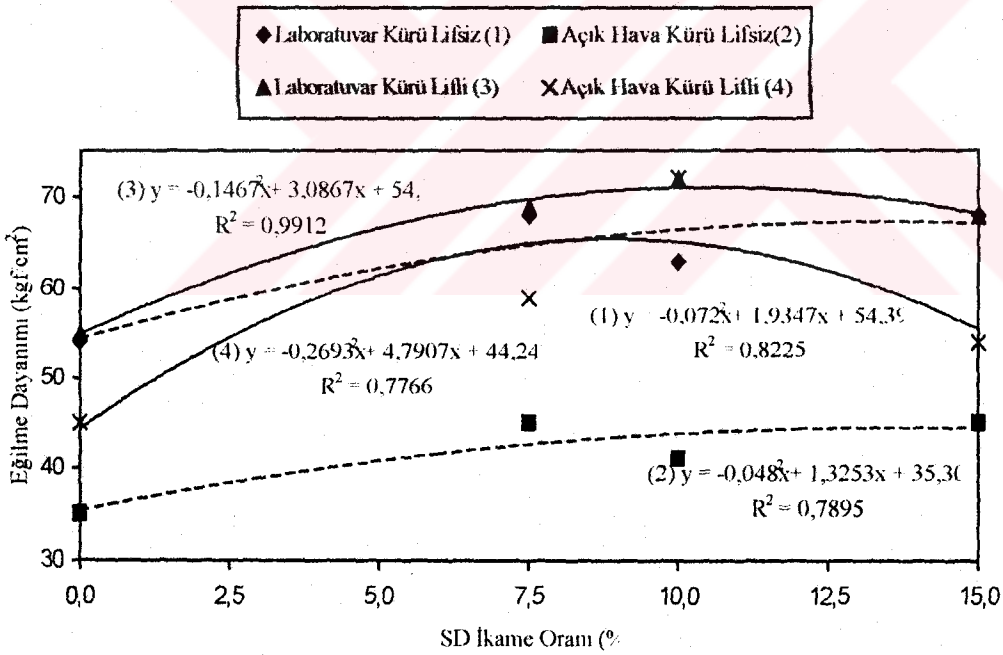


Şekil 4.3. 28 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

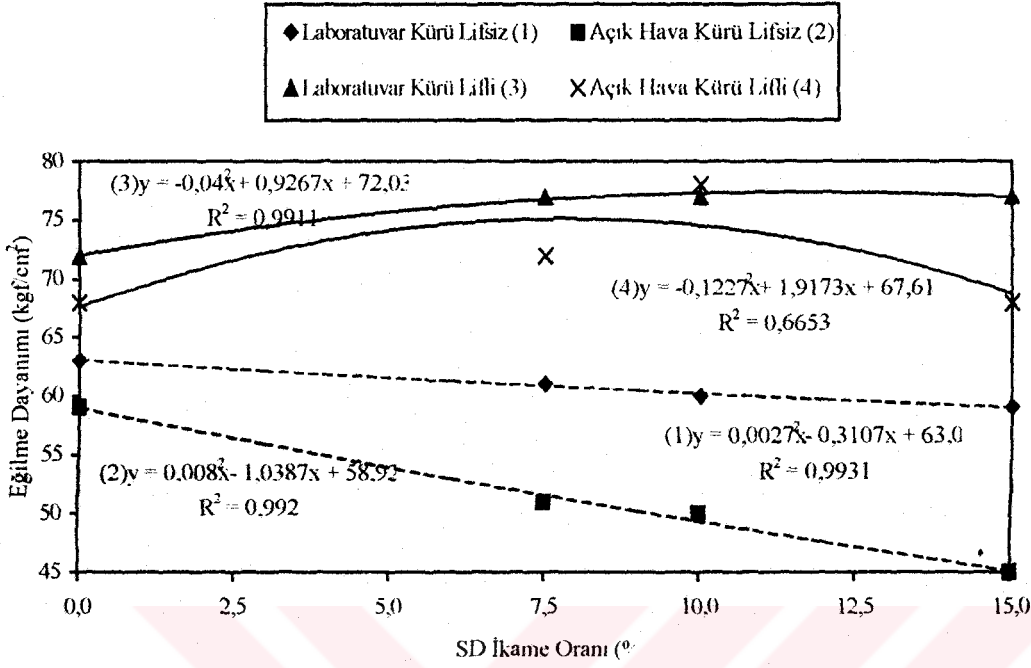


Şekil 4.4. 90 günlük betonların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

28 ve 90 günlük % 1,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri ise, Şekil 4.5 ve Şekil 4.6'da ayrı ayrı gösterilmiştir. Şekil 4.5'de görüldüğü gibi SD, 28 günlük betonlarda açık hava küründeki LB hariç ikame oranı arttıkça KB'una göre eğilmede çekme dayanımlarını artırmaktadır. 90 günlük betonlarda ise SD, Şekil 4.6'da görüldüğü gibi LB'larda ikame oranı arttıkça KB'una göre eğilmede çekme dayanımlarını artırmakta, lifsiz betonlarda ise azaltmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımı gösteren beton değişmemiş ve SAKB ile SDİB'larda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB'da ve açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların da eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.

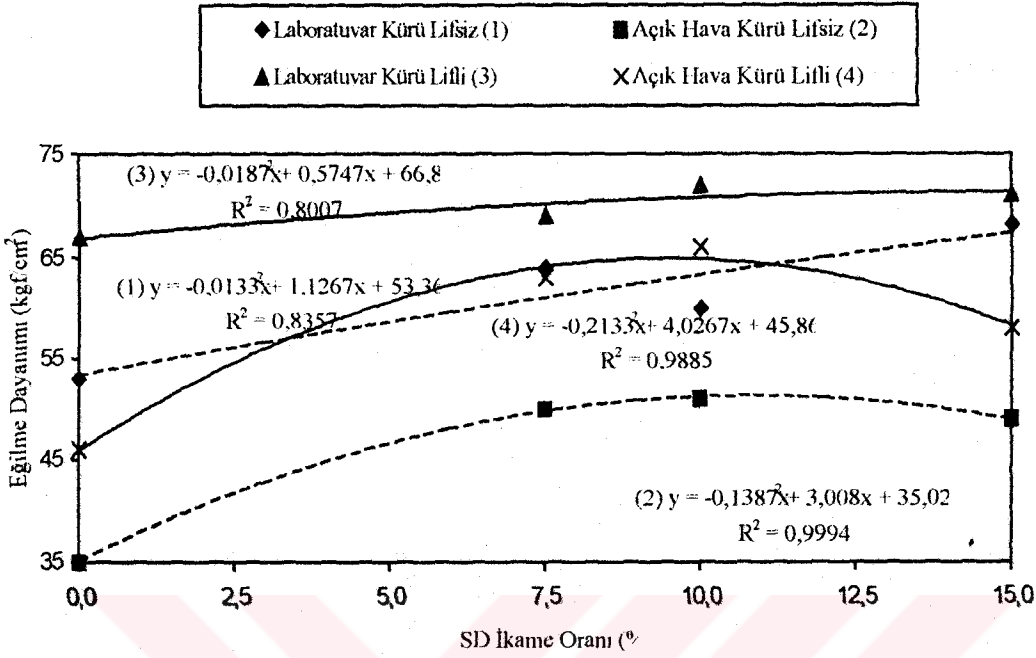


Şekil 4.5. 28 günlük % 1,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

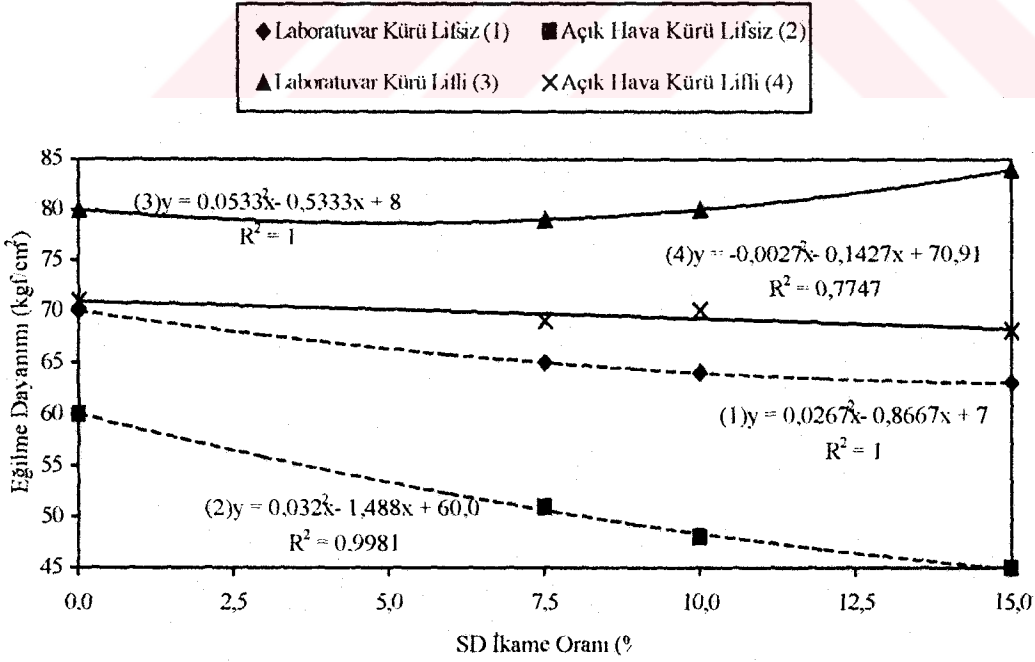


Şekil 4.6. 90 günlük % 1,0 SAKB'lerin eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

28 ve 90 günlük % 1,5 SAKB'lerin eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi, sıra ile Şekil 4.7 ve Şekil 4.8'de gösterilmiştir. Şekil 4.7'de görüldüğü gibi SD, 28 günlük betonlarda ikame oranı arttıkça KB'una göre eğilmede çekme dayanımlarını artırmaktadır. Sadece açık hava küründeki % 15 SDİLB'da, % 5 ve % 10 SDİLB'lara göre dayanım azalmıştır. 90 günlük betonlarda ise SD, Şekil 4.8'de görüldüğü gibi LB'larda ikame oranı arttıkça KB'una göre eğilmede çekme dayanımlarını artırmakta, lifsiz betonlarda ise azaltmaktadır. Bu durum, % 1,0 SAKB'lerin aynı yaştaki dayanımları ile benzerdir. Her iki yaşta da en yüksek ve en düşük dayanımı gösteren beton, diğer betonlarda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB'da ve açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonlara ait eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri de, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.

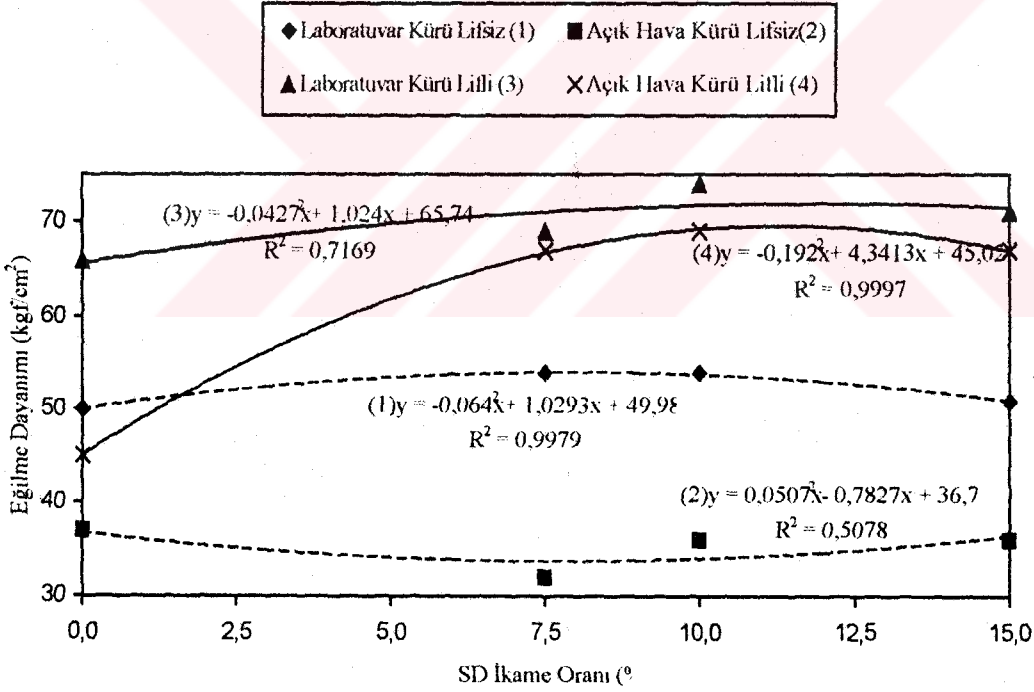


Şekil 4.7. 28 günlük % 1,5 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



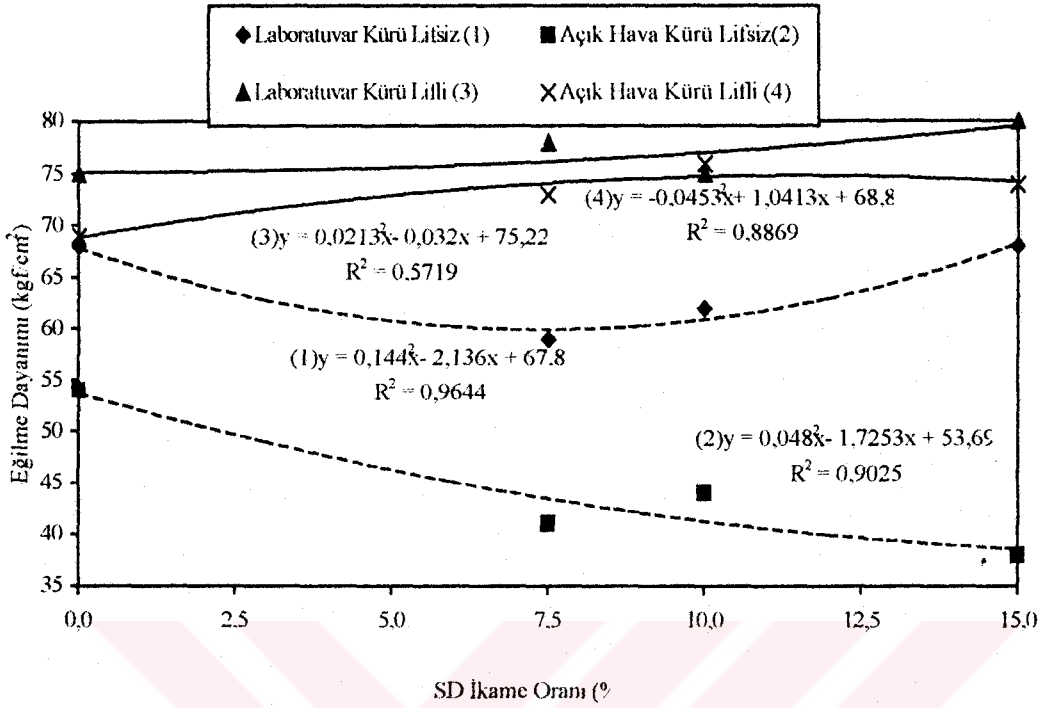
Şekil 4.8. 90 günlük % 1,5 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

28 ve 90 günlük % 2,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi de, sıra ile Şekil 4.9 ve Şekil 4.10'da gösterilmiştir. Her iki şekilde de görüldüğü gibi SD, KB'una göre hem 28 günlük hem de 90 günlük betonlarda ikame oranı arttıkça LB'larda eğilmede çekme dayanımlarını artırmakta, lifsiz betonlarda ise azaltmakta veya değiştirmemektedir. Her iki yaşta da en yüksek ve en düşük dayanımı gösteren betonlar, diğer betonlarda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB ile açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betondur. Bu betonlara ait eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri de, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.9. 28 günlük % 2,0 SAKB'ların eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi





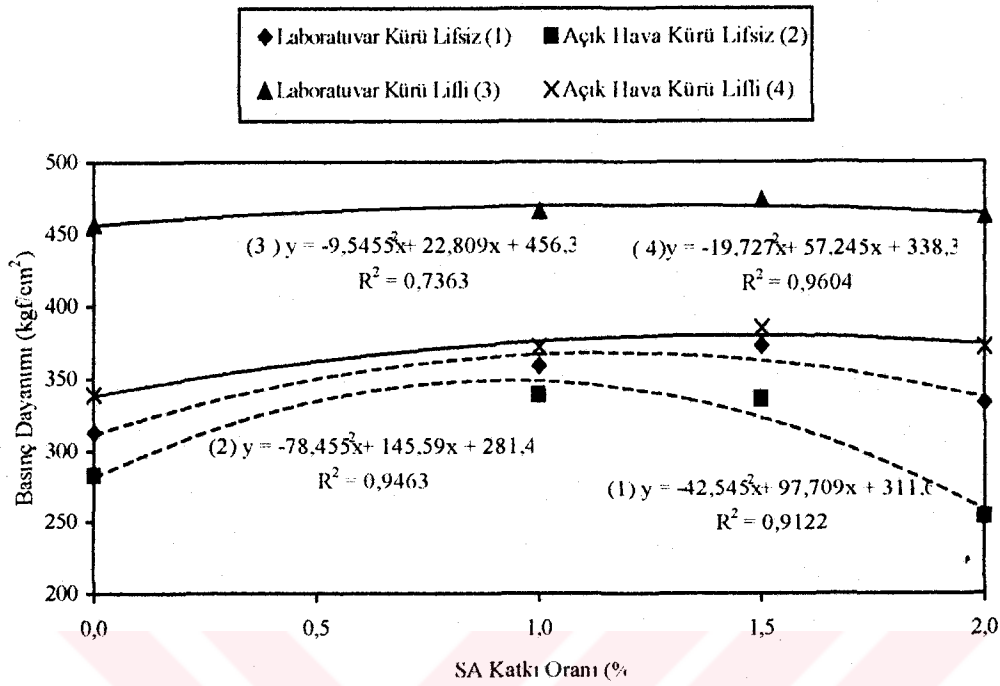
Şekil 4.10. 90 günlük % 2,0 SAKB'lerin eğilmede çekme dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

#### 4.3.2. SD ve SA'nın basınç dayanımına etkisi

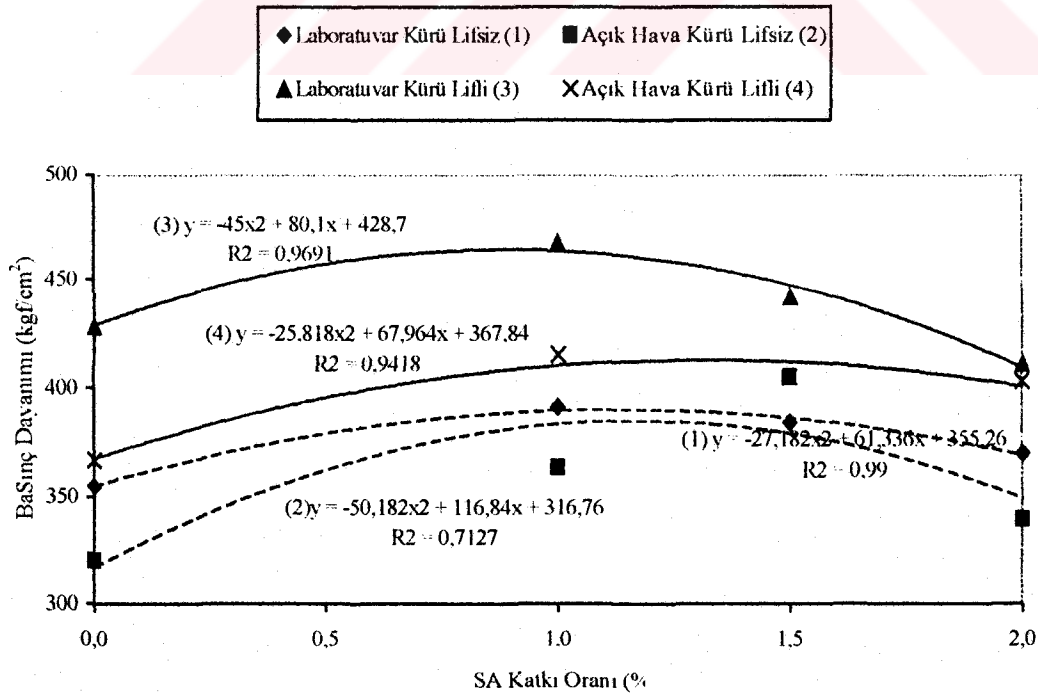
SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz betonların basınç dayanımı sonuçları, kontrol betonları ile birlikte Çizelge 4.4'te verilmiştir. 28, 90 ve 180 günlük betonların basınç dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi, sırasıyla Şekil 4.11, Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Her üç şekilde de görüldüğü gibi SA, KB'una göre dayanımları artırmakta ancak eğilmede çekme dayanımlarındaki durumun tersine, katkı oranı arttıkça betonların basınç dayanımını azaltmaktadır. Bu durum her iki kür ortamı için de aynıdır. % 1,0 SA katkıdan sonra katkı oranı arttıkça bütün yaşlardaki dayanımlar azalmıştır. En yüksek ve en düşük dayanım, eğilmede çekme dayanımlarında olduğu gibi sırasıyla laboratuvar küründeki LB'da ve açık hava küründeki lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların basınç dayanımı-SA katkı oranı ilişkileri, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 4.4. Betonların basınç dayanımı sonuçları

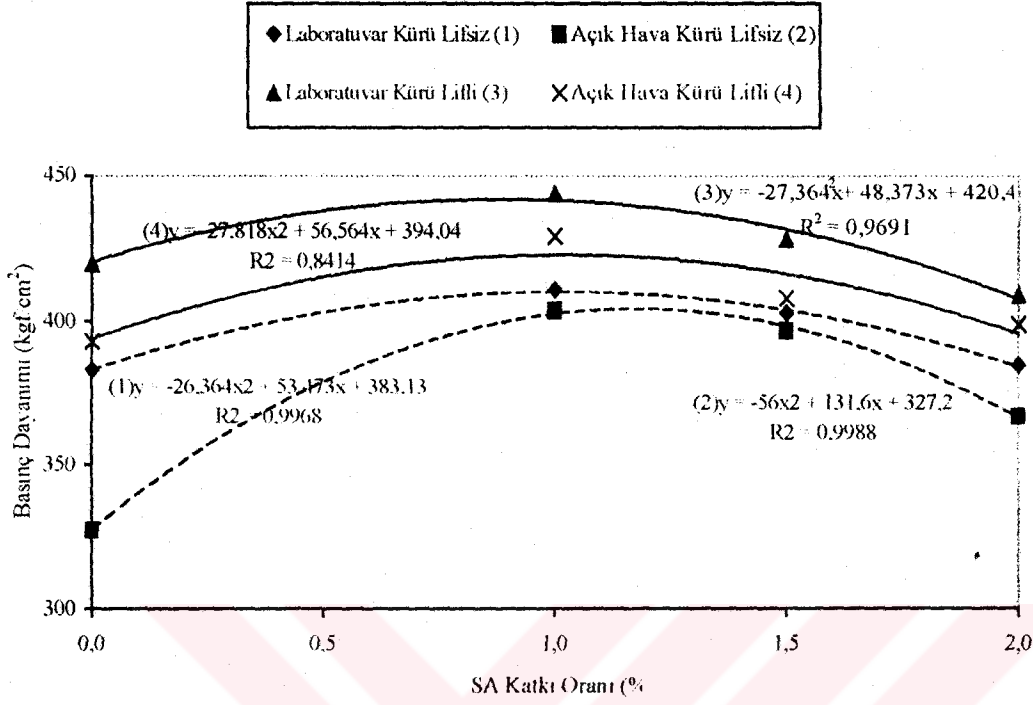
Beton Çeşidi	Basınç Dayanımı (kgf/cm <sup>2</sup> )											
	Laboratuvar Kürü						Açık Hava Kürü					
	Lifli			Lifsiz			Lifli			Lifsiz		
	28 Gün	90 Gün	180 Gün	28 Gün	90 Gün	180 Gün	28 Gün	90 Gün	180 Gün	28 Gün	90 Gün	180 Gün
KB	457	428	420	313	355	383	339	367	393	283	320	327
SAKB 1,0	466	468	444	359	391	411	372	425	429	339	364	404
SAKB 1,5	474	442	428	373	384	403	385	405	408	336	361	397
SAKB 2,0	462	411	409	333	370	385	372	403	399	254	340	367
SDİB 7,5	486	476	484	338	377	455	461	463	478	280	365	376
SDİB 10,0	510	513	494	383	446	468	467	490	488	356	442	436
SDİB 15,0	452	438	460	338	418	435	408	425	438	319	339	398
SA1,0+SDİB7,5	496	472	445	310	403	421	504	459	435	378	354	410
SA1,0+SDİB 10,0	520	492	469	363	430	434	505	500	445	388	395	429
SA1,0+ SDİB 15,0	498	447	423	240	380	408	465	427	411	353	368	383
SA1,5+ SDİB 7,5	517	510	490	356	378	466	436	487	480	338	365	403
SA1,5+SDİB 10,0	536	546	555	341	405	439	465	474	488	311	359	389
SA1,5+SDİB 15,0	391	464	446	358	434	442	453	468	444	308	352	435
SA2,0+SDİB 7,5	488	523	541	319	415	428	422	467	512	269	314	369
SA2,0+SDİB 10,0	530	550	550	313	430	443	461	530	535	285	316	379
SA2,0+SDİB 15,0	390	530	548	329	346	456	339	451	517	274	309	338



Şekil 4.11. 28 günlük betonların basınç dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi

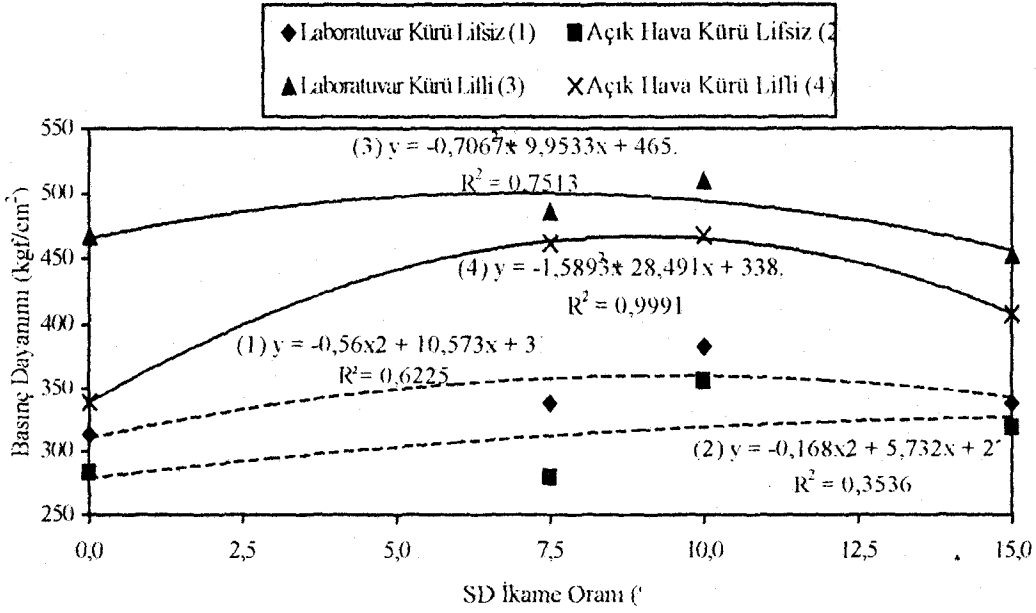


Şekil 4.12. 90 günlük betonların basınç dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi

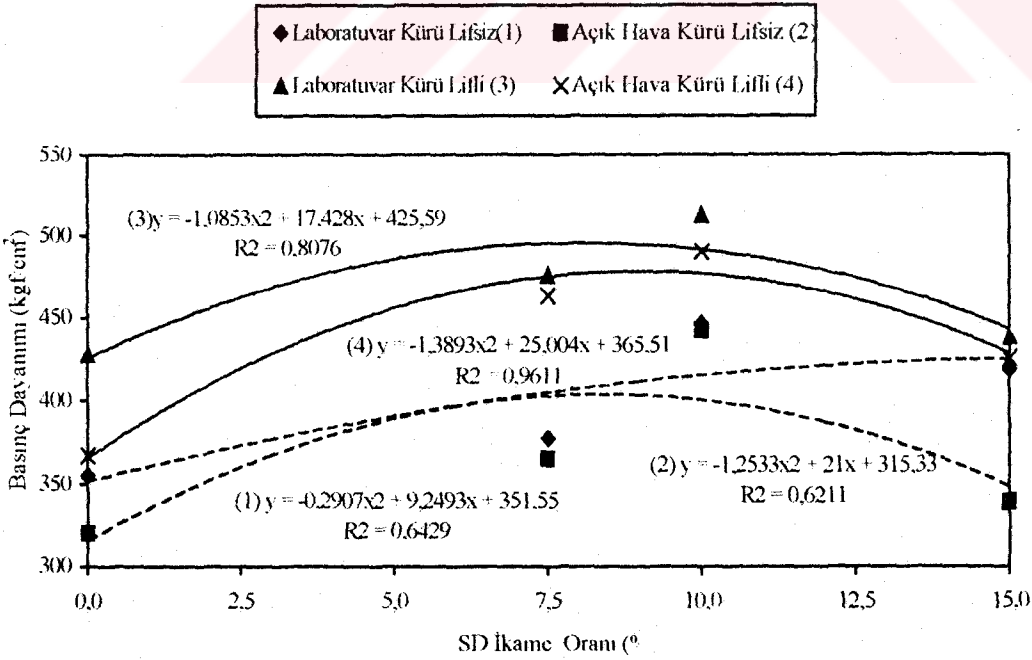


Şekil 4.13. 180 günlük betonların basınç dayanımı-SA katkı oranı ilişkisi

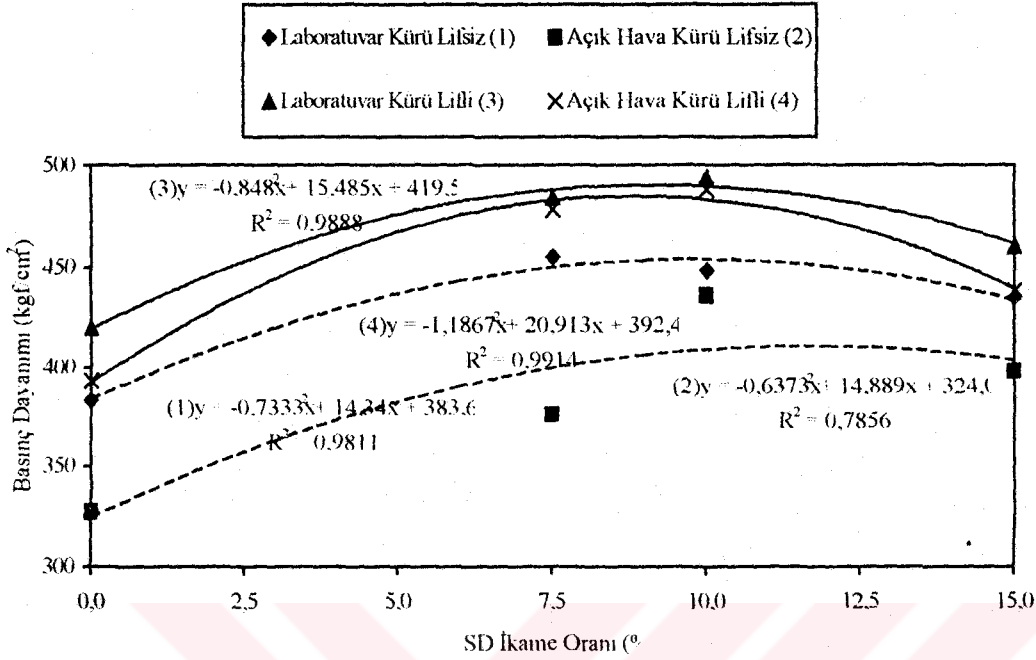
28, 90 ve 180 günlük betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi SD, betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre bütün yaşlarda dayanımları artırmaktadır. Bununla birlikte ikame oranı % 15 olduğunda her üç yaşta da dayanım azalmaktadır. SDİB'larda en yüksek dayanım, % 10 SD ikameli betonda elde edilmiştir. En yüksek ve en düşük dayanımlar, yine sırası ile laboratuvar küründeki LB'da ve açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri de, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekillerin üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.14. 28 günlük betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

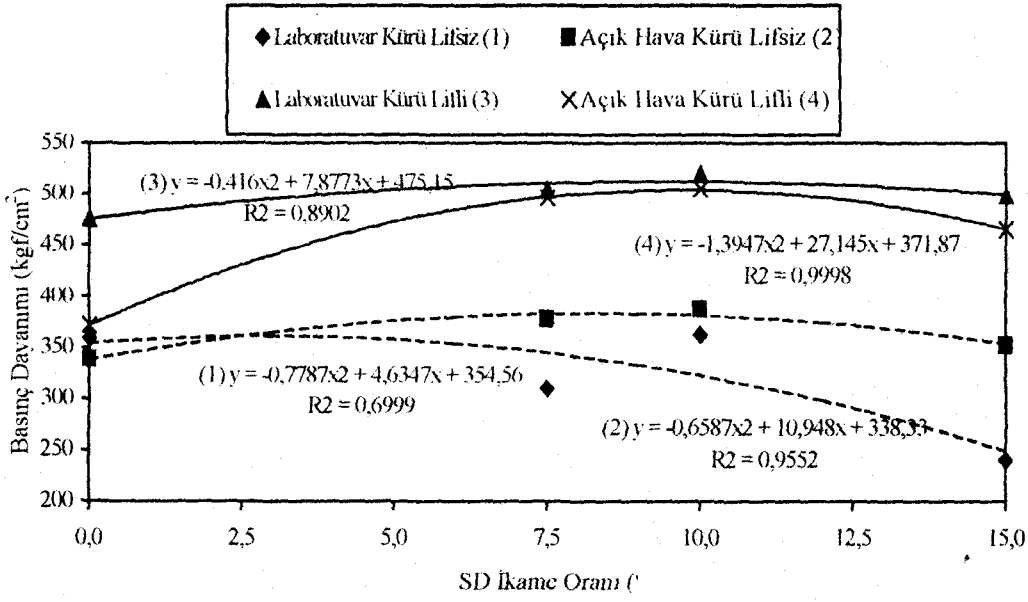


Şekil 4.15. 90 günlük betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

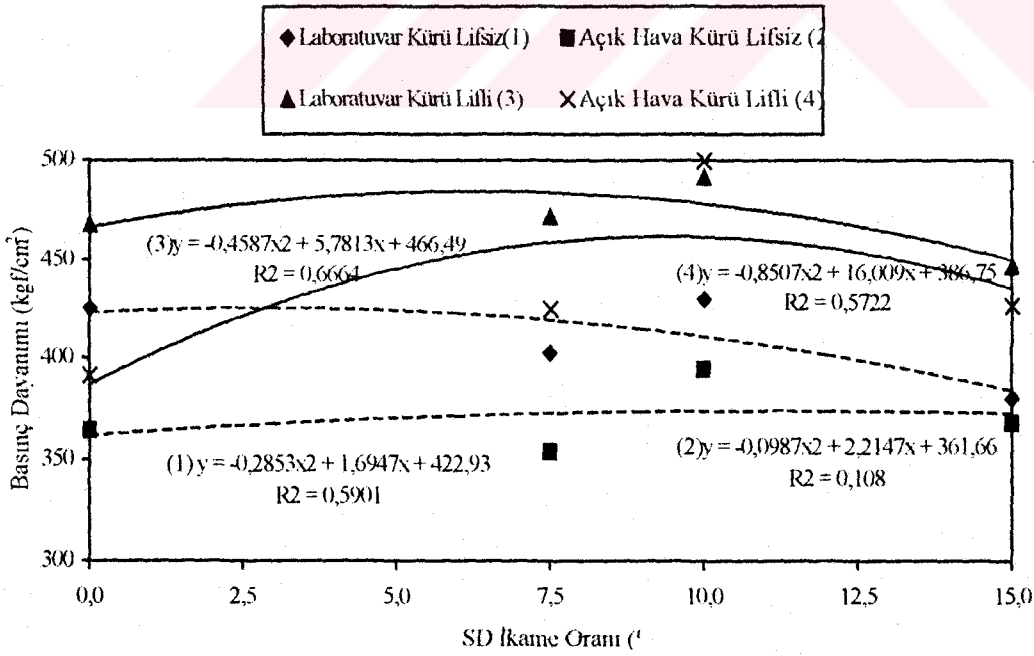


Şekil 4.16. 180 günlük betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

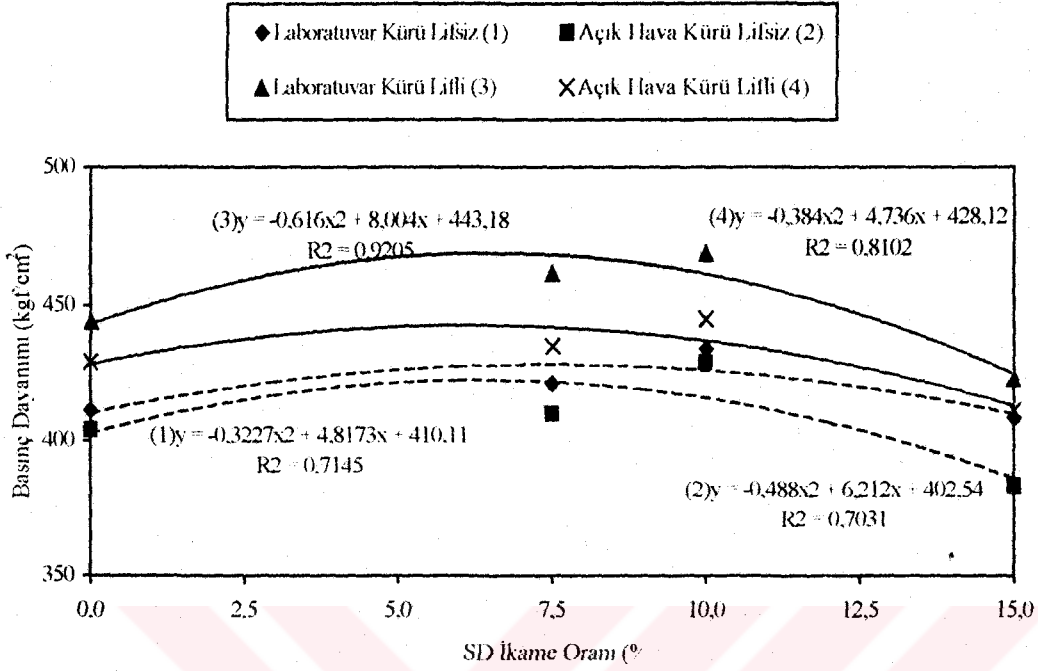
28, 90 ve 180 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri, Şekil 4.17, Şekil 4.18 ve Şekil 4.19'da gösterilmiştir. Her üç şekilde de görüldüğü gibi SD, betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre bütün yaşlarda dayanımları artırmaktadır. Ancak SDİB'larda olduğu gibi ikame oranı % 15 olduğunda her üç yaşta da dayanım azalmaktadır. Bu betonlarda da en yüksek dayanım, % 10 SD ikameli betonda elde edilmiştir. Her üç yaşta da en yüksek ve en düşük dayanımı gösteren betonlar, diğer betonlarda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB ile açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz beton olarak belirlenmiştir. Bu betonların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.17. 28 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



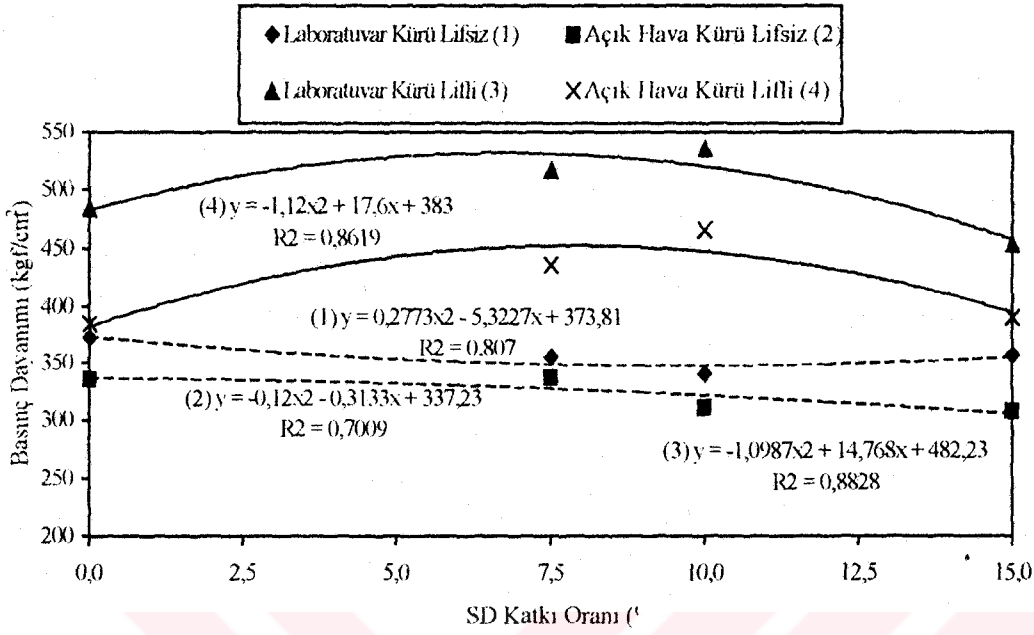
Şekil 4.18. 90 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



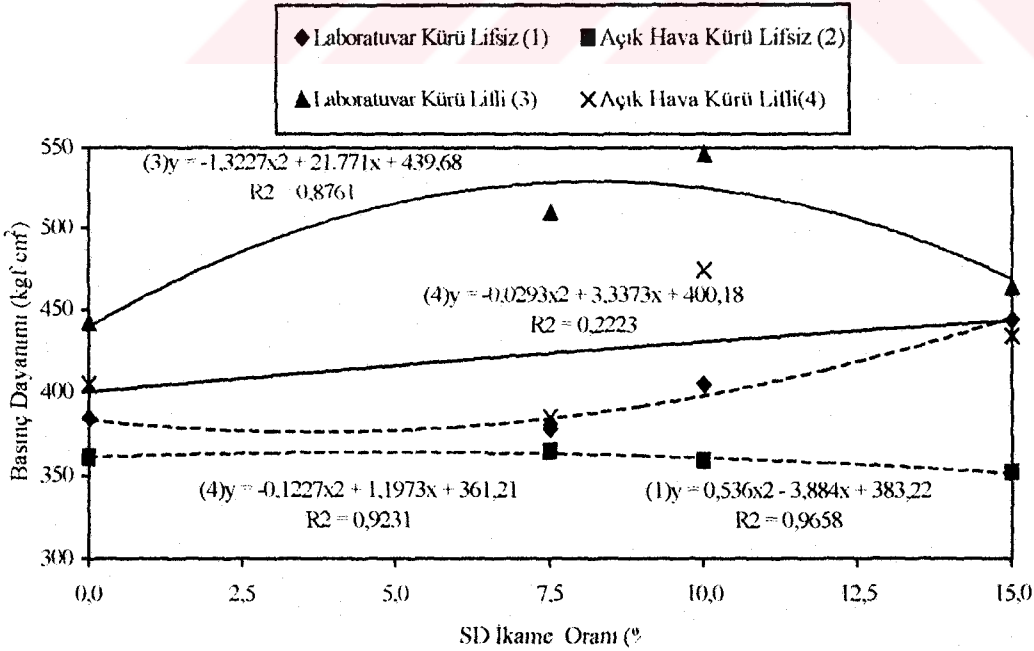
Şekil 4.19. 180 günlük % 1,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

28, 90 ve 180 günlük % 1,5 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi, sıra ile Şekil 4.20, Şekil 4.21 ve Şekil 4.22'de gösterilmiştir. Şekillerde görüldüğü gibi SD, 28 günlük lifsiz betonlar hariç betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre bütün yaşlarda dayanımları artırmaktadır. Bununla birlikte 180 günlük lifsiz betonlar hariç SDİB ve % 1,0 SAKB'larda olduğu gibi ikame oranı % 15 olduğunda her üç yaşta da dayanımlar azalmaktadır. Bu betonlarda da lifsiz betonlar hariç en yüksek dayanım, % 10 SDİLB'larda elde edilmiştir. Bütün yaşlarda en yüksek ve en düşük dayanım, diğer betonlarda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB ile açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların da basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.

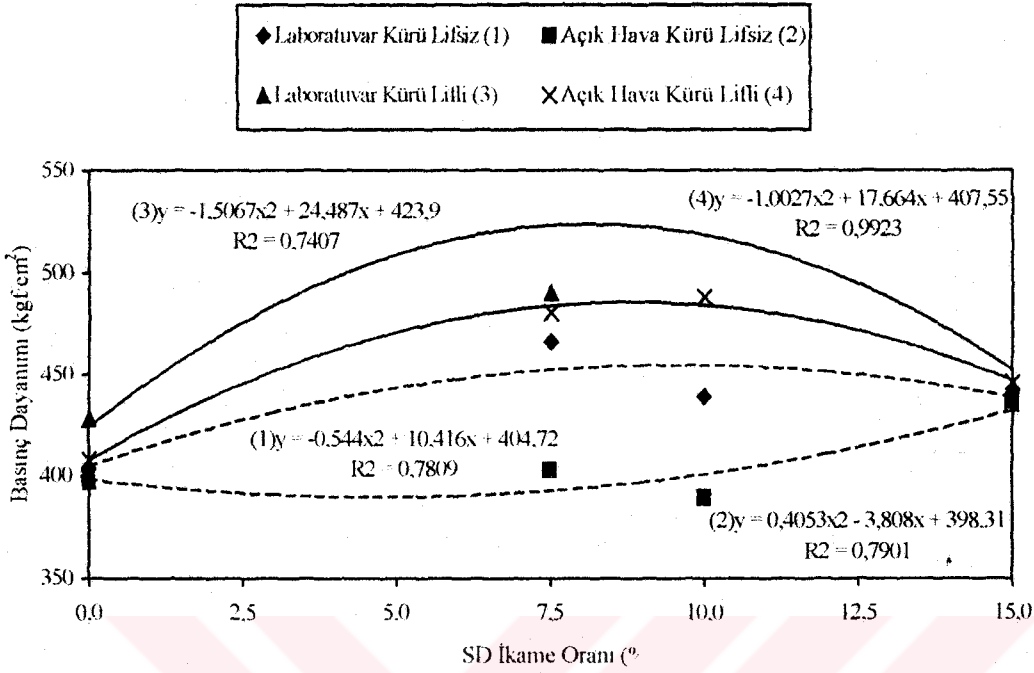




Şekil 4.20. 28 günlük % 1,5 SAKB'ların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



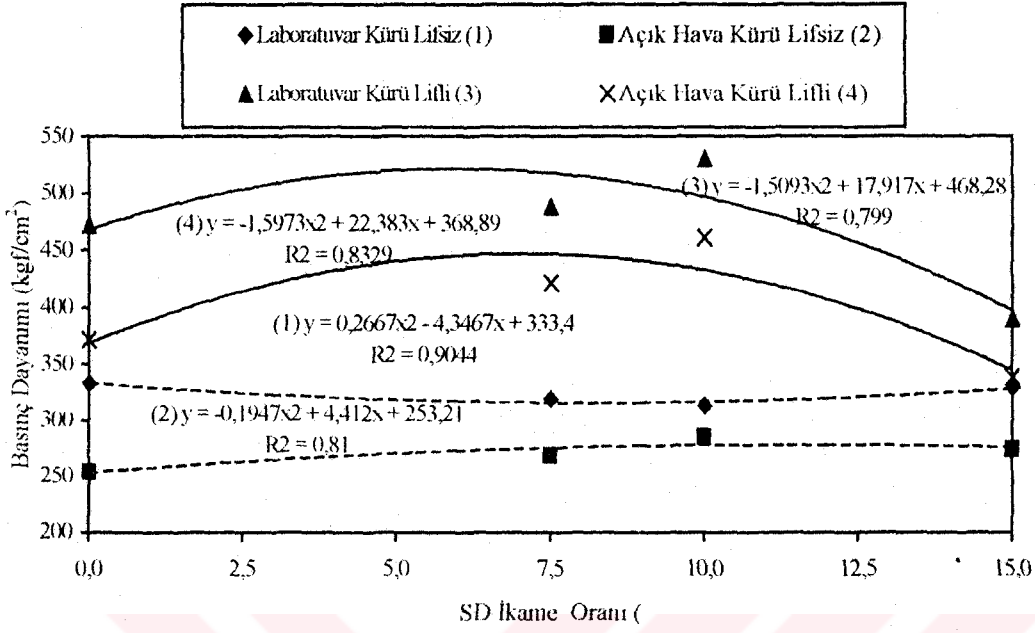
Şekil 4.21. 90 günlük % 1,5 SAKB'ların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



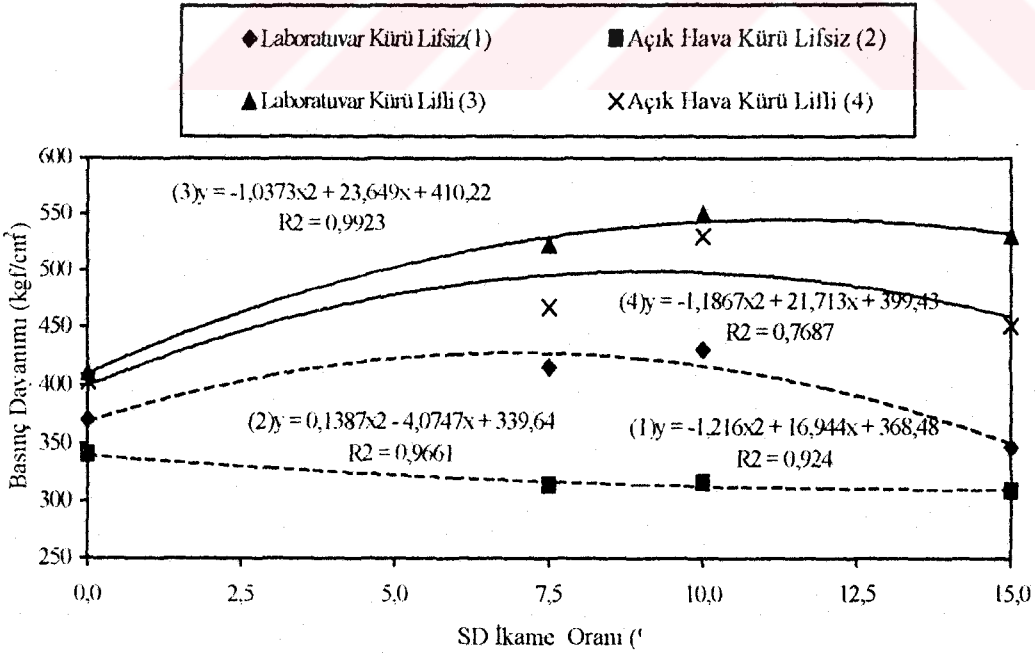
Şekil 4.22. 180 günlük % 1,5 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

28, 90 ve 180 günlük % 2,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi de, sıra ile Şekil 4.23, Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'te gösterilmiştir. Her üç şekilde de görüldüğü gibi SD, genellikle betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre bütün yaşlarda dayanımları artırmaktadır. Bununla birlikte 28 günlük LB'lar ile 90 günlük lifsiz betonlar, ikame oranı % 15 olduğunda KB'u dayanımından daha düşük dayanım göstermiştir. Bu betonlarda da en yüksek dayanım, % 10 SDİLB'larda elde edilmiştir. Bütün yaşlarda en yüksek ve en düşük dayanım, diğer betonlarda olduğu gibi sırası ile laboratuvar küründeki LB ile açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonlarına ait basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkileri de, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekiller üzerinde gösterilmiştir.

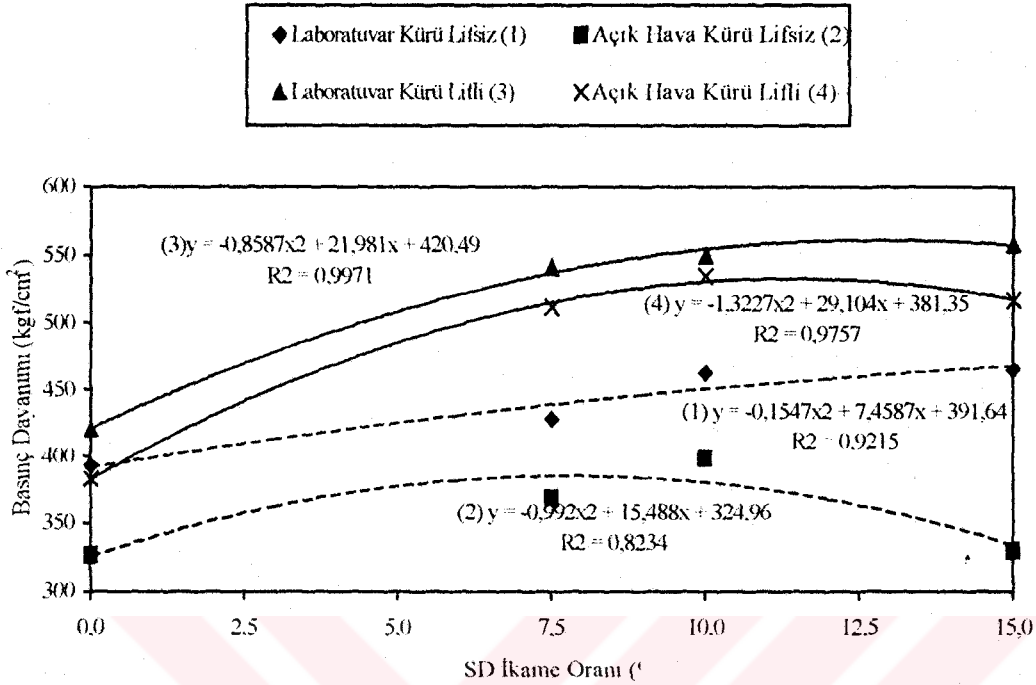
% 1,0 SA, SD'ni ile birlikte kullanıldığında basınç dayanımlarında düşme, SA % 1,5 ve % 2,0 oranlarında SD'ni ile ikameli olarak kullanıldığında ise dayanımlarda artma görülmektedir.



Şekil 4.23. 28 günlük % 2,0 SAKB'ların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



Şekil 4.24. 90 günlük % 2,0 SAKB'ların basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi



Şekil 4.25. 180 günlük % 2,0 SAKB'lerin basınç dayanımı-SD ikame oranı ilişkisi

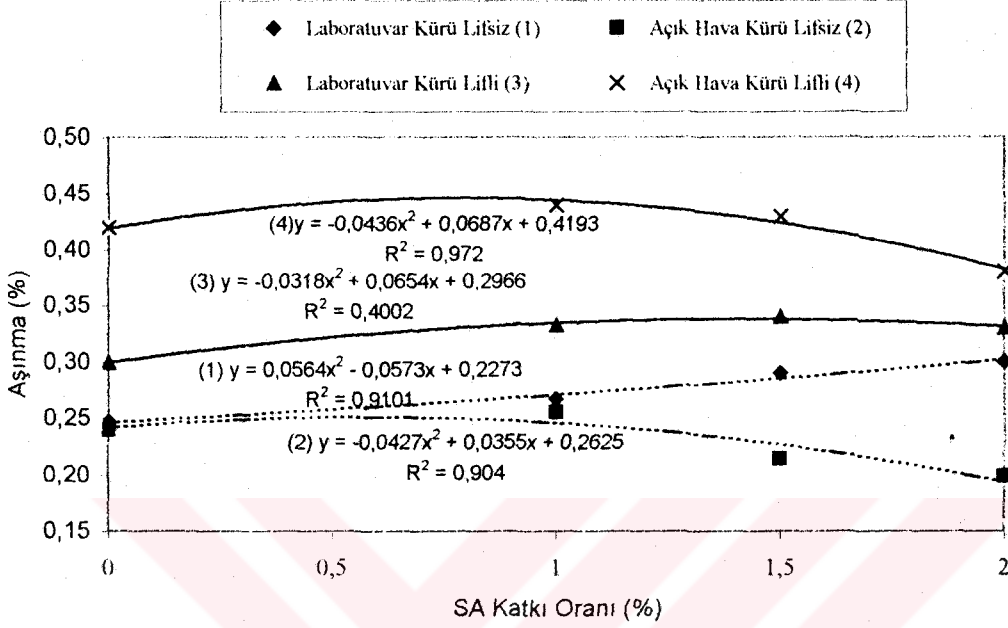
#### 4.3.3. SD ve SA'nın aşınma dayanımına etkisi

SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz betonların aşınma dayanımı sonuçları, kontrol betonları ile birlikte Çizelge 4.5'te verilmiştir. Betonların aşınma-SA katkı oranı ilişkisi, Şekil 4.26'da verilmiştir.

Şekil 4.26'da görüldüğü gibi SA, açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz beton dışında KB'una göre betonların aşınma dayanımlarını azaltmaktadır. Bununla birlikte % 1,0'in üzerindeki SA oranları, laboratuvar kürü uygulanan lifsiz beton hariç katkı oranı arttıkça betonların aşınma dayanımlarını artırmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımlar, eğilmede çekme ve basınç dayanımlarındaki durumun tersine sırasıyla açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz beton ile açık hava küründeki LB'da elde edilmiştir. LB'lardaki fazla aşınma, deney sırasında yüzeye yakın olan ÇL'lerin beton yüzeyinden kopmasıyla açıklanabilir. Bu betonların aşınma-SA katkı oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.

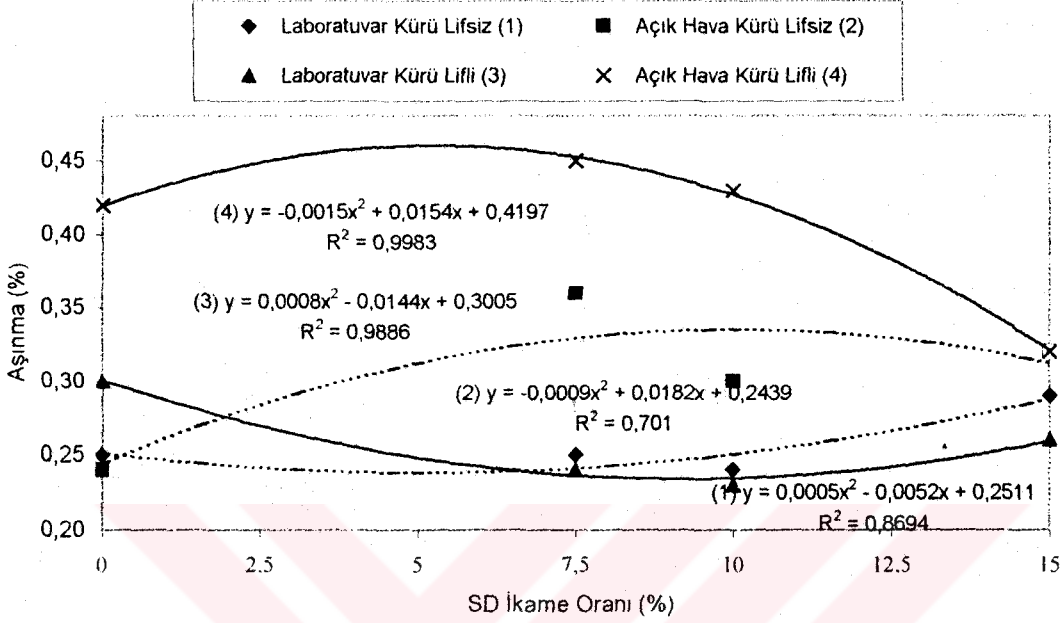
Çizelge 4.5. Betonların aşınma ve donma-çözülme deney sonuçları

Beton çeşidi	Aşınma (kayıp %)				Donma çözülme (DF)			
	Laboratuar kürü		Açık hava kürü		Laboratuar kürü		Açık hava kürü	
	lifli	lifsiz	lifli	lifsiz	lifli	lifsiz	lifli	Lifsiz
KB	0,30	0,25	0,42	0,24	37,8	49,1	97,5	78,5
SAKB 1,0	0,33	0,27	0,44	0,26	68,0	21,9	50,2	25,5
SAKB 1,5	0,34	0,29	0,43	0,21	57,4	33,2	38,2	52,6
SAKB 2,0	0,23	0,30	0,38	0,20	49,9	30,6	37,2	50,0
SDİB 7,5	0,24	0,25	0,45	0,36	75,8	80,6	54,8	88,7
SDİB 10,0	0,23	0,24	0,43	0,30	78,7	84,0	51,5	94,0
SDİB 15,0	0,26	0,29	0,32	0,32	76,3	88,4	40,0	91,5
SA1,0+SDİB 7,5	0,18	0,27	0,33	0,33	89,8	78,9	50,7	40,6
SA1,0+SDİB 10,0	0,20	0,25	0,38	0,42	89,2	84,1	53,4	40,6
SA1,0+SDİB 15,0	0,26	0,35	0,41	0,60	89,8	78,2	34,2	29,7
SA1,5+SDİB 7,5	0,23	0,28	0,38	0,36	81,7	70,9	48,2	23,6
SA1,5+SDİB 10,0	0,19	0,26	0,37	0,50	85,7	72,3	38,0	14,4
SA1,5+SDİB 15,0	0,25	0,17	0,50	0,80	88,5	79,3	25,8	20,9
SA2,0+SDİB 7,5	0,25	0,22	0,38	0,50	75,0	68,3	53,0	21,4
SA2,0+SDİB 10,0	0,28	0,24	0,34	0,53	84,4	72,9	50,7	20,7
SA2,0+SDİB 15,0	0,31	0,24	0,46	0,52	79,2	74,6	30,5	32,9



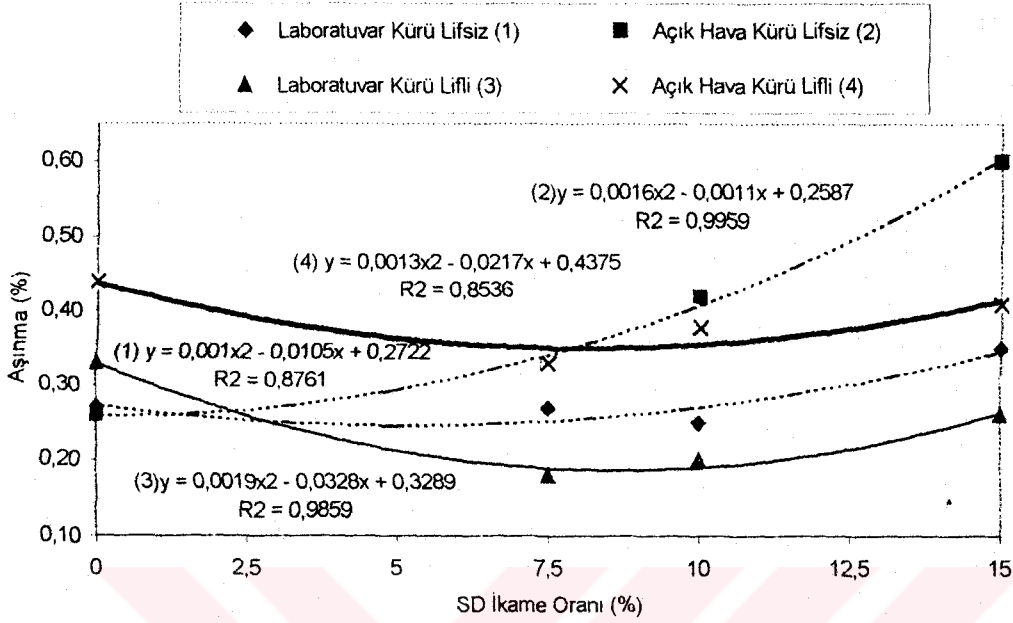
Şekil 4.26. Betonların aşınma-SA katkı oranı ilişkisi

Betonların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.27'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi SD, açık hava kürüne tabi tutulan LB dışında betonda ikame oranı % 10'a kadar arttıkça KB'una göre aşınma dayanımını artırmakta, % 15 ikame oranında ise azaltmaktadır. Açık hava kürüne tabi tutulan LB'da ise, SD ikame oranı arttıkça aşınma dayanımı da artmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımlar, SAKB'lardan farklı olarak sırasıyla laboratuvar küründeki LB ile açık hava küründeki LB'da elde edilmiştir. Açık hava kürüne tabi tutulan SDİLB'daki fazla aşınma, bu betonun içinde bulunan SD'nın daha çok suya ihtiyaç göstermesi ve yüzeye yakın olan ÇL'lerin beton yüzeyinden daha fazla kopmasıyla açıklanabilir. Bu betonların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Betonların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi

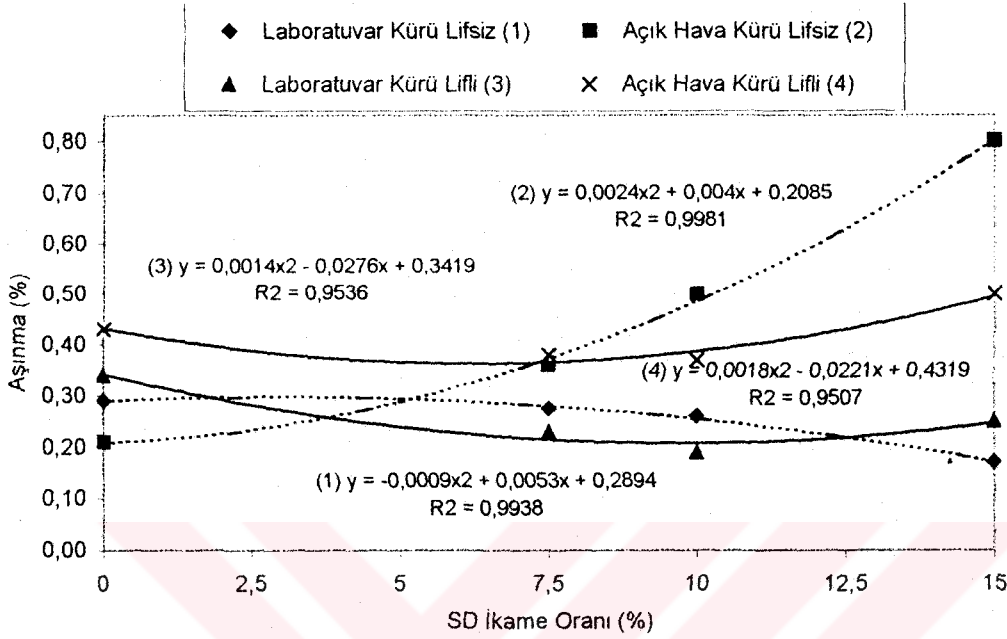
% 1,0 SAKB'lerin aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.28'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi SD, açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz beton dışında betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre aşınma dayanımını artırmaktadır. Açık hava kürüne tabi tutulan lifsiz betonda ise, SD ikame oranı arttıkça aşınma dayanımı azalmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanım, sırasıyla laboratuvar küründeki LB ile açık hava küründeki lifsiz betonda elde edilmiştir. Bu betonların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.28. % 1,0 SAKB'ların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi

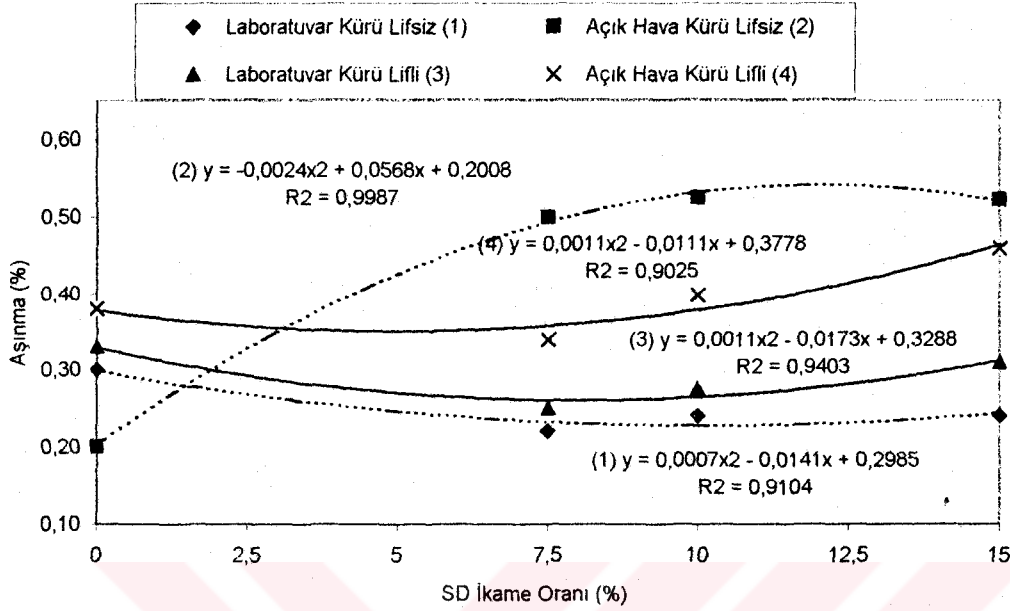
% 1,5 SAKB'ların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.29'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi SD, açık hava kürüne tabi tutulan LB ve lifsiz beton dışında betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre aşınma dayanımını artırmaktadır. Açık hava kürüne tabi tutulan betonlarda ise, SD ikame oranı arttıkça aşınma dayanımı azalmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımlar, lifsiz betonlarda elde edilmiş olup sırasıyla laboratuvar küründeki lifsiz beton ile açık hava küründeki lifsiz betondur. Bu betonların da aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.





Şekil 4.29. % 1,5 SAKB'lerin aşınma-SD ikame oranı ilişkisi

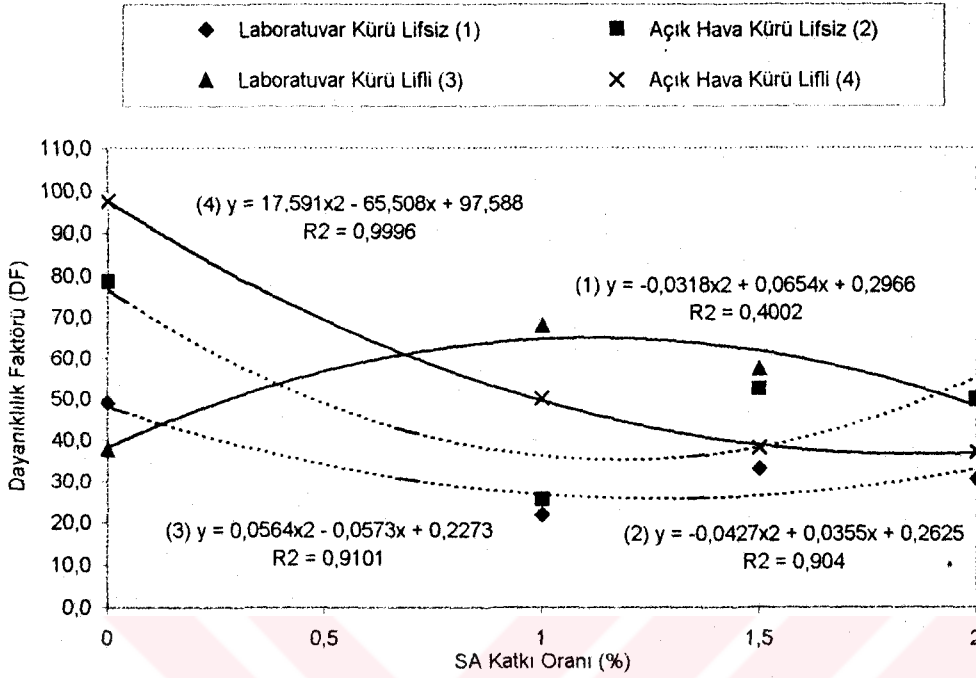
% 2,0 SAKB'lerin aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.30'da gösterilmiştir. Görüldüğü gibi SD, % 1,5 SAKB'larda olduğu gibi açık hava kürüne tabi tutulan LB ve lifsiz beton dışında betonda ikame oranı arttıkça KB'una göre aşınma dayanımını artırmaktadır. Açık hava kürüne tabi tutulan betonlarda ise, SD ikame oranı arttıkça aşınma dayanımı azalmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımlar, % 1,5 SAKB'larda olduğu gibi lifsiz betonlarda elde edilmiştir. Sırasıyla bunlar, laboratuvar küründeki lifsiz beton ile açık hava küründeki lifsiz betondur. Bu betonların da aşınma-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.30. % 2,0 SAKB'ların aşınma-SD ikame oranı ilişkisi

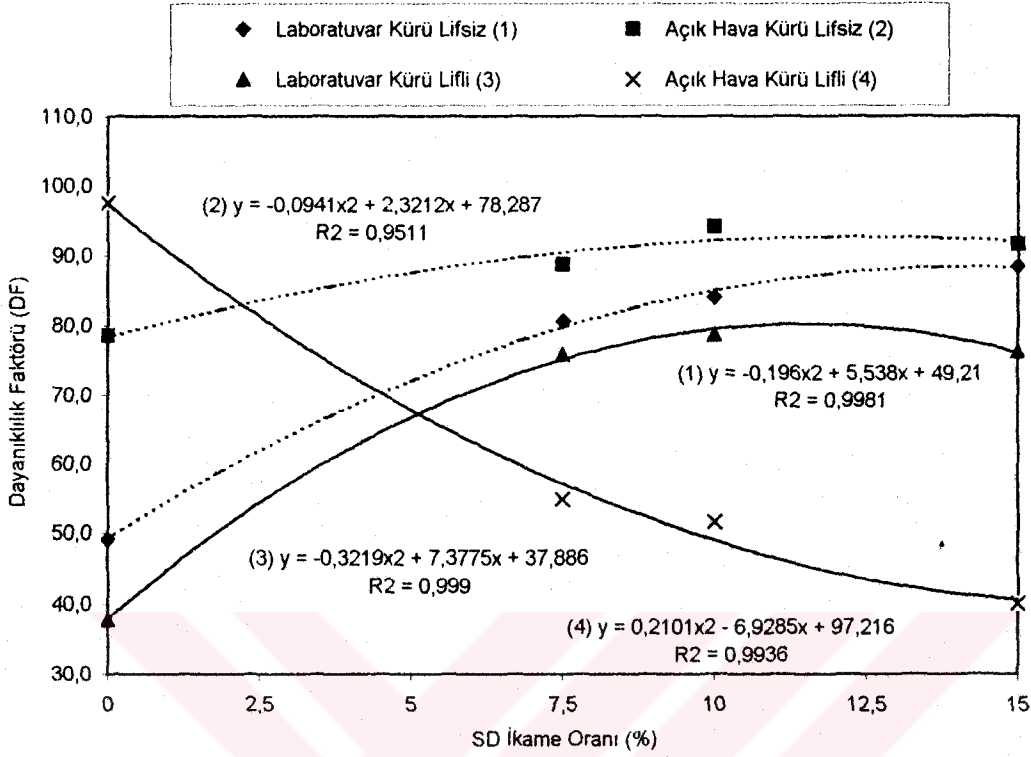
#### 4.3.4. SD ve SA'nın donma-çözülme dayanıklılığına etkisi

SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz betonların donma-çözülme dayanıklılığı sonuçları, dayanıklılık faktörü (DF) olarak kontrol betonları ile birlikte Çizelge 4.5'te verilmiştir. Betonların DF-SA katkı oranı ilişkisi, Şekil 4.31'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi SA, betonların donma-çözülme dayanıklılığına olumsuz etki yapmakta ve laboratuvar kürü uygulanan LB dışında katkı oranı arttıkça KB'una göre betonların DF'nü azaltmaktadır. Laboratuvar kürü uygulanan LB'da ise KB'na göre DF artmakta ancak katkı oranı arttıkça azalmaktadır. En yüksek ve en düşük dayanımlar, sırasıyla laboratuvar kürü uygulanan LB ile laboratuvar kürü uygulanan lifsiz betonda elde edilmiştir. Betonların DF-SA katkı oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



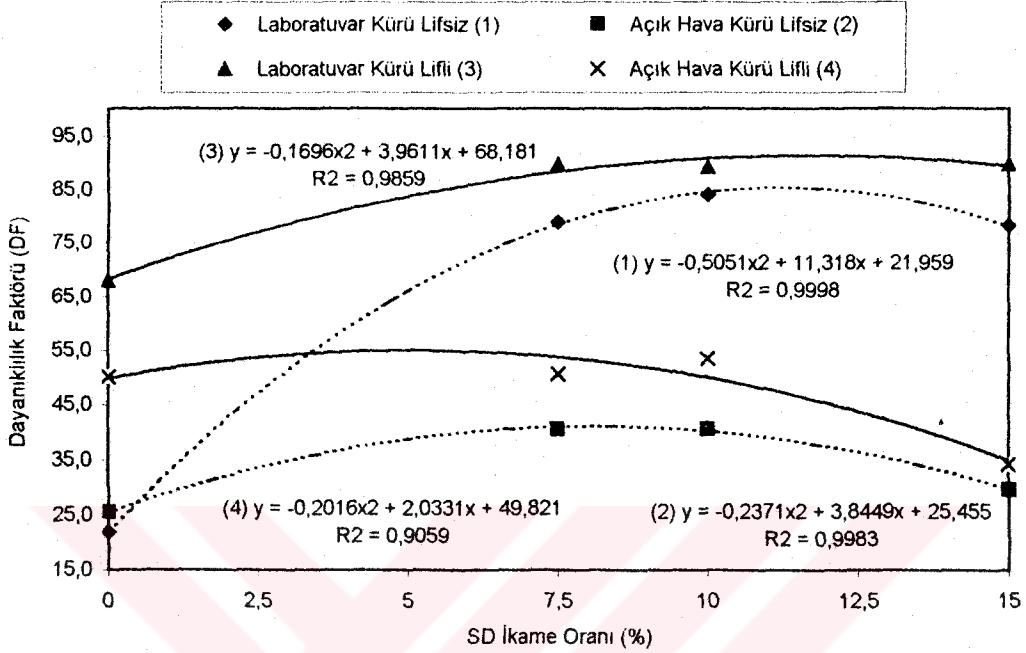
Şekil 4.31. Betonların DF-SA katkı oranı ilişkisi

Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.32'de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi SD, SAKB'lardaki durumun tersine betonların donma-çözülme dayanıklılığına olumlu etki yapmakta ve açık hava kürü uygulanan LB dışında KB'una göre ikame oranı arttıkça betonların DF'nü artırmaktadır. Açık hava kürü uygulanan LB'da ise, KB'na göre ikame oranı arttıkça DF azalmaktadır. Bu duruma, numune üretilirken betonda daha fazla boşluk meydana gelmiş olması neden olabilir. En yüksek ve en düşük dayanımlar, sırasıyla açık hava kürü uygulanan lifsiz beton ile açık hava kürü uygulanan LB'da elde edilmiştir. Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



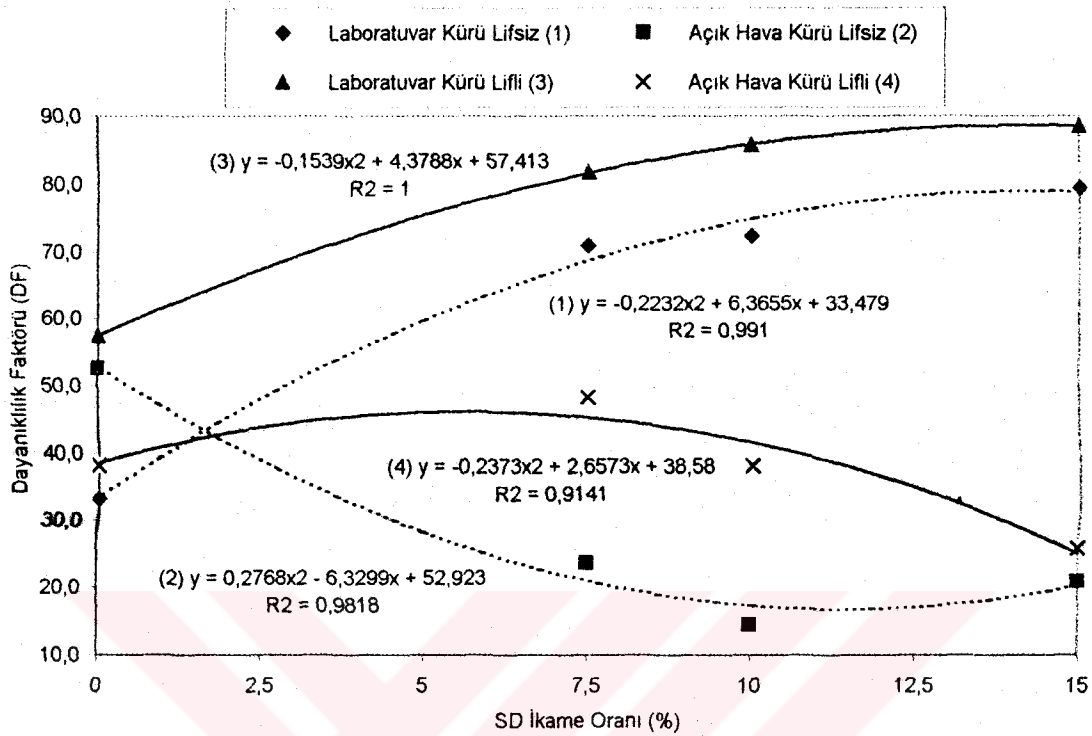
Şekil 4.32. Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi

% 1,0 SAKB'ların DF-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.33'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi SD, laboratuvar kürü uygulanan betonlarda KB'una göre ikame oranı arttıkça betonların DF'nü önemli miktarda arttırmaktadır. Açık hava kürü uygulanan betonlarda SD, KB'una göre % 10 ikame oranına kadar betonların DF'nü artırmakta, % 15 ikame oranında ise azaltmaktadır. Bu durum, donma-çözülme dayanıklılığı için açık hava kürünün yetersiz olduğunu göstermektedir. En yüksek ve en düşük dayanımlar, sırasıyla laboratuvar kürü uygulanan LB ile açık hava kürü uygulanan lifsiz betonda elde edilmiştir. Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



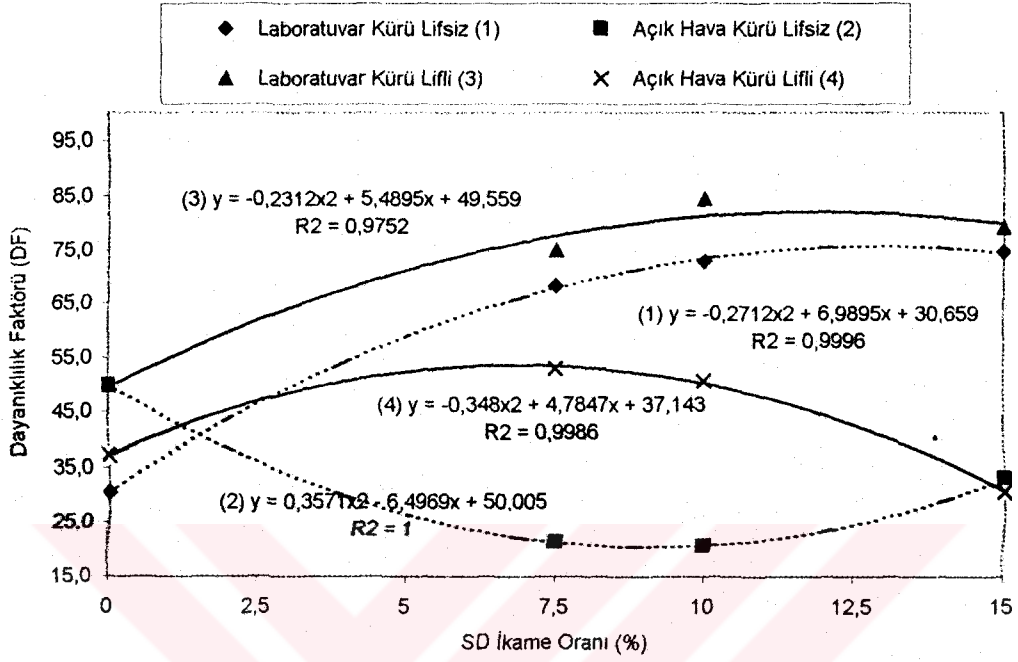
Şekil 4.33. % 1,0 SAKB'ların DF-SD ikame oranı ilişkisi

% 1,5 SAKB'ların DF-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.34'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi SD'nın etkisi, % 1,0 SAKB'lardaki durum ile benzerdir. Yani laboratuvar kürü uygulanan betonlarda DF, KB'una göre SD ikame oranı arttıkça önemli miktarda arttırmaktadır. Açık hava kürü uygulanan betonlarda ise SD, KB'una göre ikame oranı arttıkça betonların DF'nü azaltmaktadır. Yine bu durum, donma-çözülme dayanıklılığı için açık hava kürünün yetersiz olduğunu göstermektedir. En yüksek ve en düşük dayanımlar, sırasıyla laboratuvar kürü uygulanan LB ile açık hava kürü uygulanan lifsiz betonda elde edilmiştir. Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.34. % 1,5 SAKB'ların DF-SD ikame oranı ilişkisi

% 2,0 SAKB'ların DF-SD ikame oranı ilişkisi, Şekil 4.35'te verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi SD'nin etkisi, % 1,0 ve % 1,5 SAKB'lardaki durum ile benzerlik göstermektedir. Laboratuvar kürü uygulanan betonlarda DF, KB'una göre SD ikame oranı arttıkça önemli miktarda arttırmaktadır. Açık hava kürü uygulanan betonlarda ise SD, LB'da KB'una göre % 10 ikame oranına kadar DF'nü artırmakta, % 15 ikame oranında azaltmakta, lifsiz betonda ise ikame oranı arttıkça DF'nü azaltmaktadır. Burada da, donma-çözülme dayanıklılığı için açık hava kürünün yetersiz olduğunu görülmektedir. En yüksek ve en düşük dayanımlar, sırasıyla laboratuvar kürü uygulanan LB ile açık hava kürü uygulanan lifsiz betonda elde edilmiştir. Betonların DF-SD ikame oranı ilişkisi, polinom fonksiyon olarak hesaplanmış ve şekil üzerinde gösterilmiştir.



Şekil 4.35. % 2,0 SAKB'lerin DF-SD ikame oranı ilişkisi

## **5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER**

### **5.1. Sonuçlar**

SD ikameli ve SA katkılı lifli ve lifsiz betonlar üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar, aşağıda özetlenmiştir:

#### **5.1.1. Priz süreleri**

SD ve SA, çimentonun priz sürelerini uzatmaktadır. SA'nın priz üzerindeki etkisi, SD'na göre daha belirgindir. SD ve SA'nın birlikte kullanılması halinde de durum aynıdır.

#### **5.1.2. İşlenebilirlik**

SD ve SA, betonların işlenebilirliği üzerinde farklı etki yapmıştır. SD, beton karışımında ikame oranı arttıkça işlenebilirliği azaltırken SA, katkı oranı arttıkça işlenebilirliği artırmaktadır. SD ve SA'nın birlikte kullanılması durumunda ise, karışımdaki SA katkı oranı artışına karşılık SD ikame oranı arttıkça işlenebilirlik azalmıştır.

#### **5.1.3. Birim ağırlık**

SD ve SA'nın, betonların birim ağırlıkları üzerinde herhangi bir etkisi bulunmamaktadır.

#### **5.1.4. Hava miktarı**

SD ve SA'nın, betonların hava miktarına birim ağırlıklarda olduğu gibi herhangi bir etkisi yoktur.



### 5.1.5. Eğilmede çekme dayanımı

SA, lifli ve lifsiz betonların eğilmede çekme dayanımlarını artırmaktadır. Diğer taraftan SD, LB'larda eğilmede çekme dayanımını artırırken lifsiz betonlarda SD ikame oranı arttıkça eğilmede çekme dayanımını azaltmaktadır. SD ve SA'nın birlikte kullanılması durumunda ise, LB'larda eğilmede çekme dayanımı artarken lifsiz betonlarda azalmıştır.

### 5.1.6. Basınç dayanımı

SA, lifli ve lifsiz betonların basınç dayanımlarını katkı oranı arttıkça azaltmaktadır. SD ise, hem lifli hem de lifsiz betonların basınç dayanımlarını ikame oranı arttıkça artırmaktadır. SD ve SA'nın birlikte kullanılması durumunda da, yalnız SD kullanımında olduğu gibi lifli ve lifsiz betonların basınç dayanımları ikame oranı arttıkça artmaktadır.

### 5.1.7. Aşınma dayanımı

SA, betonda katkı oranı arttıkça laboratuvar küründeki betonların aşınma dayanımlarını artırırken, açık hava kürüne tabi tutulan betonların aşınma dayanımlarını azaltmaktadır. SD, hem lifli hem de lifsiz betonların aşınma dayanımlarını ikame oranı arttıkça artırmaktadır. SD ve SA birlikte betonda kullanıldığında, laboratuvar küründeki betonların aşınma dayanımları ikame oranı arttıkça artarken, açık hava kürüne tabi tutulan betonların aşınma dayanımları azalmaktadır.

### 5.1.8. Donma-çözülme dayanıklılığı

SA, betonda katkı oranı arttıkça donma-çözülme dayanıklılığını azaltırken SD, ikame oranı arttıkça donma-çözülme dayanıklılığını artırmaktadır. SD ve SA'nın birlikte betonda kullanılması durumunda ise, laboratuvar küründeki betonların donma-çözülme dayanıklılığı artarken, açık hava kürüne tabi tutulan betonların donma-çözülme dayanıklılığı azalmaktadır.

## 5.2. Öneriler

Bu çalışmada yapılan deneylerden elde edilen sonuçlara göre, aşağıdaki öneriler yapılmıştır:

1. Deney sonuçları, SA katkı ile birlikte SD'nın çimento ile ikame edilerek lifli ve lifsiz betonlarda kullanılabileceğini göstermektedir.
2. SD, % 7,5, % 10,0 ve % 15,0 oranlarında çimento ile ikame edilerek lifli ve lifsiz betonlarda kullanılabilir.
3. SA, en yüksek dayanımları sağlayan % 1,0 oranında lifli ve lifsiz betonlarda kullanılabilir.
4. LB dayanımları, lifsiz beton dayanımlarından her iki kür ortamında da yüksektir.
5. LB, aşınma ve donma-çözülme etkisinde olan otoyol, havaalanı, endüstriyel döşemeler gibi yerlerde kullanılabilir.
6. LB deneyleri, farklı oranlar ve farklı boyuttaki ÇL'ler kullanılarak da yapılmalıdır.
7. Diğer lif çeşitleri ile, benzer deneylerin yanı sıra darbe dayanımı deneyi de yapılmalıdır.
8. LB'larda taze beton karıştırma sürelerinin beton özelliklerine etkisi ayrıca araştırılmalıdır.
9. LB ve lifsiz beton numuneleri aynı sürede sıkıştırılmıştır. LB'ların sıkıştırma süresinin artırılmasının mekanik özelliklere etkisi araştırılmalıdır.

10. LB'in basınç dayanımları eğilmede çekme deneyine tabi tutularak ikiye ayrılan kiriş numuneler üzerinde yapılmıştır. Basınç deneyinin küp numuneler üzerinde yapılması ile arasındaki farklar incelenmelidir.
11. Diğer SA çeşitlerinin de beton özelliklerine etkisi incelenmelidir.
12. SD'nin, lifli ve lifsiz betonlarda katkı olarak kullanılmasının etkisi de araştırılmalıdır.
13. SD, su ihtiyacını artırdığından farklı s/ç oranları kullanılarak beton özelliklerine etkisi incelenmelidir.



## KAYNAKLAR

1. Uğurlu, A., 1994, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, **D.S.İ., MLZ-878**, Ankara, Kasım.
2. Dramix, 1991, "Tunnelling the world", Reference Projects, 60 P, Belgium.
3. Postacıoğlu, B., 1987, Beton Bağlayıcı Maddeler, Agregalar Beton. Cilt 2. İstanbul.
4. Ersoy, H.Y., 1985, "Liflerle Donatılı Kırılğan Matrisli Kompozitler" Makale, **İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Malzeme Seminerleri** İstanbul.
5. Şimşek O., 2000, "Yapı Malzemesi-II", Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, Ankara.
6. Akman, M.S., 1990, Yapı Malzemeleri, **İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası**, S.1-62, İstanbul.
7. Özden, K., 1978., Betonarme I. Betonarmenin Malzemesi ve Kesit Hesapları. **İ.T.Ü. Sayı:110**, İstanbul.
8. Postacıoğlu, B., 1986, Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregalar, Beton. Cilt I. İstanbul.
9. Oktar, D.N., 1977, Bağlayıcı Hamur Yapısının Betonunu Kısa Süreli İnelastik Davranışındaki İşlevi, **İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi**, Doktora Tezi.
10. Albayrak, H.F., 1988, Sertleşmiş Çimento ve agrega üzerinde don ve çözülme maddesinin tesiri. DSİ Teknik Bülteni sayı 54, **D.S.İ Genel Müdürlüğü**. Ankara. S.3-10
11. Kılıçaslan, 1984. Çimento Cinsleri, Özellikleri ve Betona Etkileri. Beton Semineri, **D.S.İ Genel Müdürlüğü**, Ankara. S.29-34.
12. Tokyay, M., 2001, "Türk Çimento Standartları" **TÇMB**. 3. Baskı.
13. TS 3440. "Zararlı Kimyasal Etkileri Olan Su, Zemin ve Gazların Etkisinde Kalacak Betonlar İçin Yapım Kuralları", TSE, Ankara, 1982.
14. Gül, R., Aydın C. A., 1998, "Akışkanlaştırıcı Katkı Maddelerinin Kullanılmasında Göz Önünde Bulundurulması Gereken Hususlar", Çimento ve Beton Dünyası, 17-19.sayfa. **TÇMB**.

15. Aruntaş, H.Y., 1997, "Süper Akışkanlaştırıcı Bir Katkının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", Çimento ve Beton Dünyası, 2,9,33-38.
16. Kocabeyler, M.F., 2002, "Kalite Kontrol Teknik Semineri", DSI 26-29, say:88-106.
17. Glasser, F.P., 1992, Chemistry of Alkali-Aggregate Reaction-The **Alkali-Silica Reaction in Concrete**, R.N. Swamy (ed), pp.30-53, Van Nostrand Reinhold, New York.
18. Aruntaş,H.Y., Tokyay, M., 1996, "Katkılı Çimento Üretiminde Diatomitin Pozolonik Malzeme olarak Kullanılabilirliği ", Çimento ve Beton Dünyası, 1,4,33-41.
19. ASTM C618-91, Fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in Portland Cement Concrete, American Society Of Testing and Materials, Philadelphia.
20. Khayat, K.H., and Aitcin, P.C.,1992, "**Silice Fume in Concrete An Overview**" **Fourth International Conference on the use of Fly Ash, Silice Fume, Slag and Natural Pozzolanas in Concrete**, İstanbul, Turkey, Editor: Molhatra, V.M. ACI SP 132, 835 pp.
21. Bache, H.H.,1981, "**Densified Cement-Based/Ultrafine Particles-Based Materials**", Proceedings, Second International Conference on Superplasticizer In Concrete, Ozzava, pp. 185-213.
22. Sarkar, S.L., and Aitcin, P.C.,1987, "**Dissolution Rate of Silice Fume in Very High Strength Concrete**," Cement and Concrete Research, Vol.17. No.4, pp.591-601.
23. Khorami, J., and Aitcin, P.C.,1989, "**Long Term Durability of Cement Grouts**", Universte de Sherbrook Quebec.
24. Yeğınobalı, A., 1993 "Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi", Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu Bildirileri, Ankara.
25. Malhotra, V.M.,1993, "Fly Ash, Slag, **Silica Fume and Rice-Husk Ash in Concrete-A Review**" Concrete International vol. 15.no.4.
26. Yeğınobalı, A.,1999, "Silis Dumanının Betonda Katkı Maddesi Olarak Değerlendirilmesi" **ODTÜ**, Ankara.

27. Virtanen, J., 1985, 1998, "**Mineral By-products and Freeze-Thaw Resistance of Concrete,**" Publication No:22 Dansk Detonforening, Copenbagen, Denmark, pp.231-254. Beton-Çimento ve Boya Semineri, Ankara.
28. Carrette, G.G., and Malhotra, V.M., 1983, "**Mechanical Properties, Durability and Drying Shrinkage of Portland Cement Concrete Incorporating Silice Fume,**" ASTM Concrete Aggregates, Vol.5, No:1,
29. Sellevold, E.J., 1987, "**Condensed Silice Fume in Concrete: A World Review,**" Proceedings, International Workshop on Condensed Silice Fume in Concrete, Montreal, Canada, Editor: Malhotre, V.M., pp.1-77.
30. Özbek, R., 1998 "Silis Dumanının Betonun Fiziksel ve Mekanik Özelliklerine Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
31. Jahren, P., 1983, "**Use of Silica Fume in Concrete**", Proc. First Int. Conf. On The Use of Fly Ash, Silice Fume, Slag and Other Mineral By-Products in Concrete, ACI sp-79, S.625-642.
32. Maage, M., 1990, ve diğerleri, "**Long Term Strength of High-Strength Silice Fume Concrete**", Proc. Second Int. Symp. On The Utilization of Hig Strenghth Concrete, ACI, sp-121, -s.399-408.
33. Goldman, A, ve Bentur, A., 1989, "**Bond Effects in High Strength Silice Fume Concretes**", ACI Materials Journal, Vol. 86. no.5,.
34. Yogendran, V., 1987, Ve diğerleri, "**Silice Fume in High Strength Concrete**", ACI Materials Jornal Vol. 84, no.2,.
35. Kjellsen, K.D., ve Ark., 1999, "Yüksek Performanslı Beton ve Pastanın Basınç Dayanımındaki Gelişmeler Üzerine Silis Dumanın Etkisi" On The Compressive Strength Developmen of High-Performace Concrete and Pasta-Effect of Silice Fume, Materials and Structures, C.32, sf. 63-69.
36. Akyüz, S., 1992, "Boşluk oranı ve Geometrisinin Betonun Basınç Dayanımına Etkisi", Yüksek Dayanımlı Betonda Boşluk Yapısı, İ.T.Ü., İstanbul.
37. Şimşek, S., 1997, Lifli Beton Üzerine Bir Çalışma", Yüksek Lisans Tezi, G.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü Yapı Eğitimi Anabilim Dalı, Ankara.
38. Ekinci, C.E., ve Yeğınobalı A., 1996, "Silis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı", 4. Ulusal Beton Kongresi, Bildiriler Kitabı, 279-289, İMO, İstanbul, .

39. Uyan, M., 1985 "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi", Makale, İ.T.Ü., İstanbul.
40. Hannant, D.J., 1987, **Fibre cements and Fibre Concretes**, Chichester, John Wiley and Sons, 219.
41. Uğurlu, A., 1994, "Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Betonun Özellikleri ve Su yapılarında Kullanılması," **DSİ Teknik Bülteni**: sayı 80. An.kara.
42. Dramix, 1997, "Çelik Tel Donatılı Endüstriyel Zeminler," **Beksa A.Ş. Tanıtım Broşürü**, Ankara.
43. Beksa Firması Üretim Katalogları, Ankara 2001.
44. Şimşek, O., 1999, "İleri Beton Teknolojisi, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton", **G.Ü. Yapı Eğitimi Bölümü**, Yüksek Lisans Ders Notları, Ankara.
45. "Fiber Reinforced Concrete" CİG-B, ICOLD, Bulletin Yoa, 1988.
46. Uyan, M., Yıldırım, H., Eryaman, A., 1999, "**Workability and Durability of Steel Fiber Reinforced Concrete Cast With Normal Plasticizers**", İTÜ, Building Materials Department, İstanbul.
47. Arslan, A., Aydın, A.C., 1999, "Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri" Lifli Beton Semineri, İstanbul.
48. **TS. 10514**, "Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları", Aralık 1992.
49. Ersoy, H.Y., 1985, "Liflerle Donatılı Kırılgan Matrisli Kompozitler ve Cam Lifli Donatı Alçı Bağlayıcı- Hafif Agregre Kompozitlerinin Özelliklerine Etkisi", Teknik Makale, İTÜ,.
50. ASTM C944 – Standard Test Method for Abrasion Resistance of Concrete or Mortar Surfaces by the Rotating – Cutter Method.
51. ASTM C995 – Standard Test Method for Time of Flow of Fiber – Reinforced Concrete Through Inverted Slump Cone. 1994.
52. TS10513, "Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan", TSE, Ankara, 1992.
53. TS 802, "Beton Karışımı Hesap Esasları" ,TSE, Ankara, 1985.
54. TS 1247, "Beton Yapım, Döküm ve Bakım Kuralları", TSE, Ankara, 1984.

55. TS 24, "Çimentoların Fiziksel Muayene Metotları", TSE, Ankara, 1978.
56. TS 2871, "Taze Beton Kıvam Deneyi", TSE, Ankara, 1977.
57. TS2941, "Taze Betonda Birim Ağırlık, Verim ve Hava Miktarının Ağırlık Yöntemi İle Tayini", TSE, Ankara, 1978.
58. TS 2901, "Taze Betonda Hava Miktarının Basınç Metodu İle Tayini", TSE, Ankara, 1977.
59. TS 2872, "Taze Beton ve Kıvam Deneyi", TSE, Ankara, 1977.
60. **TS 10515, "Beton-Çelik Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu",** TSE, Ankara, 1992.
61. TS 3114, "Beton Basınç Mukavemeti Tayini", TSE, Ankara, 1990.
62. TS 3449, "Çabuk Donma ve Çözülme Koşulları Altında Betonda Dayanıklılık Faktörü Tayini", TSE, Ankara, 1980.
63. TS 3284, "Betonun Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi", TSE, Ankara, 1979.



## ÖZGEÇMİŞ

1967 yılında Azerbaycan'ın Sabirabad ilçesinde doğdu. 1982 yılında Sabirabad'ın Ahmedebad köyünde ortaokulu, 1984 yılında Bakü Şehirinde liseyi bitirdi. 1985-87 yıllarda askerliğini yaptı. 1990 yılında Azerbaycan İnşaat Mühendisleri Üniversitesi'ni kazandı ve 1995 yılında İnşaat Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. 1996 yılında Türkiye devletinin Türk Cumhuriyetlerindeki azınlıklara ayırdığı kontenjanla Türkiye'ye geldi. 1997 yılında Gazi Üniversitesi Fen bilimleri Enstitüsü'ne burslu olarak kayıt yaptırdı. Evlidir. Bir çocuk babasıdır.

