

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ÇELİK TEL VE SİLİS DUMANI İÇEREN BETONLARIN
SODYUM KLORÜRLÜ ORTAMDA MEKANİK
DAVRANIŞI**

Mehmet GÜRBÜZ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV**

Yozgat 2013

**T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

Yüksek Lisans Tezi

**ÇELİK TEL VE SİLİS DUMANI İÇEREN BETONLARIN
SODYUM KLORÜRLÜ ORTAMDA MEKANİK
DAVRANIŞI**

Mehmet GÜRBÜZ

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV**

Yozgat 2013

T.C.
BOZOK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı 7011070008 numaralı öğrencisi Mehmet GÜRBÜZ'ün hazırladığı “**Çelik Tel ve Silis Dumanı Katkılı Betonların Sodyum Klorürlü Ortamda Mekanik Davranışı**” başlıklı YÜKSEK LİSANS tezi ile ilgili TEZ SAVUNMA SINAVI, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 17/04/2013 Çarşamba günü saat 14:00'te yapılmış, tezin onayına OY ÇOKLUĞU / OY BİRLİĞİYLE karar verilmiştir.

Başkan : Doç.Dr. Yüksel TAŞDEMİR

Üye : Doç.Dr. Ziyafeddin BABAYEV (Danışman)

Üye : Yrd.Doç.Dr. D. Mehmet ÖZCAN

ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../20..... tarih ve sayılı kararı ile onaylanmıştır.

...../...../20.....

Doç. Dr. Hidayet ÇETİN
Enstitü Müdürü

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
TEŞEKKÜR.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
KISALTMALAR LİSTESİ.....	ix
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	4
2.1. Beton Nedir?.....	4
2.1.1. Agrega.....	4
2.1.2. Çimento.....	6
2.1.2.1. Çimento Türleri.....	6
2.1.2.2. Çimentonun Hidratasyonu.....	7
2.1.2.3. Sertleşme Olayı (Hidratasyon Yapmış Çimentonun İç Yapısı).....	7
2.1.2.4. Porozite ve Geçirgenlik.....	7
2.1.3. Su.....	8
2.1.4. Beton Katkıları.....	8
2.1.4.1. Kimyasal Katkıları.....	8
2.1.4.1.a. Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar).....	8
2.1.4.1.b. Priz Geciktiriciler.....	9
2.1.4.1.c. Priz Hızlandırıcılar.....	9
2.1.4.1.d. Antifrizler.....	9
2.1.4.1.e. Hava Sürükleyici Katkıları.....	9
2.1.4.1.f. Su Geçirimsizlik Katkıları.....	9
2.1.4.2. Mineral Katkıları.....	9
2.2. Betonların Sınıflandırılması.....	10
2.3. Betonun Durabilitesi.....	11
2.4. Lifin ve Lifli Betonun Tanımlanması.....	11
2.5. Lif malzemesinin etkisi.....	13
2.5.1. Metalik lifler.....	13
2.5.2. Karbon lifler.....	13
2.5.3. Mineral lifler.....	13

2.5.4. Polimer lifler.....	13
2.5.4. Polimer lifler.....	13
2.6. Lifli Betonlarla İlgili Çalışma Özetleri.....	13
2.7. Lifli Betonun Özelliklerine Bileşenindeki Parametrelerin Etkisi.....	15
2.7.1. Lif Miktarı ve Narinlik Oranının Etkisi.....	15
2.7.2. Lif Tipinin Etkisi.....	15
2.8. Çelik Lif Karışım Yöntemleri.....	17
2.8.1. Transmikserde Karışım Yöntemi.....	17
2.8.2. Transmikserde İlave Yöntemi.....	17
2.8.3. Çelik lifli betonun kullanım alanları.....	17
2.9. Çelik lifli betonun kullanım alanları.....	18
2.9.1. Endüstri Yapılarında.....	18
2.9.2. Hidrolik Yapılarda.....	18
2.9.3. Yol Döşemelerinde.....	19
2.9.4. Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında.....	19
2.9.5. Şev Stabilitesinin Sağlanmasında.....	20
2.9.6. İnce Kabuk Yapılarda.....	21
2.9.7. Patlamaya Karşı Dayanıklı Olması Gereken Yapılarda.....	21
2.9.8. Ön Yapımlı Beton Elemanlarda.....	21
2.9.9. Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda.....	21
2.9.10. Depreme Dayanıklı Yapılarda.....	22
2.10. Çelik Lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri.....	22
2.10.1. Çelik Lifli Betonlarda Basınç Dayanımı.....	23
2.10.2. Çelik Lifli Betonlarda Eğilme Dayanımı.....	25
2.10.3. Çelik Lifli Betonlarda Çekme Dayanımı.....	25
2.10.4. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk).....	26
2.10.5. Çelik Lifli Betonlarda Yorulma Dayanımı.....	27
2.10.6. Çelik Lifli Betonlarda Rötne.....	27
2.10.7. Çelik Lifli Betonlarda Dayanıklılık.....	28
2.10.8. Çelik Tel Donatılı Betonun İşlenebilirliği.....	29
2.10.9. Çelik Tel Donatılı Betonun Pompalanması.....	29
2.10.10. Çelik Telli Betonun Yerleştirilmesi ve Yüzeyinin Düzeltilmesi...30	
2.11. Silis Dumanı.....	31
2.11.1. Silis Dumanının Betonda Kullanımı.....	33
2.11.2. Silis Dumanının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi.....	33
2.11.3. Silis Dumanının Betonun Geçirimsizlik Özelliklerine Etkisi.....	34
2.12. Deniz Suyunun Betona Etkisi.....	36
2.12.1. Deniz Suyunun Durabiliteye Etkisi.....	39
2.12.2. Deniz Suyu İçindeki Yapılarda Meydana Gelen Korozyon.....	39
2.12.3. Deniz Tuzları ve İçeriği.....	40

2.12.4. Klorür Tuzlarının Etkisi.....	43
3. DENEYSEL ÇALIŞMA.....	45
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	45
3.1.1. Çimento.....	45
3.1.2. Agregası.....	45
3.1.3. Süper Akışkanlaştırıcı.....	45
3.1.4. Çelik Tel.....	46
3.1.5. Silis Dumanı.....	46
3.1.6. Sodyum Klorür Tuzu.....	47
3.2. Beton Karışımları.....	47
3.3. Üretilen Betonların Özellikleri.....	49
3.4. Beton Deneyleri.....	50
3.4.1. Taze Beton Deneyleri.....	50
3.4.1.1. Birim Ağırlık Deneyi.....	50
3.4.1.2. İşlenebilme (Vebe) Deneyi.....	51
3.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	51
3.4.2.1. Basınç Dayanımı.....	51
3.4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini.....	52
3.4.2.3. Eğilme Dayanımı Tayini.....	52
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	54
4.1. Taze Beton Özellikleri.....	54
4.2. Basınç Dayanımı.....	55
4.3. Yarmada Çekme Dayanımı.....	61
4.4. Eğilme Dayanımı.....	68
5. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	75
KAYNAKLAR.....	77
ÖZGEÇMİŞ.....	83

ÇELİK TEL VE SİLİS DUMANI KATKILI BETONLARIN SODYUM KlorÜRLÜ ORTAMDA MEKANİK DAVRANIŞI

Mehmet GÜRBÜZ

**Bozok Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

2013 ; 82 sayfa

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV

ÖZET

Bu çalışma % 10, % 20 silis dumanı, % 0,4, % 0,8 çelik tel katkıli betonların 0 g/L, 15 g/L ve 30 g/L sodyum klorürlü (NaCl) ortamda mekanik özelliklerinin araştırılmasını içermektedir. Bu amaçla üretilen taze betonlar üzerinde birim ağırlık ve işlenebilme (VeBe) deneyleri yapılmıştır. Ayrıca 28. ve 91. günlerde sertleşmiş beton numuneler üzerinde çelik tel takviyeli ve silis dumanı katkıli betonlar üzerinde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı tayini deneyleri yapılmıştır.

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarına bağlı olarak, çelik telin ve silis dumanının tuzlu ortama maruz betonların performansına belirgin etkisi olmadığı söylenebilir.

Anahtar kelimeler: Silis Dumanı, Çelik Tel, Sodyum Klorür, Basınç ve Eğilme Dayanımı

THE MECHANICAL BEHAVIOUR OF STEEL FIBRE AND SILICA FUME ADDED CONCRETE IN SODIUM CHLORIDE ENVIRONMENT

Mehmet GÜRBÜZ

**Bozok University
Graduate School of Natural and Applied Sciences,
Department of Civil Engineering
Master of Science Thesis**

2013 ; page 82

Thesis Supervisor: Assoc.Prof. Ziyafeddin BABAYEV

ABSTRACT

This study includes, the investigation of the mechanical behaviour of % 10, % 20 silica fume, % 0,4, % 0,8 steel fibre added concrete in the environment of 0 g/L, 15 g/L and 30 g/L sodium chloride (NaCl). Unit weight and workability experiments were made on the new concrete which was produced for this purpose. Also on 28 th and 91 st days of experiment, the tests of the compressive, the splitting tensile and the flexural strength on the sclerous concrete sample and on the steel fibre and silica fume added concrete were made.

Depending on the experimental test results of this study, it can be said that, steel wire and silica fume does not have salient effect on the performance of concrete that exposed to salty environment.

Key Words: Silica Fume, Steel Fibre, Sodium Chloride, the Compressive and the Flexural Strength

TEŞEKKÜR

Öncelikle alıŐmalarım boyunca engin bilgi ve tecrübeleri ile bana her konuda yardımcı olan ok değerli hocalarım ve tez danıŐmanım Doç Dr. Ziyafeddin BABAYEV'e ve tez II. danıŐmanım Doç. Dr. Fuat KÖKSAL'a en içten teŐekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans eğitimim süresince bana emeği geçen Bozok Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma, ayrıca deneysel çalıŐmalarım sırasındaki yardımları için Laboratuvar Teknisyeni Sayın Mehmet KUNT'a teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babama, anneme ve ağabeyime, özellikle her zaman ve her konuda yardımını esirgemeyen ve kendime her zaman örnek aldığım dayım Atilla GÜRBÜZ'e teŐekkürü bir borç bilirim.

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1	Çelik lif tipleri ve şekilleri..... 16
Şekil 2.2.	Çelik liflerin endüstri yapısında kullanımı..... 18
Şekil 2.3.	Çelik liflerin barajlarda kullanımı..... 18
Şekil 2.4.	Çelik liflerin yol döşemelerinde kullanımı..... 19
Şekil 2.5.	Çelik liflerin tünelde püskürtme betonda kullanımı..... 19
Şekil 2.6.	Çelik liflerin tünelde püskürtme betonda kullanımı..... 20
Şekil 2.7.	Çelik liflerin şev stabilitesinde kullanımı..... 20
Şekil 2.8.	Çelik liflerin şev stabilitesinde kullanımı..... 20
Şekil 2.9.	Deniz suyu etkisindeki liman betonunun görünümü..... 40
Şekil 2.10.	Deniz suyu etkisindeki liman betonunun görünümü..... 40
Şekil 3.1.	Beton Karışımı..... 49
Şekil 3.2.	Kiriş beton numunesi vibratöre maruz durumda..... 50
Şekil 3.3.	Birim Ağırlık Deneyi..... 50
Şekil 3.4.	Vebe işlenebilme deneyi..... 51
Şekil 3.5.	Basınç dayanımı tayini..... 52
Şekil 3.6.	Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği..... 52
Şekil 3.7.	Eğilme dayanımı deney düzeneği..... 53
Şekil 4.1.	28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 56
Şekil 4.2.	28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 56
Şekil 4.3.	91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 57
Şekil 4.4.	91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 57
Şekil 4.5.	0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması..... 58
Şekil 4.6.	0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması..... 58
Şekil 4.7.	Farklı tuz içeriklerinde basınç dayanımındaki değişim (28. gün).. 59
Şekil 4.8.	Farklı tuz içeriklerinde basınç dayanımındaki değişim (91. gün).. 61
Şekil 4.9.	28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 62
Şekil 4.10.	28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 63
Şekil 4.11	91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 63
Şekil 4.12.	91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması 64

Şekil 4.13.	0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması.....	64
Şekil 4.14.	0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması.....	65
Şekil 4.15.	Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (28.gün).....	66
Şekil 4.16.	Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (91.gün).....	67
Şekil 4.17.	28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması	69
Şekil 4.18.	28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması	69
Şekil 4.19.	91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması	70
Şekil 4.20.	91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması	70
Şekil 4.21.	0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.22.	0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.23.	Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (28.gün).....	72
Şekil 4.24.	Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (91.gün).....	74

TABLULAR LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Tablo 2.1. Tane boyutuna göre agrega ve harç kumu sınıfları.....	5
Tablo 2.2. Türkiye’de üretilen çimentolar ve kullanıldıkları alanlar.....	6
Tablo 2.3. Normal beton dayanım sınıfları	10
Tablo 2.4. Çeşitli denizlerde 1 m ³ deniz suyunda erimiş tuz miktarı.....	41
Tablo 2.5. Deniz suyu içeriğinde bulunan tuzların bileşik ağırlıkları.....	41
Tablo 3.1. Portland Çimentosunun (CEM I 42.5 R) özellikleri.....	45
Tablo 3.2. Süper akışkanlaştırıcıya ait teknik bilgiler.....	46
Tablo 3.3. Çelik tellerin özellikleri.....	46
Tablo 3.4. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri.....	47
Tablo 3.5. Sodyum Klorür tuzunun analiz sonuçları (%)......	47
Tablo 3.6. Agrega karışım oranları (hacimce).....	48
Tablo 3.7. Beton karışım miktarları.....	48
Tablo 4.1. Birim ağırlık ve Vebe Deneyi İşlenebilme Süreleri.....	54
Tablo 4.2. Basınç dayanım sonuçları.....	55
Tablo 4.3. Basınç dayanım sonuçlarındaki artış ve azalmalar (28.gün).....	59
Tablo 4.4. Basınç dayanım sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün).....	60
Tablo 4.5. Yarmada çekme dayanımı sonuçları.....	62
Tablo 4.6. Yarmada çekme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (28.gün)	65
Tablo 4.7. Yarmada çekme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün)	67
Tablo 4.8. Eğilme dayanımı sonuçları.....	68
Tablo 4.9. Eğilme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (28.gün).....	72
Tablo 4.10. Eğilme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün).....	73

KISALTMALAR LİSTESİ

ABBY	: Almanya Beton Birliği Yöntemi
ACI	: American Concrete Institute
ASTM	: American Society of Testing Materials
ÇTDB	: Çelik Tel Donatılı Betonlar
EN	: European Standart
FE	: Düz ve Kançalı Uçlu Lif
JSCE	: Japan Society of Civil Engineering
KÇ	: Katkılı Çimento
KSD	: Kullanılabilirlik Sınır Durumu
NaCl	: Sodyum Klorür
PÇ	: Portland Çimento
SD	: Silis Dumanı
Tabix	: Dalgalı Fiber
TS	: Türk Standartları
TSD	: Taşıma Gücü Sınır Durumu

1. GİRİŞ

Modern yapılarda uzun yıllardır kullanılan ve gelecekte de kullanılacak olan beton, gerekli koşullarda tasarlanıp imal edildiğinde uzun yıllar boyunca hizmet verebilen en ekonomik ve dayanıklı yapı malzemesidir. Bileşenlerinin kolay temin edilebilir olması ve taze iken istenilen şeklin verilebilmesi nedeni ile yaygın olarak kullanıma sahiptir.

Beton heterojen ve boşluklu bir yapı malzemesidir. Betonun yapısında ki zayıflık kılcal boşluk ve betonun işlenebilirliği için gereğinden fazla konulan su miktarına bağlanmaktadır. Betondaki bu iki olumsuz etkeni aşağı çekmekle betonun niteliğinde önemli artışlar yapılabilmektedir. Kılcal boşlukları küçültmek, beton içerisindeki fazla suyu sonradan almak veya çimento tanelerini homojen bir şekilde dağıtan bir takım akışkanlaştırıcılarla su/çimento oranını düşürmek beton niteliğini artırıcı yöntemlerdir.

Betonun en önemli özelliği, içinde gömülü olan donatı için koruyucu bir ortam oluşturmasıdır. Klorür ve/veya karbonatlaşma etkisi ile donatının korozyona uğraması sonucunda beton ve donatı arasında aderans kaybı ile birlikte donatıdaki hacim artışı nedeni ile pas payının çatlaması da söz konusudur.

Özellikle bir deprem ülkesi olan ülkemizde yapıların maruz kalacağı olumsuz çevresel şartlar nedeniyle beton içindeki donatının korozyonu gibi istenmeyen durumların önüne geçilmesinde durabilitesi yüksek betonların üretimi önem kazanmaktadır.

Ayrıca ülkemizde var olan yapılaşmaların bir kısmına hakim olan deniz suyu etkisi, sülfat etkisi ve tuzlu ortamların etkisine karşı betonun mekanik davranışlarını artırıcı önlemler alınması gerekmektedir.

Bu konuda yaptığımız araştırmalar ve deneylerin de amacı konu hakkında bilgilerimizi bir anlamda deneysel ortama taşımaktır. Betonun maruz kaldığı etkiler, basınç dayanımları, betonun dayanıklılığı yani durabilitesi, betonun içindeki donatının etkisinde kaldığı asitli sülfatlı ortamlar ve sodyum klorüre maruz kalmış betonların dayanımlarını artırma yönünde çalışmalar yapılmaktadır.

Kırılma sırasında az enerji yutması, betonun en olumsuz yanıdır. Çimento hamuru, agrega ve bu malzemeler arasında kalan ara yüzeylerden oluşan üç fazlı kompozit malzeme, yorulma, aşınma, çekme dayanımı ve çatlama sırasında oluşan enerji yutma kapasitesi açısından olumsuzluklar sergiler. Diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomik olan betonun, belirtilen bu zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi uygulama alanlarının artırılması açısından önemlidir. Günümüzde ise betonda hem dayanımın, hem de durabilitenin artırılması istenmektedir. Diğer bir deyişle, yüksek performansa sahip betonlara giderek daha fazla gereksinim duyulmaktadır.

Yapı sistemlerine ait normal betonların enerji yutma kapasiteleri düşük olduğundan, dış yükler artarak belirli bir limit değere ulaşınca yapıda göçme meydana gelir. Betona çelik lif donatılar veya çelik hasır donatılar eklenerek, daha sünek bir malzeme haline getirmek mümkün olmaktadır. Çelik tel donatılı betonlar, yüksek enerji yutma kapasitelerine sahip olup, kırılma anında daha sünek davranış sergileyen malzemelerdir. Çimento matrisi içerisinde rastgele dağılı olarak bulunan çelik teller çatlak tutma davranışı gösterirler.

Çelik tel donatılı betonlar, normal betonlara oranla sağladıkları üstünlüklerden dolayı kullanım alanları gün geçtikçe artmaktadır. Betonda çelik tel kullanımının betonun mekanik davranışı ve diğer özellikleri üzerine etkileri, ayrıca bu tür betonların tasarım ilkeleri konusundaki çalışmalar bilgisayar teknolojisindeki ve yeni deney tekniklerindeki gelişmelere bağlı olarak devam etmektedir.

Yüksek dayanımlı betonların normal betonlara kıyasla gevrek bir yapıya ve daha az şekil değiştirme yeteneğine sahip oldukları bilinmektedir. Diğer yapı malzemelerine göre daha ekonomik olan betonun belirtilen bu zayıf özelliklerinin iyileştirilmesi uygulama alanlarının artırılması açısından önemlidir. Çelik tellerin betona katılmasıyla betonların enerji yutma kapasitelerinde diğer bir deyişle sünekliklerinde belirgin iyileştirmeler elde edilmektedir.

Bu çalışmada silis dumanı ve çelik lif katkılı olarak üretilen betonların klorür etkisinde korozyonu incelenmiştir. Üretilen tüm beton numuneler doğada bulunan su, 15 g/L ve 30 g/L NaCl çözeltisi olmak üzere üç ayrı kür ortamında bırakılarak betonda korozyon oluşumu incelenmiştir. Yapmış olduğumuz bu çalışmada çelik lif

ve silis dumanı katkılı betonlarda basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı tayini ve eğilme dayanımı NaCl içeren kür ortamındaki etkisinin incelenmesi amaçlanmıştır.

2.LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1. Beton nedir?

Beton, kum, çakıl (veya kırma taş, hafif agrega vb.), çimento ve suyun karıştırılmasından elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belirli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerinden biri, istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır. Beton karıştırılıp kalıba döküldükten sonra katılaşır ve zamanla dayanım kazanır. Betonun özellikleri beton karışımında kullanılan çeşitli malzemelerin özellikleri ile yakından ilişkilidir [1].

Agrega (kum, çakıl, kırmataş) + Çimento + Su + Kimyasal katkı = **BETON**

2.1.1. Agregası:

Beton üretiminde kullanılan kum, çakıl, kırma taş gibi malzemelerin genel adı agregasıdır. Beton agregası, beton veya harç yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı malzeme ile birlikte bir araya getirilen, organik olmayan, doğal veya yapay malzemenin genellikle 100 mm' yi aşmayan (hatta yapı betonlarında çoğu zaman 63 mm'yi geçmeyen büyüklüklerdeki kırılmamış veya kırılmış tanelerden oluşur.

Agregalar betonun hacminin yaklaşık olarak %70-75 ini oluşturur. Betonda agrega kullanılmasının 'ekonomik' ve 'teknik' özellikler bakımından büyük yararları bulunmaktadır. Çimento, agrega ve su karışımından yapılan betonun, hacim olarak yaklaşık 3/4'ü agrega tarafından oluşturulmaktadır [2].

Betonda agrega kullanılmasının sağladığı teknik özelliklerin basında, sertleşen betonun hacim değişikliğini önlemesi veya azaltması sertleşmiş betonun aşınmaya karşı dayanımını arttırması, çevre etkilerine karşı dayanıklılığını arttırması ve kendi dayanım gücünün yüksekliği nedeniyle betonun taşımakta olduğu yüklere karşı dayanımı sağlayabilmesi gelir [3].

Ayrışmaya neden olunmamalıdır. Agregaların bir yere yerleştirilmesi, depolanması veya taşınması esnasında iri agregaların ve ince agregaların bir yığın içerisinde adeta ayrı ayrı kümeler oluşturarak ayrışma (segregasyon)' yapmasını önleyecek önlemler alınmalıdır [4].

Beton içinde hacimsel olarak %60-75 civarında yer işgal eden agrega önemli bir bileşendir. Agregalar; ince (kum,kırma kum..gibi) ve kaba (çakıl, kırma taş...gibi) olarak ikiye ayrılır.Agregalarda aranan en önemli özellikler şunlardır:

- Sert dayanıklı ve boşluksuz olmaları,
- Zayıf taneler içermemeleri (Deniz kabuğu, odun, kömür parçası..vb..)
- Basınca ve aşınmaya mukavemetli olmaları
- Toz, toprak ve betona zarar verebilecek maddeler içermemeleri
- Yassı ve uzun taneler içermemeleri
- Alkali reaksiyonu göstermemeleri

Beton agregalarında elek analizi, yassılık, özgül ağırlık ve su emme gibi deneyler uygun aralıklarla yapılarak kalite sürekliliği takip edilmelidir.

İyi kalitede ve kullanılabilir kıvamda beton yapılabilmesi için kullanılan kum ve çakıldaki dane çaplarının karışım içinde belirli oranlarda bulunması gerekir. Başka bir deyişle, Türk Standardından TS-706'ya göre kum ve çakıl karışımının granülometrik bileşimi belli sınırlar içinde kalmalıdır [1]. Tane boyutuna göre agrega ve harç kumu sınıfları Tablo 2.1.'de belirtilmektedir.

Tablo 2.1. Tane boyutuna göre agrega ve harç kumu sınıfları

Hafif agrega		Normal agrega		Harç kumu	
İnce agrega	0<D≤ 4 mm	İnce agrega		0<D≤ 4	
		(kum)	D≤ 4 mm	İnce kum	mm
Karışık agrega	0<D≤ 4 mm	İri agrega		0<D≤ 4	
		(çakıl)	D> 4 mm	Orta kum	mm
İri agrega	0<D≤ 4 mm			0<D≤ 4	Kalın kum mm

2.1.2. Çimento:

Çimento, su ile karıştırıldığında, az veya çok akıcı niteliğe kavuşan, sadece suyun etkisiyle priz yapan, katılaştıran ve sertleşen ince taneli malzemedir. Çimento, kimyasal yönden duyarsız çakıl, kırma taş, kum gibi mineral malzemelerin büyük miktarlarda ve değişik oranlarda bir araya gelerek katı bir cisim oluşturmasında bağlayıcılık rolü üstlenir. Teknik ve ekonomik yönden genel eğilim ise ana bileşen olarak portland klinkeri yanı sıra, puzolanların, yüksek fırın cüruflarının ve termik santral uçucu küllerinin ikincil bileşen olarak kullanılmasıdır. Çimentonun karışımdaki ana görevi, katılacak betona mekanik mukavemetini sağlamaktır. Çimentonun ince taneli dokusunun, kaba yerleştirilmiş betonun yoğunluğunun artırılmasında ve priz öncesi karışımın işlenebilirliğinde önemli rolü bulunur. Betonun mukavemetinin yükseltilebilmesinde işlenebilirlik ve yoğunluk en önemli iki etkidir.

2.1.2.1. Çimento Türleri

Çimento inşaat sektöründe çok geniş uygulama alanı bulan bir malzeme olduğundan kullanılacağı ortamın durumuna göre katkı maddeleri ile ana bileşenlerin değişik kompozisyonları oluşturulmuş ve buna bağlı olarak mekanik özellikleri geliştirilmiştir. Beton yapımında en önemli rolü üstlenen bileşenlerden biri çimentodur. Her yapının özelliğine göre kullanılacak çimentonun cinsi değişir [5]. Türkiye’de üretilen çimento türleri Tablo 2.2.’de belirtilmektedir.

Tablo 2.2. Türkiye’de üretilen çimentolar ve kullanıldıkları alanlar

ÇİMENTONUN ADI	STANDART NO	KULLANILDIĞI ALANLAR
Portland Çimentosu (PÇ325)	TS 19	Normal inşaatlarda
Portland Çimentosu (PÇ400)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Portland Çimentosu (PÇ500)	TS 19	Yüksek dayanım isteyen inşaatlarda
Katkılı Portland Çimentosu (KPÇ325)	TS 10156	Normal inşaatlarda
Demirli Portland Çimentosu (DPÇ325)	TS 20	Düşük hidratasyon ısısı istenen kütle betonlarda
Cüruf Çimentosu (CÇ325)	TS 20	Su altı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Beyaz Portland Çimentosu (BPÇ325)	TS 21	Normal dayanımlı ve dekoratif inşaatlarda
Harç Çimentosu (HÇ160)	TS 22	Harç sıvalarında
Traslı Çimento (TÇ325)	TS 26	Düşük hidratasyon ısısı istenen kütle betonlarda
Uçucu Küllü Çimento (UKÇ325)	TS 640	Su altı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Sülfatlı Cüruf Çimentosu (PÇ325)	TS 809	Su altı yapılarında korozyonun az olduğu inşaatlarda
Erken Dayanımlı Yüksek Çimentosu (EYÇ510)	TS 3646	Demiryolu traverslerinde

2.1.2.2. Çimentoğunun Hidratasyonu

Çimento bünyesindeki ana bileşenler, su ile etkileşerek aşağıda gösterildiği gibi bir dizi ekzotermik reaksiyon verirler ve hidrate ürünler oluştururlar. Bu olaya çimentonun prizlenmesi denir, çimentonun prize başlama süresi 1 saatten az 10 saatten fazla olmamalıdır, genelde 2-3 saat kadar sürer.

Çimento su ile birlikte önce hafif bir katılma gösterir, buna priz başlangıcı denir. Kalsiyum hidroksit kristalleri ile şekilsiz silikatların çökmesi, ortamın suyunu kaybetmesini priz oluşumunu sağlar. Katılan çimento zamanla mukavemet kazanır. Bu sürece çimentonun olgunlaşması denir [1,6].

2.1.2.3. Sertleşme Olayı (Hidratasyon Yapmış Çimentonun İç Yapısı)

Hidratasyon ve onu izleyen katılma olayı sonunda sertleşmekte olan çimento hamurunun iç yapısı değişik mikroskobik incelemeler sonucunda belirlenmiştir. Bu yapıda hidratasyon sonunda meydana gelen hidrate elemanlar bulunmaktadır. Bunlar gelişmesini tamamlamamış ve bu nedenle düzenli bir kristal yapıya kavuşmamıştır. Bir de hegzagonal kristal şekilde serbest kireç veya portlandit elemanları vardır. Hidratasyon sonucunda meydana gelen bütün bu hidrate elemanları aralarında muhtelif boşluklar bırakarak biraraya gelmişlerdir. Zaman ilerledikçe makro boşluklar azalır, buna karşılık mikro boşluklar ve jel boşlukları artar [7].

2.1.2.4. Porozite ve Geçirgenlik

Beton içine zararlı iyonların girişi betonun porozitesi ile ilişkilidir. Yalnız porozite geçirgenlikle eş anlamlı değildir. Betonun bütünündeki porozite esas olarak çimento pastasının porozitesine bağlıdır, jel halindeki gözeneklerden (por) ve kapiler gözeneklerden (por) oluşur. İlk etapta jel porları pasta hacminin yaklaşık %28'ini oluşturur. Pastadaki kapiler gözeneklerin hacmi pasta hacminin %0-40 kadarlık kısmını oluşturur ve jelden daha önemli boyutlara sahiptir. Kapiler gözeneklerin birbirlerine kolayca geçebilmeleri nedeniyle geçirgenlikteki katkıları çok önemlidir [5].

Pasta geçirgenliğini etkileyen önemli faktörler;

- W/C oranı

- Kür süresinin kuruma derecesi

Pastanın geçirgenliğini etkileyen faktörler beton içinde geçerlidir. Bunların dışında aşağıdaki faktörler de betonun geçirgenliğini etkiler;

- Çimento bileşenleri

- Agreganın maksimum boyutu

- Dökme homojenliği

- Sıkıştırma derecesi

- Agreganın derecelenmesi

- Çimento tipi

Çimento bileşenlerindeki artış betonun geçirgenliğini düşürmektedir. Çimentolardaki karmaşık bileşen miktarları, hidrasyonun gelişme seyrini değiştirmeleri ve rötre ile şişme olaylarına neden olmalarından dolayı etkindirler. Hidrasyon hızının zamanla gelişmesi geçirimsizliğin zamanla azalmasına yol açar. İri agrega olarak kırmataş değil de doğal malzeme yani çakıl kullanılırsa geçirimsizliği az beton elde edilir. Diğer taraftan beton üretiminde kullanılacak agregaların porozitesinin küçük olması gerekir [8].

2.1.3. Su

Beton karışımının üretilmesinde kullanılan suya çok dikkat edilmesi gerekmektedir. Çünkü karma suyunda bulunabilecek eriyik ve askıdaki çeşitli maddeler çimentonun priz sürelerini, betonun direncini ve işlenebilirlik yeteneğini etkilerler ve donatının korozyonuna yol açarlar. Beton karma suyundan istenen en temel nitelik içilebilir su olmasıdır [9].

2.1.4. Beton Katkıları

2.1.4.1. Kimyasal Katkılar

Kimyasal katkıların özellikleri TS EN 934-2 'ye göre belirlenir. Kimyasal katkıların belli çeşitleri aşağıda sıralanmıştır:

2.1.4.1.1. Su Azaltıcılar (Akışkanlaştırıcılar)

Betonda aynı kıvamın veya işlenebilirliğin daha az su ile elde edilmesini sağlarlar. Taze betonda kullanılan su miktarı azaldıkça betonun dayanımı artar. Azalttığı su miktarı ile orantılı olarak normal ve süper olarak ayrılırlar.

2.1.4.1.2. Priz Geciktiriciler

Taze betonun katılaşmaya başlama süresini uzatırlar. Uzun mesafeye taşınan betonlar veya sıcak hava dökümleri için yararlıdırlar.

2.1.4.1.3. Priz Hızlandırıcılar

Priz geciktiricilerin aksine, bu katkılar betonun katılaşma süresini kısaltırlar. Bazı uygulamalarda, erken kalıp almada ve soğuk hava dökümlerinde don olayı başlamadan betonun katılaşmış olmasını sağlamak için kullanılırlar.

2.1.4.1.4. Antifrizler

Betonun donmaya karşı kendisini korumasını ve geç priz almamasını sağlar. Antifriz suyun donma sıcaklığının üzerindeki hava sıcaklığında kullanılmalıdır. Eğer hava sıcaklığı suyun donma sıcaklığının altında ise ek tedbirler alınmalıdır.

2.1.4.1.5. Hava Sürükleyici Katkılar

Beton içinde çok küçük boyutlu ve eşit dağılan hava kabarcıkları oluşturarak betonun geçirimsizliğini ve dona karşı direncini ve işlenebilirliğini artırır.

2.1.4.1.6. Su Geçirimsizlik Katkıları

Sınırlı miktarda hava sürükleyen katkılardır ancak yerine yerleşmiş betonun su sızdırmazlığının sağlanması uygun yerleştirme tekniğinin iyi bir şekilde yapılmasına bağlıdır. Bazı betonlarda birden fazla katkı türü birlikte kullanılabilir. Ancak bu katkıların birbirlerinin etkilerini bozmadıkları denenmelidir. Kimyasal katkıları, yukarıda bahsedilen etkilerinden dolayı bütün inşaat sektöründe betonun ayrılmaz parçası olmuştur.

2.1.4.2. Mineral Katkılar

Çimento gibi öğütülmüş toz halde silolarda depolanan cüruf, uçucu kül, silis dumanı, taş unu... vb. çeşitli maddelere 'Mineral Katkı' adı verilir. Mineral katkıları tek başına iken çimento gibi bağlayıcılık özelliği taşımazlar fakat birlikte kullanıldıklarında çimentoya benzer görev yaparlar, dolayısıyla çimento ekonomisi sağlarlar. Mineral katkılarından yüksek dayanımlı beton üretiminde de yararlanılır.

2.2. Betonların Sınıflandırılması:

Betonlar birim ağırlıklarına göre üç ana gruba ayrılırlar. Yaklaşık 2400 kg/m^3 ağırlığında olan betonlar normal beton olarak isimlendirilir ve taşıyıcı anlamda en çok kullanılan beton türüdür. Hafif betonlar birim ağırlıkları 2000 kg/m^3 'den az olan betonlardır. Yalıtım amaçlı veya dayanım-ağırlık oranının yüksek olması gereken koşullarda kullanılırlar. Radyasyon kalkanı olarak kullanılacak betonlarda bazı özel agregalar kullanılarak ağırlık artırılır. Birim ağırlığı 2600 kg/m^3 'den yüksek olan bu betonlar ağır beton olarak tanımlanırlar [10]. Normal beton dayanım sınıfları Tablo 2.3.'de belirtilmektedir [11].

Tablo 2.3. Normal Beton Dayanım Sınıfları

BASINÇ DAYANIMI SINIFI	EN DÜŞÜK KARAKTERİSTİK SİLİNDİR DAYANIMI $f_{ck,sil} \text{ N/mm}^2$	EN DÜŞÜK KARAKTERİSTİK KÜP DAYANIMI $f_{ck,sil} \text{ N/mm}^2$
C 8/10	8	10
C 12/15	12	15
C 16/20	16	20
C 20/25	20	25
C 25/30	25	30
C 30/37	30	37
C 35/45	35	45
C 40/50	40	50
C 45/55	45	55
C 50/60	50	60
C 55/67	55	67
C 60/75	60	75
C 70/85	70	85
C 80/95	80	95
C 90/105	90	105
C 100/115	100	115

2.3. Betonun Durabilitesi

Betonun durabilitesi kavramı, bir yapının servis süresi boyunca çevresel etkilere karşı dayanıklılığı olarak açıklanabilir. Yapıların uzun ömürlü olması sadece doğru taşıyıcı sistemin seçimi, projelendirilmesi ve imal edilmesine bağlı değildir. Aynı zamanda, yapının mantıklı bir zaman süreci içerisinde kalıcı denecek kadar uzun ömürlü olmasını sağlayacak önlemler alınmalı ve en az bakımı gerektirecek şekilde yaslanması yavaşlatılmalıdır [12].

Beton, kullanılacağı yapısal sistemin koşullarına göre tasarlanmış ve gerekli kalite kontrol prosedürlerine uyularak hazırlanmış, yerleştirilmiş ve kür uygulanmışsa, servis süresi boyunca hiçbir onarım gerektirmeden görevini yerine getirir. Ancak çeşitli dış ve iç etkiler altında betonun performansının düştüğü durumlar olur.

Dayanıklı başka bir deyişle kalıcı bir beton; bu etkilere karşı bozulmadan ve kendisinden beklenen performansı düşürmeden direnç gösteren betondur. Dolayısıyla, betonun durabilitesi mekanik yükler dışında bulunduğu ortamdaki kimyasal ve fiziksel etkilere karşı bozulmadan direnç göstermesi olarak tanımlanabilir.

Çimentodan daha ince olan silis dumanı, uçucu kül ve yüksek fırın cürufu gibi puzolanik malzemelerin süper ve hiper akışkanlaştırıcı olarak bilinen yeni nesil akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanılması daha dayanıklı betonlar üretilmesine olanak sağlamıştır. Ultra incelikteki malzemeler ve süper akışkanlaştırıcı kimyasal katkıların birlikte kullanılması betondaki su/çimento oranının düşmesini sağlayarak ortaya çıkan artan su ihtiyacı problemini ortadan kaldırmıştır. Betonun durabilitesini ve dayanımını arttıran puzolanik malzemelerin bu olumlu etkilerinin görülebilmesi için kür koşullarına da titizlikle uyulması gerekmektedir [12,13]

2.4. Lifin ve Lifli Betonun Tanımlanması

Beton özelliklerini değiştirerek iyileştirmek amacı ile taze beton içerisine, çeşitli yöntemler ile değişik miktarlarda lifler katılır. ACI 544'e göre lifin tanımı lif boyunun eşdeğer lif çapına bölünmesiyle elde edilen "boy/çap" (aspect ratio) oranı olarak kabul edilmektedir. Bu orana kısaca "narinlik oranı" da denilmektedir.

Eşdeğer lif çapı ise; alanı lifin kesit alanına eşit bir dairenin çapı olarak tanımlanmaktadır. Ancak bazı liflerin uzunluklarının ve çaplarının farklı değerler alması ve cam liflerde olduğu gibi liflerin demet şeklinde olması nedeniyle liflerde, sadece boy/çap oranına göre sınıflandırma yapmak mümkün olmamaktadır.

Lifli beton; hidrolik çimento, agrega ve beton içerisinde çoğunlukla süreksiz dağılmış liflerin su ile karıştırılması ile meydana gelen bir beton türüdür. Ayrıca hidrolik çimento ve liflerden oluşan bileşime de “lifli beton” denilmektedir. Fakat matris olarak sadece çimento hamurunun kullanılmasının hacim kararsızlığı sebebi ile zararlı olduğu söylenmektedir [14].

Lifli betonların en yaygın olarak kullanılan tipleri şunlardır:

- Cam lifli beton
- Çelik lifli beton
- Polimer betonu
- Mika levhalı beton
- Plastik lifli beton [15].

Lifli beton literatüründe matris olarak tanımlanan yapı, lifin etrafına saran ortam malzemesidir. Kısacası, çimento hamuru matris olarak tanımlanmaktadır. Lifli beton kompozitlerin de matris'in fonksiyonu lifleri bir arada tutmak, onları sarmak ve liflerle veya liflerden gerilme transferini sağlamaktır [16].

Gevrek ve çekme dayanımı düşük olan normal betonun çekme gerilmeleri altında çatladığı kabul edilir [14]. Bu çekme gerilmeleri, bir çatlaktan pek çok çatlağın yayılmasına sebep olarak betonda göçmeye neden olur. Bu dağılmış çatlaklar ise boyut etkisini doğurur. Çatlak gelişimine karşı betonun direncini ve düktilitesini arttırmak için betonun liflerle güçlendirilmesi etkili bir yoldur [17].

Beton harcı içerisine lif katılması, betonun eğilme mukavemeti, çekme mukavemeti, elastisite modülü, darbe direnci, yorulma dayanımı, parçalanma ve kırılma dayanımında ve tokluğunda artışlar meydana getirir [18].

2.5. Lif malzemesinin etkisi

Kompozit malzemenin genel özellikleri, kullanılan lif malzemesinin çeşidine göre değişmektedir. Lifler ürettikleri malzemelere göre sınıflandırılabilirler:

2.5.1. Metalik lifler: Karbon çeliği veya paslanmaz çelikten üretilirler, elastisite modülleri ve dayanımları yüksektir. Sünek davranış gösterirler.

2.5.2. Karbon lifler: Elastisite modülleri çelik lifler kadar yüksek olup, hafiftirler.

2.5.3. Mineral lifler: Tipik örneği cam lifidir. Elastisite modülleri ve çekme dayanımları yüksek olup gevrek davranış gösterirler. Fakat bazı türleri yüksek alkaliniteye sahip çimento esaslı matrislerde dayanımlarını kaybederler. Bu sebeple, alkali dayanımlı cam lifler üretilmektedir.

2.5.4. Polimer lifler (akrilik, aramid, karbon, naylon, polyester, polietilen, polipropilen): Aramid hariç yüksek çekme dayanımına sahip olup, elastisite modülleri kısmen düşüktür.

2.5.5. Doğal lifler (selüloz vb.): Bu tip lifler göreceli olarak güçlü olup, bağ karakteristikleri metalik ve mineral lifler kadar iyi değildir [19].

2.6. Lifli Betonlarla İlgili Çalışma Özetleri

Swamy 1975, çelik lifli betonların özelliklerini araştırmak amacıyla yaptığı çalışmada lifli beton kompozitlerinin durabilitesi ve çimento matrisi arasındaki ilişkinin önemini belirtmektedir. Yapılan çalışmada hacim artısından dolayı dışarıda kalan lifler dikkate alınmazsa, liflerin karışım içerisinde geliş güzel dağıldığını belirtmektedir. Yapı elemanları üretiminde; lifli betonun kullanılması halinde islenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla karışıma uçucu kül katılması lifli betonun aderans dayanımını artırdığı belirtilmektedir [20].

Betonun çekme dayanımını artırmak amacıyla yapılan ilk çalışmalar ise 1963 yılında Romualdi ve Mandel tarafından başlatılmıştır. Bunlar betonun çekme bölgesinde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş ince teller bulunan kirişler üzerinde deneyler yaparak kirisin eğilme dayanımının arttığını ve kırılma yüküne çok yaklaşıncaya kadar çatlakların fazla büyümediğini gözlemişlerdir. Eğilme deneylerinde,

maksimum eğilme yükündeki sekil değiştirmelerin artan lif miktarı ve boyutunun bir fonksiyonu olarak önemli bir artış gösterdiği belirtilmektedir [14].

Betonun içine liflerin katılmasının ilk çatlak oluşumunda, gerilme ve deformasyonlar üzerinde önemli etkisi vardır. Fakat bu etki maksimum yüklemeye elde edilen sonuçlara göre daha azdır [14].

Shah ve Rangan, yaptıkları çalışmada betonun basınç ve eğilme dayanımına lif miktarı, lif boyu ve liflerin karışım içerisindeki dağılım gibi faktörlerin etkilerini araştırmışlardır. %0.25–1.25 arasında değişen lif miktarları ile üretilen betonların eğilme dayanımlarının lif miktarının artışıyla doğru orantılı olarak arttığını görmüşlerdir [21].

Snyder ve Lankart 1972, lifli beton ve harcın eğilme dayanımına etki eden faktörleri belirtmişlerdir. Bunların başında karışımı oluşturan malzeme bileşenleri ile lif özelliklerinin eğilme dayanımına etkisi incelenmiştir. Lifli harç matrisinin ilk çatlak dayanımı ve maksimum eğilme dayanımına lifin narinlik oranı ve miktarının etkili olduğu görülmüştür. Buna göre ilk çatlak ve eğilme dayanımı arasında lif miktarına göre değişen lineer bir ilişkinin olduğunu belirtmişlerdir [15].

Su/Çimento oranı 0.45 ve lif miktarı %3–4 oranında değişen lifli harç numunelerinin eğilme dayanımının, aynı su/çimento oranı ve %2'lik lif miktarı ile üretilen harç numunelerinin eğilme dayanımından daha az olduğu görülmüştür.

Harris, Varlow ve Ellis 1972, lifli betonun kırılma davranışını incelemişlerdir. Deneysel sonuçlardan yararlanılarak kırılma mekaniği esaslarını lifli betonlara uygulamayı tasarlamışlardır. Kiriş numuneleri üzerinde yapılan eğilme deneylerinde elde edilen sonuçlara göre kırılma isisi; lif miktarına, karışım içerisindeki liflerin dağılımına ve lif tipine bağlı olarak belirlenmiştir. Hacimsel olarak %2 lif miktarında toplam kırılma isinin artmakta olduğu görülmüştür [15].

Traine ve Mansur 1972, tek ve iki eksenli gerilme hallerinde normal ve lifli betonların basınç dayanımları ile gerilme sekil değiştirme davranışlarını araştırmışlardır. Karışımlarda narinlik oranı 33 ve 60 olan iki tip lif, hacimce %0.5, %1 ve %1.50 oranlarında kullanılmıştır. Elde ettikleri sonuçlara göre; lifli betonların

tek eksenli basınç dayanımlarında, lif miktarı ve tipine bağlı olarak, normal betonla kıyaslandığında artma veya önemli bir değişiklik görülmemiştir. Tek eksenli gerilme halinde narinlik oranı 60 ve lif miktarı %1,5 olan karışımlar da basınç dayanımı %22 oranında artmıştır [14].

2.7. Lifli Betonun Özelliklerine Bileşenindeki Parametrelerin Etkisi

2.7.1. Lif Miktarı ve Narinlik Oranının Etkisi

Lifli beton konusunda yapılan çalışmalarda; liflerin beton içerisine katılma oranı hacimsel olarak %0.5–2.5 arasında olabileceğini göstermektedir. Ancak diğer yandan araştırmalar sunu da göstermiştir ki optimum fayda hacimsel oranın %1–2 olması halinde sağlanmaktadır. Bu değerden daha az katılması halinde normal beton özelliği üzerine çok büyük bir olumlu gelişme sağlanamamaktadır. Buna en büyük etken de yüksek oranda katılmış liflerin karışım sırasında topaklaşıp liflerin homojen dağılmamasıdır. Buna paralel olarak da yer yer beton içerisinde zayıf bölgeler ve hava boşlukları oluşmaktadır [15].

Yerleştirme sırasında kullanılan vibrasyon liflerin dönmesine ve belirli yönlerde dizilmelerine neden olmaktadır. Bu durum lifin narinlik oranıyla beraber vibrasyon tipi ve kalıp boyutuna bağlıdır. Bu sebeple lifli betonların yerleştirilmesinde dış vibrasyon tercih edilmelidir [14].

Taşdemir ve ark., ÇTDB'ların tepe noktası sonrası davranışını ve tokluğunu etkileyen en önemli iki faktörün çelik tel miktarının ve narinliğinin olduğunu ifade etmişlerdir. Ayrıca, bu iki parametrenin artmasıyla su yapılarında kullanılacak olan betonun mekanik özelliklerini büyük ölçüde iyileşme olduğunu belirtmişlerdir [22].

Bayramov ve ark., çelik tel içeriği ve narinliğinin artmasıyla betonların göçmeye kadar enerji yutma kapasitelerinin arttığını ve betonların normal betonlara kıyasla daha sünek bir davranış gösterdiğini ifade ettiler [23].

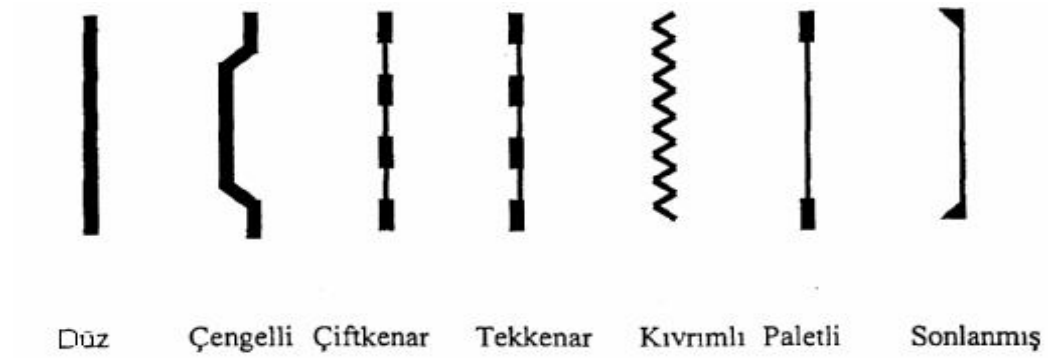
2.7.2. Lif Tipinin Etkisi

Beton bileşimine katılan çelik lifler, çoğunlukla sert çekilmiş düşük karbonlu (C 1008) den üretilmektedir. Yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük

uzama özelliği gösterir. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa olup elastik limitleri %0,2'nin altındadır. Birbirinden farklı değişik yöntemlerle üretilirler.

- Soğukta çekilmiş tellerin kesilmesi yöntemi,
- Çelik plakaların kesilmesi yöntemi,
- Sıcak çekme yöntemi,
- Çelik tellerin öğütülmesi yöntemi [24].

Genel olarak uygulama alanlarına göre üretilen lif tipleri Şekil 2.1.'de görülmektedir. Bunlar doğru, uçları bükülü, zig zaglı, çift baskılı, tek baskılı, düzensiz, dişli ve birleştirilmiş hallerde bulunmaktadır [16].



Şekil 2.1. Çelik Lif Tipleri ve Şekilleri

Beton bileşimine katılan liflerin çeşidi ne olursa olsun liflerin homojen olarak dağılması ve bu dağılımın beton karıştırıldıktan sonrada bozulmaması gerekmektedir. Lifler, sertleşen betonun her yanına üniform olarak dağılmalıdır.

Ayrıca beton yerleştirildikten sonra liflerin dönmemesi ve belirli bölgelerde toplanmalarını istenir. Genellikle cam ve çelik lifli beton karışımında topaklanma, bir yönde dizilme görülmektedir. Bu durumun liflerin beton karışımına kuru olarak katılması halinde en aza indirilebileceği söylenmektedir [14].

Betonda kullanılan liflerin daha sünek ve çekme dayanımı yönünden de daha yüksek bir mukavemet ile davranabilmesine imkân sağlayacağı vurgulanmaktadır [25].

2.8. Çelik Lif Karışım Yöntemleri

Karışıma ilk malzeme olarak liflerle başlanmamalı, çelik lifler kum ve agregalarla beraber ya da hazırlanmış betona ilave edilmelidir.

Karışım anında çelik liflerin bir araya gelip topaklanarak karışımı güçleştirmeleri ve karışım sırasında liflerin eğilerek deforme olmaları önlenmelidir. Bunun içinde özellikle lif miktarı aşılmamalı gerekiyorsa bağlayıcı ve ince agrega miktarı artırılarak karışımın kohezyonu artırılmalıdır. İşlenebilirliği arttırmak içinde akışkanlaştırıcı kimyasal katkıları kullanılmalıdır. Demetler halindeki lifler karışımda ayrılıncaya kadar karışıma devam edilmelidir. Çelik lifli betonların hazırlanmasında belli başlı üç yöntem vardır. Bu yöntemler ve karıştırma kuralları TS 10514'de belirtilmiştir [26].

2.8.1. Beton Santralında Karışım Yöntemi

Kum, çakıl ve çelik lifler bir konveyör bant aracılığı ile karıştırma kazanına verilebildiği gibi, beton santralının tartı kovasına da konabilir. Her iki durumda da, çelik lifler kum ve çakılın üzerine dökülmelidir. Karışıma, çimento, su ve gerekli ise uçucu kül ilave edilmelidir. Bütün lifler ayrılıp dağılıncaya kadar karıştırılmalıdır. Gerekli süre mikser tipine bağlı olup, bu süre 1-2 dakika olmalıdır. Karıştırma kazanı içinde hazırlanan betona lifler en son olarak da ilave edilebilir. Bu durumda karıştırmaya lifler homojen dağılıncaya kadar devam etmelidir.

2.8.2. Transmikserde Karışım Yöntemi

Agrega ve lifler transmiksere konarak karıştırılmalıdır. Çimento ve su ilave edilmelidir. 2-4 dakika sonra karışım kontrol edilmelidir. Homojen karışım gözle fark edilmelidir.

2.8.3. Transmikserde İlave Yöntemi

Diğer karıştırma yöntemleri mümkün olmadığında zaman uygulanır. Transmiksere konan beton, mikser kapasitesinin %80'ini aşmamalıdır. Yüksek su/çimento oranından kaçınmak için akışkanlık verici katkı maddeleri kullanılmalıdır. Lifler, mikserde 20-30 kg/dak hızı ile konmalı ve bu esnada mikser tamburu en yüksek hız ile çevrilmelidir. Karıştırma zamanı mikser tipine bağlıdır. Bütün lifler betona

karıştırıldıktan sonra mikser kısa müddet ile durdurulmalı ve lif dağılımı göz ile kontrol edilmelidir. Homojen dağılım elde edilemezse, transmikserin bu karışım yöntemi için uygun olmadığına karar verilmelidir.

2.9. Çelik lifli betonun kullanım alanları

2.9.1. Endüstri Yapılarında Kullanımı

Çelik lifli beton endüstri yapılarında darbe rijitliğini sağlamak, ısısal ve dinamik etkilere karşı dayanıklılığı artırmak için kullanılmaktadır [17].

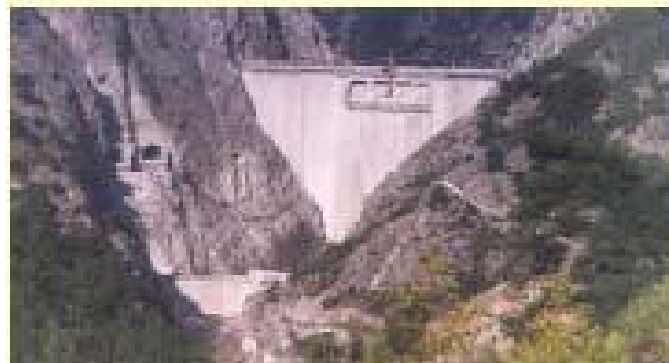
Tatnall ve Kuitenbrouwer (1992), yaptıkları araştırmada çelik liflerin Avrupa'daki endüstriyel yapı inşaatlarının çoğunda geleneksel donatılamanın yerine başarıyla uygulandığını bildirmişlerdir [14]. Çelik liflerin endüstri yapısında kullanımını Şekil 2.2.'de belirtilmektedir.



Şekil 2.2. Çelik liflerin endüstri yapısında kullanımı

2.9.2. Hidrolik Yapılarda Kullanımı

Barajlar, kanallar, dinlendirme havuzları ve dolu savaklarda plak yerine veya aşınmaları engellemek amacıyla, kaplama olarak kullanılır. Çelik liflerin barajlarda kullanımını Şekil 2.3.'de belirtilmektedir.



Şekil 2.3. Çelik liflerin barajlarda kullanımı

2.9.3. Yol Döşmelerinde Kullanımı

Beton yol uygulamalarında kaplama kalınlığının daha ince olmasının istendiği durumlarda çelik lifli betonlar kullanılır. Günümüzde çelik lifli betonlar yollarda, otobanlarda, köprülerde ve hava alanlarında başarıyla kullanılmaktadır. Çelik liflerin yol döşmelerinde kullanımı Şekil 2.4.'de belirtilmektedir.



Şekil 2.4. Çelik liflerin yol döşmelerinde kullanımı

2.9.4. Püskürtme Beton (Shotcrete) Uygulamalarında Kullanımı

Püskürtme beton karışımları genellikle yüksek çimento yüzdesiyle hazırlanan karışımlardır. Bu da çoğunlukla rötre çatlaklarına neden olmaktadır. Üstelik püskürtme beton uygulaması yapılan eğri yüzeyler çatlama eğilimi gösterirler ve bu tür yüzeylerin kür edilmesi çok zor olmaktadır. İşte çelik lifler hem ıslak hem de kuru püskürtme beton uygulamalarında çatlak kontrolü için ekonomik ve de pratik bir çözüm sunmaktadır. Bu nedenle çelik lifli püskürtme beton uygulaması barajların tamirinde, tünellerde, su kemerlerinde, iskelelerde, kanallarda, dolu savaklarda ve bu tür yapılarda başarıyla kullanılmaktadır. Çelik liflerin tünelde püskürtme betonda kullanımı Şekil 2.5. ve Şekil 2.6.'da belirtilmektedir.



Şekil 2.5. Çelik liflerin tünelde püskürtme betonda kullanımı



Şekil 2.6. Çelik liflerin tünelde püskürtme betonda kullanımı

2.9.5. Şev Stabilitesinin Sağlanmasında Kullanımı

Çelik lifli beton ayrıca karayollarını ve demiryollarını kesen, yer üstündeki kaya veya topraktan oluşan dik şevlerin veya toprak setlerin stabilitesinin sağlanmasında kullanılır [14]. Çelik liflerin şev stabilitesinde kullanımı Şekil 2.7. ve Şekil 2.8.'de belirtilmektedir.



Şekil 2.7. Çelik liflerin şev stabilitesinde kullanımı



Şekil 2.8. Çelik liflerin şev stabilitesinde kullanımı

2.9.6. İnce Kabuk Yapılarda Kullanımı

Lifli betonun üstün nitelikleri kesit kalınlıklarının azaltılmasını mümkün hale getirdiğinden, ince kabuk yapılarda. kubbelerde, katlanmış plaklarda ve çeşitli mimari nedenlerle ince olması gereken yapı elemanlarında kullanılmaktadır [27].

2.9.7. Patlamaya Karsı Dayanıklı Olması Gereken Yapılarda Kullanımı

Genellikle normal donatı çubukları ile birlikte kullanıldığında, güç santralleri ve askeri tesislerin yapımında çok uygun bir kullanım arz etmektedir. Özellikle çok önemli askeri tesislerin yapımında bu özelliğinden dolayı kullanımı tercih edilmektedir. Uzun yıllardan beri Amerikan askeri tesis yapım şartnamelerinde yer almakta ve yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

2.9.8. Ön Yapımlı Beton Elemanlarda Kullanımı

Ön yapımlı beton üreticileri çatlak oluşmasını ve yayılmasını engellemek, betonun yük altında daha elastik davranmasını sağlamak, betonun dağılıp ufalanmasını azaltmak ve betonun korozyona karşı performansını artırmak için çelik lifli betonları kullanırlar [28].

2.9.9. Çok Yüksek Mukavemetli Betonlarda Kullanımı

Günümüzde yüksek mukavemetli betonlara ihtiyaç giderek artmaktadır. Bu betonların normal mukavemetli olanlara göre olumsuz tarafı göçme sırasında bağlı olarak az enerji yutmalarıdır. Böylece gevrek davranış gösteren yüksek mukavemetli betonların yerini sünekliği artırılmış yüksek performansa sahip ultra yüksek mukavemetli betonların [yüksek mukavemetli betonlar; 28 günlük basınç mukavemeti 2000 kg/cm² fazla olan betonlardır.] alması söz konusu olmaktadır.

Ultra yüksek mukavemetli çimento esaslı kompozitlerin üretiminde ince agrega ve çimentoya ilave olarak 0.15 mm çapında ve 5 - 10 mm boyunda kısa kesilmiş çelik tel, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı katkıları kullanılmaktadır. Bu kompozitleri üretmekle betonda en zayıf halka olarak bilinen agrega – çimento hamuru arasındaki boşluklar ve harçtaki kusurlar minimum yapılabilmekte ve gevrek davranışa sahip bu çok yüksek mukavemetli betona kısa kesilmiş ince çelik tellerle sünek davranış özelliği kazandırılmaktadır [29].

2.9.10. Depreme Dayanıklı Yapılarda Kullanımı

Çelik lifli betonlarla inşa edilen süneklik düzeyi yüksek betonarme yapıların deprem kuvvetleri altındaki davranışı olumlu yönde değişecektir. Ülkemizin deprem kuşağında olduğu göz önüne alındığında gevrek bir malzeme olduğu bilinen betonun bu zayıf yönünü iyileştirmenin önemli olduğu açık bir gerçektir.

Bu yapıların dinamik etkilere karşı enerji emme yeteneği geleneksel yapılara göre daha yüksek olduğundan bu tür etkiler sonucu meydana gelebilecek yapısal hasarlar en alt düzeye indirilecektir. Çelik liflerin betonda kullanılmasının önemi karşı karşıya bulunduğumuz depremin yapılarda meydana getirdiği hasarlar incelendiğinde daha iyi anlaşılacaktır [30].

Vondran (1992), yaptığı çalışmada deprem sırasında normal betonlarda ilk olarak donatı etrafındaki betonların dökülüp, ufalanıp yapısal bütünlüğü ve rijitliği bozmasına rağmen çelik lifli betonun daha düktil olmasından dolayı betonu kırmak için daha fazla enerjiye ihtiyaç olduğunu bildirmiştir [31].

2.10. Çelik Lifli Sertleşmiş Betonun Özellikleri

Bilindiği gibi beton çekme mukavemeti basınç mukavemetine kıyasla oldukça küçüktür. Betona belirli bir oranda çelik lif eklenerek çekme ve eğilme mukavemeti başta olmak üzere birçok mekanik özelliği iyileştirilmektedir [28].

Beton prizini tamamladıktan sonra, lifler betonun sertleşmiş özellikleri örneği enerji emme kapasitesi, darbe dayanımı, ilk çatlak dayanımı, elastisite modülü, çekme dayanımı, aşınma dayanımı gibi mekanik özelliklerinin iyileştirmesini etkilemektedir [32].

Çelik liflerin en önemli özellikleri ise şunlardır.

- Eğilme mukavemeti ve tokluk: Çelik liflerin amaçlarından bir tanesi çatlak sonrası betonun enerji yutma kapasitesini artırmak ve eğilme mukavemetini belirli bir değere çekmektir.

-Çatlak kontrolü: Çelik lifler çatlakları bir köprü halinde aktararak çatlağın ilerlemesini önler.

-Şok darbe dayanımı: Çelik lifler homojen dağılımları sayesinde darbe dayanımını arttırır.

-Yüzey kabarmasının yok edilmesi: Çelik lifli betonda küçük lif çapı, kesintili donatı sistemi ve yüksek yüzey/hacim oranı ile klasik demir donatılarında paslanma sonucu oluşan kabarma olayı görülmez.

Çelik Lif Donatılı Betonların (ÇLDB) performans sınıflarını belirlemek için performansa dayalı tasarım parametrelerinden olan eşdeğer eğilme-çekme dayanımı Kullanılabilirlik Sınır Durumu'na (KSD) ve Taşıma Gücü Sınır Durumu'na (TSD) göre belirlenmelidir. Bu amaçla yalın ve çelik lifli tüm karışımlarda su/çimento oranı 0.55 alınmış ve sabit tutulmuştur. Beton üretimlerinde 80, 65 ve 55 olmak üzere üç farklı narinlikteki (L/d) uçları kancalı çelik lifler, her bir narinlikte üç farklı hacim oranlarında kullanılmıştır. Karışımlarda çimento (CEM I 42.5 R) miktarı 350 kg/m^3 olarak sabit tutulmuştur. Kimyasal katkı, belirli işlebilirlikte (çökme değeri=100-130 mm) karışımlar üretebilmek için çimento ağırlığının % 1.35-% 1.65 arasında değişen oranlarda kullanılmıştır. ÇLDB'ler üzerinde basınç, elastisite modülü, yarmada çekme ve kiriş eğilme deneyleri yapılmıştır. 150x150x750 mm boyutundaki çentiksiz kiriş numuneler üzerinde yapılan kiriş eğilme deneyleri sonucunda yük-sehim eğrileri elde edilmiştir. Yük-sehim eğrilerinin altında kalan alanlar esas alınarak Almanya Beton Birliği Yöntemi'ne (ABBY) göre eşdeğer eğilme dayanımları (KSD ve TSD) belirlenmiştir. Deneyler sonucunda, çelik lif hacim oranı artışının betonun basınç ve elastisite modülüne etkisi olmadığı görülmüştür. ÇLDB'nin yarma çekme ve eğilme dayanımının arttığı ve lif narinliği büyük olan betonlarda bu artışların daha fazla olduğu belirlenmiştir. Belirli bir çelik lif narinliği için çelik lif hacmi arttıkça, KSD ve TSD için eşdeğer eğilme çekme dayanımları belirgin bir biçimde artmıştır. Çelik lif donatılı betonların performans sınıflarının elde edilmesi yapısal tasarım ve uygulamalarda büyük yararlar sağlayacağı düşünülmektedir [33].

2.10.1. Çelik Lifli Betonlarda Basınç Dayanımı

Çelik lifli betonların basınç yükü etkisindeki davranışları incelendiğinde, liflerin betonun basınç dayanımında her zaman olumlu bir etkisinin olmadığı görülmektedir. Bazen betonun basınç dayanımını arttırırken bazen de dayanım kayıplarına sebebiyet

verdiği görülmüştür. Ayrıca liflerin uygulanan basınç yüküne göre yönelimi, lifli betonların basınç dayanımı üzerinde etkili olduğu ortaya çıkmıştır [32].

Çelik lifli betonlarla ilgili yapılmış farklı araştırmalar, liflerin betonun basınç dayanımında yaklaşık %25 'lik bir artış sağladığını, bazı araştırmalar ise liflerin basınç dayanımında bir etkisinin olmadığını ortaya koymuştur [34].

Liflerin basınç dayanımındaki etkisi, liflerin betondaki yönelimiyle ilişkilidir. Betona uygulanan yükleme düzlemine dik liflerin basınç dayanımı üzerinde herhangi bir etkisinin olmadığı kabul görmüştür. Betondaki yükleme düzlemine paralel olacak şekilde yerleştirilmiş liflerde ise bu etki basınç dayanımını attırmaya yöneliktir.

Çakıroğlu ve ark., Çelik lifler mekanik ve biçimsel özellikleri bakımından, görünüm oranı (lif uzunluğu/lif çapı), geometrik şekli ve lifin çekme dayanımı olarak tanımlanmaktadır. Lif şekilleri düz, çengelli, kıvrımlı, paletli, tek kenar veya çift kenar vb. şekillerde bulunmaktadır. Bu çalışmada değişik geometrik formdaki çelik liflerin beton küp numunelerin basınç dayanımına olan etkileri deneysel olarak incelenmiştir. Araştırmada lif içerikleri 20 kg/m^3 , 30 kg/m^3 , 40 kg/m^3 olarak ve TS 10513'e uygun olarak çelik lifler HE (Kancalı Uçlu), Tabix (Dalgalı Fiber), RC-65/60-BN (iki ucu çengelli) ve FE (düz ve kancalı uçlu lif) kullanılmıştır. Deney sonucunda yapılan karşılaştırmalar da betona ilave edilen liflerin geometrik formları ve lif miktarları göz önüne alınarak yapılmıştır. Yapılan karşılaştırmada; tahmin edildiği üzere yalın numunelerin basınç dayanımları çelik lif katkılı numunelere nazaran düşük olduğu gözlenmiştir [35].

Yaprak ve ark., Betonun mekanik özelliklerini iyileştirmek için çelik, polipropilen ve cam liflerin betona katılması giderek yaygınlaşmaktadır. Ancak liflerin geometrisi, narinliği ve boyları liflerin betona etkilerini farklı şekillerde etkilemektedir. Farklı türdeki liflerin belirli oranlarda birlikte kullanımı, daha olumlu ve çok yönlü bir iyileştirmeye olanak sağlayabilir. Bu çalışmada, uçucu kül ve çelik lif ile üretilen betona 0.5 , 0.75 , 1.0 , 1.25 kg/m^3 cam lif katılarak, betonun basınç ve çekme dayanımındaki değişimler araştırılmıştır. Cam liflerin, basınç ve çekme dayanımına olumlu yönde etkide bulunduğu saptanmıştır [36].

2.10.2. Çelik Lifli Betonlarda Eğilme Dayanımı

Çelik liflerin eğilme dayanımındaki etkisi çekme ve basınç dayanımındaki etkisinden daha fazladır. Çelik lifli betonların nihai eğilme dayanımı normal betonlara göre %50 - %100 arasında daha yüksektir. Bu yükselme, çelik liflerin yüksek çekme dayanımı ile ilişkilidir. Çimento hamuru matrisinin çatlamasının ardından çatlak sonlarından gerilme transferi ve dağılımı yaptığı için yük, ilk çatlaktan sonra bir miktar daha artar. Böylece maksimum eğilme yükü normal betonlara kıyasla daha fazla olur [32].

Eğilme dayanımını etkileyen faktörler, çelik lifli betonların diğer dayanımında da görüldüğü üzere lifin şekli, görünüm oranı, lif hacmi, deney numunesi boyutları ve liflerin betondaki dağılımlarıdır. Fakat dayanımda önemli olan beton ile lif arasındaki aderans gerilmesini arttırmaktır.

2.10.3. Çelik Lifli Betonlarda Çekme Dayanımı

Betonda çekme etkisi yaratacak kuvvetlerin meydana getireceği şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı betonun gösterebileceği direnç, betonun çekme dayanımı olarak tanımlanır [37].

Romualdi ve Mandel 1963 yılında betonun çekme dayanımını arttırmak amacı ile ilk çalışmaları başlatmışlardır. Betonun çekme bölgesinde birbirine paralel olarak yerleştirilmiş ince teller bulunan kirişler ile yaptıkları deneylerde, kirişin eğilme dayanımının arttığını ve kırılma yüküne kadar çatlakların fazla büyümediği sonucuna varmışlardır. Eğilme deneylerinde, maksimum eğilme yükündeki şekil değiştirmelerin lif miktarının ve boyutunun artması sonucunda önemli bir artış gösterdiği vurgulanmaktadır.

Betonun içine lif katılması, ilk çatlak oluşumunda, gerilme ve deformasyonlar üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Ancak bu etki maksimum yüklemeye alınan sonuçlara kıyasla daha azdır [14,15]

Çelik lifli betonların çekme dayanımları geleneksel betonlara kıyasla daha yüksektir. Çelik lifli betonların çekme dayanımları lifin şekline, görünüm oranına, lif miktarına,

liflerin betondaki dağılıma şekline ve lif aderansına bağlı olarak geleneksel betonlara oranla %25 - %100 arasında artış gösterdiği kaydedilmiştir [32].

Soroushian ve Lee araştırmalarında geleneksel betonun çekme dayanımının çok düşük olduğunu göz önünde bulundurarak, betonun çekme dayanımını arttırmada yararlanılabilecek yollardan birini, betonun içyapısında bulunan kusurların büyümesini ve çoğalmasını engellemek olarak belirtmişlerdir. Betona homojen bir şekilde çelik lif eklenmesinin, bu kusurların ve gerilmelerin sonucunda oluşacak çatlakların büyümesini ve yayılmasını önlemek için uygun olacağını belirtmişlerdir [15,38].

2.10.4. Enerji Yutma Kapasitesi (Tokluk)

Çelik lif donatılı betonların karakterize eden en önemli özelliklerden biri, onun tokluğudur, başka bir deyişle, enerji yutma kapasitesidir. Tokluk, beton içindeki çelik liflerin rolüne bağlıdır ve lifli betonların işlevselliği değerlendirilirken esas alınan bir parametredir. Bu özellik çelik lifli betonun lif miktarı, narinlik oranı, lif boyu, lif geometrisi ile yükleme hızı ve numune boyutları gibi faktörlerden etkilenir. Bu sözünü ettiğimiz, enerji yutma kapasitesinin ölçümü JSCE-SF4 Japon [39], ASTM 1018 USA [40], TS 10515 [41] standartlarında belirtilmiş ve yük-deformasyon eğrisi altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur. Betondaki lif içeriğinin artması, lif boyunun ve narinlik oranının büyümesi ile betonun tokluğu da artmaktadır [42].

Lifli beton, donatısız betondan farklı mekanik ve fiziksel özelliklere sahip bir kompozit malzemedir. Lifli betonun en önemli mekanik özelliklerinden birisi enerji yutabilme kapasitesidir. Tokluk olarak da adlandırılan bu özellik, yük-sehim eğrisinin altında kalan alan ile ifade edilir. Çatlak direnci, duktilite, darbe direnci gibi birçok malzeme özelliği enerji yutabilme kapasitesi ile ilişkilidir. ASTM C 1018 ve JSCE SF-4'e göre yapılan tokluk hesaplamaları bir eksenli eğilme deneylerine göredir. Oysa; köprü tabliyeleri, park sahaları, havaalanı kaplamaları vb. yapılarda sıkça uygulanan lifli beton, bu elemanlarda plak davranışına sahiptir. Bu çalışmada, tokluk ASTM C 1018 ve JSCE-SF4 'e göre kiriş testlerinden hesaplanarak, donatısız ve çelik lifli betonun enerji yutma kapasiteleri karşılaştırılmıştır. Tokluk hesabında kullanılan iki metodun birbirine göre değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca, iki eksenli

eğilme altında, donatısız ve çelik lifli beton plak numunelerin davranışları her bir numunenin deneylerinden elde edilen yük-sehim diyagramları aracılığıyla karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak Betona lif ilave edilmesi ile tokluğun önemli derecede geliştiği, bununla birlikte enerji yutma kapasitesindeki artış dikkat çekicidir. Bu bağlamda çelik lif donatılı elemanlarda çelik lif içeriği optimum düzeyde değiştirilerek istenen çözümler elde edilebilir. Böylece üretilen sünük davranış ile şok yüklemelere ve deprem sırasında oluşabilecek yüklere karşı kararlı bir davranış elde edilebilir [43].

2.10.5. Çelik Lifli Betonlarda Yorulma Dayanımı

Malzemeyi kırmak için yeterli olmayan elastik limitin altındaki gerilmelerin peş peşe tekrarlı bir şekilde uygulanması sonucunda malzemede meydana gelen ani ve gevrek kırılma olayı yorulma olarak adlandırılmaktadır. Yorulma dayanımı ise belirli sayıdaki yük tekrarı altında, malzemenin kırılmadan direnebileceği en büyük gerilme değeridir [37].

Betonda meydana gelen çatlaklar, betonun yük taşıma kapasitesini ve böylece yorulma dayanımını da düşürür. Çelik lifli betonlarda lif hacminin artması, yorulmaya karşı olan direnci arttırmaktadır [44]. Bu yüzden yorulma dayanımı artırılmak istenen geleneksel donatılı yapı elemanlarının çelik liflerle güçlendirilmesi uygun görülmektedir. Betondaki yorulma sınırı, 10 milyon yük tekrarına denk düşen gerilme değeri olarak tanımlanmaktadır. Lif tipi ve içeriğine göre, çelik lifli betonlarda 2 milyon yük tekrarında yorulma dayanımı, statik eğilme dayanımının %65 - %90'ı arasındadır. Normal betonlarda yorulma sınırı, genellikle statik eğilme gerilmelerinin %50 'si kadardır. Normal betonlarda betona 30 – 40 kg/m³ lif ilave edilmesiyle bu sınır %80 'a kadar ulaşır [38].

2.10.6. Çelik Lifli Betonlarda Rötne

Rötne genel olarak betondaki hacimsel büzülme şeklinde tanımlanır. Priz süresince ve sonrasında çeşitli nedenlerle meydana gelen çekme gerilmelerinin karşılanmaması ve bu sebeple oluşan çatlakların büyüyerek çoğalması rötrenin oluşum mekanizmasıdır. Rötne oluşumunun en önemli sebebi, makro ve mikro boşluklarda bulunan suyun, beton bünyesinden uzaklaşması olarak gösterilir. Ortamda bulunan

suyun uzaklaşmasıyla betonda hacimsel büzülme ortaya çıkar. Betonda oluşan bu hacimsel büzülme, termik, plastik (erken, bünyesel), hidrolik (kuruma) ve karbonatlaşma rötresi olarak dört grupta incelenebilir [37].

Genellikle katkısız betonun ve lifli betonun büzülmesini etkileyen faktörler benzerlik gösterir. Bunlar sıcaklık, bağıl nem, malzeme özellikleri, kür süresi ve numune boyutları şeklinde sıralanabilir. Betona çelik lif eklenmesiyle rötrenin lifsiz betonlara kıyasla daha kısa sürede tamamlanması sağlanır. Araştırmalarda kuruma büzülmesi sınırlandırıldığında liflerin etkisinin olmadığı veya katkısız betondan daha az büzülmeye neden olduğu görülmüş ve sadece kuruma büzülmesini sınırlamak için lif katılacaksa, kısa ve rasgele dağılmış liflerin, uzun liflere kıyasla daha yararlı olacağı sonucu ortaya konmuştur [45].

Betonda çelik lif kullanımı, meydana gelen çekme gerilmelerinin bir miktarının liflerce alınıp, matristeki gerilmelerin çatlaksız bölgelere aktarılmasını sağlar. Bunun yanında çelik lifler betonda oluşan çatlakların ilerlemesini sınırlar, yorulma, darbe, rötre veya ısısal gerilmeler benzeri etkenlere karşı betonun direncini artırır [46].

2.10.7. Çelik Lifli Betonlarda Dayanıklılık

Donma çözülme olayı fiziksel bir faktördür. Islanarak doymun hale gelen ve donma çözülme devirleri etkisi altında kalan tüm betonlar kısa sürede hasar görmektedir. Donma çözülme tekrarları karşısında, betondaki iç gerilmelerden dolayı, beton yüzeyindeki agregalar gevşeyip kopmakta, betonun içerisinde çatlaklar oluşmakta ve bu çatlaklar zamanla daha büyük çatlaklara dönüşmektedir. Şiddetli ortamda çok sayıda donma çözülme olayı, en iyi betonlarda bile kısa sürede büyük hasar meydana getirebilmektedir [37].

Çelik liflerin betonların donma-çözülme direncine etkisi önemli düzeyde değildir. Buna karşılık çelik lifler mikro çatlak oluşumunu ve yayılmasını geciktirir. Buna bağlı olarak donma-çözülme esnasında betonun göçme ve hasar görmesini yavaşlatır. Göçme modundaki bu iyileşme çelik lifin çatlak köprülenme etkisine ve çatlak tutma becerisine bağlı olmaktadır. Dolayısıyla çelik lif donatılı betonların donma-çözülme etkisinde kütle kaybı normal betonlardakine benzer olmaktadır. Çelik lifler genel olarak betonların aşınma, erozyon ve kavitasyon dirençlerini ise artırmaktadır [42].

2.10.8. Çelik Tel Donatılı Betonun İşlenebilirliği

Taze betonun homojenliğini kaybetmeden karıştırılabilmesi, taşınması, yerleştirilmesi, sıkıştırılması ve perdahlanması özelliklerine "işlenebilirlik" denir. Taze betonda işlenebilirliğin döküm boyunca korunması gerekir. İşlenebilir bir beton da vibratör kullanılarak boşluksuz yerleştirilebilir. İşlenebilirliğin ölçüsü kıvamdır. Kıvam ise, betonun akıcılık derecesi olarak tanımlanır. Kıvam; betonun kullanım yerine, işlenilmesine ve şantiyede döküm yerine iletim şekline (pompa, kova...) bağlı olarak özenle seçilmesi gereken bir özelliktir. İşlenebilmeyi ve kıvamı ölçme yöntemleri ise; çökme (slump) deneyi, VeBe deneyi, akıcılık deneyi ve sıkıştırma faktörü deneyidir.

Betona çelik tellerin ilavesi, çökmeyi önemli ölçüde etkiler. Burada en önemli unsur karışımdaki lif hacmi ve lif görünüm oranı diye tanımlanan lif uzunluk/çap oranıdır. Bu oran artıkça işlenebilirlik azalır. Betonun işlenebilirliğini arttırmak için su ilave edilmesi, mukavemetini büyük ölçüde azaltır. Bu nedenle slump testi ve betonun dıştan görünüşü işlenebilirlik konusunda yanıltıcı olabilir. Gerekli görüldüğünde su değil, su azaltıcı ve işlenebilirliği arttıran katkı kullanılmalıdır. Ayrıca betonun en büyük dane boyutu, dane dağılımı, lif tipi ve hava içeriği de işlenebilirliği etkiler. İşlenebilmedeki kayıp, uzun ve yassı agrega içeren beton karışımlarında daha fazla olur. Normal veya süper akışkanlaştırıcı katkı ise işlenebilirliği istenilen düzeyde tutmak için kullanılır. Çelik liflerin betona katılması, karıştırma teknikleri ve lifli betonun karışım tasarımları da önemli etkenlerdir [47].

2.10.9. Çelik Tel Donatılı Betonun Pompalanması

400 kg/m³'lük minimum ince tanecik içerikli (<0,125mm) beton pompalamaya uygundur. Ayrıca, aşağıdaki durumlar da tavsiye edilir:

- Küp ve kırma agregalardan ziyade yuvarlatılmış kullanılmalıdır. (düz yüzeyleli durum daha az sürtünme demektir.)
- Sadece pompa borusunun sonunda esnek borular kullanılmalıdır.
- Pompalama esnasında mümkün olduğunca herhangi bir durdurmadan kaçınılmalıdır. Çünkü bu durum, pompanın tıkanmasına neden olur.

Çelik telli betonun pompalanması için özel bir pompa gerekli olmayıp yalın betonun pompalanmasına benzerdir. Uzunlukları 50-60 mm olan çelik telleri içeren betonların pompalanmasında pratik olarak 25 kg/m³'lük lif içeriğine kadar sorunla karşılaşmaz. Bazı durumlarda çelik telli betonlar 45-50 kg/m³'lük dozajlara kadar pompalanabilirler. Pompadaki tıkanma riskini azaltmak için hazır beton firması ile yüklenici firma arasında iyi bir iletişim olmalıdır [48].

2.10.10. Çelik Telli Betonun Yerleştirilmesi ve Yüzeyinin Düzeltilmesi

Şantiyede lifli betonun dökümü doğrudan transmikserle veya pompayla uygulanabilir. Lifli beton geleneksel döşemeler gibi aynı teknikler kullanılarak yerleştirilebilir. Çökmenin (slump) yaklaşık olarak 12 cm alınması uygun olabilir. Çelik tel donatılı beton kıvamı akıcı olmamalıdır. Sulu karışımlarda çelik teller yüzeyde kalabilir. Görünüş olarak, yüzeyde bulunması istenmeyen bazı çelik tellere rastlanabilir. Yüzeyde açıkta kalan çelik tel uçlarının tel kesicileriyle kesilmesi ve böylece oluşan yüzey kusurlarının uygun bir tamir malzemesiyle tamir edilmesi de önerilir [48].

Çelik tel donatılı taze betonun sıkıştırılması yüzeye uygulanan vibrasyon kirişi kullanılarak yapılmalıdır. Böyle bir sıkıştırma, çelik tellerin betonun içine gömülmesi için gereklidir. Dalıcı vibratörler yeterli üniformaluluk sağlamazlar ve yüzeydeki tellerin azaltılmasına katkıda bulunmazlar. En son mastarlama ise mekanik perdah makinesi (helikopter) ile yapılmalıdır. İyi bir yüzeyin elde edilmesi için en son perdah işleminin uygulanma süresi büyük önem taşır [48].

Perdah makineleriyle yüzey sertleştirici disklenerek yüzeye entegre edilir ve aynı anda perdahlama işlemi yapılır. Yüzeyin çok parlak istenmemesine dikkat edilmelidir. Çünkü çok parlak bir yüzey elde edebilmek için perdahlama işleminin haddinden fazla yapılması gerekli olup, bu şekilde yüzeyin yanmasına sebebiyet verilmektedir.

Yüzeyde çelik tellerin görünmemesi için helikopterle yapılabilecek en son düzeltme süresi de önemlidir. Bu bağlamda çelik tel için 20-25 kg/m³ değerlerini aşan dozajlarda yüzeyde kalanların sayısını azaltma yönünde gerekli önlemler alınmalıdır [48].

Yıldırım ve Ekinci, içinde çelik, polipropilen ve cam lifleri kullanılan betonlar üzerinde basınç deneyleri uygulamıştır. Deneylerde uzunluk/çap oranı (l/d) 80 (60mm/0,75mm) olan çelik lifler ile mikro yapılı polipropilen ve cam lifler kullanılmıştır. Hacimsel olarak, %0.5, 0.75 ve 1 çelik lif, %0.1 polipropilen lif ve %0.1 cam lifi içeriğine sahip betonlar ayrı ayrı dökülmüştür. Daha sonra aynı oranlarda çelik lif + polipropilen lif ve çelik + cam lifi karışımları yapılarak, kontrol numunesiyle birlikte toplam 12 farklı küp ve silindir numune elde edilmiştir. 150x150x150 mm'lik küp numuneler 3, 7, 28 ve 90 günlük basınç testlerine tabi tutulmuşlardır. 28 günlük silindir numuneler üzerinde yapılan basınç deneyleri esnasında, yatay ve düşey boy değişimini ölçebilen gereçler yardımı ile numunelerin elastisite modülleri ve poisson oranını artırıcı etkisinin olduğu, basınç dayanımı ve elastisite modülünü artırıcı yönde katkısının olmadığı, hatta olumsuz etkilediği görülmüştür [49].

2.11. Silis Dumanı

Silis dumanı; silisyum metali veya ferro silisyum alaşımlarının üretimi sırasında kullanılan elektrik ark fırınlarında yüksek saflıktaki kuvarsitin kömür ve odun parçacıkları ile indirgenmesi sonucu elde edilen çok ince taneli tozdur. Fırınların düşük sıcaklıktaki üst bölümlerinde SiO gazı hava ile temas ederek hızla okside olur ve amorf SiO_2 olarak yoğunlaşarak silis dumanı bileşiminin hemen hemen tamamını oluşturur. Bu malzeme mikrosilis, silis tozu veya silica fume gibi isimlerle de anılmaktadır. Silis dumanı amorf yapıya sahip olduğundan ve yüksek miktarda SiO_2 içerdiğinden mükemmel bir puzolanik malzemedir. (50)

Silis dumanı kullanılarak üretilen betonların fazla miktarda karışım suyuna ihtiyacı vardır. Bunu karşılayabilmek için su azaltıcı katkılarla birlikte kullanılmaları gerekmektedir. Çok ince taneli olduğundan ve terlemeyi azalttığından beton yüzeyinin düzeltilmesi işlemi güçleşmektedir. Çoğu zaman plastik büzülme çatlaklarına neden olan silis dumanı genellikle betonun koyu renk kazanmasına sebep olur [51].

Silika dumanı (silika fume) ferrokrom tesislerinin bacalarında tutulan ultra incelikteki silis tozlarıdır. Yaygın olarak çimento ve beton sektöründe

kullanılmaktadırlar. Özellikle beton üretiminde silis dumanı gibi ultra incelikteki tanelerin kullanımı, yoğunluğun artırılması dolayısıyla boşlukların azaltılması taze betonun stabilitesinin geliştirilmesi için önemlidir.

Böylece kararlılık iyileştirilir, dayanım yükseltilir ve istenen performans sağlanır. Silis dumanı veya diğer bir deyişle mikrosilika, aktif silika veya silika fume silis ve ferrosilis endüstrilerinin bir yan ürünüdür; 1950'lerden beri betonun özelliklerini iyileştirmek için kullanılmaktadır. Bu tanelerin etkili olabilmesi için, beton içinde iyi bir dağılma gereklidir.

Silis dumanı yüksek performanslı beton ve harçların önemli bir bileşeni olup işlenebilmeyi artırır, kalsiyum hidroksitle reaksiyona girerek çimento hamuru ile agrega taneleri arasındaki bağlanmayı artırır, sonuçta da betonun dayanımı ve kararlılığı artar. Ancak, silika dumanının betonda kullanılmasındaki problem fiyattır; fiyatı, çimento fiyatının yaklaşık beş katıdır ve her yerde bulunması güçtür.

Betondaki çelik donatıların korozyonunu azaltıcı önlemlerin basında, geçirimsiz beton üretilmesi yer almaktadır. Bu amaçla beton içerisine ince taneli mineral katkıları ilave edilmektedir. Bu sebepten dolayı betonda kullanılan mineral esaslı katkıların arasında silis dumanı en basta gösterilebilir.

Elektrometalurji fabrikalarının attığı olan silis dumanının betona katılmasıyla yüksek dayanımlı betonlar elde edilebilmektedir. Bu çalışmada CEM II/A-M 32.5 çimentosu, silis dumanı ve süper akışkanlaştırıcı kullanılarak üretilen betonların dayanımda meydana getirdiği artış ve mekanik çatlak oluşumları mikroyapısal olarak incelenmiştir. Elektron Mikroskobu kullanılarak mikroyapı fotoğrafları çekilmiş, kimyasal analizleri yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda; silis dumanının betonda mikro düzeyde doluluk sağladığı, CH bağlayarak CSH'ları oluşturması nedeni ile iri agregaların etrafında düzenli bir harç yapısının oluşması, ara yüzeylerde aderansın sağlanması gibi mikroyapıda olumlu etkileri görülmüştür [52].

Silis dumanı genellikle camsı, düzgün yüzeyli küresel taneciklerden oluşur. Çok ince taneli ve hafif olduğundan özgül yüzey bazında inceliği Blaine metoduyla tayin edilememektedir. Çok ince taneli cisimlerde özgül yüzey Azot Adsorpsiyon metodu

ile tayin edilir. Silis dumanı tane boyu 1 μ 'dan küçük olup ortalama 0,1 μ civarındadır. Silis dumanının inceliği çimentodan ortalama 100 kat daha incedir [53].

Silis dumanı, agrega ve çimento hamuru ara yüzeyini geliştirir ve erken puzolanik reaksiyonlar sayesinde betonun dayanımına ve geçirimsizliğine katkıda bulunur. Silis dumanı genelde betonun su gereksinimini arttırır [51]. Yüksek dayanımlı beton üretiminde silis dumanı yaygın olarak kullanılır [37,51,54]. Süper akışkanlaştırıcı katkılarla silis dumanının birlikte kullanımı betonda su/çimento oranını azaltırken kaliteli bir içyapı elde edilmesini de sağlar [55].

2.11.1. Silis Dumanının Betonda Kullanımı

Normal Portland çimentosundan yaklaşık 100 kat daha ince olan Silis dumanı, bu sayede çimento tanelerinin arasında kalan boşlukları doldurur ve ince boşluklardaki suyun serbest suya dönüşmesini sağlar. Buna karşılık Normal Portland çimentosuyla kıyaslandığında çökme değerlerinde yaklaşık %70 oranında bir azalma durumu meydana gelir. Bu olumsuzluğu bertaraf etmek için günümüzde süper ya da hiper akışkanlaştırıcılar kullanılmaktadır [56].

2.11.2. Silis Dumanının Betonun Basınç Dayanımına Etkisi

Silis dumanının süper akışkanlaştırıcılarla birlikte kullanımı ile beton dayanımlarında yüksek değerlere ulaşılabileceği kanıtlanmıştır. Bu durum azalan boşluk oranı ve silis dumanının geçiş zonundaki aktivitesi ile açıklanabilir. Silis dumanı betonda kullanıldığında, çimentonun hidrasyonu esnasında ortaya çıkan serbest kireci bağlayarak kalsiyum silikat hidrateyi (CSH) oluşturur. Serbest kirecin bağlanması neticesinde çimento hamuru daha yoğun mikro boşluk yapısına sahip olur, ayrıca ince silis dumanı taneleri agrega-çimento hamuru ara yüzeyini sıkılayıp güçlendirerek daha yüksek dayanımlara ulaşabilen betonlar elde edilmesini sağlar [56,57,58].

Silis dumanı betonun erken yasta yüksek dayanımlara ulaşmasını sağlamakla birlikte, bu durum betonun bulunduğu ortamın sıcaklığıyla da ilişkilidir. Silis dumanı kullanılarak üretilen betonun 7 günlük dayanımında, eğer kür yapıldığı ortam 10°C

mertebesinde ise belirgin bir artış olmamaktadır. Ancak kür ortamının sıcaklığı 20°C mertebesinde ise, betonun dayanımı önemli ölçüde artmaktadır [59].

Silis dumanının betonun erken dayanımını arttırması, özellikle prekast ve öngerilmeli beton yapımında büyük fayda sağlamaktadır [56]. Silis dumanının kullanımı toplam bağlayıcı miktarının azalmasına da imkân verebilmektedir. Uzun vadede ise silis dumanı betonun dayanımını önemli ölçüde arttırır ve 120 MPa değerlerinde dayanımlara ulaşılmasına olanak verir [58].

2.11.3. Silis Dumanının Betonun Geçirimsizlik Özelliklerine Etkisi

Silis dumanının betonda geçirimsizliği azaltması ve zararlı kimyasalların penetrasyonunu yavaşlatması sebebiyle durabilitenin ön plana çıktığı durumlarda tercih edilmektedir. Betonda geçirimsizlik, silis dumanı kullanıldığında da bileşenlerin özelliklerine, yerleştirme koşulları ve bakım gibi koşullarla ilişkilidir. Silis dumanı çimento hamurlardaki gözenekleri doldurmak sureti ile azaltarak geçirimsizliği azaltmaktadır. Silis dumanının geçirimsizlik yönünden etkinlik faktörü, basınç dayanımı için elde edilen etkinlik faktöründen daha fazladır ve bu olumlu etki düşük dozlu betonlarda daha fazla gözlemlenmektedir [56].

Silis dumanı katkılı betonda kür koşulları da geçirimsizlik için önemli bir etkidir. Aynı bileşime sahip, aynı oranda silis dumanı içeren iki ayrı betondan kür uygulanmış olanında çok daha düşük seviyelerde kılcal su emme ve klor geçirimsizliği görülmektedir. Bu durum özellikle silis dumanı oranı arttıkça kendini daha da göstermektedir. Bu nedenle silis dumanı oranı arttırıldıkça, kür koşullarına daha çok özen gösterilmelidir.

Şimşek ve ark., çelik lifli betonlarda % 0, 2.5, 5 ve 10 oranlarında silis dumanı (SD), çimento ile yer değiştirilerek kullanılmıştır. Numuneler, C 25 sınıfında, su/çimento (w/c) oranı, 0.50 olacak şekilde seçilmiş ve masa tipi vibratörle sıkıştırılarak üretilmişlerdir. 100x100x500 mm boyutlarında üretilen prizma numuneler üzerinde, orta noktasından yüklemeli eğilme deneyi yapılmıştır. Sonuç olarak, çelik lifli betonlara % 10 SD katılması, lifli betona göre eğilme dayanımında, 28 günde % 23.5, 90 günde % 30.8 ve 120 günde de % 18.3'lük bir artış sağlamıştır. SD katkılı

lifsiz betonların, eğilme dayanımlarında en yüksek değere % 2.5 SD oranında ulaşılmış, % 5 ve 10 oranlarında ise azalma görülmüştür [60].

Köksal ve ark., silis dumanı ve çelik telin betona katılmasıyla elde edilen numunelerin bazı mekanik özellikleri üzerindeki değişiklikler araştırılmıştır. Antalya ferrokrom tesislerinden elde edilen silis dumanı ve narinlikleri (tel boyu/tel çapı) 65 ve 80 olan iki tip çelik tel çalışmada kullanılmıştır. Net su/çimento oranı 0,38 ve referans çökmesi 12 (10~14) cm olan betonlar üretilmiştir. Silis dumanının betona katılma oranları %0, %5, %10 ve %15, çelik tellerin katılma oranları ise %0.5 ve %1'dir. Taze betonlar üzerinde işlenebilirlik, hava içeriği ve birim ağırlık deneyleri yapılmıştır. Sertleşmiş beton numuneleri üzerinde ise basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve eğilme dayanımı deneyleri yapılmıştır. Ayrıca, kapalı çevrim sehim kontrollü yükleme çerçevesinde ASTM C 1018 standartlarına uygun olarak yapılan eğilme deneyi ile numunelerin yük-sehim eğrileri elde edilmiş ve toklukları belirlenmiştir. Silis dumanı ve çelik telin birlikte kullanılması betonların yarma ve eğilme dayanımlarını belirgin bir ölçüde artırmıştır [61].

Erdoğdu ve ark., yaptıkları çalışmada silis dumanı ikamesinin katkılı çimento ile üretilen betonun basınç dayanımına etkisi portland çimentosu ile üretilen betonun basınç dayanımı ile karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla portland çimentosu (PÇ 42.5) ve katkılı çimento (KÇ 32.5) olmak üzere iki tip çimento kullanılmıştır. Çalışmada 0.60 su/bağlayıcı oranında toplam bağlayıcı 300, 350 ve 400 kg/m³ olacak şekilde çimento miktarının %9 ve %18 oranında silis dumanı ilave edilerek beton üretilmiştir. Karşılaştırma amacı ile her bir çimentodan silis dumanı içermeyen üretimler de gerçekleştirilmiştir. Basınç dayanımları 7 ve 28 gün sonunda elde edilmiştir. Çalışmadan ele edilen bulgulara göre silis dumanının katkılı çimento ile ikamesi ile üretilen betonlarda gerek 7 gün gerekse 28 gün sonunda basınç dayanımı üzerinde göz ardı edilemez olumlu katkısı gözlenmiştir. Bu katkı %9 oranında silis dumanı ikamesi ile 7 gün sonunda %50 mertebesine ulaşırken %18 oranında silis dumanı ikamesi ile 28 gün sonunda %60 mertebesinde olmaktadır [62].

Ekinci ve Yeğinobalı, çalışmalarında silis dumanı katkılı betonların çarpma dayanımı belirli bir ağırlığın belirli bir yükseklikten düşürülmesi sonucu, beton numune özelliklerinde meydana gelen değişikliklerin izlenmesi yöntemini araştırmışlardır.

Ferro silisyum ve silikoferrokrom baca tozlarının ağırlıkça çimentonun %0,10,15,20,25 ve 30'u yerine katıldığı beton karışımlarından hazırlanan 10 cm boyutlarındaki kübik numunelerin deneyden önce ve sonraki ağırlıkları ile ultrasonik puls geçiş hız değerleri ölçülmüş, basınç dayanımı değişimlerinin de belirlenmesine çalışılmıştır. Sonuçlara göre, silis dumanı katkıları betonun çarpma dayanımını olumlu olarak etkilemektedir. Ancak, katkı oranının %20'nin üstüne çıkarılması durumunda olumlu etki, statik yük dayanımı üzerindeki etkiden farklı olarak, biraz azalabilmektedir [63].

Aköz ve ark., yaptıkları çalışmada sodyum klorür ve magnezyum klorür çözeltilerinin normal ve %10 silis dumanı katkılı harçların mekanik ve fiziksel özelliklerine etkileri deneysel olarak araştırılmıştır. 28. günde sudan çıkarılan 40x40x160 mm boyutlu numuneler, Cl⁻ konsantrasyonu 40000 mg/L olan sodyum klorür ve magnezyum klorür çözeltilerinde ve suda bekletilmişlerdir. 28. gün başlangıç (0. gün) kabul edilerek 28., 90., 180. ve 300. günlerde eğilme, basınç, birim ağırlık, hacimce su emme ve kılcal su emme deneyleri yapılmıştır. Ayrıca harçlardaki serbest Cl⁻ miktarı kimyasal deneylerle belirlenmiştir. Deney sonuçlarına göre, silis dumanı sodyum klorür ve magnezyum klorürün etkilerine karşı harcın performansını artırmıştır. Magnezyum klorür sodyum klorürden daha olumsuz etki yapmıştır [64].

2.12. Deniz Suyunun Betona Etkisi

Sever (1993), çalışmasında, çevre etkileri, deniz suyu tesirleri, deniz suyu içindeki klorür iyonlarının betonarme yapılar için oldukça önemli olduğunu ve bu iyonların betonun pH değerini azaltarak çimentonun pasifleştirme etkisini ortadan kaldırıp donatının korozyona uğrama riskini artırdığını tespit etmiştir. Deniz suyunun betona nüfuz edip buharlaşması işlemleri sonucunda beton içindeki boşluklarda tuz birikimi oluşur. Bu durum donatı ile pil etkisi oluşturarak elektrolitik korozyona neden olur. Paslanma arttıkça donatı çevresindeki beton paspayı çatlamaya başlar ve zamanla dökülmeler görülür. Deniz suyu aynı zamanda betonun kendisine de etki eder. Deniz suyundaki magnezyum iyonları çimentoda mevcut olan kalsiyum iyonları ile yer değiştirerek genleşmeye, yumuşamaya ve dayanım kaybına neden olur. Sülfat iyonlarının da benzer etkileri vardır, ancak deniz suyunda yüksek konsantrasyondaki

klorür varlığı sülfatların neden olduğu alçı gibi bileşimleri eritip dışarı atılmasını sağlayabilir. Deniz suyunda bulunan H_2S (Kükürtlü hidrojen) çimento hamuruna etki ederek erimesine, kopmasına, yapısının yumuşamasına neden olur. Deniz suyunda erimiş halde bulunan O_2 donatının korozyonuna yardımcı olur. Deniz suyunda oksijen miktarı derinlikle birlikte azaldığından örneğin çelik bir kazığın korozyonunun da derinlikle birlikte azaldığını saptamıştır [65].

Akman (1994), inceliği yüksek olan puzolanların kimyasallara karşı koruyuculuklarının da fazla olduğu, puzolanların nitratlar karşısındaki bozulmaları, sülfat bozulmalarından fazla olduğunu ifade etmiştir [66].

Yazıcı ve ark., çalışmalarında iki farklı tipte çimento (PÇ 42.5, CÇ 42.5) ile üç değişik su/çimento oranı (0.43, 0.53, 0.63) ve üç farklı çimento dozajı (250 kg/m^3 , 350 kg/m^3 , 450 kg/m^3) kullanılarak beton örnekleri hazırlanmış ve örnekler deniz suyuna tekrarlı ıslanma-kuruma şeklinde maruz bırakılmıştır. Basınç dayanımları ve yarmada çekme dayanımları belirlenen örnekler, su/çimento oranlarına ve içerdikleri çimento miktarlarına göre deniz suyuna maruz kalmamış kontrol örnekleri ile kıyaslanmıştır. Sonuç olarak çimento miktarlarının azalması agrega tanelerini sarmada yetersiz kaldığı için dayanımda azalmalar olmuştur ve su/çimento oranının artması dayanımı azaltmıştır. Cürüflü çimento işlenebilirliği artırmış ve portland çimentolu numunelere göre yarmada çekme ve basınç dayanımları yüksek çıkmıştır [67].

Kadiroğlu (2000), Deniz suyunun beton karma suyu olarak “kullanılabilirliği” yine karşılaştırmalı deneylerle yapılarak araştırılmıştır. Çalışmada Ege Denizi’nin suyu kullanılmış, İzmir Körfezinin Konak ve Üçkuyular bölgesinden ve ayrıca Çeşme sahilinden bir örnek olmak üzere toplam üç ayrı örnek alınmıştır. Beton karışım suyu olarak kullanılabilirliği kesin olan şehir şebeke suyundan hazırlanan beton, şahit beton kabul edilerek, deniz sularındanda aynı şartlarda beton üretilmiştir. Taze betonlar üzerine kıvam ve priz süreleri tayini deneyleri uygulanmış; $15 \times 15 \times 15 \text{ cm}$. küp kalıplarda numuneler alınıp aynı şartlarda küre tabi tutularak 7, 28 ve 90 günlük basınç dayanımları tespit edilmiştir. Sonuç olarak deniz suyunun şehir şebeke suyuna göre, betonda priz sürelerini hızlandırdığı ve kıvamı düşürdüğü tespit edilmiştir.

Şehir şebeke suyu ile yapılan şahit beton kıvamını yakalayabilmek için daha fazla miktarda deniz suyu kullanımının gerekliliği ortaya çıkmıştır. Sertleşmiş betonda ise deniz suyuyla yapılan betonların, 28 günlük basınç dayanımları, şehir şebeke suları ile yapılan betona göre %5 ile %9 arasında düşük çıkmıştır. Ancak 90 günlük basınç dayanımlarına bakıldığında deniz suyu ile yapılan betonların şahit betonu yakaladığı görülmektedir. Sonuç olarak basınç dayanımları göz önüne alındığında deniz suyunun beton karma suyu olarak kullanılabilmesi kanaatine varılmıştır [68].

Yeğinoğlu (2001), Betonu yıpratıcı önemli hususların, sülfat eriyikleri ile bazı çimento hamuru bileşenleri arasındaki karmaşık reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan hacim genleşmeleri ve çatlaklar olduğu sayılmıştır. Bu zararlı etkileri önlemek için uygun puzolanik katkıların kullanılmasının önerildiği ifade edilmiş, kısmen çimento yerine puzolan katıldığında dolaylı olarak ortamdaki trikalsiyum alüminat miktarının azalacağı ve kireç ile birleşerek gözenekleri dolduran yeni bağlayıcı bileşenlerin oluşacağı belirtilmiştir [69].

Uyan ve Akaya (2003), Beton üretiminde deniz suyunun karma suyu olarak kullanılabilirliği araştırılmıştır. Yapılan deneylerle deniz suyunun çimento priz süreleri, taze beton işlenebilirliği ve sertleşmiş beton mukavemetleri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Bu amaçla Boğaz, Marmara denizi suları ve kontrol amacıyla İstanbul şehir suyu kullanılarak 300 ve 350 kg/m³ çimento dozajlı, 5 ve 15 cm çökmeli betonlar üretilmiştir. Sonuçta deniz sularının çimento priz başlangıcını geciktirdiği ancak priz sonunu geciktirmediği, işlenebilirlik üzerinde önemli bir etkisinin olmadığı ve erken yaşta mukavemet artışına sebep olduğu görülmüştür. Ayrıca, deniz sularının erken yaşta betona kazandırdığı mukavemetin tuzluluğuyla doğru orantılı olduğu tespit edilmiştir [70].

Erdoğan (2003), yaptığı çalışmada, sülfat etkisini azaltan önlemlerin tümünün, deniz suyunun etkisini azaltmak için de geçerli olduğunu ve deniz suyunun beton yapılarına esas zararının bu tür sulara bulunan klorlardan kaynaklandığını saptamıştır. Deniz suyundaki klorun, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu hızlandırmakta ve betonun parçalanmasına yol açabileceğini ifade etmiştir [37].

2.12.1. Deniz Suyunun Durabiliteye Etkisi

Deniz suyunun içerisinde klorür iyonunun bulunması, sülfat reaksiyonları sonucunda ortaya çıkan ürünlerin daha az genleşme yaratmasına neden olmaktadır. Klorür, sülfat etkisi sonunda betonun içerisinde oluşan alçıtaşının ve etrenjitin bir miktarının çözünerek, betonun yüzeyine çıkmasına yol açmaktadır. Böylece alçıtaşının ve etrenjitin, sertleşmiş betonun içerisinde genleşme yaratıcı etkileri kısmen azalmaktadır. Deniz suyunun gel-git hareketleriyle yükselip alçalması sonucunda beton yüzeyinin bir bölümü, ıslanma-kuruma devirlerinin etkisinde kalmaktadır. Bu tür ıslanma-kuruma durumu ile karşı karşıya kalan beton devamlı olarak su içerisinde bulunan betona göre daha çok hasar görmektedir [51].

Sülfat etkisini azaltan önlemlerin tamamı, deniz suyunun etkisini azaltmak için de geçerlidir. Deniz suyunun etkisine maruz kalacak betonların üretiminde kullanılan su/çimento oranı 0,45'i geçmemelidir. Deniz suyunun beton yapılara verdiği hasar, bu tür sularda bulunan klordan kaynaklanmaktadır. Deniz suyundaki klor, betonun içerisindeki demir donatıların korozyonunu hızlandırmakta betonun parçalanmasına yol açmaktadır [67].

2.12.2. Deniz Suyu İçindeki Yapılarda Meydana Gelen Korozyon

Deniz suyu içinde hemen hemen bütün elementler değişik oranlarda bulunur. Bunların çoğunun korozyon üzerinde hiçbir etkisi yoktur. Açık denizlerde toplam çözünmüş tuz konsantrasyonu 32–36 g tuz/kg deniz suyu arasında değişir. Kapalı denizlerde ve tropikal bölgelerde tuzluluk biraz daha yüksektir. Örneğin Ege Denizi'nin tuzluluğu 39 g/kg'dır. Buna karşılık Karadeniz ve Baltık Denizi gibi bol nehir suyu ile beslenen denizlerde tuzluluk çok azdır. Deniz suyu içinde bulunan tuzların yaklaşık % 70'ini sodyum klorür oluşturur. İyon olarak da en çok klorür iyonu bulunur. Deniz suyu içinde bulunan iyonların kütleli olarak yaklaşık yarısı klorür iyonudur. Deniz suyu etkisindeki liman betonunun görünümü Şekil 2.9. ve 2.10'da belirtilmektedir.



Şekil 2.9. Deniz suyu etkisindeki liman betonunun görünümü



Şekil 2.10. Deniz suyu etkisindeki liman betonunun görünümü

2.12.3. Deniz Tuzları ve İçeriği

Bitmez ve tükenmez tuz kaynağı olan denizler dünyamızın en büyük tuz rezervlerini oluşturmaktadırlar. Denizlerdeki tuzluluk derecesi; denizlerin tatlı su alıp almadıklarına, coğrafik durumlarına ve iklim koşullarına göre değişiklik gösterir. Örneğin Baltık Denizi'nde 1 m³ suda 17 kg. iken, Kızıldeniz'de, 45 kg'a kadar çıkmaktadır. Çeşitli denizlerde 1m³ deniz suyunda erimiş tuz miktarı Tablo 2.4.'de belirtilmektedir.

Tablo 2.4. Çeşitli denizlerde 1m³ deniz suyunda erimiş tuz miktarı

Baltık Denizi	17 Kg / m ³
Hazar Denizi	6 Kg / m ³
Kuzey Denizi	30 – 35 Kg / m ³
Pasifik Okyanusu	32 – 35 Kg / m ³
Atlantik Okyanusu	32 – 36 Kg / m ³
Akdeniz	38 – 40 Kg / m ³
Kızıldeniz	43 – 45 Kg / m ³
Ölüdeniz	270 Kg / m ³

Deniz suyunda erimiş olarak bulunan maddeler çok çeşitlidir. Örneğin Akdeniz’de bir metreküp deniz suyu içinde aşağıda gösterilen maddeler vardır. Deniz suyu içeriğinde bulunan tuzların bileşik ağırlıkları Tablo 2.5.’de belirtilmektedir.

Tablo 2.5. Deniz suyu içeriğinde bulunan tuzların bileşik ağırlıkları (kg)

Sodyum Klorür	31.4
Magnezyum Klorür	3.3
Magnezyum Sülfat	2.7
Kalsiyum Hidroksit	1.4
Sodyum Bromür	0.6
Kalsiyum Karbonat	0.6

Ülkemizde İki adet deniz tuzlası bulunmaktadır. İzmir’de bulunan Çamaltı Tuzlası ve Balıkesir’de bulunan Ayvalık Tuzlasıdır. Çamaltı Tuzlasının kuruluşu Cumhuriyet öncesine dayanmakla birlikte Ayvalık Tuzlası ise 1980’li yıllarda kurulmuştur. Çamaltı Tuzlası Büyüklük açısından dünyanın ikinci büyük tuzlasıdır. 65.000.000 km² alanda kuruludur [71].

İletkenliği oldukça yüksek olan deniz suyu, temas ettiği metal yapılar için şiddetli korozif bir ortam oluşturur. İletkenliğin yüksek oluşu korozyon hücrelerinin oluşumunu kolaylaştırır. Diğer taraftan deniz suyu içinde bulunan klorür iyonları pasifleşmeyi önleyerek korozyon hızını artırıcı etki yapar. Deniz suyu içinde korozyona etki yapan diğer faktörler; sıcaklık, pH, çözülmüş oksijen konsantrasyonu ve hareket hızıdır. Deniz içi yapısının sabit oluşu (çelik kazıklar ve deniz boruları),

yüzer oluşu (dubalar), hareketli oluşu (gemiler) veya taşıyıcı oluşu (tanklar) gibi metal yapının karakteristik özellikleri de korozyon hızı üzerinde farklı etkilere yol açar [72].

Beton karışımına giren doğal kum, çakıl ve su gibi bileşenler normal halde çok küçük konsantrasyonlarda klorür içerirler. Bu kadar az klorür betonarme demirlerinin korozyonuna neden olmaz. Klorür iyonunun zararlı etkisi ancak beton içinde % 0,2'den fazla ($4,5 \text{ kg Cl}^- / \text{m}^3$) klorür bulunması halinde söz konusu olabilir. Korozyon için zararlı sayılan bu klorür konsantrasyonu sınır değeri tartışmalıdır. Literatürde farklı sınır değerleri verilmektedir. Bunun nedeni betonarme demirlerinin korozyonunun klorür konsantrasyonundan başka, betonun mukavemetine, geçirimsizliğine, boşluk yüzdesine, rutubetine ve pH derecesine de bağlı oluşundan kaynaklanmaktadır. Özellikle karbonasyon nedeniyle azalması korozyon açısından tehlikeyi artırıcı rol oynamaktadır. Düşük pH derecelerinde daha az klorürün etkili olduğu belirlenmiştir [72].

Düzbasan ve ark., Bakü-Tiflis-Ceyhan Ham Petrol Boru Hattı Projesinde Yumurtalık Bölümündeki Terminal Yapısı için üretilen prefabrik kirişler deniz içerisinde kullanılacaktır. Kiriş betonu ve içerisindeki donatının deniz suyu içerisindeki kimyasal maddelerden etkilenmemesi için, beton içerisindeki hava boşluklarının minimum seviyeye indirilmesi planlanmış ve bunun sağlanması için de, üretimde çimentodan daha ince yapıda olan mikro silikanın kullanılmasına karar verilmiştir. Araştırma sırasında farklı oranlarda mikro silika kullanılarak deneme karışımları yapıldıktan sonra alınan beton numunelerde yapılan testlerle; Basınç mukavemeti, yarmada çekme mukavemeti, eğilme mukavemeti, su emme yüzdesi, beton birim ağırlığı, basınçlı geçirimsizlik, hızlı klorür geçirimsizliği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesinde beton üretimi sırasında, kullanılan çimentonun % 7,5 oranında mikro silika ilave edilmesinin, beton performansına olumlu yönde etki edeceği tespit edildikten sonra, projede öngörülen değişik ebatlarda 202 adet prefabrik kirişin üretimi gerçekleştirilmiştir [73].

Yıldırım ve Sümer, Denizler yeryüzünün yaklaşık % 78'lik kısmını oluştururlar. Denizlere yakın ve kıyı şeridinde bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanlar dolaylı olarak deniz suyu ve deniz ortamının oluşturduğu koşullardan

etkilenmektedir. Bahsedilen ortamda bulunan yapılardaki beton ve betonarme elemanların değişik fiziksel ve kimyasal etkiler sonucunda dayanım ve durabilitesini kaybettiği bilinmektedir. Akdeniz ve Ege yerel iklim kuşaağında bulunan, deniz kenarına 10 km. mesafedeki sanayi tesisinde yıllar bazında betonun maruz kaldığı korozyon nedenleri araştırılmış. Deniz suyunun içerisinde bulunan çözünmüş bileşenler tespit edilmiş. Yapı elemanlarında oluşan bozulma süreçlerinin hem malzemelerin özelliklerine, hem de deniz ortamının getirdiğı koşulların şiddetine bağlı olarak değiştii gözlenmiştir. Özellikle deniz kıyısında mikro iklim koşulları nedeniyle havada yoğunlaşan kimyasal karışımı su taneciklerinin, atmosferde taşınarak beton yüzeylere ulaştığında; betonda aşınma, parçalanma, oyulma gibi oluşumlarla yapı elemanlarının dayanımını olumsuz olarak etkilediğı sonucuna ulaşılmıştır [74].

2.12.4. Klorür Tuzlarının Etkisi

Sertleşmiş bir beton bünyesine çevreden klorür penetrasyonu hızı, betonun fiziksel yapısı ile doğrudan ilgilidir. Betonun porozitesi ve permeabilitesi ne derece az ise, beton içine çevreden penetre olabilen klorür miktarı da o derece azalır. Beton permeabilitesi, başta su/çimento oranı olmak üzere, beton yapımında kullanılan agrega granülometresine, çimento dozajına, betonun kalıp içinde sıkıştırılmasına ve dökümden sonraki ilk günlerde uygulanan kür koşullarına bağlıdır.

Beton içine klorür başlıca iki yoldan girer. Bunlardan birincisi ve önlenebilir olanı, beton karışımı hazırlanırken kum, çakıl, karışım suyu ve çeşitli katkı maddeleri ile giren klorür bileşikleridir. İkincisi ve pratikte daha sık rastlanani beton sertleştikten sonra çevreden beton içine difüzlenen klorür iyonlarıdır. Betonarme demirlerinin korozyonu üzerine başlangıçta ve sonradan giren bu klorürlerin etkisi farklıdır. Başlangıçta beton içine giren klorür iyonlarının bir kısmı çimento hidrasyon reaksiyonu sırasında çimento klinker bileşiklerinden tri kalsiyum alüminat ile reaksiyona girerek suda çözünmeyen bir bileşik olan tri kalsiyum alümino klorürü (Friedel tuzu) ($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2\cdot n\text{H}_2\text{O}$) oluşturur. Böylece klorür iyonunun bir kısmı bağlanmış olur. Bu bağlı klorürün pasifliği bozucu etkisi yoktur. Korozyon üzerine beton boşluk suyu içinde çözünmüş halde bulunan klorür iyonları etkili olur.

Beton içinde bulunan klorür iyonlarının pasifliği bozucu etkisi, klorür iyonlarının elektronegativitesi yüksek bir iyon oluşuyla açıklanabilir. Bu nedenle metal yüzeyinde oksijen ve hidroksit iyonlarından daha sağlam şekilde absorbe edilir. Absorbe olan bu klorür iyonları korozyon sonucu oluşan demir iyonları ile birleşerek demir klorür halinde çözeltiliye geçer. Böylece metal yüzeyinde $Fe(OH)_2$ çökmesi ve pasif filmin oluşması önlenmiş olur. Bu bölgede korozyon olayı artık oto katalitik olarak devam eder. Çünkü çözelti içine giren demir klorür su ve oksijenle birleşerek pası oluştururken, klorür iyonu yeniden çözelti içine karışır. Ancak klorür iyonu doğrudan korozyon yaratmaz, sadece bir katalizör gibi korozyon olayının hızını arttırıcı olarak rol oynar [6,75].

Yüzer ve Aköz, donatı korozyonunda çok etkili olan klorür iyonlarının, betona dışarıdan difüzyonu ve malzemelere karışmış olması durumunda içeriden etkisi, %0, %10 ve %20 silis dumanı katkılı beton numunelerde deneysel olarak araştırılmıştır. Numuneler 40000 mg/L klorür iyonu içeren NaCl çözeltisinde bekletilerek Cl^- nin dışarıdan difüzyonu, aynı konsantrasyondaki çözeltilerin karma suyu olarak kullanılması ile Cl^- nin betona bulaşması benzeşimi yapılmış, 208 günlük süreçte klorür etkisi derinliğe ve zamana bağlı olarak araştırılmıştır. Silis dumanı katkılı betonda klorür geçirimsizliğinin önemli ölçüde azaldığı, klorür iyonlarının betona üretim aşamasında karışması durumunda ise serbest klorür iyonu miktarının arttığı belirlenmiştir. Silis dumanı katkılı beton üretiminde malzemelerin klorür içermesinin son derece sakıncalı olacağı görülmüştür [76].

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1. Kullanılan Malzemeler

3.1.1. Çimento

Çalışmada Yozgat Yibitaş-Lafarge Çimento Fabrikasından temin edilen CEM I 42.5 R (PÇ 42.5) tipi Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Tablo 3.1.' de verilmektedir.

Tablo 3.1. Portland Çimentosunun (CEM I 42.5 R) özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşen, (%)	
MgO	2.75
SiO ₂	19.12
Al ₂ O ₃	5.63
Fe ₂ O ₃	2.39
Na ₂ O	-
CaO	63.17
SO ₃	2.74
K ₂ O	1.00
Kızdırma Kaybı	2.33
Çözünmeyen Kalıntı	0.49
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık g/cm ³	3.09
Özgül Yüzey cm ² /g.	3114

3.1.2. Agrega

İnce agrega olarak Kırmı Kum (0-4 mm), kaba agrega olarak Kırmataş I (4-12 mm) ve Kırmataş II (13-22 mm) kullanılmıştır. Çalışmada en büyük agrega boyutu 22 mm olarak seçilmiştir.

3.1.3. Süper Akışkanlaştırıcı

Özellikle düşük su/çimento oranlarında beton karışımlarının işlenebilirliğinin sağlanması ve karışım sırasında topaklanmanın önlenmesi için İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden temin edilen polikarboksilat bazlı yüksek oranda su

azaltıcı POLYCAR 300 hiper akışkanlaştırıcı kimyasal beton katkısı kullanıldı. Polycar 300; yüksek oranda su azaltıcı, mukavemet arttırıcı, işlenebilirlik süresi uzun, kullanım dozajına bağlı olarak kendiliğinden yerleşen, sıkışan beton üretiminde kullanılabilen prefabrik beton üretimi sektörü ve reaktif pudra beton uygulamaları için geliştirilmiş yeni nesil süper akışkanlaştırıcı katkı maddesidir. Yapısında betona ve donatıya uzun vadede zarar veren klorür ve alkali maddeler yoktur. Süper Akışkanlaştırıcıya ait teknik bilgiler Tablo 3.2.'de verilmektedir.

Tablo 3.2. Süper Akışkanlaştırıcıya ait teknik bilgiler

Tip : Polikarboksilat esaslı karışım
Görünüm : Açık kahve renkli sıvı
Yoğunluk : 1.10 +/- 0.03 kg/L
pH : 4.00 – 5.50
Klorür : ≤ %0.1 (TS EN 480–10)
Alkali İçeriği : ≤ %1 (TS EN 480–12)

3.1.4. Çelik Tel

Çalışmada İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden temin edilen RC 65/35 BN tipi iki ucu kancalı çelik teller kullanıldı. Kullanılan çelik telin özellikleri Tablo 3.3.'te verilmektedir.

Tablo 3.3. Çelik tellerin özellikleri

Çelik Tel Tipi	Boy, l (mm)	Çap, d (mm)	Narinlik (l/d) (uzunluk/çap)	Çekme Dayanım, f_{su} (N/mm ²)
Dramix RC 65/35 BN	35	0.55	65	1345

3.1.5. Silis Dumani

Silis dumani, (SD) İksa İnşaat Katkıları San. ve Tic. Ltd. Şti.'nden temin edildi. Silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri Tablo 3.4.' de verilmektedir.

Tablo 3.4. Silis Dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

Kimyasal Bileşim	
Bileşen (%)	Silis Dumanı
SiO ₂	81.35
Al ₂ O ₃	4.48
Fe ₂ O ₃	1.42
CaO	0.80
MgO	1.47
SO ₃	1.34
Na ₂ O	-
K ₂ O	-
Çözünmeyen kalıntı	-
Kızdırma Kaybı	3.4
Fiziksel Özellikler	
Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	2.23
Özgül Yüzey (cm ² /gr)	-

3.1.6. Sodyum Klorür Tuzu:

Çalışmada Karayolları Yozgat Şube Şefliğinden kışın buzun çözünmesi için kullanılan Sodyum Klorür (NaCl) tuzu temin edilmiştir. Deneyde kullanılan tuz Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü laboratuvarlarında deneye tabi tutularak analiz sonuçları belirlenmiştir. Sodyum Klorür tuzunun analiz sonuçları Tablo 3.5.'de verilmektedir.

Tablo 3.5. Sodyum Klorür tuzunun analiz sonuçları (%)

Na	Cl	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	SO ₄ ⁻
36.3	54.7	0.6	0.5	1.7	<0.1	6.2	0.2	1.11

3.2. Beton Karışımları

Üretilen betonlarda kullanılan agrega oranları hacimce Tablo 3.6.'de ve karışım agregasına ait tane dağılımı, taze beton özellikleri ve gerçek karışım miktarları ise

Tablo 3.7.' de verilmektedir. Beton karışımı örneği Şekil 3.1.'de verilmektedir. Beton karışımı TS 10514'e uygun şekilde hazırlanmıştır [77].

Tablo 3.6. Agrega karışım oranları (hacimce)

Agrega	Karışım %' si (hacimce)
Kırmakum	46
Kırmataş I	28
Kırmataş II	26

Tablo 3.7. Beton karışım miktarları

Seri No	Su/Çimento	Silis Dumanı (kg)	Katkı (kg)	Çimento (kg)	Su (lt)	0-4 Kırmakum (kg)	4-13 Kırmataş (kg)	13-22 Kırmataş (kg)	Çelik Tel (kg)
SD0-ÇT0	0,5	0	3,5	350	175	835	504	461	0
SD0-ÇT0.4	0,5	0	3,5	350	175	835	504	461	31
SD0-ÇT0.8	0,5	0	3,5	350	175	835	504	461	63
SD10-ÇT0.4	0,5	35	3,5	350	175	816	493	450	31
SD10-ÇT0.8	0,5	35	3,5	350	175	816	493	450	63
SD20-ÇT0.4	0,5	70	3,5	350	175	797	481	440	31
SD20-ÇT0.8	0,5	70	3,5	350	175	797	481	440	63



Şekil 3.1. Beton Karışımı

3.3. Üretilen Betonların Özellikleri

Bu çalışmada su/çimento oranları 0.50 olan betonlar kullanıldı. Deneyde 1345 N/mm² çekme dayanımına sahip çelik tellerin %0.50 ve %1.00 hacimsel oranlarda betona katılmasıyla elde edilen numuneler üretilmiştir.

Betonlar üretildikten bir gün sonra kalıptan çıkarılarak 28 gün süreyle standart bakıma tabii tutulmuştur. Üretilen betonlar 1.'si kontrol grubu olmak üzere toplam 7 grup beton üretilmiştir.

Üretilen betonlar 0, 15 g/L ve 30 g/L oranında Sodyum Klorürlü olmak üzere 3 değişik ortamda 28 gün ve 91 günlük kür şartlarına maruz bırakılmak üzere her bir kontrol grubu dâhil 7 seri, toplamda ise 21 seri beton üretildi. Her seri için 2 adet 150 mm x 150 mm x 550 mm boyutlarında kiriş, 3 adet 150mm x 300mm (çap= 150 mm ve yükseklik= 300 mm) standart silindir ve 3 adet 150mm x serbest boy mm (çap= 150mm. ve yükseklik = serbest boy mm) disk numuneler üretilmiştir. Silindir numuneler üzerinde basınç tayini deneyleri, disk numuneler üzerinde yarmada çekme dayanımı tayini deneyleri yapılmıştır. Kiriş numuneler üzerinde ise eğilme dayanımı tayini deneyi yapılmıştır. Vibratöre maruz durumda kiriş beton numunesi Şekil 3.2.'de verilmektedir.



Şekil 3.2. Kiriş beton numunesi vibratöre maruz durumda

3.4. Beton Deneyleri

3.4.1. Taze Beton Deneyleri

3.4.1.1. Birim Ağırlık Deneyi

Üretilen betonlar üzerinde TS EN 12350-6' ya uygun olarak birim ağırlık deneyi Şekil 3.3.'de gösterildiği şekilde yapılmıştır [78].



Şekil 3.3. Birim Ağırlık Deneyi

3.4.1.2. İşlenebilme Deneyi

Silis dumanı ve çelik tel ilavesiyle taze betonların işlenebilmesine etkisinin belirlenmesi için Vebe deneyi yapılmıştır. Vebe süresi tayini deneyi TS EN 12350-3'e uygun olarak Şekil 3.4.'de gösterildiği şekilde yapılmıştır [79].



Şekil 3.4. Vebe işlenebilme deneyi

3.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri

Üretildikten sonra 28 gün ve 91 gün boyunca küre tabii tutulan sertleşmiş beton numuneleri üzerinde mekanik özelliklerin tayini deneyleri yapıldı.

3.4.2.1. Basınç Dayanımı

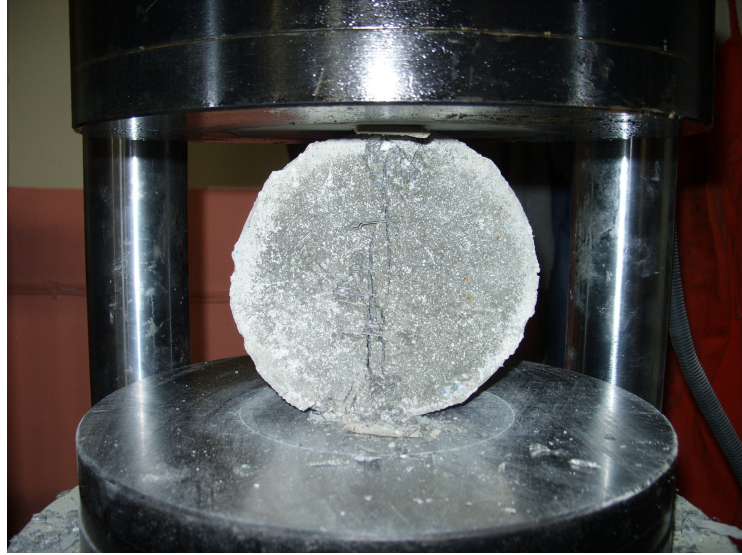
Basınç dayanımı deneyleri her seri beton için 3 adet 150mmx300 mm. standart silindir numuneler üzerinde TS EN 12390-3'e uygun olarak yapıldı. Basınç dayanımı tayini deneyi Şekil 3.5.'de verilmektedir [80].



Şekil 3.5. Basınç dayanımı tayini

3.4.2.2. Yarmada Çekme Dayanımı Tayini

Yarmada çekme deneyi 3'er adet 150 mm x serbest boy (mm) boyutlarındaki disk numuneler üzerinde TS EN 12390-6'a uygun şekilde yapılmıştır. Deney düzeneği Şekil 3.6.' da verilmektedir [81].

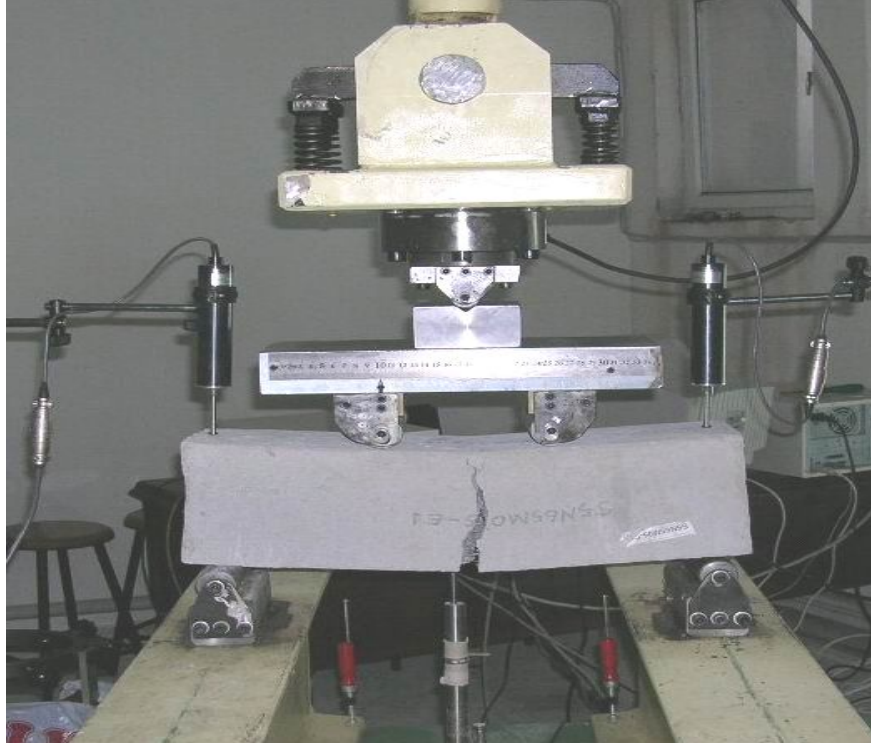


Şekil 3.6. Yarmada çekme dayanımı deney düzeneği

3.4.2.4. Eğilme Dayanımı

Numunelerin eğilme dayanımları ve toklukların her grup için 2 adet 150x150x550 mm³ boyutlarındaki kiriş numuneler üzerinde ASTM C 1018 ve TS 10515 standartlarına uygun olarak kirişin orta noktasından yükleme yapılarak deney

değerlendirildi. Eğilme deney düzeneği Şekil 3.7’de verilmektedir [82,83]. Yükleme kapalı çevrim- geri beslemeli sehım kontrollü cihazda 0.2 mm/dk. yükleme hızında yapıldı. Elde edilen eğilme dayanımı ve yük-sehım eğrisi altında 10 mm sehıme kalan alan olarak tokluk değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 3.7. Eğilme dayanımı deney düzeneği

Hazırlanmış olduğumuz beton kiriş numunelerimize yükleme çerçevesinde mesnet noktalarına kenardan 5 cm boşluk bırakılacak şekilde ve yükün kirişe orta noktasında etkimesi sağlanmıştır. Eğilme dayanımı tayini TS EN 12390-5’e uygun şekilde yapılmıştır [84]. Ayrıca beton kiriş numunelerin alt orta noktalarına yerleştirilen deplasman ölçer yardımıyla yükleme sırasında kirişte meydana gelen sehım ölçülmüştür.

4.DENEYSEL SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

4.1 Taze Beton Özellikleri

Çelik tel içeriği arttıkça betonların işlenebilmesinde azalma, buna bağlı olarak çökme değerlerinde düşme gözlenmiştir. Çelik teller genel olarak işlenebilmeyi azaltmakta, yüksek miktarda kullanıldığı takdirde topaklanmaya ve homojen dağılımı önlemektedir. Deney sonuçları Tablo 4.1.' de verilmektedir.

Tablo 4.1. Birim ağırlık ve Vebe Deneyi İşlenebilme Süreleri

Seri No	Birim Ağırlık (t/m³)	Vebe Deneyi İşlenebilme Süresi (sn)
SD0-ÇT0	2.48	4
SD0-ÇT0.4	2.51	5
SD0-ÇT0.8	2.56	7
SD10-ÇT0.4	2.55	21
SD10-ÇT0.8	2.51	18
SD20-ÇT0.4	2.51	34
SD20-ÇT0.8	2.50	14

İlk üç gruplarımızda yalnızca çelik tel kullanılarak betonlarımız üretilmiştir. Bu betonlarımızın birim ağırlıklarında ve işlenebilme süresinde artış olmuştur. SD10-ÇT0.4 beton numunelerimizde ise çelik tel ve silis dumanı birlikte kullanılmıştır. SD10-ÇT0.4 betonlarımızda birim ağırlıklarında ve işlenebilme süresinde artış olmuştur. SD10-ÇT0.8 ve SD20-ÇT0.8 beton numunelerimizde çelik tel daha fazla kullanılarak üretilmiştir. SD10-ÇT0.8 ve SD20-ÇT0.8 numunelerimizde birim ağırlık ve işlenebilme süreleri azalmıştır. SD20-ÇT0.4 beton numunelerimizde ise SD10-ÇT0.8 ve SD20-ÇT0.8 numunelerimize göre daha az çelik tel kullanılmıştır. Bu nedenle SD20-ÇT0.4 betonlarımızda SD10-ÇT0.8 ve SD20-ÇT0.8 betonlara oranla birim ağırlık ve işlenebilme süresinin daha fazla olduğu görülmüştür.

4.2. Basınç Dayanımı

Çelik teller kullanımının betonun basınç dayanımına etkisi eğilme ve çekme dayanımlarına kıyasla oldukça az olmaktadır. Deneyde numunelerimizi tuzlu ortamda küre tabi tutulduğu için çelik tel içeren numunelerimizde basınç dayanımlarında değişkenlikler görülmüştür.

Basınç dayanımındaki çelik tel kullanımı, silis dumanı ve tuz oranlarına göre farklılıklar oluştuğu görülmüştür. Çelik tel oranı ve silis dumanının beton içerisindeki oranının artmasıyla basınç dayanımlarında da artış olduğu görülmüştür.

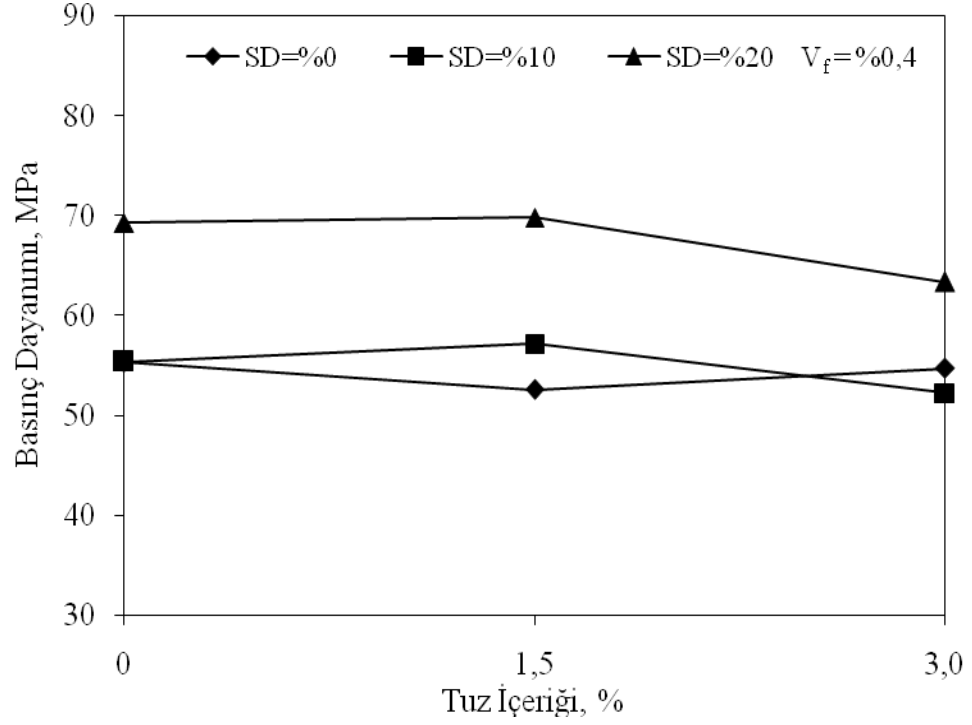
Numunelerimizin maruz bırakıldığı 0 g/L, 15 g/L, 30 g/L tuz içeren kür ortamında 28. gün ve 91. gün deney sonuçlarında da değişkenlikler olduğu görülmüştür. Uzun süre tuzlu ortamda kalan betonların çoğunluğunun basınç dayanımında azalmalar meydana gelmiştir. Basınç dayanımı sonuçları Tablo 4.2.'de verilmektedir.

Tablo 4.2. Basınç dayanım sonuçları

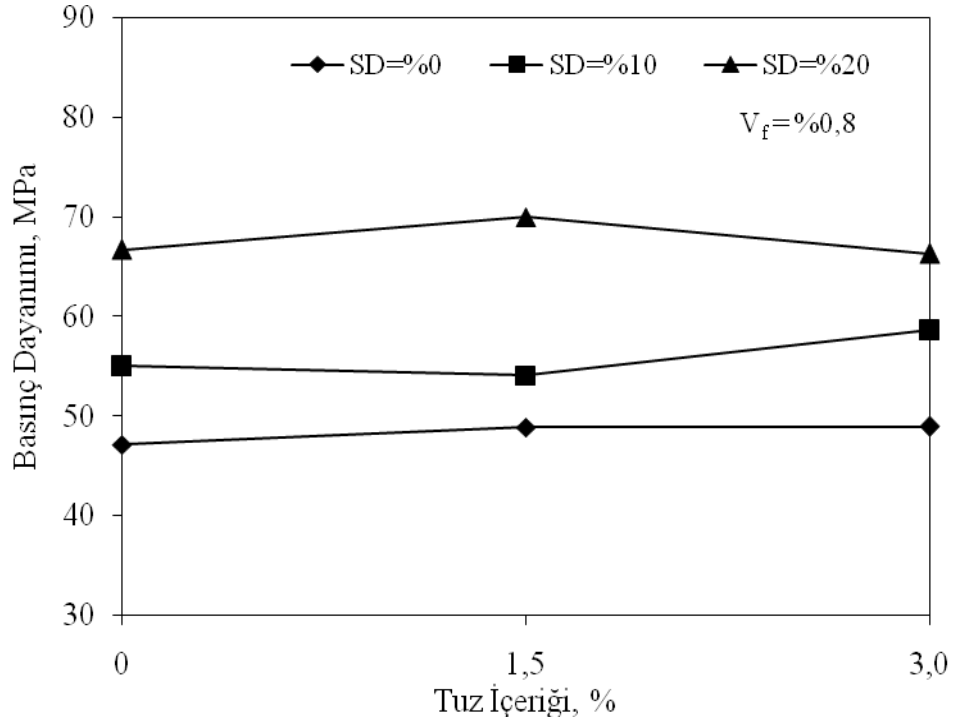
BASINÇ DAYANIMI SONUÇLARI						
Seri No	0 g/L tuz		15 g/L tuz		30 g/L tuz	
	28. gün, Mpa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa
SDO-ÇT0	49,5	46,7	45,6	41,4	50,0	43,2
SD0-ÇT0.4	55,3	52,4	52,6	46,2	54,7	46,8
SD0-ÇT0.8	47,1	44,8	48,9	43,9	48,9	41,6
SD10-ÇT0.4	55,4	57,6	57,2	51,7	52,2	47,8
SD10-ÇT0.8	55,0	52,8	54,1	55,9	58,6	50,3
SD20-ÇT0.4	69,3	54,5	69,8	54,7	63,4	55,6
SD20-ÇT0.8	66,7	65,9	70,0	64,7	66,3	63,2

Beton basınç dayanımları 150x300 mm ölçülerine sahip silindir numunelerin beton presinde yükleme yapılması sonucu dayanım değerleri belirlenmiştir. Basınç dayanımları 28. gün ve 91. gün yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Aşağıda

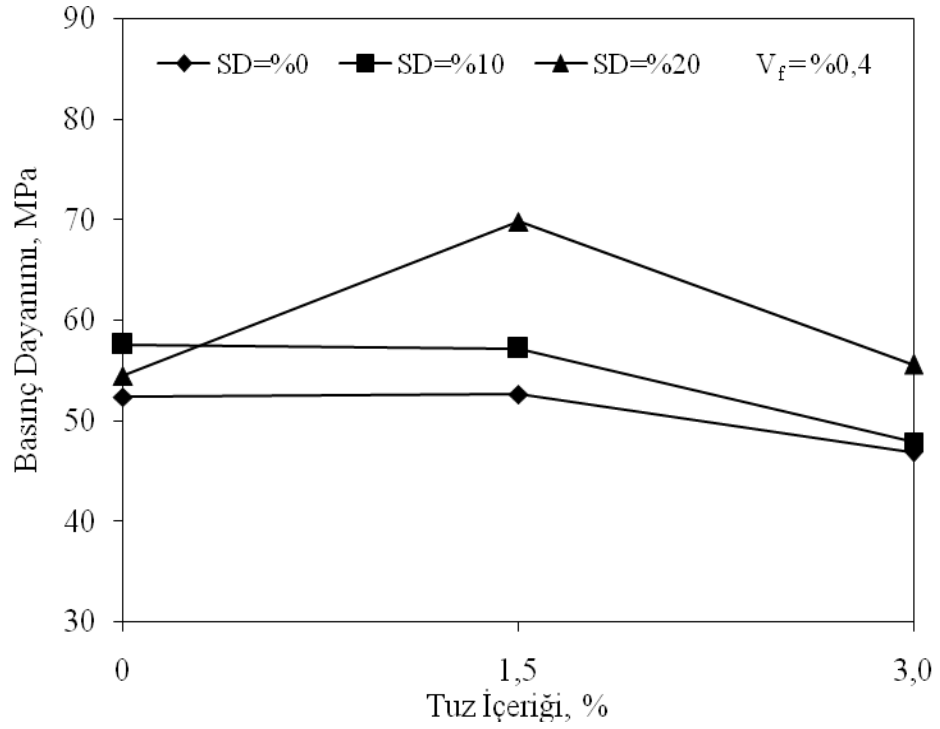
belirtilen Şekil 4.1., Şekil 4.2., Şekil 4.3. ve Şekil 4.4.'de çelik tel oranı sabit tutularak silis dumanı ve tuz içerikleri değişken olarak değerlendirilmiştir.



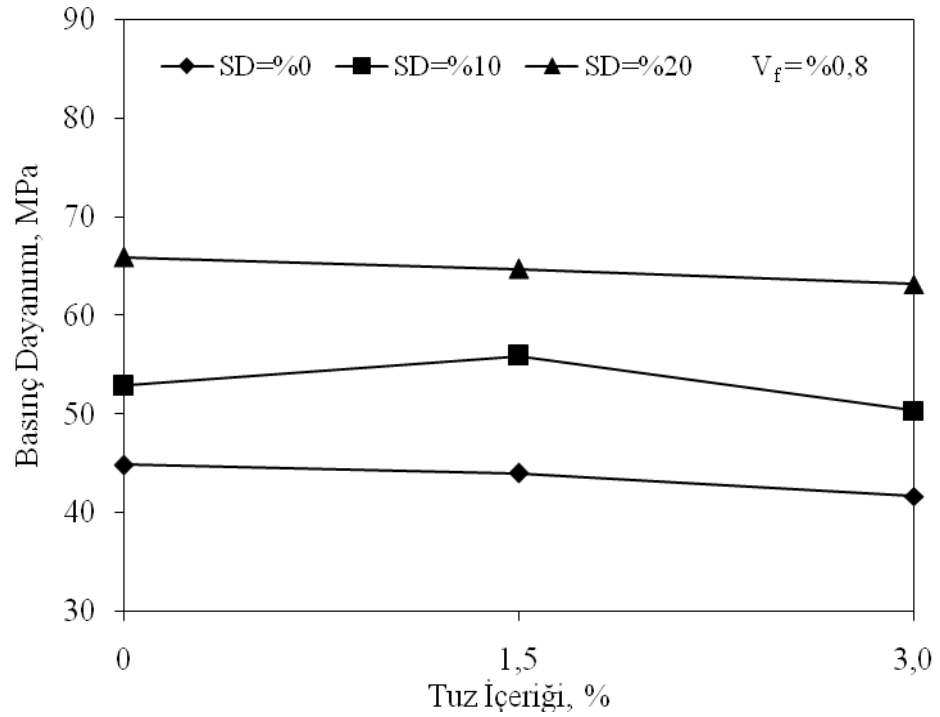
Şekil 4.1. 28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.2. 28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



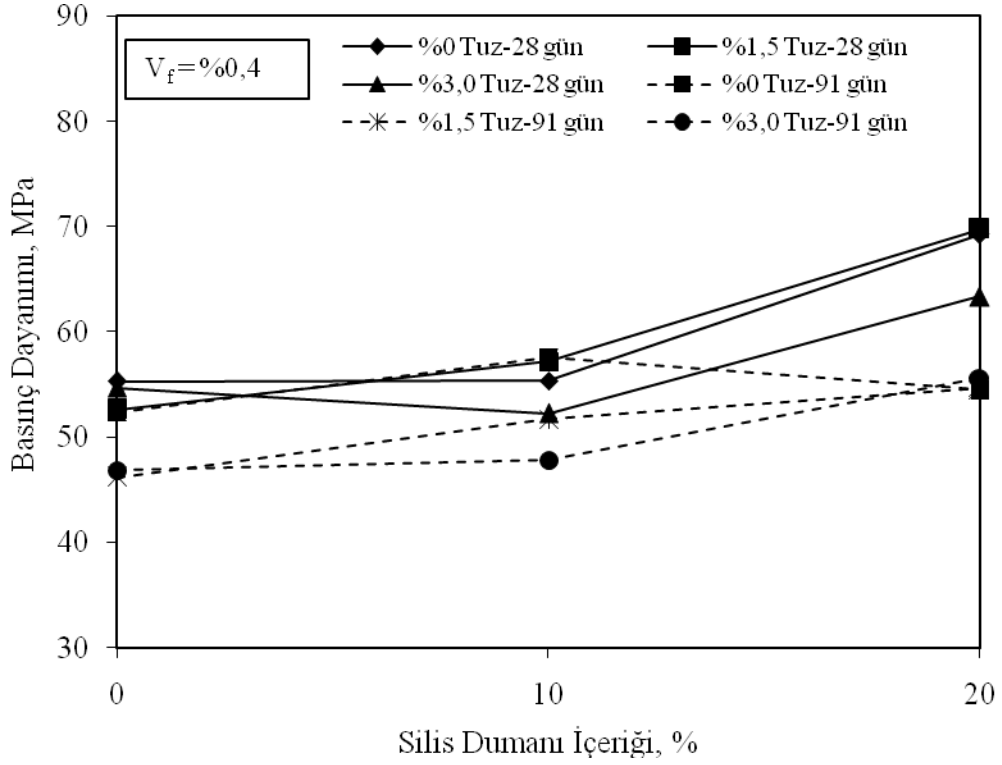
Şekil 4.3. 91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



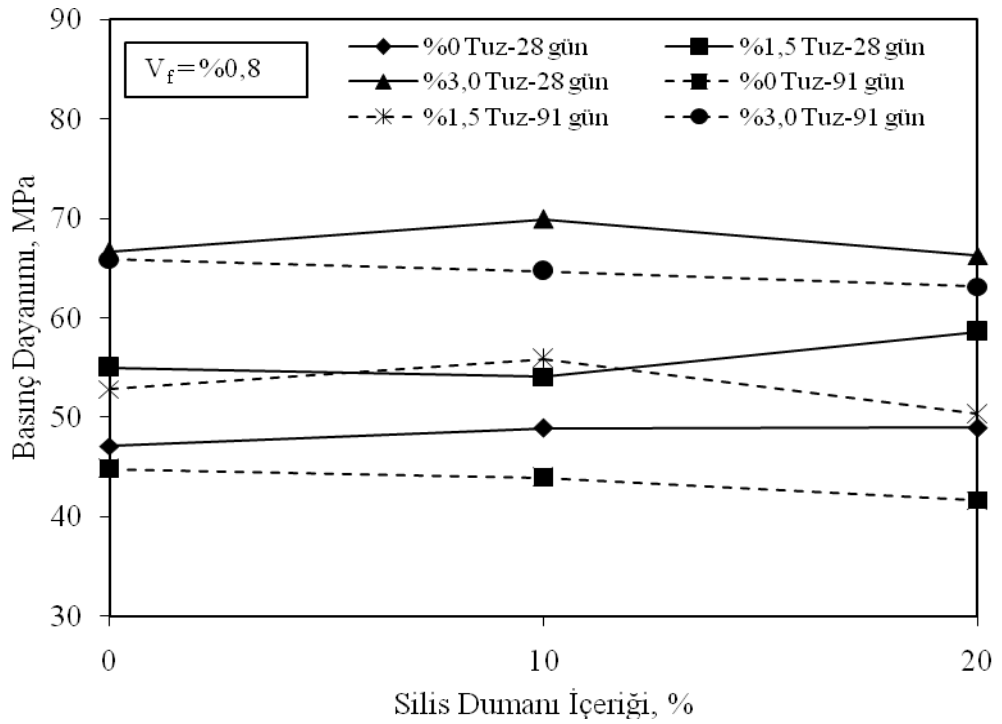
Şekil 4.4. 91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

Basınç dayanımları belirlenen beton numuneleri çelik tel sabit tutularak hazırlanmış tablo ve grafikler aşağıda belirtilmiştir. Aşağıda belirtilen tablolarda çelik tel oranı

sabit tutularak Şekil 4.5 ve Şekil 4.6.'da silis dumanı ve tuz içerikleri değişken olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.5. 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

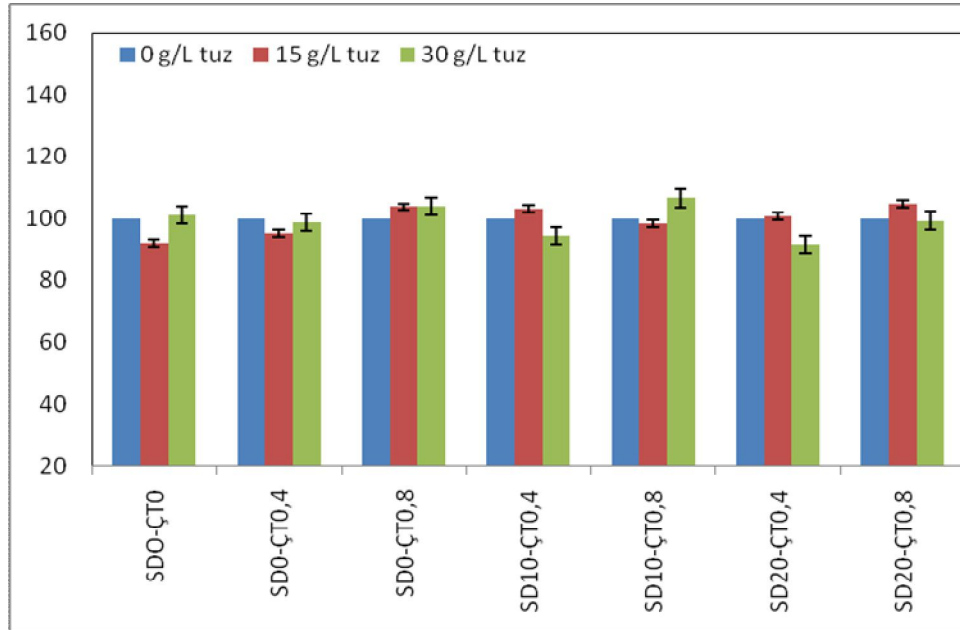


Şekil 4.6. 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

Basınç dayanımı sonuçlarında kontrol grubu numunelerine oranla artış ve azalmalar meydana gelmiştir. Bu artış ve azalma oranları Tablo 4.3.'de verilmektedir. Farklı tuz içeriklerinde 28. gündeki basınç dayanımlarındaki değişim Şekil 4.7.'de verilmektedir.

Tablo 4.3. Basınç dayanım sonuçlarındaki artış ve azalmalar (28.gün)

BASINÇ DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (28. gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	-7,9	1,0
SD0-ÇT0,4	0,0	-4,9	-1,1
SD0-ÇT0,8	0,0	3,8	3,9
SD10-ÇT0,4	0,0	3,2	-5,7
SD10-ÇT0,8	0,0	-1,6	6,6
SD20-ÇT0,4	0,0	0,7	-8,6
SD20-ÇT0,8	0,0	4,9	-0,7



Şekil 4.7. Farklı tuz içeriklerinde basınç dayanımındaki değişim (28.gün)

28. günkü basınç deneyleri sonucunda oluşan artış ve azalmalar numunelerimiz içerisinde kullanmış olduğumuz çelik tel, silis dumanı ve 0 g/L, 15 g/L ve 30 g/L

NaCl (Sodyum Klorür) olmak üzere 3 farklı kür ortamından kaynaklandığı anlaşılmıştır.

0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

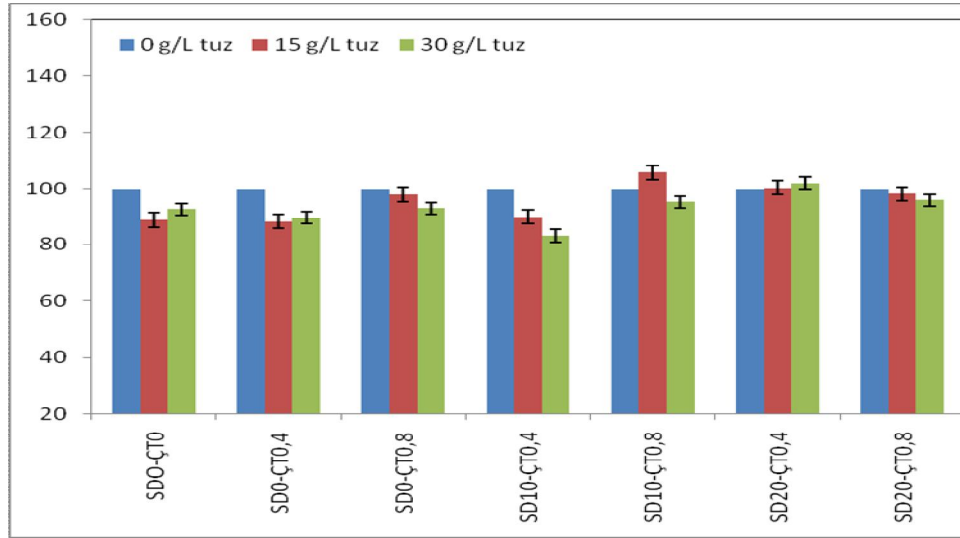
15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 4,9 oranıyla SD20-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD0-ÇT0 numunelerimizde % 7,9 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 6,6 oranıyla SD10-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD20-ÇT0.4 numunelerimizde % 8,6 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

91. gündeki basınç dayanım sonuçlarındaki artış ve azalmalar Tablo 4.4.'de verilmiştir. Farklı tuz içeriklerinde 91. gündeki basınç dayanımlarındaki değişim Şekil 4.8.'de verilmektedir.

Tablo 4.4. Basınç dayanım sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün)

BASINÇ DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (91.gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	-11,3	-7,5
SD0-ÇT0.4	0,0	-11,9	-10,6
SD0-ÇT0.8	0,0	-2,0	-7,1
SD10-ÇT0.4	0,0	-10,2	-16,9
SD10-ÇT0.8	0,0	5,8	-4,8
SD20-ÇT0.4	0,0	0,4	2,0
SD20-ÇT0.8	0,0	-1,8	-4,2



Şekil 4.8. Farklı tuz içeriklerinde basınç dayanımındaki değişim (91.gün)

91. günkü basınç dayanım deneyleri sonucunda oluşan artış ve azalmalar şu şekildedir.

0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 5,8 oranıyla SD10-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD0-ÇT0.4 numunelerimizde ise % 11,9 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 2,0 oranıyla SD20-ÇT0.4 numunelerimizde olduğu, ancak SD10-ÇT0.4 numunelerimizde % 16,9 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

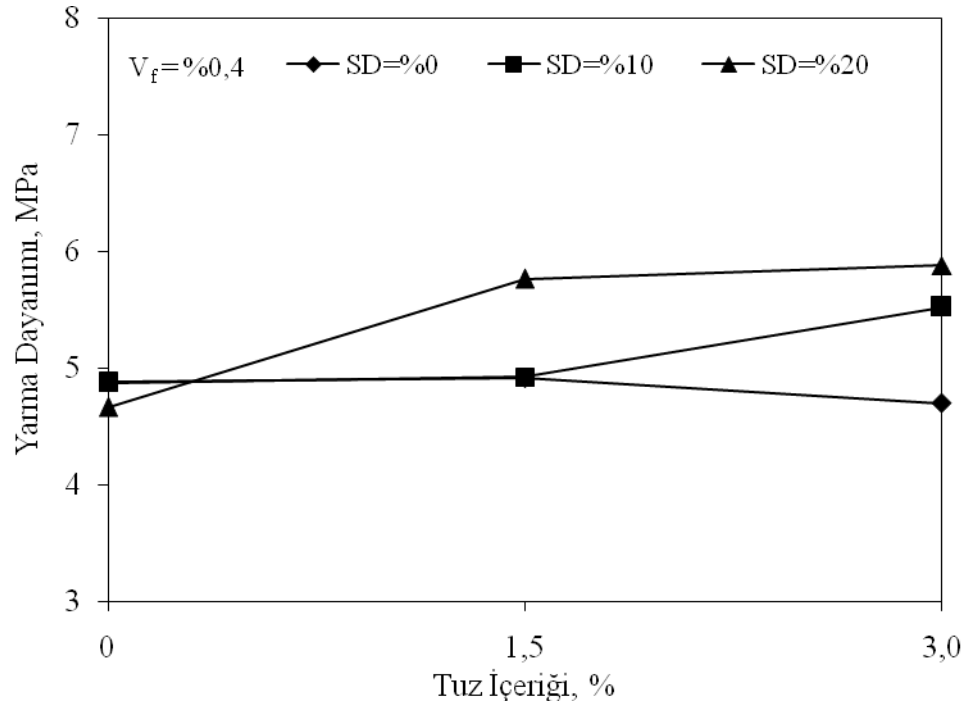
4.3.Yarmada Çekme Dayanımı

Beton numunelerimizde yarmada çekme dayanımları 150xdeğişken mm ölçülerine sahip silindir numunelerin beton presinde yükleme yapılması sonucu yarmada çekme dayanım değerleri belirlenmiştir. Basınç dayanımları 28. gün ve 91. gün yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Yarmada çekme dayanımı sonuçları Tablo 4.5.'de verilmektedir.

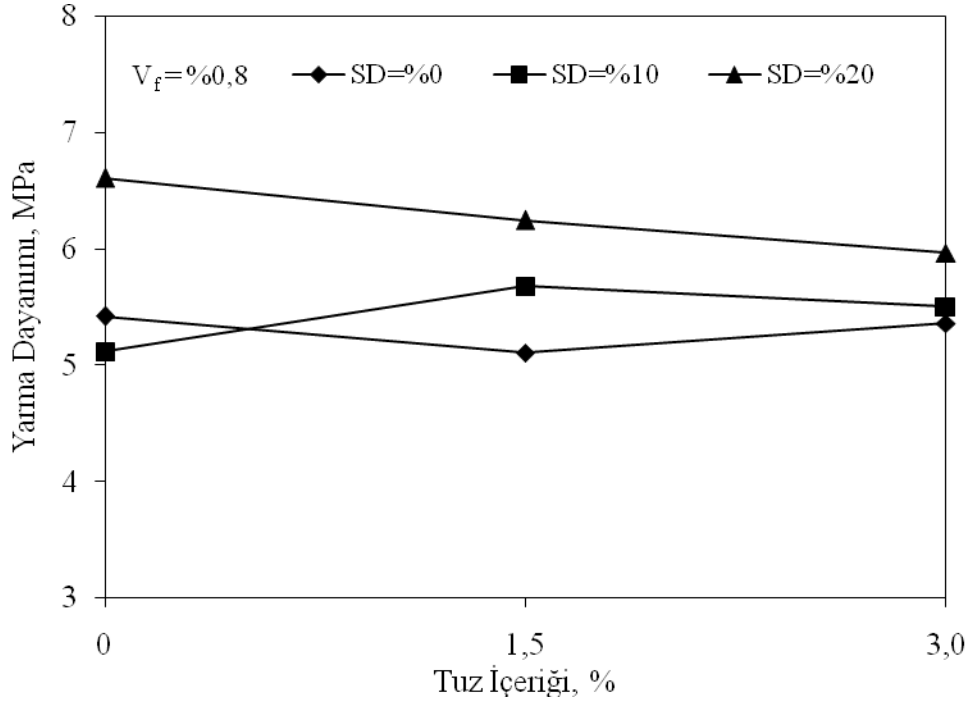
Tablo 4.5. Yarmada çekme dayanımı sonuçları

YARMADA ÇEKME DAYANIMI SONUÇLARI						
Seri No	0 g/L tuz		15 g/L tuz		30 g/L tuz	
	28. gün, Mpa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa
SDO-ÇT0	3,9	4,3	4,6	4,7	4,0	4,2
SD0-ÇT0.4	4,9	4,6	4,9	4,8	4,7	4,5
SD0-ÇT0.8	5,4	4,5	5,1	4,2	5,4	4,4
SD10-ÇT0.4	4,9	5,2	4,9	4,2	5,5	5,0
SD10-ÇT0.8	5,1	5,6	5,7	5,5	5,6	4,9
SD20-ÇT0.4	4,7	4,3	5,8	5,2	5,9	5,8
SD20-ÇT0.8	6,6	5,1	6,2	6,0	6,2	7,2

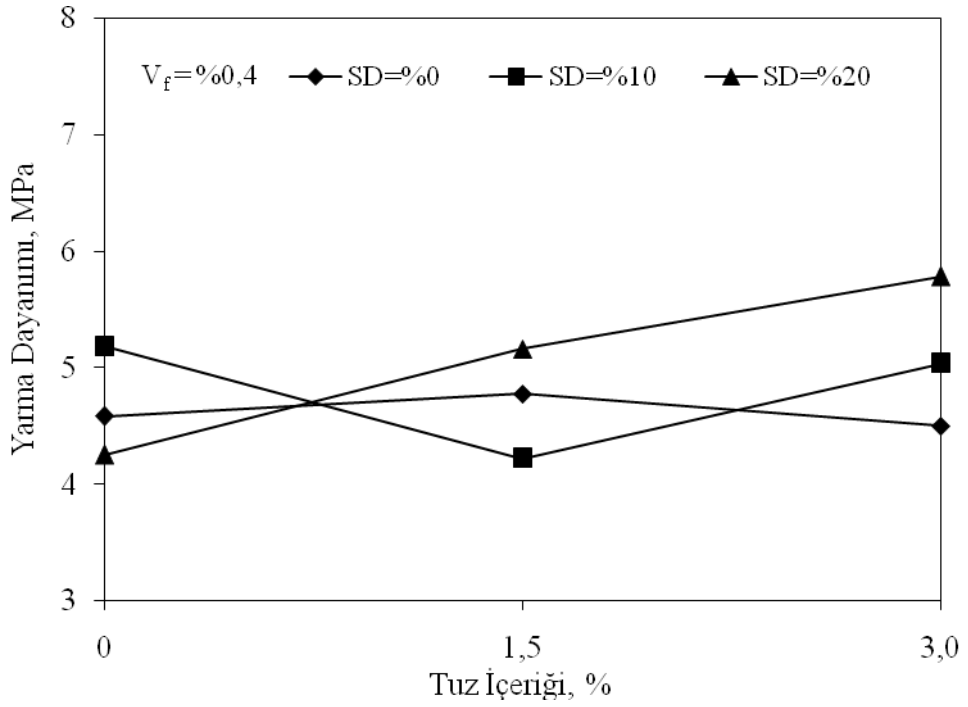
Aşağıda belirtilen Şekil 4.9., Şekil 4.10., Şekil 4.11. ve Şekil 4.12.'de çelik tel oranı sabit tutularak silis dumanı ve tuz içerikleri değişken olarak değerlendirilmiştir.



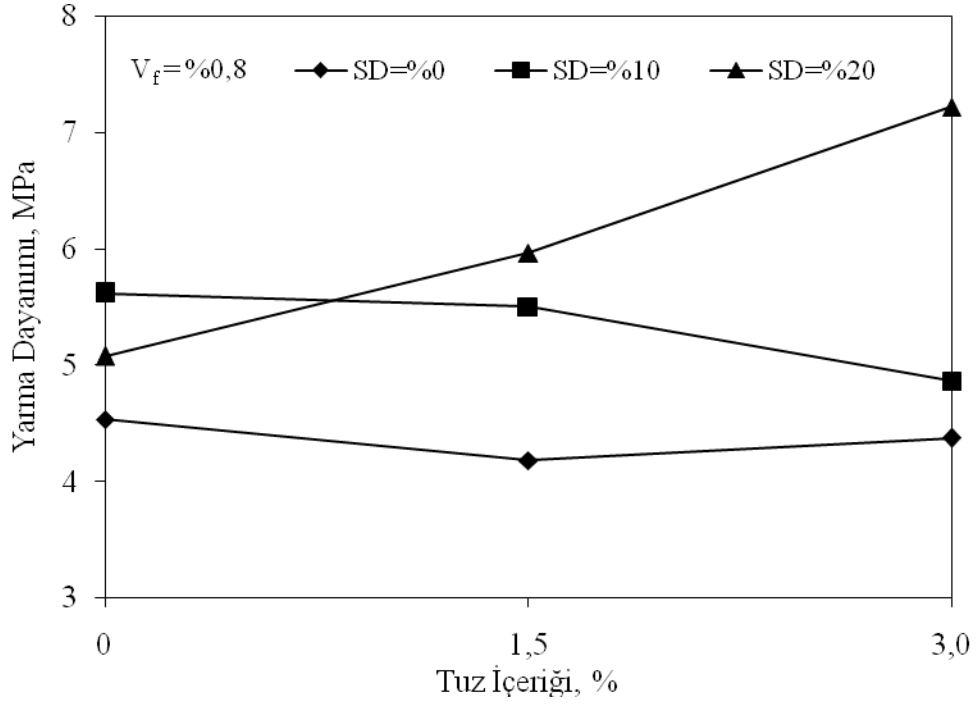
Şekil 4.9. 28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.10. 28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

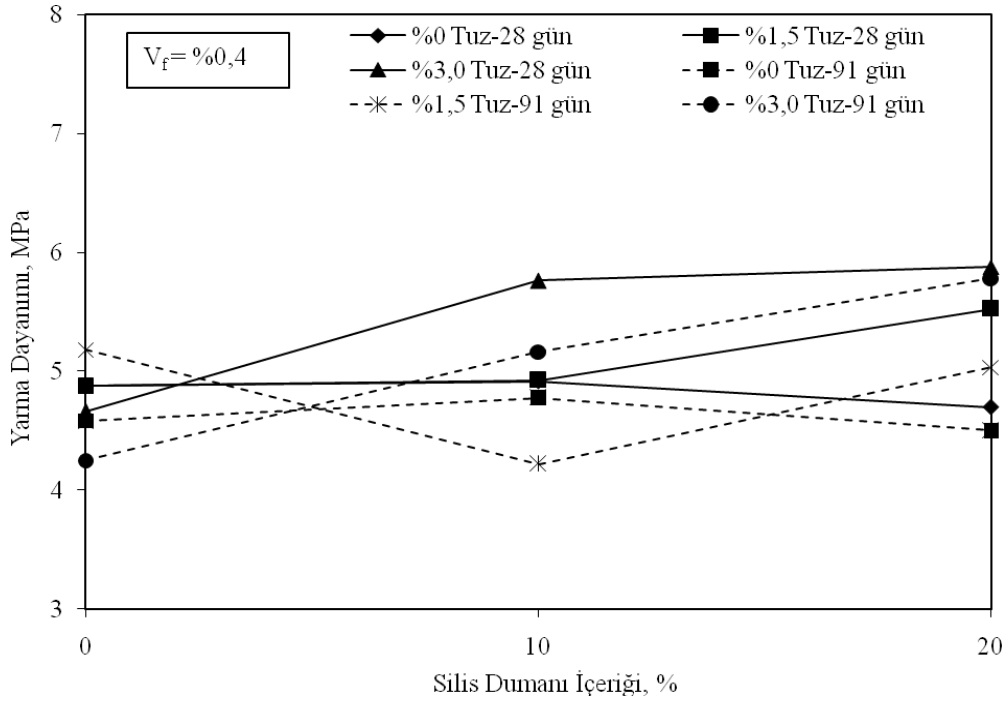


Şekil 4.11. 91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

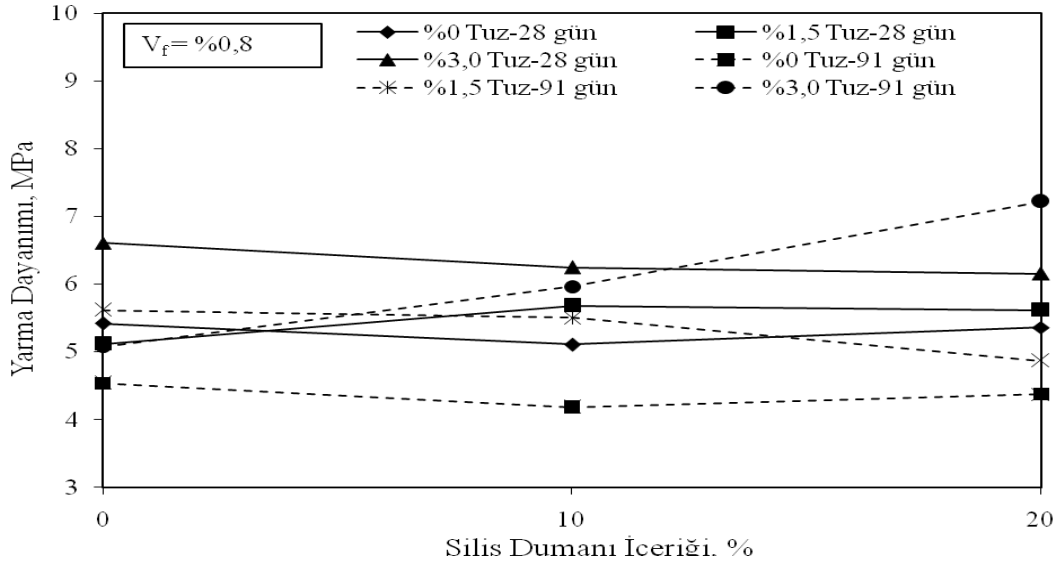


Şekil 4.12. 91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

Aşağıda belirtilen şekillerde çelik tel oranı sabit tutularak Şekil 4.13. ve Şekil 4.14.'de silis dumanı ve tuz içerikleri değişken olarak değerlendirilmiştir.



Şekil 4.13. 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.14. 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

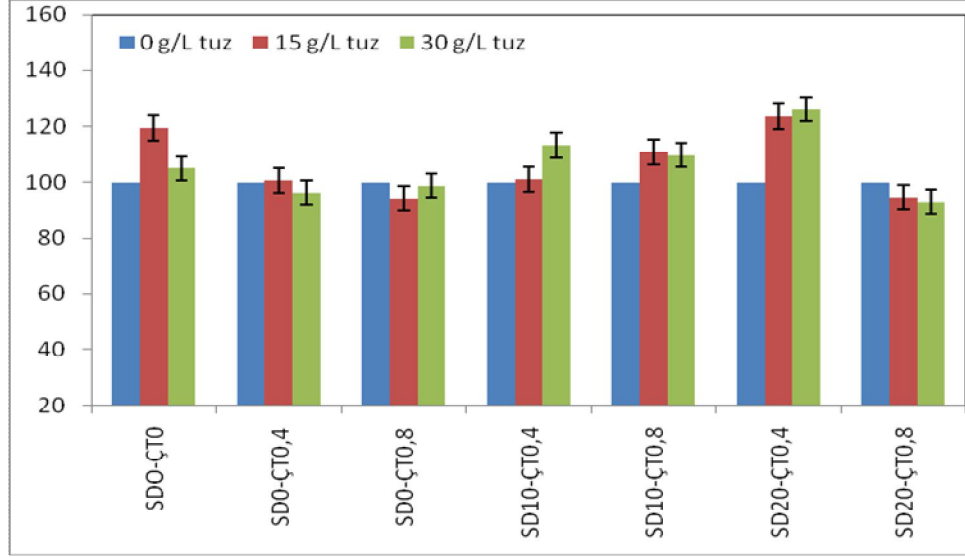
Bu çalışmada yarmada çekme dayanımlarını etkileyen en önemli etkenler, çelik tel miktarı ve narinlik özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Betonların tuzlu ortamda küre tabi tutulması sebebiyle yarmada çekme dayanımlarının, artış ve azalmasına sebep olmuştur. Ayrıca yapılan gözlemsel incelemelerde tuz oranı arttıkça kullanılan çelik telli betonlarda korozyonun arttığı görülmüştür.

Yarmada çekme dayanımı sonuçlarında kontrol grubu numunelerine oranla artış ve azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu artış ve azalma oranları Tablo 4.6.'da verilmektedir.

Tablo 4.6. Yarmada çekme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalma (28.gün)

YARMADA ÇEKME DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (28.gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	19,4	5,1
SD0-ÇT0.4	0,0	0,7	-3,7
SD0-ÇT0.8	0,0	-5,8	-1,2
SD10-ÇT0.4	0,0	1,0	13,3
SD10-ÇT0.8	0,0	11,0	9,8
SD20-ÇT0.4	0,0	23,6	26,1
SD20-ÇT0.8	0,0	-5,5	-7,0

Farklı tuz içeriklerinde 28. gündeki yarmada çekme dayanımındaki değişim Şekil 4.15.'de verilmektedir.



Şekil 4.15. Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (28.gün)

28. günkü yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda oluşan artış farklı kür ortamlarına göre değerlendirilmiştir.

0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

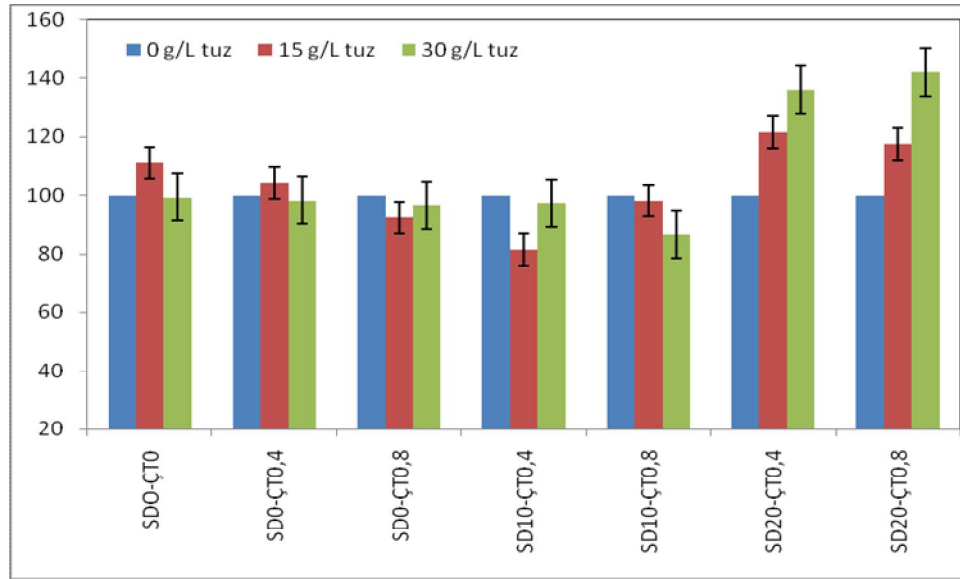
15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 23,6 oranıyla SD20-ÇT0.4 numunelerimizde olduğu, ancak SD0-ÇT0.8 numunelerimizde ise % 5,8 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 26,1 oranıyla SD20-ÇT0.4 numunelerimizde olduğu, ancak SD20-ÇT0.8 numunelerimizde % 7,0 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

91. gündeki yarmada çekme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar Tablo 4.7.'de verilmiştir. Farklı tuz içeriklerinde 91. gündeki basınç dayanımlarındaki değişim Şekil 4.16.'da verilmektedir.

Tablo 4.7. Yarmada çekme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün)

YARMADA ÇEKME DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (91.gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	11,1	-0,7
SD0-ÇT0.4	0,0	4,3	-1,8
SD0-ÇT0.8	0,0	-7,8	-3,5
SD10-ÇT0.4	0,0	-18,6	-2,9
SD10-ÇT0.8	0,0	-2,1	-13,4
SD20-ÇT0.4	0,0	21,5	36,0
SD20-ÇT0.8	0,0	17,5	42,2



Şekil 4.16. Farklı tuz içeriklerinde yarmada çekme dayanımındaki değişim (91.gün)

91. günkü yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda oluşan artış ve azalmalar farklı kür ortamlarına göre değerlendirilmiştir.

0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla

artışın % 21,5 oranıyla SD20-ÇT0.4 numunelerimizde olduğu, ancak SD10-ÇT0.4 numunelerimizde ise % 18,6 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

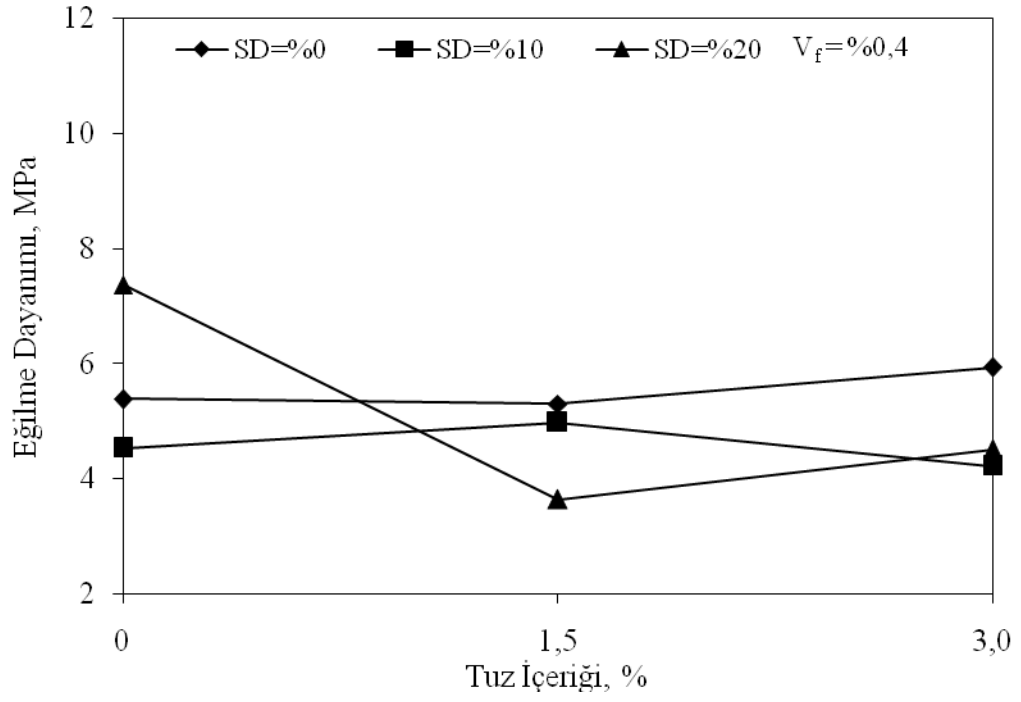
30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 42,2 oranıyla SD20-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD10-ÇT0.8 numunelerimizde % 13,4 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

4.4. Eğilme Dayanımı

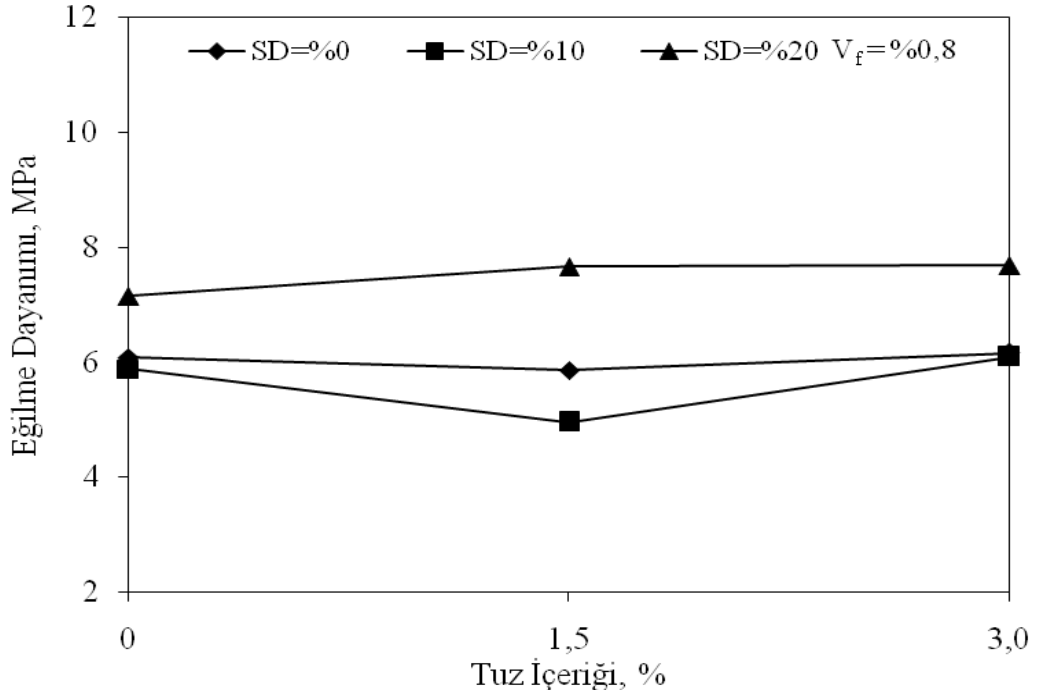
Beton numunelerimizde eğilme dayanımı 150x150x550 mm ölçülerine sahip kiriş numunelere yükleme çerçevesinde yükleme yapılması sonucu eğilme dayanımları belirlenmiştir. Ayrıca deplasman ölçer yardımıyla 10 mm deplasman yapıncaya kadar yükleme gerçekleştirilmiştir. Eğilme dayanımları 28. gün ve 91. gün yapılan deneyler sonucunda tespit edilmiştir. Eğilme dayanımı sonuçları Tablo 4.8.'de verilmektedir.

Tablo 4.8. Eğilme dayanımı sonuçları

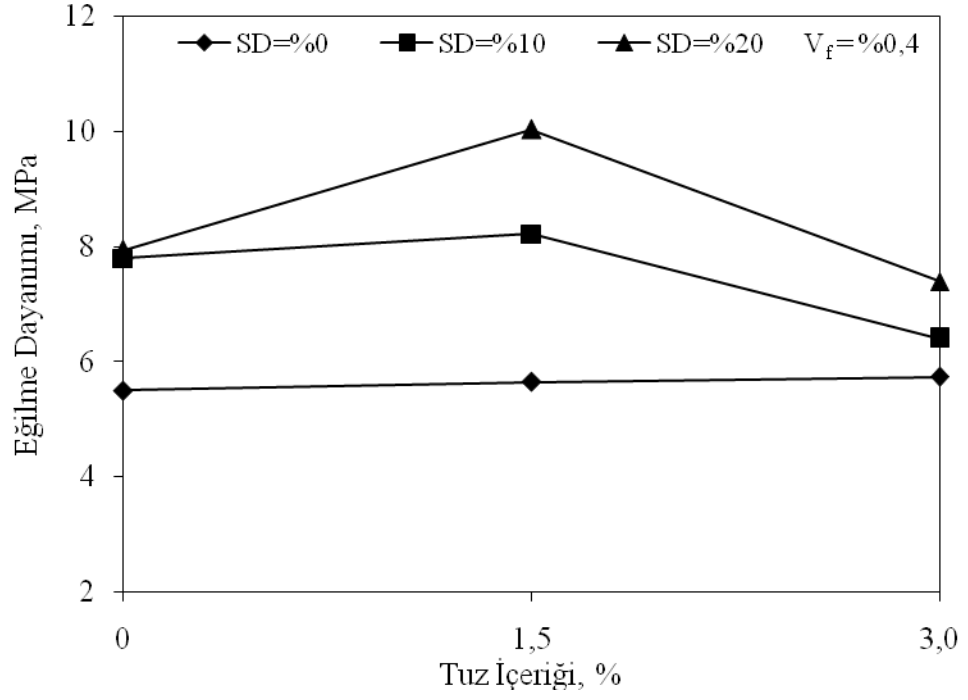
EĞİLME DAYANIMI SONUÇLARI						
Seri No	0 g/L tuz		15 g/L tuz		30 g/L tuz	
	28. gün, Mpa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa	28. gün, MPa	91. gün, MPa
SD0-ÇT0	4,8	5,4	5,8	4,7	5,2	4,9
SD0-ÇT0.4	5,4	5,5	5,3	5,6	5,9	5,7
SD0-ÇT0.8	6,1	5,6	5,9	6,7	6,2	6,0
SD10-ÇT0.4	4,5	7,8	5,0	8,2	4,2	6,4
SD10-ÇT0.8	5,9	6,8	5,0	7,4	6,1	5,6
SD20-ÇT0.4	7,4	7,9	3,6	10,0	4,5	7,4
SD20-ÇT0.8	7,1	7,9	7,7	10,6	7,7	9,8



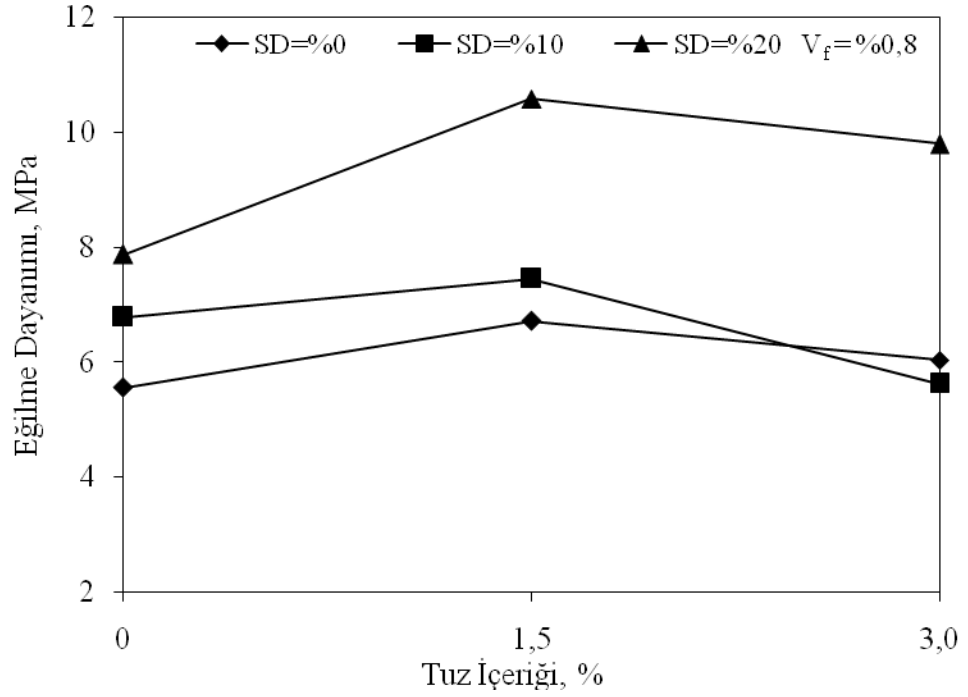
Şekil 4.17. 28. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



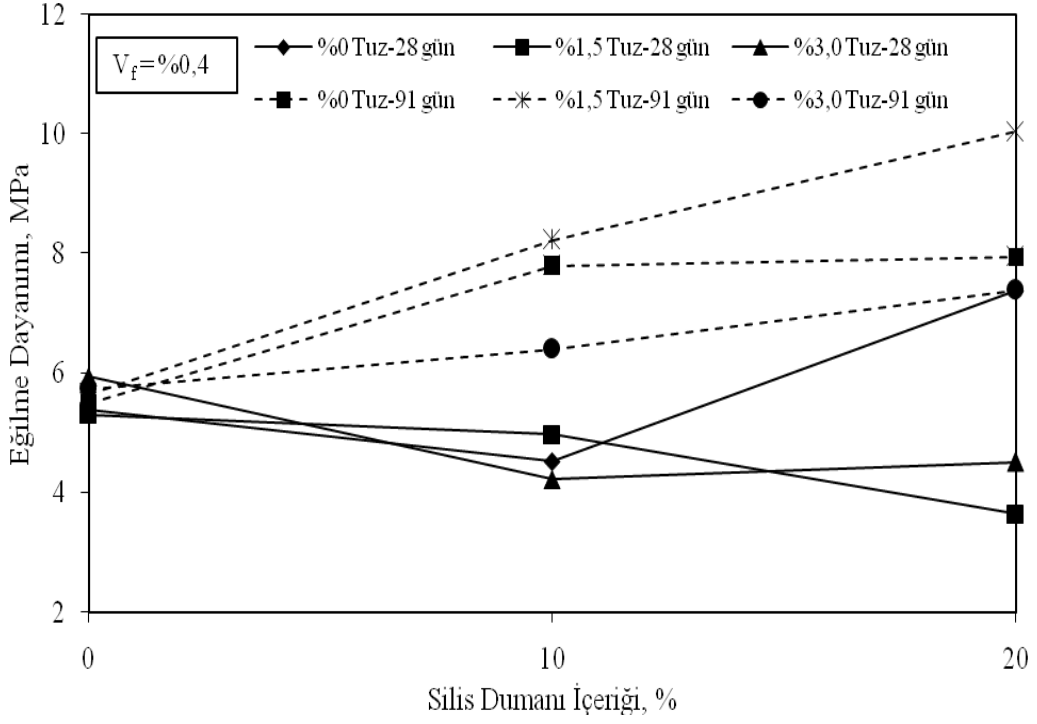
Şekil 4.18. 28. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



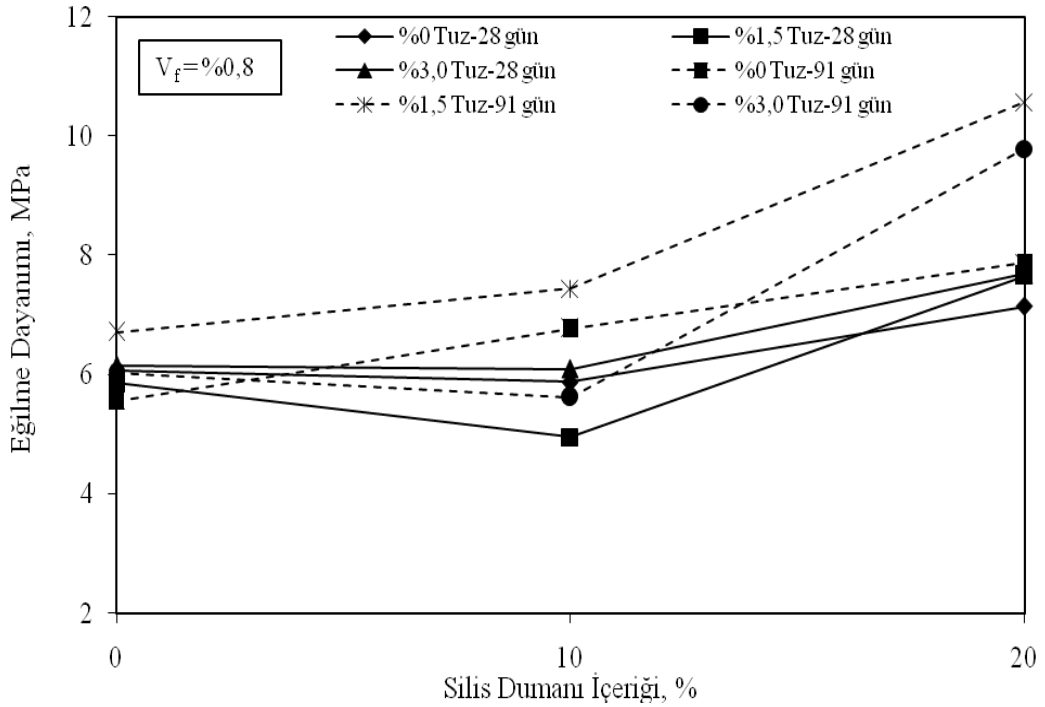
Şekil 4.19. 91. gün ve 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.20. 91. gün ve 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.21. 0,4 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması



Şekil 4.22. 0,8 çelik tel içeren betonların grafikli karşılaştırılması

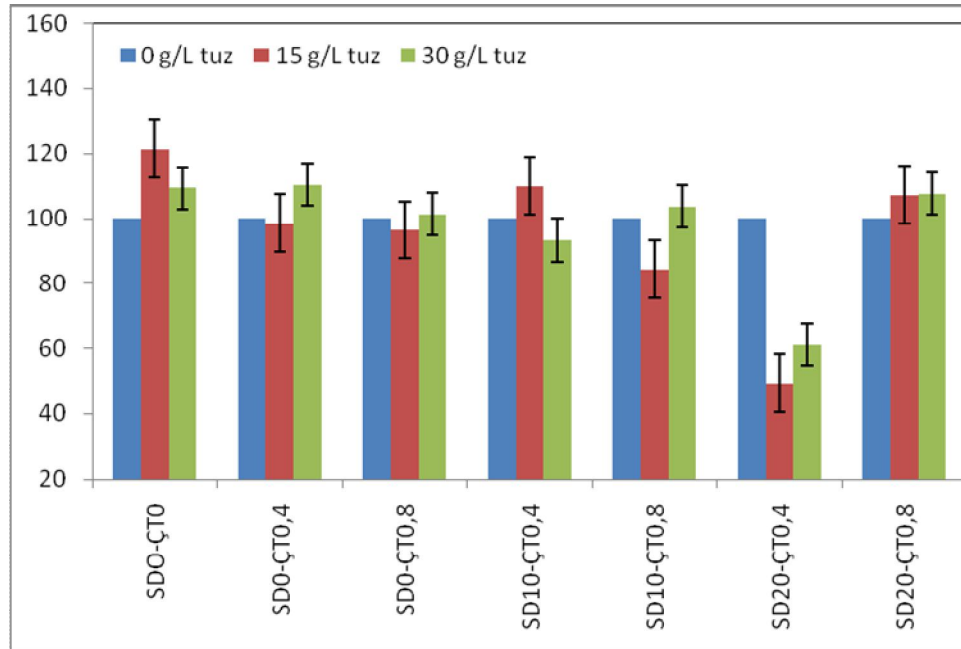
Eğilme dayanımlarında elde edilen sonuçlarda 91 günlük dayanımların 28 günlük dayanımlara nazaran daha yüksek dayanım değerlerine sahip olduğu tespit edilmiştir. %20 silis dumanı içeren numunelerin eğilme dayanım değerleri %10 silis dumanı

içeren numunelere oranla daha yüksek dayanıma sahip olduğu görülmüştür. 28 günlük dayanımlarda %0 silis dumanı içeren betonların dayanımları %10 silis dumanı içeren betonlardan daha yüksek olduğu, ancak 91 günlük deneylerde ise %10 silis dumanı içeren betonların dayanımları daha yüksektir.

Eğilme dayanımı sonuçlarında kontrol grubu numunelerine oranla artış ve azalma olduğu tespit edilmiştir. Bu artış ve azalma oranları tablosu şu şekildedir.

Tablo 4.9. Eğilme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (28.gün)

EĞİLME DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (28.gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	21,3	9,3
SD0-ÇT0.4	0,0	-1,6	10,3
SD0-ÇT0.8	0,0	-3,6	1,3
SD10-ÇT0.4	0,0	10,0	-6,8
SD10-ÇT0.8	0,0	-15,6	3,7
SD20-ÇT0.4	0,0	-50,7	-38,9
SD20-ÇT0.8	0,0	7,2	7,6



Şekil 4.23. Farklı tuz içeriklerinde eğilme dayanımındaki değişim (28.gün)

28. günkü yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda oluşan artış ve azalmalar farklı kür ortamlarına göre değerlendirilmiştir.

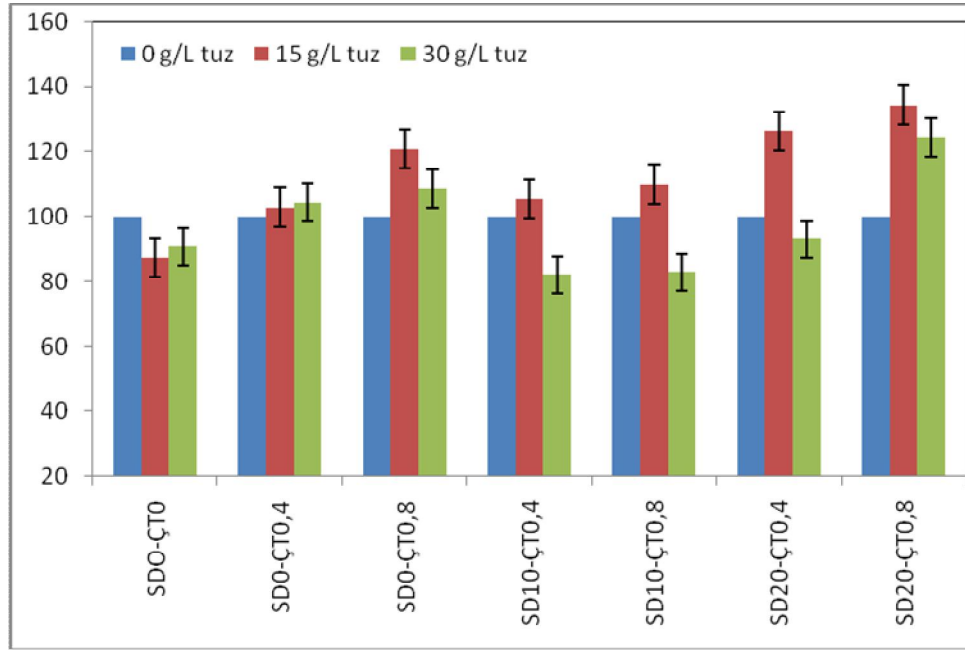
0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 21,3 oranıyla SD0-ÇT0 numunelerimizde olduğu, ancak SD20-ÇT0.4 numunelerimizde ise % 50,7 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 10,3 oranıyla SD0-ÇT0.4 numunelerimizde olduğu, ancak SD20-ÇT0.4 numunelerimizde % 38,9 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 4.10. Eğilme dayanımı sonuçlarındaki artış ve azalmalar (91.gün)

EĞİLME DAYANIMLARINDAKİ ARTIŞ VE AZALMALAR (%) (91.gün)			
Seri No	0 g/L tuz	15 g/L tuz	30 g/L tuz
SD0-ÇT0	0,0	-12,7	-9,3
SD0-ÇT0.4	0,0	2,8	4,4
SD0-ÇT0.8	0,0	20,9	8,6
SD10-ÇT0.4	0,0	5,4	-17,9
SD10-ÇT0.8	0,0	9,9	-17,1
SD20-ÇT0.4	0,0	26,4	-6,9
SD20-ÇT0.8	0,0	34,4	24,4



Şekil 4.24. Farklı tuz içeriklerinde eğilme dayanımındaki değişim (91.gün)

91. günkü yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda oluşan artış ve azalmalar farklı kür ortamlarına göre değerlendirilmiştir.

0 g/L kür ortamına maruz bırakılan numunelerimizi kontrol grubu kabul ederek basınç dayanımlarında değerlendirme yapılmıştır.

15 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 34,4 oranıyla SD20-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD0-ÇT0 numunelerimizde ise % 12,7 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

30 g/L kür ortamına maruz kalan numunelerimizin basınç dayanım sonuçları göz önüne alındığında kontrol grubuna oranla basınç dayanım sonuçlarındaki en fazla artışın % 24,4 oranıyla SD20-ÇT0.8 numunelerimizde olduğu, ancak SD10-ÇT0.4 numunelerimizde % 17,9 oranında azalma olduğu tespit edilmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarına göre silis dumanı ve çelik tel takviyeli betonların NaCl (sodyum klorür) içeren kür ortamındaki davranışı belirlenmeye çalışılmıştır.

1. Çelik tel takviye edilen betonların işlenebilirliğinin azaldığı ve çelik tel oranı arttıkça taze betonların işlenebilme (VeBe) sürelerinde artış görülmüştür.
2. Tuzlu su içeren kürde 28 gün bekletilen betonların basınç dayanımlarının 91 gün kürde bekletilen betonların basınç dayanımlarından genel olarak daha yüksek olduğu görülmüştür. Silis dumanı katkısının beton dayanımını artırdığı bilinmektedir. Ancak bu çalışmada silis dumanının tuzlu ortamda bekletilen betonların dayanımlarına belirgin etkisinin olmadığı belirlenmiştir.
3. Yarmada çekme dayanımı deneyleri sonucunda tuzlu ortamda küre maruz bırakılan betonlarda 28. gün yarmada çekme dayanımlarının 91. gün dayanımlarından daha yüksek olduğu görülmüştür. Tuzlu ortamda bekletilen betonların yarmada çekme dayanımlarında genel olarak azalma olduğu görülmüştür.
4. Çelik tel içeriğinin artmasıyla betonların 28 günlük eğilme dayanımlarında artış olduğu gözlenmiştir. Ancak tuzlu suya maruz kalan beton numunelerin 91.gün dayanımlarında korozyondan oluştuğu düşünülen azalmalar olduğu gözlenmiştir.
5. Aynı tuz içeriklerinde ve aynı silis dumanı oranlarında genel olarak çelik tel içeriğinin artmasıyla betonların dayanımlarında artışlar gözlenmiştir.
6. Deney süresince kırılma düzlemi boyunca çatlak açılması ve yayılmasının çelik teller tarafından engellendiği gözlendi. Artan yük altında bazı çelik teller kopma eğilimi gösterirken, bazıları matristen sıyrılmaya eğilimi sergiledikleri gözlenmiştir. Çelik tellerin çatlak köprüleme etkisi belirgin şekilde gözlenmiştir.

7. Bu çalışmada elde edilen deney sonuçlarına bağlı olarak, elik telin ve silis dumanının tuzlu ortama maruz betonların mekanik dayanımlarına belirgin etkisi olmadığı belirlenmiştir. Çimento tipi, mineral katkı tipi ve farklı tuz içeren ortam şartlarının betonların tuzlara karşı dirençlerine etkisi ayrıca araştırma konusu olarak önerilebilir.

KAYNAKLAR:

- [1] Ersoy, U., Betonarme Cilt 1 (Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı) 2.Baskı,1985.
- [2] Akman, M.S., Yapı Malzemeleri, İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Matbaası, ikinci baskı, 1990.
- [3] Özışık, G., 'Beton' İstanbul Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 1998, İstanbul.
- [4] Erdoğan,T.Y., 'Beton Oluşturan Malzemeler-Agregalar' Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, 1995, İstanbul.
- [5] Kahyaoğlu, H., 1998. Doktora Tezi Çukurova Üniversitesi , Fen Bilimleri Enstitüsü, Kimya Anabilim Dalı.
- [6] Yalçın, H., Koç, T.,1999,Katodik Koruma, Palme Yayıncılık,Ankara s. 269-295.
- [7] Postacioğlu, B., 1986. Beton (Bağlayıcı Maddeler,Agregalar,Beton) Cilt 1 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 175 s.
- [8] Postacioğlu, B., 1987. (Bağlayıcı Maddeler,Agregalar,Beton) Cilt 2 Teknik Kitaplar Yayın Evi. İstanbul 229 s.
- [9] Açar, E., Öztaş, G. ve Süttaş, İ., 1998, Beton Yollar, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [10] Özkul, H., Taşdemir, M.A., Tokyay, M., Uyan, M. 2004 Meslek Liseleri İçin Her Yönüyle Beton, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul, 75 s.
- [11] TS 206-1- Beton- Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk standardı
- [12] Mather, B., 2004. Concrete Durability, 26, 3-4.
- [13] Taşdemir, C., 2003. Combined effects of mineral admixtures and curing conditions on the sorptivity coefficient of concrete, Cement and Concrete Research, 33, 1637–1642.
- [14] Ünal, O., 1994, "Isıl İşlem Uygulamasının Lifli Beton Özelliklerine Etkisi", İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- [15] Yiğiter, H., 2002, “Yüksek Performanslı Betonların Süneklik Özelliklerinin Araştırılması”, DEÜ, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir
- [16] Sancak, E., 1998, “Hafif Agregalı Beton Blokların Mekanik Özellikleri Üzerine Çelik Lif Kullanımının Etkisi”, S.D.Ü., Fen Bil. Ens., Yüksek Lisans Tezi, Isparta.

- [17] Aslan, A. ve Aydın, A.C., 1999, “Lifli Betonların Darbe Etkisi Altında Genel Özellikleri”, Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul
- [18] ACI COMMITTEE 544 1982 American Concrete Institute standardı
- [19] Balaguru, P.N. and Shah, S.P., 1992. Fiber Reinforced Cement Composites, McGraw-Hill, Inc, Singapore.
- [20] Swamy, R.N., 1975, “Fiber Reinforced Cement and Concrete”, Rilem, Materiaux et.Cons., V.9, No.53.
- [21] Shah, S.P., Rangan, B.V., 1971, "Fiber Reinforced Concrete Properties", ACI Journal, pp. 126-135, Feb.
- [22] Taşdemir, M.A., İlki, A., Yerlikaya, M., Mechanical Behaviour of Steel Fibre Reinforced Concrete Used in Hydraulic Structures, Proceedings of Hydro 2002, International Conference of Hydropower and Dams, Antalya, Turkey, 159-166, November 4-7, 2002
- [23] Bayramov, F., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Optimum design of cement-based composites materials using statistical response surface method, Fifth International Congress on Advanced in Civil Engineering, ITU, İstanbul, Turkey, September 25- 27, 725-734
- [24] Şimşek, S., 1997, “Lifli Betonlar Üzerine Bir Çalışma”, G.Ü., Fen Bil. Enst., Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- [25] TS-10513 Çelik Teller - Beton Takviyesinde Kullanılan Çelik Teller
- [26] TS-10514 Beton - Çelik Tel Takviyeli - Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları
- [27] ACI 1984 American Concrete Institute standardı
- [28] Düzgün, O.A., 2001, “Çelik Liflerin Hafif Betonların Dayanımları Üzerindeki Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, Atatürk Üniversitesi, Eylül
- [29] Taşdemir, M. A., 1999, Çelik Tel Takviyeli Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Davranışı. Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- [30] Yılmaz, K. ve Cavga, S., 1999, “Agrega Granülometrisindeki Değişimin Çelik Tel Takviyeli Betonların Performansı Üzerine Etkileri” Çelik Tel Donatılı Betonlar Sempozyumu, İstanbul.
- [31] Vondran, L.G., 1992, "Applications of Steel Fiber Reinforced Concrete". ACI Compilation 27, pp: 14-19

- [32] Uğurlu, A., Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton, T.C. Enerji Ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, Teknik Araştırma Ve Kalite Kontrol Araştırma Dairesi Başkanlığı, Yayın No: MLC 878 2. Baskı, Ankara, 1999
- [33] Yalçın, M., Taşdemir, C., Taşdemir, M.A., Çelik Lif Donatılı Betonların Performans Sınıflarının Belirlenmesi, İTÜ dergisi, 2006, s. 97-108.
- [34] Arslan, A., Çelik Lifli Betonların Özellikleri ve Kullanım Potansiyeli, Türkiye Mühendislik Haberleri, 369(1993) 29-33.
- [35] Çakıroğlu, M.A., Kasap, S., Erenoğlu, E., Betona Değişik Geometrik Formlarda Çelik Lif Eklenmesinin Basınç Dayanımına Etkisi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elazığ, Turkey
- [36] Yaprak, H., Şimşek, O. ve Öneş, A., Cam ve Çelik Liflerin Bazı Beton Özelliklerine Etkisi, Journal of Polytechnic, 2004, s. 353-358
- [37] Erdoğan, T., Beton, 1. Baskı, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara, 2003.
- [38] Soroushian, P., Lee, C. D., Tensile Strength of Steel Fiber Reinforced Concrete: Correlation with Some Measures of Fiber Spacing, ACI Materials Journal, (1990), 541-546.
- [39] JSCE-SF4 Japan Society of Civil Engineering standardı
- [40] ASTM 1018 USA American Society of Testing Materials standardı
- [41] TS-10515 Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu
- [42] Karahan, O. , Liflerle Güçlendirilmiş Uçucu Küllü Betonların Özellikleri, Doktora Tezi, Ç.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana, 2006.
- [43] Çivici, F., Çelik Lif Donatılı Betonun Eğilme Tokluğu, P.Ü. Journal of Engineering Sciences, Denizli, 2006, s 183-188
- [44] Nelson, P.K., Li, V.C. ve Kamada, T., Fracture Toughness of Microfiber Reinforced Cement Composites, Journal of Materials in Civil Engineering, 14,5 (2002) 384-391.
- [45] Balaguru, P.N., ve Ramakrishnan, V., Properties of Fiber Reinforced Concrete: Workability, Behaviour Under Long-Term Loading, Air- Void Characteristics, ACI Material Journal, 85, 3 (1998) 189-196.
- [46] Yerlikaya, M., Çelik Teller ile Donatılmış Beton Elemanların Düşey Yük Altında Davranışları , Hazır Beton Dergisi, (1998), 72-73.

- [47] Fırat, M.T., 1996. Silis Dumanı İçeren Yüksek Mukavemetli Betonların Enerji Yutma Kapasitelerinin Arttırılmasında Çelik Lif Kullanımının Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Taşdemir, M.A., Yerlikaya, M. ve Şengül, Ö., 2004. Endüstriyel Zemin Betonları,
- [49] Yıldırım, S.T. ve Ekinci, C.E., Karışık Lif Kullanımının Betonun Bazı Mekanik Özelliklerine Etkisinin İncelenmesi, 16-18 Kasım 2005, 6. Ulusal Beton Kongresi, İstanbul
- [50] Yeğınobalı, A., 2007, Silis Dumanı ve Çimento ile Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.
- [51] Topçu, İ.B., 2006. Yapı Malzemeleri ve Beton , Şahvar Offset,Eskişehir
- [52] Topçu, İ.B., Canbaz, M., Silis Dumanının Betonda Mekanik Çatlak Oluşumlarına Etkisi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh.Mim.Fak.Dergisi C.XXI, S.2, 2008
- [53] Yeğınobalı, A. ve Ertün, T., 2007. Çimentoda Yeni Standartlar ve Mineral Katkılar, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği Ar-Ge Enstitüsü, Ankara.
- [54] Türkmen, İ., 2002. Korozi Etkiler Altında Yüksek Fırın Cürufu ve Silis Dumanı katkılı Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özellikleri ve Dayanıklılığı, Doktora Tezi, A.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Erzurum.
- [55] Aköz, F., 2002. Tarihi Yapıların Onarımında Kullanılacak Harç Üretimi, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü,
- [56] Yeğınobalı, A., 2003. Silis Dumanı Ve Çimento İle Betonda Kullanımı, Türkiye Çimento Müstahsilleri Birliği, Ankara.
- [57] Mazloom, M., ve Ramezaniyanpour, A.A. ve Brooks, J.J., 2004. Effect of Silica Fume on Mechanical Properties of High-Strength Concrete, Cement & Concrete Composites, 26, 347-357
- [58] Yüzer, N., 1998. Silis Dumanı Katkılı Betonarme Elemanlara Klorür Etkisinin Hızlandırılmış Korozyon Deneyi İle Araştırılması, Doktora Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [59] Toutanji, H. ve Bayasi, Z., 1999. Effect of Curing Procedures on Properties of Silica Fume Concrete, Cement and Concrete Research, 29, 497-501.
- [60] Şimşek, O., Erdal, M. ve Sancak, E., Silis Dumanının Çelik Lifli Betonun Eğilme Dayanımına Etkisi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt 20, No 2, 211-215, 2005, Ankara

- [61] Köksal, F., Yiğit, İ., Yerlikaya, M., Şahin, Y., Silis Dumanı ve Çelik Tel Kullanımının Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, 6.Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Kasım 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak/İSTANBUL, s.317-326.
- [62] Erdoğan, Ş., Kurbetçi Ş., Doğan A., Silis Dumanının Katkılı Çimento ile Kullanımı, 4. Ulusal Beton Kongresi Beton Teknolojisinde Mineral ve Kimyasal Katkılar Bildiri Kitabı, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, s. 257-265.
- [63] Ekinci, C.E. ve Yeğınobalı, A., Silis Dumanı Katkılı Betonların Çarpma Dayanımı, 4. Ulusal Beton Kongresi.(TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası), s. 25-33, Maya Basın Yayın, İstanbul.
- [64] Aköz, F., Yüzer, N., Koral, S., Silis Dumanı Katkılı ve Katkısız Harçlara Sodyum Klorür ve Magnezyum Klorürün Etkileri, 4.Ulusal Beton Kongresi, (1996)
- [65] Sever, C. 1993. Beton Yapılarda Korozyon, Türkiye Mühendislik Haberleri, 12.Teknik Kongre, (366) ,33.
- [66] Akman, M.S, 1994, Traslı Çimento Nedir? Ne Değildir? TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayını. Panel, sf:55, Ankara.
- [67] Yazıcı, H., Türkel, S., Yiğiter, H., Aydın, S., 2003. Beton İçindeki Bağlayıcı Miktarının Betonun Deniz Suyuna Dayanıklılığına Etkisi. TMMOB, IMO İstanbul şubesi 5. Ulusal Beton Kongresi, 27-36s.
- [68] Kadiroğlu, İ., 2000, Deniz Suyunun Beton Karma Suyu Olarak Kullanılabilirliği Hazır Beton Dergisi Eylül – Ekim 48-51s.
- [69] Yeğınobalı, A., 2001, Katkılı Beton mu, Katkılı Çimento mu? Çimento ve Beton Dünyası, 5(30) 33-45s.
- [70] Uyan, M., Akkaya, Y., 2003, Deniz Sularının Karma Suyu Olarak Beton Özelliklerine Etkisi Türkiye Hazır Beton Birliğı Hazır Beton Dergisi Eylül – Ekim 80-84s.
- [71] www.turkiyetuz.com-28.01.2013-Türkiye ve dünyadaki tuz içerikleri
- [72] Biçer, A., Koç, T., Alıcılar, A., Arslan, A., 1997. Ceyhan Bölge, Dörtüyl İşletmeMüdürlüğü Tesislerindeki Beton Korozyonu Raporu. Boru Hatları ile Petrol Taşıma A.Ş. Genel Müdürlüğü. Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi.
- [73] Düzbasan, S., Ulugöz, S., Yakıt, E., Deniz Yapılarında Mikro Silika Kullanılması, 6.Ulusal Beton Kongresi, 16-18 Kasım 2005, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak/İSTANBUL, s.191-200.

- [74] Yıldırım, K. ve Sümer, M., Denize Yakın Ortamda Beton Korozyonu, Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-23-24 Eylül,2005,Antalya
- [75] Jamil, H. E., Montemor, M. F., Boulif, R., Shriri, A. and Ferreira, M. G. S., 2003. Erratum To “An Electrochemical And Analytical Approach To The İnhibition Mechanism Of An Amino-Alcohol-Based Corrosion İnhibitor For Reinforced Concrete”: [Electrochim. Acta 48, pp. 3509–3518.
- [76] Yüzer, N., Aköz, F., Silis Dumanı Katkılı Betona Klorür Etkisi, 2003, 5. Ulusal Beton Kongresi, pp. 65-74.
- [77] TS 10514 Beton-Çelik Tel Takviyeli-Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları
- [78] TS EN 12350-6 Beton-Birim Ağırlık Deneyi Tayini
- [79] TS EN 12350-3 Beton- Taze Beton Deneyle- Vebe Deneyi
- [80] TS EN 12390-3 Beton-Deney Numunelerinin Basınç Dayanımı Tayini
- [81] TS EN 12390-6 Beton- Deney Numunelerinin Yarmada Çekme DayanımıTayini
- [82] ASTM C 1018 American Society of Testing Materials standartı
- [83] TS-10515 Beton - Çelik Tel Takviyeli - Eğilme Mukavemeti Deney Metodu
- [84] TS EN 12390-5 Beton- Deney Numunelerinin Eğilme Dayanımının Tayini

ÖZGEÇMİŞ

1985 yılında Ankara’da doğan Mehmet GÜRBÜZ, ilk, orta ve lise öğrenimini Ankara’da tamamlamıştır. 2003 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne kaydını yaptırmış olup, 2005 yılında Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş yapmıştır. 2009 yılında lisans eğitimini tamamlamıştır.

Aynı yıl Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında yüksek lisans eğitimine başlamıştır. Doç Dr. Ziyafeddin BABAYEV ve Doç. Dr. Fuat KÖKSAL danışmanlığında “Çelik Tel ve Silis Dumanı Betonların Sodyum Klorürlü Ortamda Mekanik Davranışı” başlıklı yüksek lisans tezini hazırlamaktadır.

2009 yılından itibaren çeşitli kurumlarda İnşaat Mühendisi olarak görev yapmaktadır.

İletişim Bilgileri:

İstasyon Mah. 2319. Sokak Yunus Apt.

No: 4/19 Etimesgut / ANKARA

Tel: 0 506 861 10 17