

**ÇELİK TEL DONATI ve POLİMER KATKININ
NORMAL ve HAFİF BETONLARIN
MUKAVEMET ÖZELİKLERİNE ETKİLERİ**

(DOKTORA TEZİ)

Y.İç.Mim.Sedat KURUGÖL

78377

Tez Danışmanı

Prof.Dr.Halit Yaşa ERSOY

78377

Haziran-1997/ İSTANBUL

İÇİNDEKİLER

NOTASYON LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vi
ŞEKİL LİSTESİ	vii
ÖZET	ix
ABSTRACT	xiv

BÖLÜM 1 - GİRİŞ, TANIMLAR, ARAŞTIRMANIN KONUSU	1
1.1. Giriş, Genel Bilgiler	1
1.2. Hafif Betonlar	1
1.2.1. Tanım , Sınıflandırma ve Özellikler	2
1.2.2. Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler	4
1.2.3. Hafif Betonların Yapıda Kullanımı	4
1.3. Liflerle Donatılı Betonlar	4
1.3.1. Tanım	5
1.3.2. Beton Donatısı Olarak Kullanılan Çelik Teller	6
1.4. Polimer Katkılı Betonlar	7
1.4.1 Polimer Malzemeler	8
1.4.1.2. Polimer Betonları	10
1.5. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı	10
1.6. Literatür Araştırması	12
1.6.1. Hafif Agregalı Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar	12
1.6.1.1. Hafif Agregalar	12
1.6.1.2. Hafif Betonların Elastik Modülünün Tahmini Olanakları	13
1.6.1.3. Hafif Betonlarla İlgili Olarak Yapılan Çalışmalar	15
1.6.2. Çelik Tel Donatılı Hafif ve Normal Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar	17
1.6.2.1. Çelik Tellerle Donatılı Betonların Mekanik Özellikleri İle İlgili Temel Bağıntılar	22
1.6.2.2. Liflerle Donatılı Betonların Özellikleri	25
1.6.2.2.1. Matris Özellikleri	25
1.6.2.2.2. Liflerle Donatılı Taze Betonun Özellikleri	26
1.6.2.2.3. Liflerle Donatılı Sertleşmiş Betonun Özellikleri	26
1.6.2.2.4. Liflerle Donatılı Betonların Kullanım Yerleri	29
1.6.3. Polimer Katkılı Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar	30
1.6.3.1. Çimento Bağlayıcılı Betonlara Polimer Katma (Modifiye) İlkeleri	30
1.6.3.2. Polimerlerin Beton Teknolojisinde Kullanımı	34
1.6.3.3. Beton Üretiminde Kullanılan Polimer Katkı Maddeleri	36
1.6.3.3.1. Polimer Lateksleri	36
BÖLÜM 2 - DENEYSEL ÇALIŞMA	38
2.1. Kullanılan Malzemeler	38
2.1.1. Agregaların Özellikleri	38
2.1.2. Çimento Bağlayıcısının Özellikleri	40
2.1.3. Çelik Tel Donatı Malzemesinin Özellikleri	41

2.1.4. Polimer Maddesinin Özellikleri	41
2.2. Beton Bileşimleri, Kabul Edilen Esaslar ve Numuneler	42
2.2.1. Beton Bileşim Hesapları ve Kabul Edilen Esaslar	43
2.2.2. Beton Üretimi, Karıştırma, Yerleştirme ve Kür Koşulları	46
2.2.3. Beton Numunelerinin Boyutları ve Sayıları	47
2.2.4. Beton Numuneleri Üzerinde Yapılan Deneyler	47
2.2.4.1. Taze Deton Deneyleri	47
2.2.4.2. Sertleşmiş Beton Deneyleri	47
2.2.5. Deney Numunelerinin Kodlanması	49
BÖLÜM 3 - DENEY SONUÇ LARI	51
3.1. Ön Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar	51
3.2. Taze Beton Deneyi Sonuçları	52
3.3. Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları	53
BÖLÜM 4 - DENEY SONUÇLARININ BİLEŞEN-ÖZELİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ	56
4.1. Ön Deney Sonuçlarının İrdelenmesi	56
4.1.1. Çelik Tel Oranı İle Elastiklik Modülü İlişkisi	56
4.1.2. Çelik Tel Oranı İle Eğilme ve Basınç Mukavemeti İlişkisi	56
4.1.3. Elastiklik Modülü Açısından Polimer Katkıların Kıyaslanması	58
4.1.4. Basınç Mukavemeti Açısından Polimer Katkıların Kıyaslanması	59
4.1.5. Eğilme Mukavemeti Açısından Polimer Katkıların Kıyaslanması	60
4.2. Taze Betonun Özelliklerinin İrdelenmesi	60
4.2.1. Hafif Taze Betonun Özelliklerinin İrdelenmesi	61
4.2.2. Çelik Tel Donatılı Taze Normal Betonun Özellikleri	61
4.2.3. Çelik Tel Donatılı Taze Hafif Betonun Özellikleri	61
4.2.4. Polimer Katkılı Taze Normal Betonun Özellikleri	62
4.2.5. Polimer Katkılı Taze Hafif Betonun Özellikleri	62
4.3. Sertleşmiş Betonların Özelliklerinin İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi	63
4.3.1. Birim Ağırlık Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	63
4.3.1.1. Hafif Agreganın Birim Ağırlığa Etkisi	63
4.3.1.2. Çelik Tellerin Betonların Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi	65
4.3.1.3. Polimer Katkının Üretilen Betonların Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi	67
4.3.2. Elastik Modülü Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	70
4.3.2.1. Hafif Karışımlarda Hafif Agreganın Elastiklik Modülü Üzerine Etkisi	72
4.3.2.2. Çelik Tellerin Betonların Elastiklik Modülü Üzerine Etkisi	74
4.3.2.3. Polimer Katkının Betonların Elastiklik Modülü Üzerine Etkisi	76
4.3.3. Basınç Mukavemeti Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	79
4.3.3.1. Hafif Agreganın Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi	79
4.3.3.2. Çelik Tellerin Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi	81
4.3.3.3. Polimer Katkının Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi	84
4.3.4. Eğilmede İlk Çatlak Gerilmesi Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	88
4.3.4.1. Hafif Agrega Hacim Oranı İle İlk Çatlak Gerilmesi Arasındaki İlişkiler	89

4.3.4.2. Normal Betonlarda Çelik Tel Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerindeki Etkileri	90
4.3.4.3. Çelik Tel Donatılı Hafif Betonlarda Lateks Polimer Katkı Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerine Etkisi	93
4.3.5. Eğilme Gerilmesi Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	94
4.3.5.1. Hafif Agreganın Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi	94
4.3.5.2. Çelik Tellerin Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi	96
4.3.5.3. Polimer Katkının Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi	98
4.3.6. Yarma Gerilmesi Açısından Karışımların Değerlendirilmesi	100
4.3.6.1. Hafif Agreganın Yarma Gerilmesi Üzerine Etkisi	102
4.3.6.2. Çelik Tellerin Betonların Yarma Gerilmesi Üzerine Etkisi	104
4.3.6.3. Polimer Katkı Oranının Betonların Yarma Gerilmesi Üzerine Etkisi	106
4.4. Bileşenlerin Özelliklere Etkileri Açısından Karışımların İrdelenmesi	108
4.4.1. Beton Karışımlarında Birim Ağırlıkla E-Modülü Arasındaki İlişkiler	108
4.4.2. Üretilen Betonlarda Birim Ağırlık İle Basınç Mukavemeti İlişkisi	110
4.4.3. Üretilen Betonlarda Birim Ağırlık İle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler	113
4.4.4. Betonlarda Birim Ağırlık İle Yarma Mukavemeti İlişkisi	116
4.4.5. Betonların Eğilme Mukavemeti İle Yarma Mukavemeti Arasındaki İlişkileri	117
4.4.6. Üretilen Betonlarda E-Modülü İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkiler	119
4.4.7. Hafif Betonlarda E-Modülü İle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler	122
4.4.8. Hafif Betonlarda Basınç Mukavemetiyle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler	123
4.4.9. Üretilen Betonların E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak Belirlenmesi Olanakları	124
4.4.9.1. Değişken Hafif Agregası Hacim Oranına Bağlı Olarak Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi	127
4.4.9.2. Değişken Çelik Tel Hacim Oranına Bağlı Olarak Normal ve Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi	129
4.4.9.3. Değişken Lateks Polimer Katkı Oranına Bağlı Olarak Normal ve Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi	130
4.5. Beton Mukavemetlerinin, Beton Mukavemet Çekici ve Ultrases Ölçüm Yöntemiyle İrdelenmesi - SONREB Yöntemi -	131
4.5.1. Ultrases Hızı Deneyinin İçeriği	132
4.5.2. Schimdt Sertlik Ölçüm Deneyinin İçeriği	132
4.5.3. Üretilen Karışımların Ultrases Hızı ve Schimdt Sertlik Ölçümü Yöntemiyle Mukavemetlerinin Belirlenmesi - SONREB Yöntemi	133
4.6. Deney Sonuçlarının Uygulama Açısından Genel Değerlendirmesi	137
4.7. Fiyat Açısından Üretilen Karışımların Optimizasyonu	138

BÖLÜM 5 - SONUÇ	140
5.1. Süngertaşı Hafif Agregalı Hafif Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar	140
5.2. Çelik Tel Donatılı Normal ve Hafif Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar	141
5.3. Lateks Polimer Katkılı Normal ve Hafif Betonların Mekanik Özellikleri İle İlgili Sonuçlar	143
5.4. İleri Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler	145
EKLER	
Resimler	146
LİTERATÜR	149
ÖZGEÇMİŞ	156
TEŞEKKÜR	157



NOTASYON

BN	= Normal Beton
BH	= Hafif Beton
BL	= Çelik Tel Donatılı Normal Beton
BHL	= Çelik Tel Donatılı Hafif Beton
BP	= Polimer Katkılı Normal Beton
BHP	= Polimer Katkılı Hafif Beton
BHLP	= Polimer Katkılı Çelik Tel Donatılı Hafif Beton

Semboller

E	= Elastiklik Modülü
A	= Alan
P	= Ağırlık
V	= Hacim Oranı
σ	= Gerilme
L	= Boy
s/ç	= Su/Çimento Oranı
p/ç	= Polimer Çimento Oranı
R	= Mukavemet
R_b	= Basınç Mukavemeti
R_t	= Teorik Basınç Mukavemeti
h	= Yükseklik
b	= Genişlik
U	= Lif Çevresi
γ	= Yüzey Gerilimi
g	= Yerçekimi İvmesi
d	= Kalınlık, Lif Çapı
R^2	= Korelasyon katsayısı karesi
τ	= Aderans
η_1	= Boy Etkinlik Katsayısı
η_2	= Yön Etkinlik Katsayısı
ϵ	= Deformasyon Oranı
Δ	= Birim Ağırlık
δ	= Dane Birim Ağırlık
v	= Ultrases Hızı
S	= Schimdt Ölçüm Değeri
n_1	= Deneysel Sabit
n_0	= Deneysel Sabit
n_2	= Deneysel Sabit

İndisler

ag	= Agraga
hag	= Hafif Agregası
kag	= Kaba Agregası
max	= En Fazla
m	= Matris
p	= Faz
c	= Kompozit
u	= Göçme
kr	= Kritik
f	= Lif
p	= Polimer
b	= Basınç
t	= Teorik
H	= Hava
y	= Yarma
eğ	= Eğilme
iç	= İlk Çatlak
göç	= Göçme

TABLO LİSTESİ**Tablo**

- 1.1. Hafif Beton Türleri
- 1.2. Bazı Lif Malzemelerinin Özellikleri
- 1.3. Betona Katılabilecek En Fazla Tel Miktarları
- 1.4. Normal Betona Göre Çelik Tel ve Cam Lifi Donatılı Betonların Mukavemet Özelliklerindeki Yaklaşık Artış Değerleri
- 1.5. Hafif Agregalı ve Normal Agregalı Polimer Betonların Özellikleri
- 1.6. Polimer Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri

- 2.1. Kum Agregasının Özellikleri
- 2.2. Kırmataş Agregasının Özellikleri
- 2.3. Süngertaşı Agregasının Birim Ağırlıkları
- 2.4. Süngertaşı Agregasının Su Emme Değerleri
- 2.5. Agregasın Bileşim Oranları

- 3.1. Ön Dene Sonuçları (Taze ve Sertleşmiş Beton)
- 3.2. Beton Bileşimleri ve Taze Beton Özellikleri
- 3.3. Üretilen Karışımların Ultrases Değerleri
- 3.4. Sertleşmiş Beton Dene Sonuçları

- 4.1. Üretilen Karışımların Ultrases Hızı ve Schmidt Ölçüm Değerlerinden Hareketle Elde Edilen Teorik Basınç Değerleri
- 4.2. Karışımlara Giren Malzeme Bileşenlerin Artan Hacim Oranları ve Özelliklerinin, Betonların Sonuç Özelliklerine Etkilerinin Toplu Olarak Özeti

ŞEKİL LİSTESİ

Sekil

- 1.1. Çeşitli Çelik Tel Türleri
- 1.2. Kondensasyon Polimerizasyonu
- 1.3. Stiren ve Bütadiyenin Rastgele Kopolimeri
- 1.4. İdeal Sert ve Yumuşak Kompozit Malzeme Modelleri
- 1.5. Hirsch-Dougill, Hashin-Hansen ve Counto Modellerinin Gösterimi
- 1.6. Çelik Tel Donatılı Betonlarda Basınç Altında Şekil Değiştirme Eğrisi
- 1.7. Çelik Tel Donatılı Betonlarda Çekme Halinde Şekil Değiştirme Davranışı
- 1.8. Yük-Sehim Eğrisi
- 1.9. Polimerli Betonda Matris Fazının Oluşum Safhaları
- 1.10. Beton-Polimer Kompozitleri
- 1.11. Çimentoya Katılan Polimer Lateksleri

- 2.1. Süngertaşı Hafif Agregasının Kimyasal Özellikleri
- 2.2. Beton Agregasının Geometrik Bileşimi
- 2.3. Çelik Tellerle Donatılı Betonlarda Eğilme Deneyi Düzeni

- 4.1. Ön Deney Çelik Tel Hacim Oranı İle Dinamik E-Modülü İlişkisi
- 4.2. Ön Deney Çelik Tel Hacim Oranı İle Basınç Gerilmesi İlişkisi
- 4.3. Ön Deney Çelik Tel Hacim Oranı İle Eğilme Gerilmesi İlişkisi
- 4.4. Polimer Katkıların E-Modülü Açısından Karşılaştırılması
- 4.5. Polimer Katkıların Basınç Gerilmesi Açısından Karşılaştırılması
- 4.6. Polimer Katkıların Eğilme Gerilmesi Açısından Karşılaştırılması
- 4.7. Hafif Agregası Hacim Oranı İle Birim Ağırlık İlişkisi
- 4.8. Çelik Tel Hacim Oranı İle Birim Ağırlık İlişkisi
- 4.9. Normal Betonda Polimer Hacim Oranı İle Birim Ağırlık İlişkisi
- 4.10. Hafif Betonda Polimer Hacim Oranı İle Birim Ağırlık İlişkisi
- 4.11. Normal ve Hafif Betonlarda Katkı Oranı İle Birim Ağırlık İlişkisi
- 4.12. Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı
- 4.13. Hafif Agregası Hacim Oranının Betonların E-Modülü Üzerine Etkisi
- 4.14. Çelik Tel Hacim Oranının Betonların E-Modülü Üzerine Etkisi
- 4.15. Polimer Hacim Oranının Betonların E-Modülü Üzerine Etkisi
- 4.16. Donatılı Hafif Betonlarda Polimer Katkının E-Modülü Üzerine Etkisi
- 4.17. Hafif Agregası Hacim Oranının Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi
- 4.18. Çelik Tel Hacim Oranının Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi
- 4.19. Polimer Katkının Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi
- 4.20. Donatılı Betonlarda Gerilme-Şekil Değiştirme Davranışı
- 4.21. Donatılı Hafif Betonlarda Agregası Hacim Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerine Etkisi
- 4.22. Normal ve Hafif Betonlarda Çelik Tel Hacim Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerine Etkisi

- 4.23 Çelik Tel Donatılı Hafif Betonlarda Lateks Polimer Katkı Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerine Etkisi
- 4.24 Hafif Betonlarda Değişken Hafif Agregası Hacim Oranının Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi
- 4.25 Beton Karışımlarında Farklı Oranlardaki Lateks Katkı Hacim Oranının Eğilme Gerilmesi Üzerine Etkisi
- 4.26. Hafif Agregası Hacim Oranının Yarma Mukavemeti Üzerine Etkisi
- 4.27. Normal ve Hafif Betonlarda Çelik Tel Hacim Oranının Yarma Mukavemetine Etkisi
- 4.28. Normal ve Hafif Betonlarda Polimer Katkı Oranı İle Yarma Mukavemeti İlişkisi
- 4.29. Hafif ve Donatılı Hafif Betonlarda Birim Ağırlıkla E-Modülü İlişkisi
- 4.30 Değişken Donatı Hacim Oranına Göre Normal ve Hafif Betonlarda Birim Ağırlık ile E-Modülü Arasındaki İlişkiler
- 4.31 Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda Birim Ağırlık İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkisi
- 4.32. Lateks Polimer Katkılı Normal ve Hafif Beton Serilerinin Basınç Mukavemeti İle Birim Ağırlıkları Arasındaki İlişkiler
- 4.33 Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda Birim Ağırlıkla Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.34 Çelik Tel Donatılı Normal ve Hafif Betonlarda Birim Ağırlıkla Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.35 Çelik Tel donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda Birim Ağırlıkla Yarma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.36 Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda Eğilme Mukavemeti İle Yarma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.37 Çelik Tel Donatılı Normal ve Hafif Betonlarda Eğilme Mukavemeti İle Yarma Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.38 Hafif Agregası Hacim Oranına Göre Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda E-Modülü İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.39 Lateks Polimer Katkılı Normal ve Hafif Beton Serilerinin Basınç Mukavemeti İle E-Modülü Arasındaki İlişkiler
- 4.40 Hafif Agregası Hacim Oranına Göre Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda E-Modülü ile Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.41 Hafif Agregası Hacim Oranına Göre Çelik Tel Donatılı ve Donatısız Hafif Betonlarda Basınç ile Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler
- 4.42 BH ve BHL-1 Serilerinde ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) Faktörü İle E-Modülü Arasındaki İlişkiler
- 4.43 BL ve BHL-2 Serilerinde ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) Faktörü ile E-Modülü Arasındaki İlişkiler
- 4.44 BP ve BHP Serilerinde ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) Faktörü İle E-Modülü Arasındaki İlişkiler
- 4.45 Çeşitli Beton Karışımlarında SONREB Yöntemi Aracılığı İle Bulunan Teorik Değerlerle (R_t) Deneysel Olarak Saptanmış Olan Betonların Basınç Mukavemeti Değerlerinin (R_b) Karşılaştırılması.

ÖZET

Günümüzün temel yapı malzemesi olan beton, yüzyılı aşkın bir süreden beri yapı alanında kullanımı yaygınlaşmış bir malzemedir. Bu denli yoğunlukla tercih edilmesi hiç kuşkusuz ki, olumlu niteliklerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanında ayrıca, bütün dünyada betonun özelliklerini geliştirmek amacıyla yönelik olarak birtakım çalışmalar da yapılmaktadır. Teknolojinin getirdiği yenilikler ve bunların inşaat dünyasına yansımaları dayanıklı, nitelikli ve özel beton üretme çabaları, betonda çelik lifler, çeşitli kimyasal katkı maddeleri ve birim ağırlığını düşürmek için çeşitli hafif agregaların kullanımını yaygın hale getirmiştir.

Hafif betonların üretiminde kullanılan hafif agregalardan biri de ülkemizde zengin rezervleri bulunan süngertaşıdır. Süngertaşı agregası ile üretilen betonlar, ısı ve ses yalıtımı amacıyla beton blok ve prekast beton yapı elemanlarının üretiminde de kullanılmakta, ayrıca bunlardan taşıyıcı yarı hafif betonlar da üretilebilmektedir. Dolayısıyla, süngertaşı hafif agregasından üretilen farklı niteliklere sahip betonları yapının taşıyıcı sisteminde kullanmanın yanısıra, çeşitli yapı fiziği sorunlarına da çözümler getirebilmek mümkün olabilmektedir.

Normal betonda çelik tellerin donatı olarak kullanılması son yıllarda oldukça yaygınlaşmıştır. Çeşitli uygulama alanlarına sahip olan bu tür betonlar için değişik özelliklere sahip çelik teller üretilmektedir. Bundan amaç ise mekanik dayanımları daha iyi olan bir malzeme üretmektir. Bununla birlikte hafif betonlarda çelik tellerin kullanılması çalışmalarını geleneksel betona göre oldukça yeni olduğundan bu betonları çelik tellerle donatmakla normal betona göre zayıf olan bazı mekanik özelliklerini büyük ölçüde geliştirmenin mümkün olabileceği anlaşılmaktadır.

Betonda kullanılan katkı maddelerinden biri de, hem inşaat alanında hem de diğer alanlarda kullanılmakta olan polimerlerdir. Çeşitli polimerlerin betona katılmasının amacı betonun ve harcın mekanik özellikleri yanında, geçirimsizlik, aşınma, donatı dayanıklılığı vb. özelliklerini geliştirmek ve durabilitesini arttırmaktır. Son yıllarda stiren bütadyen, poliakrilik ester ve polivinil klorit gibi polimer maddeleri katılarak üretilmiş harç ve beton uygulamaları yaygınlık kazanmış ve bu amaçla çeşitli ülkelerde araştırmalar yapılmıştır. Bununla birlikte süngertaşı hafif agregalı hafif betonlarda polimer katkı maddeleri kullanımının ve özellikle bu tür yarı hafif betonların çelik tellerle donatılı olan türlerinde oluşturabileceği özelliklerin irdelenmesi konusunda çalışma yapılmamış gibidir.

Bu çalışmada, normal betonun iri agrega gurubu süngertaşı hafif agregası ile değiştirilmek suretiyle hafif betonlar üretilmiş ve bu hafif betonlarla normal betonların, çelik tellerle donatılarak ve harçlarda aderansı artırıcı özeliği olan stiren bütadyen kopolimer lateks katkı maddesi katılarak mekanik mukavemetlerinin iyileştirilmesi olanakları araştırılmıştır. Ayrıca karışıma giren bu bileşenlerin hafif ve normal betonun mekanik özelliklerindeki etkileri belirlenerek üretilen karışımların bir kıyaslaması yapılmıştır. Bunun yanında deneysel olarak elde edilmiş olan basınç mukavemeti değerlerinin, ultrases hızı ve beton mukavemet çekici (Schmidt) ile

sertlik ölçüm değerlerinden hareketle belirlenmesi metodu olan tahribatsız SONREB yöntemiyle güvenilirlikleri araştırılmıştır.

Çalışma beş bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde genel bilgiler verilerek, araştırmanın konusu, kapsamı ve içeriği tanıtılmakta ve konuyla ilgili genel tanımlar yapılmaktadır. Ayrıca hafif betonların, lif donatılı betonların ve polimer katkılı betonların özellikleri ile ilgili açıklamalara yer verilmektedir.

İkinci bölümde deneysel çalışma yer almaktadır. Karışımlarda kullanılan malzemelerin özellikleri üzerinde yapılan ön deneyler ve ön kabuller belirtilmekte, üretilen beton numuneleri sıralanmakta, taze ve sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deneyler açıklanmaktadır.

Üçüncü bölümde deneylerden elde edilen sonuçlar verilmektedir. Her bir beton gurubu için elde edilen taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları topluca tablolar halinde gösterilmektedir.

Dördüncü bölümde, çalışma kapsamınca üretilen tüm betonlar üzerinde yapılan mekanik deneylerden elde edilen sonuçların irdelenmesi ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Beşinci bölümde ise, elde edilen sonuçlarla birlikte genel değerlendirmeler ve öneriler yer almaktadır. Deneysel çalışmalardan elde edilmiş olan sonuçlar her bir bileşen gurubu için aşağıda genel olarak üç başlıkta irdelenebilir.

1.Süngertaşı Hafif Agregalı Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Normal betonun bünyesindeki süngertaşı taşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak mukavemet değerleri de azalmaktadır. Hafif agregası hacim oranı maksimum seviyede ($V_{hag\ max} = 0.36$) olduğunda normal betona göre E-Modülü değeri % 57, basınç mukavemeti % 52, eğilme mukavemeti % 35 ve yarma mukavemeti de % 31 oranında azalmaktadır.

b- Değişken hafif agregası hacim oranına göre hafif betonlarda, E-Modülünün birim ağırlık ile basınç mukavemetine bağlı olarak irdelenmesi sonucunda, söz konusu özellikler arasında, ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) açısından bir ilişkinin kurulabildiği görülmüştür. Yani, hafif betonlarda basınç mukavemeti ile birim ağırlık ve E-Modülü değerleri arasında iyi bir ilişki mevcuttur.

c- Hafif agregası hacim oranının maksimum ($V_{hag\ max} = 0.36$) düzeyinde olduğu hafif beton serisinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı ölçüm değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında da iyi bir ilişki olduğu görülmüştür. Dolayısıyla hafif betonların mukavemetlerini

belirlemek için tahribatsız SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

2.Çelik Tel Donatılı Normal ve Hafif Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların E-Modülü değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Normal ve hafif betonlarda E-Modülü değeri en yüksek seviyesine çelik tel hacim oranının 0.0075 olduğu karışımda ulaşmıştır. Aynı hacim oranında normal betonlarda E-Modülü değeri donatısız betonuna göre % 24 artış göstermiştir. Hafif betonlarda ise bu artış oran % 37'dir. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesi hafif betonların E-Modüllerini normal betonlara göre daha çok arttırmaktadır.

b- Normal ve hafif betonlara çelik tel donatı malzemesi katılması birim ağırlığı ve E-Modülü değerlerini yükseltmesine karşın, basınç mukavemetlerini bir miktar düşürdüğünden, bu betonlarda E-Modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak irdelenmesi sonucunda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü bakımından bu anlamda bir ilişkinin kurulamadığı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte hafif agregalı hacim oranının ($V_{hag\ max} = 0.36$) ve çelik tel hacim oranının ($V_f = 0.0075$) sabit olduğu çelik tel donatılı hafif betonlarda bu ilişkilerin daha iyi kurulabileceği görülmüştür.

c- Çelik tel hacim oranının ($V_f = 0.0075$) şeklinde sabit olduğu normal ve hafif beton serilerinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı ölçüm değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla çelik tel donatılı normal ve hafif betonlar için SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

d- Normal ve hafif betonlara belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların ilk çatlak, göçme ve yarma gerilmesi değerlerini önemli derecede arttırmakta, basınç mukavemeti değerlerinde ise bu anlamda bir etki yapmamaktadırlar.

e- Hafif betonlara belirli bir oran dahilinde ($V_f = 0.0075$) katılan çelik tellerin, bu betonların basınç mukavemetini ve birim ağırlıklarını önemli sayılabilecek bir ölçüde değiştirmedikleri, hatta basınç mukavemetlerinde bir azalmaya neden oldukları, E-Modülü değerlerini % 37, eğilme mukavemetlerini % 136 ve yarma mukavemetlerini ise % 45 oranlarında arttırdıkları saptanmıştır.

f- Değişken hafif agregalı ve sabit çelik tel hacim oranına göre üretilmiş donatılı hafif betonlarda E-Modülü, basınç, eğilme ve yarma mukavemeti değerlerinde azalmalar olmaktadır. Bununla birlikte mukavemetlerdeki bu azalma değerleri, donatısız hafif betonlara göre daha yüksek değerler almaktadırlar. Yine bu betonların basınç mukavemeti ve birim ağırlıkla E-Modülü değerleri arasında da bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Bu betonlar üzerinde SONREB yöntemi sonucunda

elde edilen değerlerle, deneysel olarak belirlenmiş mukavemet değerlerinin karşılaştırılmasına s3z konusu tahribatsız deney y3nteminin rahatlıkla bu betonlara da uygulanabileceği saptanmıştır.

3.Lateks Polimer Katkılı Normal ve Hafif Betonların Mekanik 3zelikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların E-Mod3l3 değerleri 3zerinde etkili olmaktadır. Normal betonlarda E-Mod3l3 değeri en y3ksek seviyesine % 13 olarak, lateks katkı hacim oranının 0.10 olduğu karışımda ulaşmıştır. Aynı hacim oranında hafif betonlarda E-Mod3l3 değeri kontrol betonuna g3re 3nemli artış sağlamamaktadır. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi hafif betonların E-Mod3l3lerinde normal betonlara g3re 3nemli bir etki oluşturmazken, normal betonlarda % 13 arttırmaktadır.

b- Lateks polimer katkı maddesi normal betonların basınç mukavemetlerini kontrol betonlara g3re azaltırken, hafif betonlarda bir miktar y3kseltmekte; elik tel donatının sabit olduğu ($V_f = 0.0075$) hafif betonlara katılan (0.10) oranındaki lateks polimer katkı maddesi ise bu betonların basınç mukavemetlerini % 10 arttırmaktadır.

c- Donatısız normal ve hafif betonlara polimer katkı maddesi katılması birim ağırlığı biraz azaltmasına, E-Mod3l3 değerlerini bazı karışım oranlarında y3kseltmesine karşın, basınç mukavemetlerini bir miktar d3ř3rd3ę3nden, bu betonların E-Mod3l3n3n birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak 3zeliklerinin irdelenmesi sonucunda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeni bakımından bu anlamda bir ilişkinin kurulamadığı g3r3lm3řt3r. Dolayısıyla ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeninin elik tel donatılı beton serilerinde olduğu gibi, lateks polimer katkılı normal ve hafif betonlarda da iyi bir ilişki vermediği sonucuna ulaşılmıştır.

d- Bununla birlikte elik tel ve s3ngertaşı hafif agrega hacim oranının sabit olduğu, polimer katkı hacim oranının değiştiği hafif beton karışımlarında ise E-Mod3l3 ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıklar arasındaki ilişkiler ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeni açısından değerlendirildiğinde elde edilen değerlerin daha anlamlı olduğu ve s3z konusu ilişkinin bu beton serilerinde kurulabileceği sonucuna varılmıştır.

e- Lateks polimer katkı hacim oranının değişken olduğu normal ve hafif beton serilerinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı 3l3m değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında, 3zellikle normal betonlarda iyi bir uyum olduğu, katkılı hafif betonlarda ise hata payının daha belirgin olduğu g3r3lm3řt3r. Dolayısıyla lateks polimer katkılı normal betonlar için SONREB y3nteminin g3venlikle uygulanabileceği, katkılı hafif betonlar içinse 3ng3r3len değere g3re % 3'l3k bir hata payının ortaya çıktığı saptanmıştır.

f- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların yarma mukavemeti değerleri 3zerinde de etkili

olmaktadır. Normal betonlarda yarma gerilmesi değeri artan lateks katkı hacim oranına göre artarken, hafif betonlarda her lateks hacim oranında azalmalara neden olmaktadır.

g- Çelik tel donatı (0.0075) ve süngertaşı hafif agrega hacim oranının (0.36) sabit olduğu, polimer katkı hacim oranının değiştiği hafif beton karışımlarında ise E-Modülü, eğilmede ilk çatlak, eğilme ve yarma gerilmeleri değerlerinde kontrol betonuna göre düşüşler olduğu, basınç mukavemeti açısından ise katkı hacim oranının 0.10 olduğu seride % 10 dolayında bir artış olduğu saptanmıştır. Buna göre çelik tel donatılı hafif betonlara lateks polimer katkı maddesi katılması bu betonların, belirli bir hacim oranında, en çok basınç mukavemeti üzerinde etki yapmakta, diğer mukavemet özelliklerinde azalmalara neden olmaktadır.



ABSTRACT

In this study, the maximum particle size aggregate group of traditional concrete has been changed with the pumice lightweight aggregate, and lightweight concrete has been produced. Improvement possibilities of the mechanical strength of lightweight concrete and traditional concrete has been researched by installing steel fiber and adding the styrene butadiene copolymer latex which is a supportive materials. Furthermore, the effects of these components to mechanical features of lightweight concrete and traditional concrete have been determined, and the produced mixtures have been compared. Other than that, the reliability of empirically determined pressure strength values has been questioned by using the SONREB method.

In chapter, general information is provided and subject, scope and content of study are explained, and some definitions are made in respect of the subject matter. In addition, some explanations are made as to the characteristics of lightweight concretes, steel fiber fibroid concretes and polymer reinforced concretes.

2nd chapter contains experimental work; it deals with preliminary trials conducted on the characteristics of materials used in alloys as well as with assumptions, and produced concrete samples are listed, and provides explanations about the trials conducted on the fresh and hardened concretes.

3rd chapter gives the results obtained from the trials. The results obtained for each concrete group from fresh hardened concrete trials are shown collectively in tables.

4rd chapter deals with and assess the results obtained from mechanic trials conducted on all concretes produced under the scope of study.

5rd chapter contains the general assessments and suggestions along with the conclusions. The important conclusions can be expressed as follows:

1. The results of the mechanical features of pumice lightweight aggregate light-weight concrete

- a- For the lightweight concrete, there is a significant relationship between E-Moduli value, and the pressure strength and unit volume weight in terms of ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$).

- b- It has been concluded that the SONREB method can safely be used to determine the strength for the light-weight concrete which has maximum ($V_{ag \max.} = 0.36$) light-weight aggregate volume ratio.

2. The results of the mechanical features of steel fiber reinforced traditional and lightweight concrete.

a- The E-Moduli value has increased by 24 % in comparison with traditional concrete and the control concrete with (0.0075) steel fiber volume ratio. The increment is 37 % for lightweight concrete. So, steel fiber increases the E-Modulus of lightweight concrete more than it does traditional concrete.

b- The steel fiber that is added to lightweight concrete with the same volume ratio does not significantly change the pressure strength and unit weight of this concrete. Even it decreases the pressure strength a little bit, and increases the bending strength by 136 % and the split strength by 45 %.

c- For traditional and light-weight concrete, there is no significant relationship between E-Modulus, and unit weight and the pressure strength in terms of ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$). However, these relationships can be established better for steel fiber reinforced concrete with ($V_{ag\ max} = 0.36$) lightweight aggregate volume ratio, and ($V_f = 0.0075$) steel fiber volume ratio.

d- It has been concluded that it is safe to use the SONREB method for the traditional and lightweight concrete with ($V_f = 0.0075$) steel fiber volume ratio which is constant.

e- It has been determined that there is a significant relationship between E-Modulus values, and the pressure strength and unit weight for the changeable lightweight aggregate and the concrete with constant steel fiber volume ratio.

3. The results of mechanical features of styrene-butadiene latex polymer added traditional and lightweight concrete

a- While, the styrene butadiene latex supportive material decreases the pressure strength of traditional concrete, it increases that of light-weight concrete a little bit. On the other hand, the 10 % styrene butadiene latex supportive material that is added to light-weight concrete with constant steel fiber ratio ($V_f = 0.0075$) has increased the pressure strength of this concrete by 10 %.

b- There is no significant relationship between E-Modulus, and unit weight and pressure strength for styrene butadiene latex supportive material added non steel fiber traditional and lightweight concrete in terms of ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$).

c- Although it is safe to use the SONREB method to measure the pressure strength of traditional concrete with changeable styrene-butadiene latex supportive material volume ratio, there is a 3 % error possibility for lightweight concrete presumed values.

d- For lightweight concrete with constant steel fiber and pumice lightweight aggregate volume ratio, and changeable styrene-butadiene latex polymer supportive material volume ratio, the values of E-Modulus, the first crack in bending, and bending and split tensions have decreased. In terms of E-Moduli, pressure strength and unit weight variables ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$). The mentioned relationship can be constituted for this concrete series: According to this, adding latex polymer supportive materials to steel fiber reinforced light-weight concrete increases the pressure strength, and decreases the other strengths.



BÖLÜM-1. GİRİŞ, TANIMLAR, ARAŞTIRMANIN KONUSU

1.1 GİRİŞ

Kullanım süreci ile birlikte beton malzemesinin özellikleri hakkında birçok çalışma ve araştırma yapılmış ve yapılmaya da devam edilmektedir. Bu çalışmalarda, beton malzemesinin olumlu özellikleri yanında olumsuz birtakım niteliklerinin de olduğundan bahsedilmektedir. Bu olumsuz nitelikler genelde üç başlık altında toplanmıştır. Bunlar; betonun basınç mukavemetine oranla çekme mukavemetinin çok zayıf oluşu, mukavemetinin ağırlığına oranının düşüklüğü ve ısı iletkenliğinin yüksek oluşu [1]* şeklinde özetlenmektedir. Normal betonun taşıdığı olumlu yönlerini de korumaya çalışarak, olumsuz olarak kabul edilen bu özellikleri nisbeten iyileştirmek için, beton bileşenlerine müdahale ederek değişik bileşenlerden oluşmuş beton üretme yöntemlerine başvurulmaktadır. Bu yöntemlerden biri de hafif beton üretme çalışmalarıdır. Hafif betonlar son yıllarda yapı bazında kullanımları oldukça yaygınlaşmış betonlardır.

Betonun bileşenlerine müdahale ederek mukavemet özelliklerini güçlendirmek amacıyla yapılan işlemlerden biri de lif takviyesidir. Bu amaçla çeşitli türlerde lif katkı maddeleri eski zamanlardan beri kullanılmışlardır. Bazı gereksinimler doğrultusunda betonu takviye ederek mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla özel olarak üretilmiş olan çelik teller son yıllarda beton teknolojisinde oldukça çok kullanılır bir malzeme olmuştur. Bu gereksinimler ve yenilik arayışları dünyanın çeşitli ülkelerindeki araştırmacıları, bu yönde çalışmalar yapmaya yöneltmiştir ve bu çalışmalar halen de devam etmektedir. Bunun yanında hafif betonun çelik tellerle donatılması konusundaki araştırmaların bu denli yoğun olmadığı görülmektedir.

Yine aynı şekilde betona birtakım yeni özellikler kazandırmak için yapılan müdahalelerden birisi de betona çeşitli polimer katkı maddeleri katma uygulamalarıdır. Polimerler çok yaygın bir yelpazeye sahiptirler. Beton teknolojisinde kullanılan çeşitli polimerler, türlerine göre beton üzerinde farklı etkiler yapmaktadırlar. Bu türlerden birisi de "Lateks" polimer gurubudur. Bu çalışmada da beton ve harçlarda kullanılan lateks gurubu stiren bütadyen kopolimer maddesi katılmış ve çelik tellerle donatılmış hafif betonun mekanik özelliklerini iyileştirebilmek olanakları araştırılmıştır. Bu bölümde öncelikle konuyla ilgili bazı tanımlar ve açıklamalar yapılarak, araştırmanın amacı ve kapsamı üzerinde durulacaktır.

1.2 Hafif Betonlar

Yapı alanında hafif malzeme kullanmak gereksinimi tarihte çok eski zamanlarda dahi hissedilmiş olup, Romalılar zamanında sünger taşı gibi hafif taşlar inşaat işlerinde kullanılmışlardır [2]. Ancak hafif malzemenin beton üretiminde

*) Parantez içindeki sayılar ekli literatür listesindeki referansları belirtmektedir.

kullanılması geçen yüzyılın ortalarına rastlamaktadır. Bu tarihlerde Almanya'da "Bims Beton" yani süngertaşı agregası kullanılarak hafif beton üretilmeye başlanmıştır [3].

Hafif betonların çoğunlukla yapı alanında kullanılması durumu ve hafif beton teknolojisinin gelişimi özellikle 2.Dünya savaşıdan sonraki dönemlerde olmuştur. Günümüze yakın zamanlarda hafif betonlar üzerinde çeşitli araştırmalar yapıldığı gibi, hafif betondan üretilmiş yapı elemanlarının kullanımı da yaygınlık kazanmıştır.

Ayrıca son zamanlarda beton bileşenlerine müdahale ederek endüstriyel artıklarını beton teknolojisinde kullanılabilir hale getirmek ve betonun birim ağırlığını düşürerek elastik özelliklerini geliştirmek amacıyla normal betona atık oto lastiği parçaları ilave edilerek, betonun esneklik, süneklik ve enerji yutma kapasitelerinin artırılması yönünde de çeşitli çalışmalar yapılmıştır [4].

Hafif malzemenin, normal betona kazandırmış olduğu olumlu nitelikler yanında olumsuz birtakım özellikleri de vardır. Bunlar şu şekilde özetlenmiştir [1,3,5, 6, 7,].

Olumlu nitelikleri::

- birim hacimdeki toplam malzeme ağırlığının azalması nedeniyle beton kalıbında daha düşük basınç olduğundan, üretimin kolaylaşması,
- hafif betonla üretilen elemanların düşük birim ağırlıkları nedeniyle yapı yüklerinin azalması ve buna bağlı olarak temellerin ve diğer yapı elemanlarının daha küçük boyutlarda yapılabilmesi, [8],
- ısı iletkenliğinin nisbeten düşük olması,
- yangın bakımından normal betona göre daha elverişli bulunmaları,
- ses emme özelliklerinin yüksekliği [8]
- deprem koşullarına daha dayanımlı olmaları,
- prefabrikasyonda daha düşük nakliye ve montaj giderlerine ihtiyaç göstermeleri ve
- normal betonlarla nisbeten zor olan eski yapılara kat ilavesi [1] olanağı tanımları şeklinde,

Sakıncaları ise;

- boşluklu olmaları nedeniyle mukavemetleri düşük olup, bundan dolayı birçok yüksek mukavemetli beton uygulamalarında tercih edilen bir malzeme olmamaları,
- aşınmaya karşı dayanıksız bulunmaları,
- rutubete karşı yalıtım gerektirmeleri,
- hafif betonların elastiklik modüllerinin düşük olması ve
- düşük çekme dayanımına sahip olmaları [1,5 9,10] şeklinde sıralanabilir.

1.2.1 Tanım , Sınıflandırma ve Özellikler

Betonlar, birim ağırlıklarına göre DIN 1045'de ve literatürde, birim ağırlığı 2.0 kg/dm^3 'ün altındakiler Hafif Beton, $2.0 - 2.8 \text{ kg/dm}^3$ arasındakiler Normal Beton ve 2.8 kg/dm^3 'ün üzerindeki ise Ağır Beton olarak tanımlanmaktadır [1, 2, 3, 5,

7, 8, 10, 11]. Bir hafif beton türü olan Taşıyıcı Hafif Beton, TS 2511'de, havada kurumuş haldeki birim ağırlığı 1900 kg/m^3 'den az olan beton şeklinde tanımlanmaktadır. Hafif betonlar TS 3234'de 28 günlük basınç mukavemetlerine göre aşağıdaki Tablo-1'de verildiği gibi dört guruba ayrılmıştır.

Bimsbeton Türleri	15 cm.lik deney küplerinin 28 günlük en az basınçdayanımları .	
	(Kgf/cm ²)	(N/mm ²)
BB	40	4
BB	80	8
BB	120	12
BB	160	16

Tablo-1.1. Mukavemetlerine göre hafif beton türleri [12].

Bilindiği gibi Bimsbeton süngertaşı agregalı hafif betonlara verilen diğer bir isimdir. Almanlar tarafından "Bims" olarak isimlendirilen bu malzemeye Fransızca'daki "Pierre ponce" dan dolayı Ponza veya Pomza denildiği gibi, Türkçe'de de Süngertaşı olarak adlandırılmaktadır [3]. Volkanik orijinli olan süngertaşı, alkan ve silis bakımından zengin feldispatik bir doğal taş türüdür [6, 13].

Hafif betonlar üretiminde kullanılan malzemeye, üretim biçimlerine ve yapıdaki kullanım yerlerine göre çeşitli guruplara ayrılmıştır [14]. Hafif betonları, birim ağırlıklarına göre yapılan ayırım dışında, üretiminde hafif agrega kullanılıp kullanılmadığına göre;

- hafif agrega ile üretilen hafif betonlar,
- hafif agrega kullanılmaksızın üretilen hafif betonlar olarak iki, üretim biçimine göre de;
- hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonlar,
- karma sistemlerle (granülometrik özellik + hafif agrega) üretilen hafif betonlar,
- bünyede hava boşlukları oluşturularak üretilen hafif betonlar olarak üç başlık altında toplamak mümkündür [1, 6]

Ayrıca, hafif betonlar fonksiyonlarında göre de üç ayrı guruba ayrılmıştır [1,5].

- a) Yalıtım betonları,
- b) orta mukavemetli betonlar ve
- c) taşıyıcı hafif betonlardır

28 günlük silindir basınç mukavemeti 17 N/mm^2 değerinden küçük olmayan ve birim ağırlığı 1.85 kg/dm^3 değerini aşmayan betonlar, birçok standard tarafından ve bu arada ASTM (C330-77) Standardına göre, taşıyıcı hafif beton olarak kabul edilmektedir. Bu tür betonların betonarme yapılarda kullanılmasıyla daimi yükün % 25 gibi belirgin bir ölçüde azalması sağlanmaktadır. Bundan dolayı betonarme yapı tekniğinde hafif taşıyıcı beton kullanılması eğilimi gittikçe artmaktadır [15].

1.2.2 Hafif Beton Üretiminde Kullanılan Malzemeler

Diğer tüm betonlarda olduğu gibi hafif betonlar da bağlayıcı, su, agrega ve gerekiyorsa katkı maddelerinden oluşmaktadır. Hafif beton bileşenlerinden olan agregalar, diğer bileşenlere göre büyük farklılıklar gösterirler [1].

Su miktarı hafif beton üretiminde ayrı bir önem taşımaktadır. Normal beton üretiminde dolu ve mukavemetli beton üretmek amacıyla, kullanılan su miktarının asgari düzeyde tutulması endişesi hafif betonlarda yoktur. Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agreganın su emme niteliği dikkate alınarak gerekli su miktarının belirlenmesi önem taşımaktadır.

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agregalar genel olarak doğal ve yapay hafif agregalar olmak üzere iki bölümde toplanabilir. Doğal hafif agregalar ince doğal kumlar, doğal süngertaşı, gözenekli lavlar gibi doğada daneler halinde bulunanlar ve kırılmış gözenekli lavlar, kırılmış tüfler, kepekler, hızar talaşı ve ağaç elyafı gibi sonradan ufalananlar şeklinde sıralanabilir. Yapay hafif agregalar ise perlit, vermikülit, kil ve şist gibi bazı özel yapılı doğal malzemelerin ısı bir işleme tabi tutularak, hacimsal olarak geliştirilmeleri suretiyle oluşturulan agregalardır [1].

1.2.3 Hafif Betonların Yapıda Kullanımı

Son yıllarda özellikle doğal süngertaşından üretilmiş hafif ve ısı iletkenliği oldukça düşük olan hafif betonlar ve bunlardan üretilen prefabrike yapı elemanları, duvar panoları vs. kullanılmaya başlanmıştır.

Hafif betonlar yapıda genellikle dolgu ve yalıtım işlerinde, çok katlı yapılarda yapıya fazla yük intikal etmemesi için tesviye ve eğim betonlarının yapımında, banyo, helâ gibi hacımlarda düşük döşeme kotunun ayarlanması gibi dolgu işlerinde kullanılmaktadır.

Taşıyıcı hafif betonlar yüksek yapılarda birtakım olumlu nitelikler sağlamaktadırlar. Böylece ağır bir malzeme olan betonun zati yükü hafifletmekte ve hafif betonarme sistemin taşıdığı faydalı yük nisbeten artmaktadır.

Hafif betonların yapı alanındaki önemli bir kullanım yeri de, hafif beton blok elemanların üretimidir. Duvar blokları ve döşemelerde asmolen blokları olarak kullanılan bu malzemenin yanı sıra, prefabrike yapı elemanlarının üretiminde de hafif betonlar önemli bir yere sahiptirler.

1.3 Liflerle Donatılı Betonlar

Normal betonun özelliklerini geliştirmek için kullanılan yollardan biri de lif takviyesidir. Gevrek malzemenin güçlendirilmesi amacıyla liflerle donatılması antik çağlardan beri bilinmekte ve uygulanmaktadır. Zaman içerisinde sıva ve harca katılan hayvan kılları, saman, kamyş, gibi bitki lifleri kullanıldığı gibi; daha yakın

zamanlarda ise harç ve beton üretiminde lif malzemesi olarak asbest ve çelik teller kullanılmışlardır.

1.3.1 Tanım

Çimento bağlayıcısı, kalın ve ince agrega, çoğunlukla da süreksiz ve dağınık liflerden oluşan betona "lifli beton" adı verilmektedir [16, 17, 18]. Buradan anlaşılacağı gibi liflerle donatılı beton, içinde çeşitli büyüklükte agrega bulunan yada bulunmayan, sürekli veya dağınık lif donatılarını çimento bağlayıcısı ile biraraya getiren bir beton türüdür. Beton malzemesini takviye etmek için uygun olabilen lifler, çelik, cam, seramik, asbest, mineral yünler, nylon, polipropilen gibi malzemelerden üretilmektedir. Asbest lifleri ile takviye edilmiş çimentolarla üretilen elemanlar 50 yıldan fazla bir süredir yapı alanında kullanılmaktadır. Diğer liflerin kullanılması oldukça yeni olup, bunların beton donatısı olarak kullanılma eğilimleri bütün dünyada gittikçe yaygınlık kazanmaktadır.

Bugüne kadar lifli normal betonlar üzerinde birçok araştırmalar yapılmış ve liflerin beton üzerinde olumlu sonuçlar verdiği deneylerle saptanmıştır. Bunlar arasında özellikle liflerin betonun eğilme mukavemetinde büyük bir artış sağladığı önem taşımaktadır. Bunun yanında ayrıca çekme mukavemetinde de dikkate değer bir artış sağlanabilmektedir. Bunlar büyük ölçüde kullanılan lif miktarına bağlı olmaktadır. Bununla birlikte liflerin betonun basınç mukavemeti üzerinde fazla etkili olmadığı literatürde belirtilmektedir. [10].

Aşağıdaki tabloda bazı liflerin özellikleri verilmektedir.

Sınıf	Malzeme	Çekme Muk. (kN/mm ²)	E-Mod. (kN/mm ²)	Özgül Ağır. (kg/dm ³)	Çap (m)	Erime sıcaklığı (Co)
Visker	Grafit	21	686	2.2	-	3000
	ALO	15.4	532	40	3-10	2050
	Demir	12.6	196	7.8	-	1540
	SiN	14.0	385	3.1	3-10	1900
	SiC	21.0	700	3.2	1-3	2600
	AlN	-	350	3.3	-	2450
	Boron	-	448	2.3	10-3-	
Cam	Asbest	5.9	189	2.5	-	500
Seramik	Silis	6.1	73.5	2.5	35	700
Pomlimler lifleri	Boron Camı	2.5	385	2.3	10	
	Nylon 66	0.84	4.9	1.1	2-10	
Metal teller	Kar.Çeliği	3.99	210	7.8	25-100	
	Molibden	2.1	371	10.3	25	2610
	Tungsten	2.94	350	19.3	50	33880

Tablo-1.2. Bazı lif malzemelerinin özellikleri [18]

Malzemenin liflerle takviye edilmesinde amaç, öncelikle mekanik mukavemetleri daha iyi olan bir malzeme üretmektir. Malzemeler, özellikle çekme,

eğilme ve çarpma mukavemetlerinin iyileştirilmesi, gevrek kırılma özeliğinin kısmen giderilebilmesi amacıyla liflerle donatılmaktadırlar. Burada çalışmanın kapsamı gereğince çelik teller üzerinde durulacaktır.

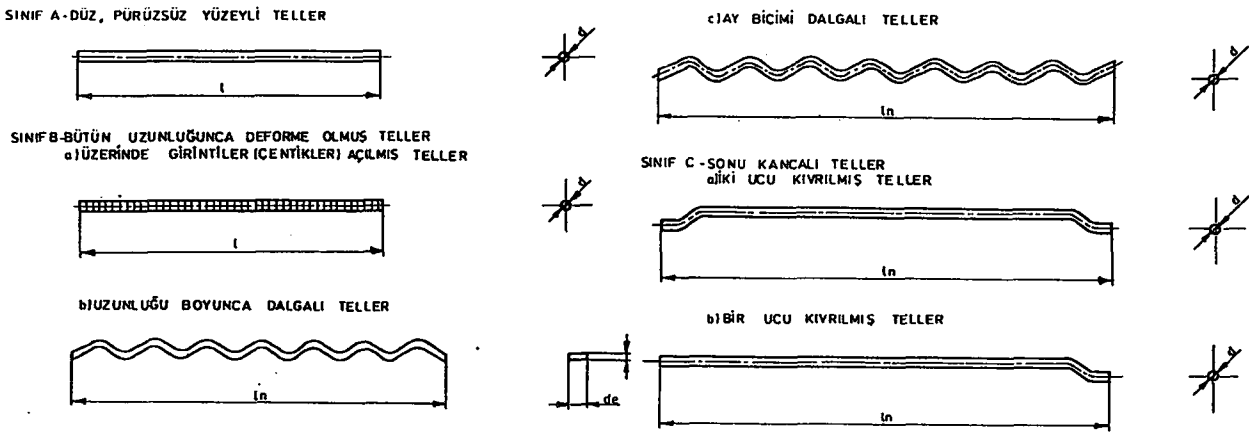
1.3.2 Beton Donatısı Olarak Kullanılan Çelik Teller

Yukarıda sözü geçtiği gibi betonda kullanılan liflerden biri de çelik tellerdir. Çelik teller bir dizi sıcak ve soğuk üretim metodu ile üretilmektedir. Yuvarlak kesitli çelik teller genel olarak ince tellerin kesilmesi ve doğranması ile üretilmektedirler. Kıvrılmış ve deforme edilmiş çelik tellerin yanında sıcak ve eritme metodları ile de üretim olanakları vardır. Bu teller ise çeşitli boyutlarda olabilmektedir. Suda çözünebilir polimer esaslı bir bağlayıcı ile demetler halinde üretilmektedirler.

Betonda kullanılan çelik teller, TS 10513'de aşağıdaki gibi (A). (B) ve (C) olmak üzere üç grupta sınıflandırılmıştır [19];

- düz, pürüzsüz yüzeyle teller. Bunlar normal yuvarlak kesitli telden kesilmiş parçalardır,
- bütün uzunluğunca deforme edilmiş teller. Bu sınıftaki telleri; a-b) tüm yüzeyinde girintiler ve çentikler açılmış olan teller, c) uzunluğu boyunca dalgalı ve kıvrımlı olan tellerle d) ay biçimi dalgalı teller bu sınıfı oluşturmaktadır,
- sonu kancalı teller; bu sınıftaki teller ise bir ucu veya iki ucu kıvrılmış teller olarak iki tipe ayrılmış bulunmaktadır.

Yüzeyi çentikli teller, üretim aşamasında tel çekme işlemi sırasında, yüzeyinde betonla aderansı artırıcı girintiler açılmış tellerdir. (C) sınıfını oluşturan kancalı teller ise, yine üretimde, tel kesme işlemi sırasında telin bir ucunda veya her iki ucunda 45° 'lik açı ile pilye şeklinde kıvrım verilmiş olan tellerdir. Tel sınıfları ve bu sınıftaki tel tipleri TS 10513'de aşağıdaki şekilde gösterilmiştir [19]:



Şekil-1.1 Betonda donatı olarak kullanılan çeşitli çelik teller. [19]

Beton takviyesinde çelik teller, düşük karbonlu çelikten, soğuk çekme işlemi ile üretilmektedirler. Bu tellerin ortalama çekme halindeki kopma gerilmesi, ilgili

TS'da 345 N/mm^2 olarak verilmektedir. Çekme mukavemeti 2068 N/mm^2 'ye kadar çelik teller üretilmektedir.

Çelik tellerin boyutlandırılmasında, tel kesit alanı, narinlik (uzunluk/çap) oranı ve bu malzemeye özgü olarak eşdeğer çap ve eşdeğer uzunluk gibi kavramlar kullanılmaktadır. Eşdeğer çap (d_e), dikdörtgen kesitli tellerde büyük kenar uzunluğu olup, eşdeğer uzunluk (L_n) ise, tellerin büküldükten sonra uçtan uca doğrusal olarak ölçülen uzunluk şeklinde tanımlanmaktadır. Lif veya narinlik oranı olarak da adlandırılan uzunluk/çap oranı da, lif uzunluğunun eşdeğer lif çapına bölünmesi ile bulunmaktadır.

Çelik lifler ve tellerle donatılı betonlarda, tel boyu ve buna bağlı olarak da narinlik oranı ile beton malzemenin kompozisyonu arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Tellerle donatılı betonlarda karıştırmayı kolaylaştırmak veya gerekli hallerde donatı malzemesi oranını arttırabilmek amacıyla nisbeten daha ince agregalar kullanılmaktadır. Betonlara karıştırılabilecek en fazla tel miktarı, kullanılan agreganın en büyük dane çapına ve telin narinlik oranına bağlı olarak, TS 10514'den alınarak Tablo-1.3 'de verilmiştir.

En büyük dane çapı (mm)	uzunluk/çap = 60		uzunluk/çap = 75		uzunluk/çap = 100	
	Normal Beton	Pompa betonu	Normal Beton	Pompa betonu	Normal Beton	Pompa betonu
4	160	120	125	95	95	70
8	125	95	100	75	75	55
16	85	65	70	55	55	40
32	50	40	40	30	30	25

Tablo-1.3. Betona donatı olarak katılabilecek en fazla tel miktarları (kg/m^3) [20]

Yine ilgili TS'da beton ve harçların takviye edilmesinde kullanılacak çelik tellerin kırılmadan bükülebilir nitelikte, her türlü pas, yağ, petrol ve diğer zararlı maddelerden arındırılmış ve temiz olmaları gerektiği belirtilmektedir.

Çelik tellerle donatılı betonlar ve bunların özellikleri konusundaki geniş açıklamalara çalışmanın literatür araştırması kısmında yer verilmektedir.

1.4 Polimer Katkılı Betonlar

Polimer katkıli betonlar, geleneksel harç ve betondaki suyla karıştırılmış bağlayıcının bütününe veya bir kısmının polimerlerle yer değiştirmesiyle ve çimento hidrate bağlayıcının polimerlerle güçlendirilmesiyle elde edilen malzemelerdir. Bu başlık altında, polimerlerin genel özelliklerinden ve polimer katkıli betonların üretiminde kullanılan polimerlerden bahsedilmektedir.

1.4.1 Polimer Malzemeler

Polimer malzemelerin kısa bir tarihçesini yapıldığında; Polimer esaslı malzemelerin çok eski zamanlardan beri kullanıla geldiği görülür. Ama bunlar doğal olan, bitüm, ahşap, amber, boynuz gibi malzemelerdir. Bugün polimerler deyince aklımıza yapay olanlar gelmektedir. İlk buluşlar 1839'da Stiren (Simon tarafından), 1839'da Selüloz Nitrat (Schöbein tarafından), 1863'de Sellüloit (Hyatt kardeşler tarafından) 1907'de Bakalit (Bakeland tarafından) yapılmıştır. Polimerlerin kimyası ise 1925-1930'larda Staudinger'in çalışmaları ile temeline kavuşmuştur [21].

Günümüzde pek çok polimer madde inşaat mühendisliği ve yapı teknolojisi alanına girmiştir. Bunlardan bir kısmı detay malzemelerdir. Yer döşeme malzemeleri, çatı örtü malzemeleri, ısı izolasyon malzemeleri, ısı yalıtım betonları, boya ve badana beton katkı maddeleri, derz malzemeleri , yapıştırıcı ve tamir malzemeleri (epoksiler, doymamış sülfürlü elastomerler), mobilya kaplamaları, su iletim boruları vs. [21]. Polimerlerin diğer türleri ise beton teknolojisinde de kullanılmaktadır.

Polimer (Plastik) maddeler dev moleküllerden meydana gelmiş olan hidrokarbonlardır. Yani esasları karbon ve hidrojen atomlarıdır. Ancak bileşimlerine O, N, Cl, S gibi metaller veya yumuşak metaller de girebilir. Hatta Na, K gibi alkali metal içerenler de (Polielektrolit diye adlandırılırlar) vardır.

Polimerlerin ana maddeleri kömür ile pamuk ve odun gibi sellülozik maddeler, petrol ve doğal gazlardır.

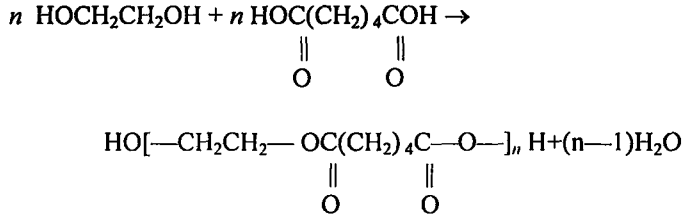
Polimer terimi "çok sayıda mer" anlamındadır. Mer ise birim moleküldür. Polimer moleküllerini oluşturmak üzere birbirleriyle kimyasal bağlarla bağlanan küçük moleküllere "monomer" denilmektedir. Birim molekülün birbirine eklenmesi sonucunda polimer meydana gelir. Polimer malzemesinin oluşumuna imkân veren bu kimyasal reaksiyon "polimerizasyon" denilmektedir. Polimerin yapı birimleri monomere eşit ya da hemen hemen eşittir [22]. Polimerizasyonda küçük organik moleküllerden uzun zincir ve ağ molekülleri elde edilir. Bir polimerizasyon reaksiyonunun meydana gelebileceği iki farklı yol vardır [23];

- * İlave polimerizasyonu (zincir büyümesi, katılma polimerleri),
- * Yoğunlaşma polimerizasyonu (basamak büyümesi, kondensasyon polimerleri).

İlave polimerizasyonu, monomerlerin kimyasal olarak harekete geçirildiği zincir reaksiyonunu içerir. Polimerler zincir reaksiyonları ile monomerlerin doğrudan doğruya polimer moleküllerine girmeleri ile oluşur.

Yoğunlaşma (kondansasyon) polimerizasyonunda iki ya da daha fazla fonksiyonlu gurupları bulunan moleküller kondansasyon reaksiyonları ile bağlanarak daha büyük molekülleri oluştururlar. Reaksiyon sırasında yan ürün olarak polimerize

edilemeyen bir molekül ayrılır. Yan ürün genellikle su, HCl veya CH₃OH gibi basit bir moleküldür. Poli (etilen adipat) poliestерinin oluşması bu tür reaksiyonlar için bir örnektir:

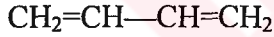


Şekil-1.2. Kondensasyon Polimeri (örn., polietilen adipat poliesteri) [22]

Bu reaksiyonda etilen glükol ve adipik asit *monomer*'leri polikondensasyona uğramıştır. Poliestер formülündeki köşeli parantez içindeki birim polimer zincirinde yinelenmektedir. Buna yinelenen birim denilmektedir.

En önemli polimerlerden bazıları birden fazla monomerden oluşmakta ve bu tür polimerlere *kopolimer* adı verilmektedir. Çeşitli kopolimerler yapılabilir. Örneğin, beton teknolojisinde de kullanılan *Sentetik kauçuk* (SBR "stiren bütadyen lateks", GR-S) serbest radikal katılma polimerizasyonu ile elde edilen bir kopolimerdir [22]:

Monomerler:



Butadien



Stiren

Şekil-1.3. Stiren ve Butadien'in rastgele kopolimeri. [22]

Polimerleri genel olarak şu şekilde sınıflandırabiliriz:

A) Termoplastikler:

Bu tür polimerler ısıtıldıklarında yumuşayan ve deforme olan maddelerdir. Soğumaya bırakıldıklarında tekrar sertliklerine dönebilirler. Bu. lineer polimerik moleküllerin bir karakteristiğidir. Moleküller arasındaki kayma ve deformasyonlar oluşarak basınç altında kolayca şekil değiştirirler. Böylece ısıtılmış olan plastik malzeme basınç altında bir kalıba yerleştirildiğinde, kolayca kabın şeklini alırlar. [24, 25]. Bu tür polimerleri de şu şekilde gruplandırabiliriz:

1. Sellülozikler

1.1. poliestерler (selüloz nitrat ve asetat)

1.2. polieterler

2. Poliamitler (nylon)

3. Vinilikler

3.1. polikarbürler

3.2. polialkoller

3.3. poliestерler (polivinil klorür, polivinil asetat, poliakrilikler)

B) Termosetler:

Termosetler sıcaklıkta sertleşen plastiklerdir. Termoplastiklere göre daha sert ve dayanıklıdır. Bunlar genellikle çapraz bağlı molekül yapılarında meydana gelen polimerleşme sonucu, yumuşama sırasında ilk formlarını koruyarak belli bir ısı derecesinden sonra erimeksizin karbonlaşmaya uğrayan ve ısı karşısında artık değişme göstermeyen plastik türleridir [25].

Bu gurubu giren polimerler de:

1. Fenoplastlar (fenol formaldehit, fenol furfurool)
2. Aminoplastlar (üre formaldehit, melamin formaldehit)
3. Poliesterler,
4. Polieterler (poliepoksitler),
5. Poliüretanlar şeklinde [23] sıralanabilir.

1.4.2 Polimer Betonları

Beton-polimer harç ve betonları, üretim teknolojisi prensiplerine göre genel olarak 3 grupta toplanmışlardır: [21, 23, 24]. Bunlar; A) Polimer Çimento Harcı ve Polimer Portland Çimento Betonu, B) Polimer Harcı ve Polimer Betonu ve C) Polimer Emdirilmiş Harç ve Polimer Emdirilmiş Beton şeklindedir.

Portland çimento bağlayıcılı normal betonun zayıf yönlerini giderebilmek için çeşitli polimer katkı maddeleri kullanmaya yönelik birtakım çalışmalar yapılmıştır. Bunlardan biri de normal portland çimentolu betona lateks, toz halindeki emülsiyonlar, suda çözünebilen polimerler, sıvı reçine ve monomerler gibi polimer katkı maddeleri katılarak yapılan polimerlerle geliştirilmiş çimentolu harç ve betonlardır.

Latekslerle geliştirilmiş betonların işlem aşamaları geleneksel çimentolu harç ve betonla hemen hemen aynıdır. Yani lateks polimer katkı maddesi harç ve betona karışım sırasında ilave edilmektedir. Bunlar harca ve betona diğer katkılara göre daha fazla katılmakta, karıştırma, yerleştirme ve bakım koşulları ise normal betonlara benzemektedir.

1.5 Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Betonun bileşenlerine müdahale ederek mukavemet özelliklerini güçlendirmek amacıyla yapılan işlemlerden biri de donatı takviyesi ve katkı maddesi kullanımudur. Bu amaçla çeşitli türlerde donatı malzemeleri eski zamanlardan beri kullanılmışlardır. Bazı gereksinimler doğrultusunda betonu takviye ederek mekanik özelliklerini geliştirmek amacıyla özel olarak üretilmiş olan çelik teller ve katkı maddeleri, daha önce de değinildiği gibi, son yıllarda beton teknolojisinde oldukça çok kullanılır bir malzeme olmuştur. Bu gereksinimler ve yenilik arayışları dünyanın çeşitli ülkelerindeki araştırmacıları, bu yönde çalışmalar yapmaya yöneltmiştir ve bu çalışmalar halen de devam etmektedir. Bunun yanında hafif betonun çelik tellerle donatılması ve polimer katkı maddesi katılması konusunda bu denli yoğun araştırmalar yok gibidir.

Bu çalışmanın amacı, öncelikle süngertaşı hafif agregalı hafif betonlara çelik tel takviyesinin ve harçlarda aderansı artırıcı olarak kullanılan stiren bütadyen lateks polimer katkı maddesinin katılmasıyla, üretilen çelik tel donatılı ve katkılı hafif betonların mekanik özelliklerini iyileştirebilmek olanaklarının araştırılması şeklindedir. Bunun yanında, belirtilen niteliklerde üretilmiş hafif ve normal betonların mukavemet özelliklerindeki değişimler irdelenmekte ve bir karşılaştırma yapılmaktadır. Ayrıca beton karışımlarında deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerlerinin, ultrases hızı ve beton mukavemet çekici (Schmidt) ile sertlik ölçüm değerlerinden hareketle belirlenmesi metodu olan tahribatsız SONREB yöntemiyle güvenilirlikleri araştırılmıştır.

Hafif betonların, prefabrikasyonu ve çeşitli yapı elemanlarının üretimini olumlu yönde etkileyen bir malzeme olduğu söylenebilir. Ülkemizde ise süngertaşı hafif agregası en bol bulunan hafif agregalardan birisidir ve hafif betonlarda kullanılmasında yararlar söz konusudur.

Bilindiği gibi normal betonunun, hafif agrega kullanarak birim ağırlığını düşürmekle birtakım faydalar elde edilmesi yanında, mekanik özelliklerinde ise bir zayıflama söz konusudur. Zayıflayan bu mekanik özellikleri iyileştirmek için de, hafif betonu çelik tellerle donatmak gibi bir gerekçeden yol çıkmıştır. Son zamanlarda yapılan araştırmalarda süngertaşı hafif agregalı hafif betonların elastik ve elastik olmayan özellikleri araştırılarak, özellikle betonarme sistemlerin tasarlanmasında önemli olan elastisite modülü ve poisson oranı gibi sabitler araştırılmıştır [5, 26, 27, 40, 41]. Ayrıca bu malzeme sabitlerinin ısı işlem sonucu ne gibi şekil değiştirdikleri de başka bir çalışmada saptamaya çalışılmıştır [2]. Diğer başka çalışmalarda [10, 28, 29,] çeşitli özelliklerdeki hafif agregalar kullanılarak üretilmiş hafif betonlarda çelik tellerin etkisi araştırılmıştır. Bunun dışında çeşitli özelliklerdeki çelik tel donatılı normal betonlar üzerinde yurt dışında da bir hayli çalışmalar yapılmıştır. Bununla birlikte çelik tel donatılı süngertaşı hafif agregalı betonlar üzerindeki araştırmaların azlığı literatürde de görülmektedir.

Bu çalışmada sadece, üretici firması tarafından ZC 50/50 olarak kodlanmış çelik teller kullanılmıştır. Kullanılan çelik teller 50 mm uzunluğunda ve 0.5 mm çapındadırlar. Çelik tel hacim oranının sabit olduğu karışımlarda tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ olarak kabul edilmiştir. Bunun yanında değişik çelik tel hacim oranlarına sahip normal ve yarı hafif beton karışım serileri de hazırlanmış ve tellerin üretilen betonların mekanik özelliklerindeki etkilerinin saptanması ve bir mukayese yapılması da amaçlanmıştır.

Son olarak bir de, sabit çelik tel hacim oranına ($V_f = 0.0075$) sahip çelik tel donatılı hafif betonlarda, mekanik özelliklerdeki değişimlerin belirlenebilmesi için harçlarda ve betonda aderansı artırıcı olarak kullanıldığı belirtilen stiren bütadyen lateks polimer katkı maddesinin kullanılmasına karar verilmiştir. Bu amaçla değişik hacim oranlarına sahip polimerli normal ve hafif beton karışım serileri hazırlanarak en uygun karışım oranının ve bunun betonlar üzerinde oluşturdukları özelliklerin de belirlenmesi hedeflenmiştir. Literatürde farklı polimer katkılı normal betonlar üzerinde yapılmış çeşitli araştırmalara rastlanırken [23, 30, 31, 32, 33, 34], lateks

polimer katkılı süngertaşı hafif agregalı ve donatılı hafif betonlar konusunda yapılmış araştırmaların pek mevcut olmadığı görülmüştür.

Araştırma kapsamınca üretilen tüm beton numuneler prizma ve küp olmak üzere iki farklı boyutta hazırlanmıştır. Prizmalar üzerinde ultrases hızından hareketle E-Modülünün belirlenmesi, eğilme ve kalan parçalardan yarma deneyleri, küp numuneler üzerinde de tek eksenli basınç deneyleri uygulanmıştır. Deneyler 28.nci günde yapılmıştır.

1.6 Literatür Araştırması

Araştırmanın amacı kapsamınca hafif betonlar, lif donatılı normal ve hafif betonlar ve polimerli betonlarla ilgili olmak üzere aşağıdaki alt başlıklarda verilen yayın taramaları yapılmıştır.

1.6.1 Hafif Agregalı Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar

1.6.1.1 Hafif Agregalar ve Hafif Betonlar

Başlık 1.2.2.'de genel bir sınıflandırılması yapılan hafif agregaların, ülkemizdeki üretim olanakları ve genel tüketim düzeyleri ile ilgili sağlıklı rakamlar elde mevcut değildir [4]. Camcıoğlu [14], çalışmasında hafif agregaların ve betonların tanımı, ülkemizdeki durumu ve üretimi konularını ele almıştır. Doğal hafif agregaların yurdumuzda en yaygın olanları süngertaşı, volkanik tüf ve volkanik cüruf olduğu bilinmektedir. Bu malzemelerin yurdumuzdaki dağılımı, rezerv olanakları, fiziksel özellikleri ve bunlarla üretilen betonların nitelikleri ile ilgili kapsamlı bilgiler ise Sükan ve Ermutlu adlı araştırmacılarla [35], İhtiyaroğlu'nun bir çalışmasında mevcuttur [7]. Erciyas [3], Bims betonu üzerinde yapmış olduğu deneysel çalışmasında beş değişik agregadan üretilmiş çeşitli hafif betonların bir mukayasesini yapmıştır.

Genel olarak, hafif betonların üretiminde kullanılan, belirli bir mukavemet sınırının üzerindeki agregaların elastiklik modülü değerleri 5-18 kN/mm² mertebesinde dir. Bu değerler, normal betonlarda kullanılan agregaların elastiklik modülü değerlerinin çok altında kalmaktadırlar. Hatta bu değerler, bağlayıcı hamurun elastiklik modülünden de düşüktür. Agregası cinsi, basınç mukavemeti ve birim ağırlığa bağlı olarak, taşıyıcı hafif betonlarda elastiklik modülü değerleri 5-24 kN/mm² arasında kalmaktadır [1]. Taşdemir [5], deneysel çalışmalarında kullandığı süngertaşı hafif agregasının E-Modülünü 1700 N/mm² olarak, basınç mukavemetini ise 4.7 N/mm² şeklinde belirlemiştir. Bunun gibi hafif agregaların diğer mekanik özellikleri de normal agregaların özelliklerine göre daha düşüktür.

Hafif beton agregası olarak da kullanılan süngertaşı, yurdumuzda yaygın olarak daha çok beton duvar blokları ve asmolen blok üretimi şeklinde kullanılmaktadır. Bununla beraber hafif betonla üretilen diğer yapı elemanlarının ısı ve ses yalıtımı, yangın dayanımı gibi nitelikleri daha da geliştirilebilmektedir. Dolayısıyla süngertaşı hafif agregasından üretilen farklı nitelikteki betonları yapının

taşıyıcı sisteminde kullanmanın yanı sıra, yapının yapı fiziği sorunlarına da çözümler getirmenin mümkün olduğu bilinmektedir.

Zhang ve Gjorv [36], çalışmalarında yüksek mukavemetli betonlarda kullanılan agregaların özelliklerinin, düşük ve normal mukavemetli betonlara göre çok daha önemli olduklarını vurgulamaktadırlar. Bu açıdan yüksek mukavemetli hafif betonlarda da kullanılan agregaların özelliklerini incelemişlerdir. Bunu incelerken hafif agregaların yapısının üretim tekniklerine ve üretim koşullarının etkisinin de önemli olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca agrega dane şekil ve yüzey yapısının üretim tekniklerine bağlı olarak değişkenlik arzettiğini bulmuşlardır. .

Ayberk [8], betonarme iskelet yapılarda hafif agrega kullanılarak üretilen hafif duvar elemanı kullanımının yapı maliyetine etkisi üzerinde yaptığı çalışmada, hafif yapı malzemelerinin, üretim biçimlerinden dolayı diğer malzemelere göre birim maliyetlerinin fazla olmasına karşın yapı maliyetini olumlu yönde etkilediklerini ileri sürmüştür.

1.6.1.2 Hafif Betonların Elastik Modüllerinin Tahmini Olanakları

Hafif betonların mekanik özellikleri ile ilgili hususlar, elastiklik modülü ile gerilme-deformasyon davranışı olarak ele alınabilir. Hafif betonun elastiklik modülü, normal betonda olduğu gibi agrega ve çimento hamuru hacim oranlarına ve onların elastiklik modülü değerlerine bağlıdır [1]. Bu durumda, beton bileşenlerinin özellik ve oranları biliniyor ise, elastiklik modülü yaklaşık olarak hesaplanabilmektedir.

Heterojen malzemelerin elastik davranışlarına ait teoriler ilk kez Hashin [37] tarafından incelenmiştir. Bu teoriler, bileşenlerin elastik özellikleriyle bunların hacim yüzdelerinden yararlanarak malzemenin elastik sabitlerinin tahminine olanak sağlamaktadır. Hashin, heterojen malzemenin sürekli fazı içindeki dağılı fazı küresel biçimde ve homojen yayılı varsaymaktadır. Araştırmacı, devamlı faz ile dağılı faz arasında kaymanın olmadığını, her iki faz arasındaki yük aktarılmasının sadece bu küre yüzeylerinin normalleri yönünde olduğunu düşünmüştür [5]. Hansen [38], hafif betonlarda olduğu gibi harcın agregaya göre daha rijit olduğu hallerde, betonun ideal sert malzeme gibi davranışının eş şekil değiştirmeli modele uygun olacağını; normal betonlarda ise malzemenin ideal yumuşak malzeme gibi eş gerilmeli modele benzer bir davranış göstereceğini öne sürmüştür. Bu öneriye göre, eş şekil değiştirmeli ideal sert kompozit malzeme için geçerli olan üst sınır bağıntısı, hafif betonun elastiklik modülü için uygun düşmektedir. Eş gerilmeli modele göre ideal yumuşak kompozit malzeme için verilen alt sınır bağıntısı ise, normal betonun E-Modülüne yakın sonuç vermektedir [1].

Betonun elastik davranışını tahmin amacıyla kullanılan kompozit modeller çoğunlukla iki fazlıdır. İki fazlı kompozitlerde elastiklik modülü ile ilgili olarak önerilen üst ve alt sınır bağıntılarını ve bu modelleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür. Buradaki indisler "m" matrisi, "p" fazı "c" ise kompoziti ifade etmektedir.

İdeal sert kompozit malzeme (üst sınır)

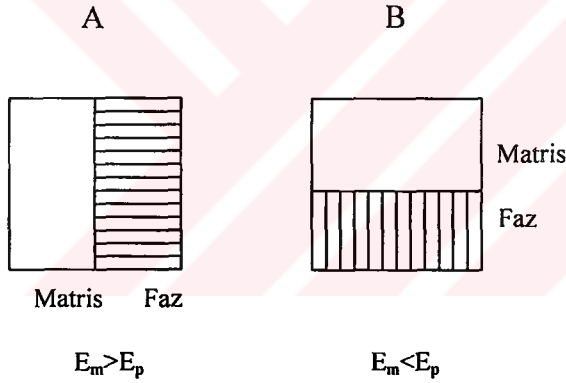
$$E_c = E_m V_m + E_p V_p \quad [1.1]$$

İdeal yumuşak malzeme (alt sınır)

$$\frac{1}{E_c} = \frac{V_m}{E_m} + \frac{V_p}{E_p} \quad [1.2]$$

Hirsch [39], deneysel ölçümlerinde çimento hamurunda ve agregada şekil değiştirmelerin ve gerilmelerin eşit yayılmadığını görerek ve bu farkları gözönüne alarak, iki modeli birleştirmiştir. Daha sonra Dougill [40], Hirsch'in modelini gözden geçirdi ve yukarıdaki iki modelin ayrı ayrı bir düzenlemesi olduğunu göstermiştir. Bu model literatürde [5] Hirsch-Dougill modeli olarak geçmektedir. Söz konusu modelin denklemi (2.3)'de ve Şekil-xx'de görülmektedir.

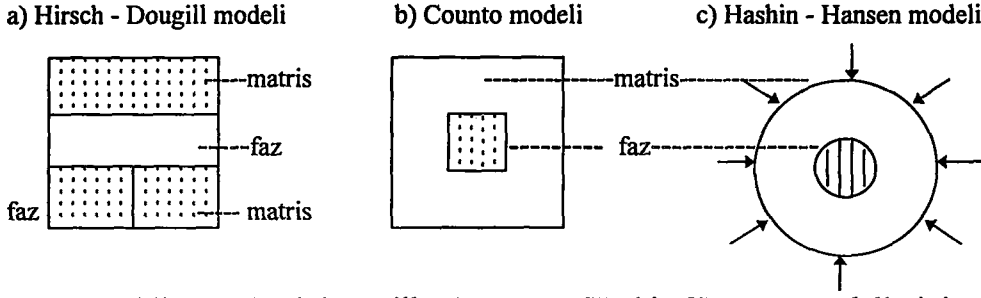
$$\frac{1}{E_c} = x \left(\frac{1}{V_m E_m - V_p E_p} \right) + (1-x) \left(\frac{V_m}{E_m} + \frac{V_p}{E_p} \right) \quad [1.3]$$



Şekil-1.4 İdeal sert ve yumuşak kompozit malzeme modelleri

(1.3) denkleminde $E_p = 0$ iken $E = 0$ olmaktadır. Bu da modelin aksayan bir yanıdır. Bunu önlemek için Counto [41], denklem (1.4) ve Şekil-1.4'de gösterilen modeli önermiştir.

$$\frac{1}{E_c} = \frac{1 - \sqrt{V_p}}{E_p} + \frac{1}{\left(\frac{1 - \sqrt{V_p}}{\sqrt{V_p}} \right) E_m - E_p} \quad [1.4]$$



Şekil-1.5 Hirsch-Dougill , Counto ve Hashin-Hansen modellerinin şematik gösterimi

Hansen, (1.5) bağıntısının hafif betonların elastiklik modülünü tahminde iyi sonuç verdiğini belirtmiştir.

$$E_c = \frac{V_m E_m + (1 + V_p) E_p}{(1 + V_p) E_m + V_m E_m} \cdot E_m \quad [1.5]$$

Nilsen, Monterio ve Gjørsv [42], yaptıkları deneysel çalışmada hafif agrega miktarının betonların E-Modülü üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Burada, hafif betonlarda elde edilen E-Modüllerinin değerleriyle Mori-Tanaka teorisi modeline uygunluğunu araştırmışlardır. Sonuçta teorik yöntemle elde edilen değerlerin deneysel sonuçlara uygun olduğu sonucuna varmışlardır.

1.6.1.3 Hafif Betonlarla İlgili Olarak Yapılan Çalışmalar

Hafif beton üretiminde kullanılan hafif agreganın hacim içerisindeki konsantrasyonu, betonun özellikleri üzerinde etkili olmaktadır. ACI 544'ün hafif betonlarla ilgili raporuna göre [43], ince ve kaba agregaların dağılımlarının ve oranlarının beton üzerinde önemli etkileri olduğu belirtilmektedir. İyi derecelendirilmiş agrega en az seviyede boşluk oluşturacak ve boşlukları doldurmak için en az düzeyde çimentoya ihtiyaç duyulacaktır. Bu durum mukavemetin artmasına, rötrenin azalmasına neden olduğu gibi ekonomi de sağlanabilecektir. Bazı durumlarda en büyük agrega boyutunun küçülmesi, çimento dozajında bir değişiklik yapmadan, betonun mukavemetini arttırmaktadır.

Öztütüncü [27], deneysel çalışmasında ortalama hafif agrega boyutunun yarı hafif betonların don dayanıklılığı üzerindeki etkilerini araştırmış ve ortalama hafif agrega boyutu büyüdükçe basınç dayanımındaki birim kılmanın da azaldığını, agrega boyutunun 5 mm.den 13.5 mm.ye yükselmesiyle elastiklik modülünde %11 düşme olduğu, buna karşın bu boyutun 20.5 mm.ye yükselmesiyle %6 oranında yükselerek yaklaşık olarak ortalama hafif agrega boyutunun 10 mm. olduğu karışımdaki değere yükseldiği ve don etkilerine karşı en büyük dayanıklılığı hafif agrega boyutu 2/8 mm. (yani en küçük) olan karışımın gösterdiği sonucuna varmıştır.

Taşdemir [5], normal betona ait sürekli bir granülometrinin çeşitli bölümlerini sünger taşı hafif agregası ile değiştirerek yarı hafif ve hafif betonlar üzerinde çalışmış ve araştırmasında özetle, birim hacim içinde hacmi aynı kalmak koşulu ile betonunun agregası granülometrisinin hangi bölümü hafif agregası ile değiştirilirse değiştirilsin elastiklik modülünün değişmediği, hafif agregası kullanılarak normal betonun hafifleştirilmesiyle en az poisson oranı, en çok elastiklik modülünün azaldığı, hafif agregalı betonlarda ortalama hafif agregası boyutu arttıkça, basınç mukavemetindeki kısılmaların azaldığı ve hafif agregası miktarı arttıkça basınç mukavemetinin düştüğü sonuçlarına varmıştır.

Al-Awawdeh [26], yapmış olduğu deneysel çalışmasında yarı hafif betonun inelastik davranışını incelemiş ve ortalama hafif agregası boyutunun artışıyla kritik gerilmelerin, şekil değiştirme yeteneğinin ve basınç dayanımının bir miktar düştüğünü ve ortalama hafif agregası boyutunun 4 mm.den 20 mm.ye yükselmesiyle elastiklik modülünün %38 azaldığını ileri sürmüştür.

Arda [44], hafif betonlarda değişken agregası konsantrasyonunun mekanik özelliklere etkilerini araştırmıştır. Yapmış olduğu deneyler sonucunda hafif betonlarda agregası hacim konsantrasyonunun artmasıyla basınç dayanımının, elastisite modülü ve kırılma işinin azaldığını belirterek, hafif betonların E-Modülünü tahmin etmek için Hashin-Hansen modelinin oldukça iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmıştır.

Ersoy [9], süngertaşı agregası ve alçı bağlayıcısı ile üretilen hafif malzemenin cam lifleriyle donatılarak özelliklerinin iyileştirilmesine yönelik olarak yaptığı deneysel çalışmasında şu sonuçlara ulaşmıştır;

Agregası dane boyutunun büyümesi ile kompozitin E-Modülü düşmektedir. Lif boyutunun artması kompozitin E-Modülünü yükseltici rol oynamakta ve karışıma agregası katılması bu etkiyi önemli ölçüde zayıflatmaktadır.

Artan agregası miktarı ile kompozitin basınç mukavemetinde düşüş, $V_{ag, max}$ değerinden sonra azalan matris hacim oranı ile önemli ölçüde hızlanmakta ve lineer olarak devam etmektedir. Karışıma lif katılması, bu düşüşü arttırmaktadır. Liflerin basınç mukavemetini düşük (V_f) değerlerinde zayıf da olsa olumsuz etkilediği ancak artan lif hacim oranı ile mukavemette tekrar nisbi bir artış olduğu görülmektedir.

Agregası ortalama dane boyutunun ve lif boyunun büyümesi de basınç mukavemetini olumsuz etkileyebilmektedir. Agregası mevcudiyeti, lif boyuna bağlı değişimi etkilememektedir.

Eğilme halinde göçme sehim değeri, agregalı ve agregasız karışımlarda lif ilavesiyle birlikte aniden birkaç kat artmaktadır.

Dartsch [45], en büyük dane çapının betonun bileşimine ve basınç mukavemetine etkilerini incelemiş, sabit su/çimento oranında dane boyutunun artması ile basınç dayanımının kısmen azaldığını ve bu zayıflamanın düşük

su/çimento oranında daha da arttığı sonucuna varmıştır. Czuryzkievicz [5], hafif agregalı betonların basınç mukavemetinde etkili olduğunu, yassı ve uzun agregaların basınç mukavemetini önemli ölçüde azalttığını bildirmektedir.

Zhang ve Gjorv [46], yapmış oldukları deneysel çalışmada yüksek mukavemetli hafif betonların mekanik özelliklerini araştırarak şu sonuçlara ulaşmışlardır:

Yüksek mukavemetli hafif betonun mukavemetini belirleyen ana faktör agreganın mukavemeti olmaktadır.

Çekme mukavemetinin basınç mukavemetine oranı, yüksek mukavemetli hafif betonda yüksek mukavemetli normal betona göre daha düşük olmaktadır.

Yüksek mukavemetli hafif betonların Elastiklik modülleri, normal betonlarınkinden daha küçüktür.

Hafif betonlarda en büyük yükteki şekil değiştirme normal betona göre oldukça yüksektir. Yüksek mukavemetli hafif betonun gerilme-şekil değiştirme eğrisinin yükselen kısmı düşük ve orta mukavemetli betonlara göre oldukça lineer bir yükseliş göstermektedir.

Hafif betonlarla ilgili diğer bir çalışmada Gröbl [47], hafif agreganın çekme mukavemetinin artmasıyla hafif beton mukavemetinin artacağını göstermiştir. Ayrıca aynı araştırmacı yaptığı deneysel çalışmada, hafif betonun basınç mukavemetini harç mukavemetinin arttırdığını fakat bu artışın az olduğunu belirtmiştir. Diğer bir çalışmada ise, eğer matris ile hafif agregası arasında bağının mukavemeti yüksek ise yükün daneye aktarıldığını ve bu mukavemet aşıldıktan sonra çatlağı dane etrafında danenin sınırı boyunca dolandığını, ileri sürmüştür. Gröbl, buna, birleşik kırılma adını vermiştir. Eğer agregası, matris içindeki ilk çatlak oluşuncaya kadar çatlama kalırsa çeşitli kırılma durumları ortaya çıkmaktadır. Matrisin yüksek mukavemetli olması durumunda agreganın çekme mukavemeti öyle bir değer olacaktır ki, dane matrisin çatlağı ortaya çıkmadan çatlayabilsin. Sonuçta, bu durumda maksimum mukavemete erişileceğini söylemiştir.

Hafif agregalı betonda, ilk çatlak agreganın tepesinde başlamakta ve sonra radyal olarak agreganın içinden geçmektedir. Agreganın düşük çekme mukavemetine sahip olması, dane çatlaklarının erken oluşmasına neden olarak, ayrıca çatlakların başlamasında bağ çatlakları da etken olmaktadır. Bu düşünceye dayanarak Sasse [48], hafif betonlar ile normal betonların basınç mukavemetinin tahmin edilebileceğini belirtmiştir.

1.6.2 Çelik Tel Donatılı Hafif ve Normal Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar

Günümüze kadar çelik telli normal betonlar üzerinde birçok çalışma ve araştırmalar [48, 49, 50, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57] yapılmış ve yapılmaya da devam

edilmektedir. Ayrıca çelik tellerle donatılmış beton uygulamaları [28, 58] çeşitli alanlarda gerçekleştirilmiştir. Bu uygulamalar çelik tellerle donatılmış betonun sahip olduğu özelliklerin normal betona göre daha iyi olmasından kaynaklanmaktadır

Çelik tellerle donatılı betonlar, daha çok enerji yutarlar, darbe ve yorulma dirençleri yüksektir. Uçları bükülmüş kancalı teller betona ankrajı güçlendirirler ve tellerin çekme mukavemetleri, kırılma ve deformasyonu engelleyerek geciktirirler. Betondaki mikro çatlakların genişlemesini durdurarak, çatlakta köprü oluştururlar ve yükün bir kısmını çatlağa dik doğrultuda iletirler. Ayrıca elastisite modülü daha büyük olduğu için, çatlak yanındaki teller, daha büyük yüklere direnç göstermektedirler [59].

Dolayısıyla çelik tellerle donatılı betonların en belirgin özellikleri, yüksek enerji yutma nitelikleri, eğilme mukavemetinin ve yorulma dirençlerinin yüksek oluşu şeklinde belirginleşmektedir. Ayrıca kullanılan çelik tel tipinin de üretilen betonunun özelliklerine etkisi vardır [60]. Bunların yanı sıra mukavemetle ilgili diğer bazı özellikler de söz konusudur.

Çelik tel donatının, betonun basınç dayanımı üzerindeki etkisi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çelik tellerle donatının basınç dayanımı açısından önemli bir artışa neden olmadığı söylenebilir. Çünkü, tel hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak matris fazında homojen bir karışım sağlanamadığından kusurlar artabilmektedir. Ancak, diğer kırılğan matris ve sünek lifli sistemlerdekine benzer şekilde, basınç halinde de betonların enerji tutma özelliği, tokluğu artmaktadır [61, 62].

Çelik tellerle donatılı beton ve harçların basınç dayanımında, çelik tel donatıya bağlı olarak artış görüldüğü kayıtlara geçen ilk çalışmalardan biri olarak, Williams'ın 1974'deki [53] sonuçları kaynaklarda yer almaktadır. En büyük dane çapı 19 mm. olan agreganın kullanıldığı betonlarda, lif narinlik oranı 100 ve tel hacim oranı yüzde ikidir. Standard silindir örneklerde elde edilen mukavemet artışı koşullara bağlı olarak % 23 oranına kadar ulaşabilmektedir. Yine kayıtlarda [62, 63], harçlarda görülen dayanım artışının, genelde ihmal edilebilir seviyede kaldığı belirtilmektedir. Literatürde genel olarak çelik tellerle donatılı betonların basınç mukavemeti değerlerinin % -25 ile +25 arasında değişebileceği ifade edilmektedir.

Saroushian ve Bayasi [64], yaptıkları deneysel çalışmada çeşitli lif tiplerinin çelik tel donatılı betonla olan etkileşimini incelemiştir. Deneysel bir araştırma olan bu çalışmada, çok değişik çelik tel tipleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlara göre çelik tel tipinin betonun genel özelliklerine ne gibi etkiler kazandırdığının ortaya çıkarılması amaçlanmıştır. Bu çalışmada kullanılan çelik tel tipleri; düz-yuvarlak, dalgalı-yuvarlak, dalgalı-dikdörtgen, çengelli-tekli, ve çengelli-birleşik şeklindedir. Yapılan deneysel çalışmalardan şu sonuçlar çıkarılmıştır: Taze betona çelik tel ilave etmek betonun işlenebilirliğini azaltmaktadır. Bu etki, yüksek narinlik (uzunluk/çap) oranında daha belirgin olarak ortaya çıkmakta, taze betonda işlenebilirlik lif tipinden bağımsız olup farklı bir etki yapmamaktadır. Fakat yalnızca dalgalı şekildeki çelik

tellerin çökme (slump) değerleri diğer tipteki çelik tellerden daha yüksek görünmektedir.

Yine bu çalışmada, narinlik (uzunluk/çap) oranı 60 ve hacimce % 2 çelik tel içeren bir karışımda çengelli çelik tellerin eğilme mukavemeti ve enerji depolama kapasitelerinin diğer liflere göre daha fazla olduğu saptanmıştır. Çengelli lifler diğer düz ve dalgalı tipteki çelik tellere göre betonun basınç altındaki enerji depolama kapasitesindeki yükselişte çok daha etkili olduğu ortaya çıkmıştır. Çelik tellerin betonun basınç mukavemetine etkisinin oldukça az olduğu gözlenmiş ve bu farklı tiplerdeki çelik tellerde de değişmemiştir.

Craig, [65], yapmış olduğu deneysel çalışmalarının birinde çelik tel donatılı hafif betonların mekanik özelliklerini ve yapı elemanlarının davranışlarını araştırmıştır. Burada amaçlanan diğer bir konu da çelik tel kullanmakla hafif betonlarda düşük olan çekme gerilmesinin artırılmasının sağlanabileceğini görmektir. Çalışma sonucunda, basınç mukavemetlerinde bir miktar yükselme görüldüğü, çekme gerilmesinde ve eğilme mukavemetlerinde önemli derecede bir artış olduğu, sünmenin arttığı ve ilk çatlak süresinin uzadığı tesbit edilmiştir. Ayrıca hafif beton elemanların darbe etkisine karşı dayanımının da arttığı tesbit edilmiştir.

Yine aynı yazar [65], bir başka yazısında lifli betonlar ile ilgili olarak şu açıklamalarda bulunmuştur:

- Lif eğilme momenti kapasitesini arttırmaktadır,
- Sünmeyi arttırmaktadır,
- Malzemenin çekme gerilme mukavemetini arttırmaktadır,
- Çatlakları kontrol altına alabilmektedir,
- Rijitliği arttırmaktadır,
- Elemanın yapısal bütünlüğünü koruyarak normal betonarme ile yapılmış kirişteki kırılma yüklerini aşmasını sağlamaktadır. Yine aynı yazar çelik lifli betonların kullanılabilir alanları; sıcaklığa dayanıklı alanlarda (refraktör betonlarında), kaldırım betonlarında, kaplama betonlarında (tünel gibi), yama betonlarında, su yapılarında, bazı prekast elemanların üretiminde, tünel inşaatında ve ayrıca havaalanlarında ve beton boruların üretimi şeklinde sıralamaktadır.

Paillére ve Serrano [66], tarafından çelik lifli hafif betonlar üzerinde yapılan deneysel bir çalışmada genel olarak düz ve çengelli çelik teller kullanılmıştır. Üretilen hafif betonun diğer bileşenleri sabit tutulmuştur. Bu betonun mekanik özelliklerinde çengelli tellerle üretilen hafif betonların daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür. Eğilme mukavemetindeki artış, normal betonlara göre çok büyük değerler almaktadır. Basınç mukavemetindeki değişimlerde ise çelik tel donatılı ve donatısız beton arasında büyük farklar oluşmamakta olduğu belirtilmektedir.

Yıldırım [10], hafif ve yarı hafif betonlarda çelik tel kullanımının betonun mekanik özelliklerine etkisini incelemiştir. Bu çalışmada kullanılan tellerin uzunluğu 60 mm. ve çapı ise 0.6 mm. dir. Araştırmada varılan sonuçlar şöyle özetlenebilir:

Yarı hafif ve hafif betonlarda çelik tel kullanımı, taze betonların işlenebilirliğini etkilemekte, bu betonlarda çelik tel kullanım oranının artırılışının çökme kaybına ve VeBe işlenebilme değerinin yükselmesine neden olmakta, yarı hafif ve hafif betonlarda çelik tel kullanımı bu betonların hava miktarını arttırmaktadır.

Çelik tellerin betonların mukavemet özellikleri üzerine etkilerini ise şu şekilde belirtmiştir. Yarı hafif ve hafif betonlarda hacimce % 1.5 oranında çelik tel kullanımı bu betonlarda basınç dayanımını sırasıyla % 16 ve % 23 oranında yükseltmekte ve yarı hafif ve hafif betonlarda çelik tel kullanımı bu betonların basınç dayanımındaki şekil değiştirme miktarını arttırmaktadır.

Yine bu çalışmada yarı hafif ve hafif betonlarda çelik tel kullanımının bu betonların elastiklik modulünü yarı hafif betonlarda değiştirmedeği belirtilmekte, hafif betonlarda ise bir miktar azalttığı söylenerek yarı hafif ve hafif betonlarda çelik telin hacimce % 1.5 oranında kullanılmasının bu betonların sırasıyla yarma mukavemetini % 175-170 oranında, eğilme mukavemetini de % 300-265 oranında arttırdığı ileri sürülmektedir.

Lif donatı malzemesinin hafif agregalı betonlar üzerindeki etkilerini araştıran Ritchie ve Al-Kayyali [29], donatı olarak polipropylen lifleri ve çelik tel, Gunasekaran ve Ichikawa [55], farklı çelik teller kullanmışlardır. Araştırmacılar, liflerle donatmanın hafif betonlarda da olumlu etki oluşturduklarını ifade etmişlerdir.

Swamy ve Mangat [67], çelik tellerle donatılı çimento kompozitlerinde matris bileşimi ve mukavemetinin lif-matris aderansına etkilerini araştırmışlar, matris/agrega hacim oranının ve su/bağlayıcı oranının artması ile aderansın etkilendiğini ileri sürmüşlerdir. Mangat, Azari ve Ramat, çeşitli tellerle donatılmış çimento kompozitlerindeki lif-matris aderansını araştırdıkları eğilme deneylerinde, ortalama aderans gerilmesinin artan lif çapı ile lineer olarak düştüğü sonucunu elde etmişlerdir.

Purkiss [56], yüksek sıcaklığın çelik tellerle donatılı betonlar üzerindeki etkilerini araştırdığı deneylerde, 600 C°'nin altındaki sıcaklıklarda donatılı betonların donatısızlara nisbetle daha iyi sonuçlar verdiğini, sıcaklığa bağlı olarak yapılan değerlendirmelerde lif tipi ve miktarının etkisinin atıl kaldığını belirtmiştir.

Wecharatana ve Shah [57], çimento esaslı, lif donatılı malzemede çatlamanın aniden arttığı mukavemeti ifade edebilecek teorik bir model geliştirmişler, lineer olmayan elastik kırılma mekanizmasından kaynaklanan bu modelin deneysel verilere uygunluğunu araştırmışlardır. Çelik tellerle donatmanın eğilme halinde absorbe edilen enerji, süneklik ve çatlama üzerindeki etkilerini inceleyen Swamy ve Mangat, liflerle donatmanın en önemli etkisinin ilk çatlak oluştuktan sonra süneklikte, çekme karşısındaki davranışlarda ve enerji yutmada meydana gelen artışlar olduğuna dikkat çekmişlerdir.

Tanigawa ve Hatanaka [68], çelik tellerle donatılı betonların tekrarlanan yüklenme halinde gerilme-deformasyon eğrileri için deneysel verilere dayanarak bir matematiksel model geliştirmeye çalışmışlardır. Araştırmacılar, normalize edilmiş gerilme-deformasyon eğrilerinin, amaçlanan basit numerik modele yeterli ölçüde uyum gösterdiğini ifade etmişlerdir.

Gököz [54], betonu kırılmaya götürmeyen düzeyde ve sayıda uygulanan ön yorulmanın, ince tellerle donatılı betonun mekanik mukavemetlerine olan etkisini deneysel olarak araştırmıştır. Buna göre, ön yorulma halinde betona katılan ince tellerin etkisi artan lif hacim oranı ile birlikte elastik bölgede olumsuzlaşmakta, inelastik bölgede ise tersine olumlu ve bağlayıcı etki yaparak çatlak gelişimini kontrol altına almakta, dolayısıyla basınç dayanımını ve şekil değiştirme yeteneğini arttırmaktadır. Yine aynı yazar, iri agrega miktarının artmasının çelik tel donatılı betonlarda basınç dayanımındaki artışı yavaşlattığı, bazı hallerde ise düşmeye neden olduğunu belirtmektedir.

Balaguru ve Foden [69], yaptıkları deneysel çalışmada iki değişik lif tipi kullanarak, ürettikleri lifli hafif betonların basınç, eğilme ve yarma açısından özelliklerini araştırmışlardır. Hafif agrega olarak genişletilmiş arduvaz, ince agrega olarak da kum ve ince çakıl kullanmışlardır. Birim ağırlığı 1650 kg/dm^3 olan hafif betonda basınç gerilmesi 42 MPa olarak elde edilmiş ve liflerin daha çok eğilme ve yarma mukavemetinde etkili olduğunu, E-Modülü değerlerini de % 30 artırdığını sonuç olarak söylemişlerdir.

Knight ve Hahn [9], birlikte yaptıkları kısa ve gelişigüzel dağılımlı liflerle donatılı kompozitlerin Elastiklik modülleri ve mukavemetlerinin araştırılması ile ilgili deneysel çalışmalarında istatistiksel değerlendirmelerine göre, kısa liflerle donatılı numunelerde özelliklerdeki sapmalar sürekli liflerle donatılı kompozitlere kıyasla daha fazla olmaktadır.

Ling ve Jiang [70], yaptıkları deneysel çalışmada cam lifleri, çelik lifler ve cam-çelik lifleri kullanarak ürettikleri betonların mekanik özelliklerini araştırmışlardır. Üç değişik lif donatılı betonların, diğer statik özelliklerde olduğu gibi, eğilme çekme mukavemetleri arasında da ilişkiler olduğu, bunun lif hacim oranıyla değiştiği sonucuna ulaşmışlardır.

Chen, Mindess ve Morgan [71], farklı boyutlara sahip olan çelik tellerle donatılı betonların ilk çatlak ve eğilme gerilmelerini ASTM C1018 ve JSCE-SF4'de öngörülmuş işlemleri kullanarak belirlemeye çalışmışlar ve beton içindeki değişimlerin yalnızca gerilmeden, ilk çatlaktaki sapmadan ve nihai dayanımdan değil, aynı zamanda bütün mukavemet dirençlerinden de etkilendiğini bulmuşlardır.

Pakotiprapha, Pama ve Lee [9], gelişigüzel dağılımlı çelik tellerle donatılı çimento harçlarının mekanik davranışlarıyla ilgili teorik bağlantılar üzerinde durarak, bunları deneysel sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Ramakrishnan [72], taze ve sertleşmiş betonda vurgulu liflerin özelliklere etkilerini araştırmıştır. Sertleşmiş betonda olduğu gibi taze betonda da lif tiplerinin, narinlik oranlarının, ve karışım oranlarının betonun özelliklerine etkili olduğu söylemiş ve sertleşmiş betonda liflerin betonların eğilme, yarıma ve çarpma mukavemetlerini etkilediğini de belirtmiştir.

Romualdi ve Mandel [73], kısa tel parçaları katılmış betondan ürettikleri kirişler üzerinde yaptıkları eğilme deneylerinde ilk çatlama mukavemetinin, tel aralığının karesi ile ters orantılı olarak arttığını ileri sürmüşlerdir.

Gündüz ve Yalçın [74], normal betonu çelik liflerle ve polimer emprenye maddesiyle takviye etmişler ve ürettikleri betonun eğilme mukavemetinin, çelik tel takviyesi ile 1.48, polimer emprenye takviyesiyle 5.42 ve her ikisinin bir araya getirilerek takviye edilmek suretiyle de 6.3 defa arttığını ileri sürmüşlerdir.

Mizukoshi, Shimauchu, Kaguma ve Matsui [75], hasar görmüş betonların onarımı için uygun özelliklere sahip olabilecek çelik tel donatılı betonlar üzerinde çalışmışlar ve ürettikleri betonların yorulma özelliklerini araştırmışlardır. Araştırma sonucunda, betonların yorulma yaşını arttırmak için betona hacimce %1 oranında çelik tel katılmasının yeterli olabileceği sonucuna varmışlardır.

1.6.2.1 Çelik Tellerle Donatılı Betonların Mekanik Özellikleri İle İlgili Temel Bağıntılar

Çelik tellerle donatılı beton iki sistemden oluşmuş kompozit bir malzemedir [76]. Kompozitlerde lifler kuvvet yönüne paralel, dik veya rastgele dağılmış durumdadır. Liflerle donatılı kompozitlerde, kompozitin elastik sabitlerini matrisin ve donatı malzemesinin elastik özelliklerine bağlı olarak ifade eden bağıntılar yazılabilmektedir [61]. Liflerin sürekli ve birbirine paralel olduğu, kompozitin ise liflere paralel doğrultuda yüklendiği durumlarda yükün matris ve lifler arasında:

$$P_c = P_m + P_f \quad [1.6]$$

şeklinde görüldüğü düşünülür. Bu bağıntı ($P = \sigma.A$) gerilme ve alan cinsinden,

$$\sigma_c A_c = \sigma_m A_m + \sigma_f A_f \dots \text{ yazılır} \quad [1.7] \text{ ya da,}$$

Kompozit için $V_m + V_f = V_c = 1$ alınarak,

$$\sigma_c = \sigma_m V_m + \sigma_f V_f \quad [1.8]$$

olarak ifade edilir. Burada A alan, V hacim konsantrasyonu oranlarıdır. (c, m, f) indisleri sırası ile kompozit, matris ve lifleri belirtir. Matris ve liflerin birbirlerine kaymaz bir şekilde yapıştıkları ve şekil değiştirmenin üçünde de aynı olduğu kabul edilirse;

$$\epsilon_c = \epsilon_m = \epsilon_f = \epsilon \quad [1.9]$$

$$\sigma_c = E_m \epsilon_c V_m + E_f \epsilon_c V_f \quad [1.10]$$

olarak yazılır. Aynı eşitlik $V_m + V_f = V_c = 1.00$ olduğu düşünülerek

$$\sigma_c = E_m \epsilon_c V_m + E_f \epsilon_c (1 - V_m) \quad [1.11]$$

şeklinde ifade edilebilir [18]. Buradan liflerin taşıdığı yük ile matrisin taşıdığı yükün oranı veya liflerin taşıdığı yük ile kompozitin taşıdığı yükün oranı hesaplanabilir. Burada (c), kompoziti, (m), matrisi ve (f) indisi, lifi ifade etmektedir. Bu formül iki malzeme arasında yakın bir ilişki olduğunu varsaymaktadır.

Liflerin kompozit içinde sürekli ve etkili olan kuvvet doğrultusunda oldukları önkabulü ile ifade edilen [61] bağıntılar, bağıntı (1.11)'in (ϵ_c)'ye bölünmesi ile;

$$E_c = E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad [1.12]$$

$$E_c = E_f V_f + E_m V_m \quad [1.13]$$

elde edilir.

Süreksiz liflerin kullanılması halinde Bağıntı (1.12) lif boyu etkinlik katsayısının (η_1) ve liflerin yönlendirilmesine bağlı olarak da lif yön etkinlik katsayısının (η_2) eklenmesi ile aşağıda hali almaktadır [61].

$$E_c = \eta_1 \eta_2 E_f V_f + E_m (1 - V_f) \quad [1.14]$$

Bir yük altında kompozit bir deformasyona uğrayacaktır. Kompozitteki bu şekil değiştirme oluşumu aşağıdaki faktörlerle belirlenmektedir [76]:

- bileşenlerin hacim oranları,
- bileşenlerin özellikleri,
- kuvvetin yönü,
- tellerin dağılım ve konum şekilleri,
- tellerin bitim şekilleri ve
- tellerin gerilme/deformasyon kabiliyeti,

Çelik telli donatılı betonların deformasyon hareketi elastik yöndedir. Elastikiyetle ilgili olan gerilme kuvveti şu bağıntı [76] hesaplanabilir:

$$\sigma_c = \sigma_m (1 - V_f) + k \cdot \sigma_f \cdot V_f = \sigma_m \left[1 + \left(k \frac{E_f}{E_m} - 1 \right) V_f \right] \quad [1.15]:$$

Kırılğan matrisli ve sünek lifli sistemler olan çelik tellerle donatılı betonlarda gerilme-şekil değiştirme davranışı, tel ile matris arasındaki aderansın tam olduğu kabulü ile betonun mukavemeti, kırılğan nitelikteki matris malzemesinin kırılma

şekil değiştirme oranına (ϵ_{mu}) kadar olan bölgede, tel ve matris tarafından birlikte belirlenmektedir [61].

Yük altındaki betonda, uzama oranı (ϵ_c) matrisin kopma uzama oranına (ϵ_{mu}) eriştiği anda,

$$\epsilon_c = \epsilon_{mu} = \epsilon_f \quad [1.16]$$

$$\sigma_c = E_c \epsilon_{mu} \quad [1.17]$$

bağıntıları geçerli olmaktadır. Bu durumda Bağıntı 1-16 betonun ilk çatlak gerilmesini vermektedir. Aveston, Cooper ve Kelly [77], kompozitte ilk çatlağın oluşacağı uzama oranını sürekli lifler için, kompozitin enerji dengesinden hareketle Griffith Kırılma Teorisine dayanarak,

$$\epsilon_c = \epsilon_{mu} = \left[\frac{6U \cdot \tau \cdot \gamma_m \cdot E_f (\eta_2 \cdot V_f)^2}{E_c \cdot E_c^2 \cdot F_f \cdot V_m} \right]^{1/2} \quad [1.18]$$

bağıntısını vermektedirler. Burada (F_f) lif en kesit alanı, (U) lif çevresini, (τ) lif ile matris arasındaki aderansı, (γ_m) matrisin yüzey gerilimini ve (η_2) lif yön etkinlik katsayısını ifade etmektedir. Bu bağıntıdan da, kompozitte ilk çatlağın oluştuğu sırada, matristeki gerilme de,

$$\sigma_c = E_c \epsilon_{mu}$$

olarak ifade edilmektedir [61].

Donatı miktarı ile kompozitte meydana gelen çatlamların gerilme seviyesi arasındaki ilişki konusunda çeşitli araştırmacılar tarafından farklı görüşler bildirmektedirler. Örneğin, Romualdi [78] tarafından öne sürülen ve yukarıda Bağıntı 1-18'de de görüldüğü gibi, Aveston, Cooper ve Kelly tarafından da desteklenen görüşe göre, kırılğan malzemenin daha sık liflerle donatılması halinde, çatlama daha da yüksek gerilmeler altında meydana gelmektedir. Buna karşılık Shah ve Rangan [79] deneylere dayanarak, lif aralığının tek başına çatlakların oluştuğu gerilme seviyesinin değişmesine neden olamayacağını belirtmektedir.

Çatlama sonrasında kompozitin lifler tarafından taşındığı kabul edilerek, kompozitin, matrisin çatlama öncesi seviyede gerilmeyi taşıyabilmesi için gerekli olan en düşük lif hacim oranı, "Kritik Lif Hacim Oranı" ($V_{f,kr}$) olarak isimlendirilmektedir. Lifin bu özel oranı için, çatlama öncesi ve sonrası için yazılan gerilme bağıntılarının eşitlenmesi ile ($\sigma_{cu1} = \sigma_{cu2}$) kritik değer elde edilmektedir. Burada (σ_f) matrisin kopması sırasında lifteki gerilmeyi ifade etmektedir.

$$V_f = V_{f,kr} = \frac{\sigma_{mu}}{\sigma_{fu} - \sigma'_f + \sigma_{mu}} \quad [1.19]$$

Kompozitteki liflerin süreksiz ve rastgele dağılı bulunmaları halinde ise etkinlikleri azalacağından, ilgili katsayıların bağıntıya ilavesiyle Bağıntı 1.19 aşağıdaki hali almaktadır:

$$V_{f,kr} = \frac{\sigma_{mu}}{\eta_1 \eta_2 (\sigma_{fu} - \sigma'_f) + \sigma_{mu}} \quad [1.20]$$

$\sigma'_f = \sigma_{mu}$ olması halinde ise, bu oran "Minimum Lif Hacim Oranı" ($V_{f,min}$) olarak adlandırılmaktadır.

Kırılğan matris ve sünek lifli kompozitlerde üç farklı kırılma şekli görülmektedir. Kompozitin donatılmasında kullanılan lif hacim oranı, kritik lif hacim oranından daha büyük ise ($V_f > V_{f,kr}$) matris çatladıktan sonra kompozit daha yüksek seviyede gerilme taşımaktadır. Kompozitteki lif hacim oranı, kritik lif hacim oranının altında ise ($V_f < V_{f,kr}$) matrisin çatlamasını takiben kompozit daha düşük seviyede bir dayanım göstermektedir. Süreksiz liflerle donatılı kompozitlerde görülen üçüncü bir hal ise, kompozitin matrisin kırılmasından sonraki dayanımının "liflerin sıyrılması" ile belirlenmesi durumudur [61].

Lif hacim oranını, kritik lif hacim oranının üzerinde olduğu birinci durumda, matris kırılmadan önce matris ve donatı taşımaya birlikte katılmaktadırlar. Matrisin çatlayarak kırılması ile birlikte, bir anda kompozitin bünyesindeki gerilme lif hacim oranına bağlı olarak bir miktar düşmektedir. Daha sonra lifler yüklenerek, lif miktarına bağlı olarak kompozit daha yüksek seviyede bir gerilmeyi taşıyabilmektedir [61].

1.6.2.2 Liflerle Donatılı Betonların Özellikleri

Liflerle donatılı kompozitlerin mekanik davranışlarını açıklayan teoriler, liflerle pekiştirilmiş kompozitlerin genel teorisinden kaynaklanmaktadır. Bu teorilerin büyük bir kısmı cam lifleriyle veya diğer liflerle pekiştirilmiş plastikler için geliştirilmiştir. [30]. Bu teorilerle ilgi açıklamalara yukarıda değinilmiştir.

Genel olarak çelik liflerle donatılı betonların özellikleri, matris malzemesi olan betonun özelliklerine, bunda kullanılan agreganın özellikleri ve boyutuna, donatıda kullanılan çelik tellerin tipine, narinlik oranına, kullanılan miktara, üretiminde kullanılan yöntemine, numunenin boyutlarına ve biçimine göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Çelik tellerle donatılı betonların başlıca özellikleri nisbeten yüksek enerji yutma özeliği, eğilme mukavemetinin ve yorulma direncinin yüksek oluşu gibi üç noktada belirginleşmektedir.

1.6.2.2.1 Matris Özellikleri

Liflerle takviye edilmiş betonlarda matrisin fonksiyonu lifleri birarada tutmak, onları korumak ve gelen yükleri liflere iletmektir. Bunun yanında matrisin daha birçok fonksiyonu bulunmaktadır. Lifler küçük boyları nedeniyle yalnız başlarına kullanılamazlar. Ancak bir matris içerisinde yer almak suretiyle bir kompozit meydana getirebilirler. Matris, lifin yüzeyini aşınmaktan ve atmosferik korozyon etkilerinden koruyarak, uzunlama yönde liflerde meydana gelebilecek deformasyonları saptırır. Yük artışını komşu liflere iletirler. Sünek bir matris içerisinde bulunan yüksek mukavemetli lifler deforme olsa bile kusur mikroskopik düzeyde kalır. Yayılmalar sünek ve tok matris tarafından önlenmektedirler.

Kırılgan matris ve sünek lifli kompozitler sınıfına girebilecek olan lifli betonların üretiminde, şimdiye kadar yapılan çalışmaların çoğunda portland çimentosu kullanılmıştır. Matris olarak portland çimentosu hamurunun kullanılmasının çeşitli yararlar sağlamasına karşın önemli bir sakıncası da vardır. Bu da çimento hamurunun kırılma birim uzamasının çoğu liflerinkinden % 0.02 - 0.06 mertebesinde daha düşük olması sonucu; bir yükleme durumunda, elastik limitin ötesinde çimento hamurunun matrisinde çatlakların oluşumudur. [50]. Çelik tel donatılı betonlarda kullanılan lif malzemesinin etkinliği işte bu şekilde oluşabilen çatlakların genişlemesini durdurarak betonu bir dereceye kadar korumasıyla ortaya çıkmaktadır [59]. Bununla birlikte betonun bünyesindeki lif hacim oranına bağlı olarak teller matrisin sürekliliğini ve homojen yapısını bir dereceye kadar etkilediklerinden ayrıca bir kusur etkisi de oluşturabilmektedirler [9] .

1.6.2.2.2 Tellerle Donatılı Taze Betonun Özellikleri

Belirli bir oranda lif katılması sonucu olarak taze betonun akıcılığındaki değişim çok belirgindir. Örneğin bir çalışmada [50], çökmesi 100 mm.'nin yukarısında olan sulu kıvamdaki betonlarda hacmen % 2.5 oranında cam lifi katıldığında çökmelerin 0 olacağı belirtilmektedir.

Diğer bir sorun, beton bileşimlerinin karıştırılması sırasında karşılaşılan güçlükler ve liflerin topaklanması durumudur. Lifler birbirlerine bağlanarak kümeleşme ve topaklanmaya doğru bir yönelim göstermektedirler. Bu topaklanma ise beton bileşimlerinin rölatif hacim oranlarına etki etmektedir.

Lifin geometrisi, lif hacminden ayrı olarak, iri agreganın, hacmi, biçimi ve boyutunun da taze lifli beton karışımının reolojisi üzerine belirgin bir etkisi vardır. Agregası boyu artarken lif boyutunu arttırmak genellikle yararlı olmaktadır [50].

Liflerin hem çapı hem de uzunluğu betonun sıkıştırılmasını etkilemektedir. Agregası miktarındaki küçük artışlar bile sıkıştırma işleminde güçlükler yaratmakta ve

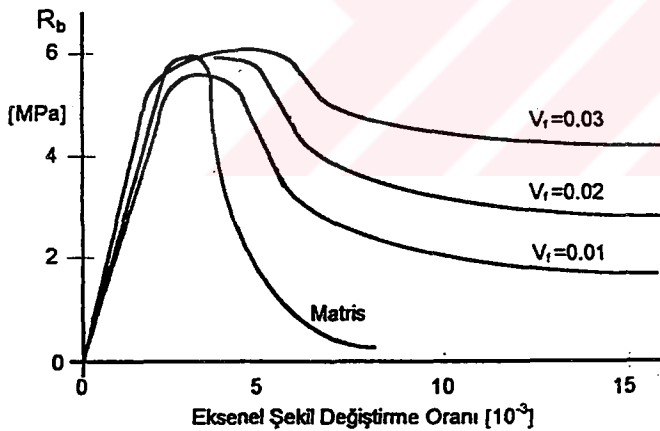
sonuçta lifli betonu sıkıştırmak için, normal betonda gerekenden daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca bunun yanında lif hacim oranının artırılması betonların boşluk yapılarını da etkileyebilmektedir.

1.6.2.2.3 Liflerle Donatılı Sertleşmiş Betonların Özellikleri

Bilindiği gibi, harçlar ve betonların yeterli kabul edilebilecek basınç mukavemetlerine karşın, çekme ve eğilme mukavemetleri çok zayıftır. Bu nedenle malzemenin söz konusu mukavemet özelliklerinin iyileştirilmesi için lifler kullanılmaktadır

Çelik tellerle donatılı betonları üzerinde uygulanacak test yöntemleri ACI Commitee 544, ASTM C1018 ve ASTM C995'de belirtilmişlerdir [62].

Çelik tel donatının, betonun basınç mukavemeti üzerindeki etkisi, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Çelik tellerle donatının basınç mukavemeti açısından önemli bir artışa neden olmadığı çeşitli kaynaklarda [61, 55, 56] belirtilmektedir. Ancak, bunun yanında diğer kırılma matris ve sünek lifli sistemlerdekine benzer şekilde, basınç halinde de malzemenin enerji yutma özelliği, tokluğu arttırmaktadır. Aşağıdaki şekilde ince tellerle donatılı betonların basınç etkisine maruz kalması durumunda elde edilecek olan gerilme şekil değiştirme diyagramı verilmektedir.

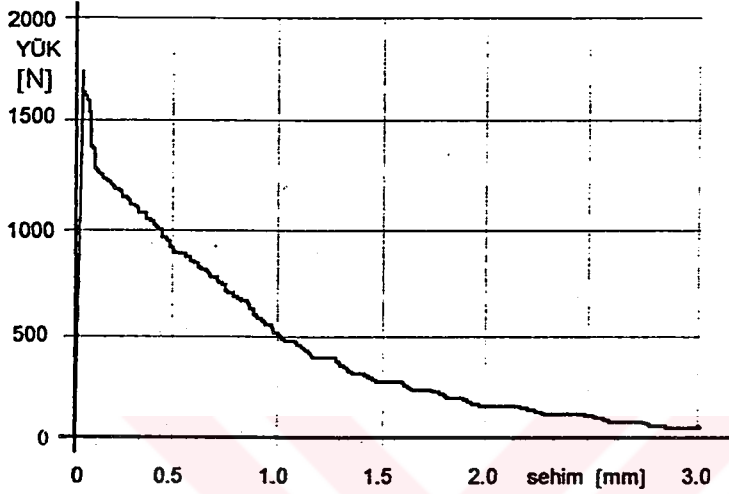


Şekil-1.6 Basınç mukavemeti altında gerilme şekil değiştirme eğrisi [61]

Çelik tel donatılı betonların basınç mukavemeti üzerinde tellerin özellikleri ve hacim oranları etkili olabilmektedir. Ayrıca Gököz [54], çimento dozajının ve agrega boyutunun da mukavemet üzerinde etkili olduğunu belirterek, iri agrega miktarının artmasının tel donatılı betonlarda basınç dayanımındaki artışı azalttığı, bazı durumlarda da düşmeye neden olduğunu eklemektedir

Çelik tellerle güçlendirilmiş betonlarda çekme mukavemeti ve gerilme şekil değiştirme davranışı, numunenin özelliklerine bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bu betonlarda gerilme şekil değiştirme davranışı iki farklı bölgede

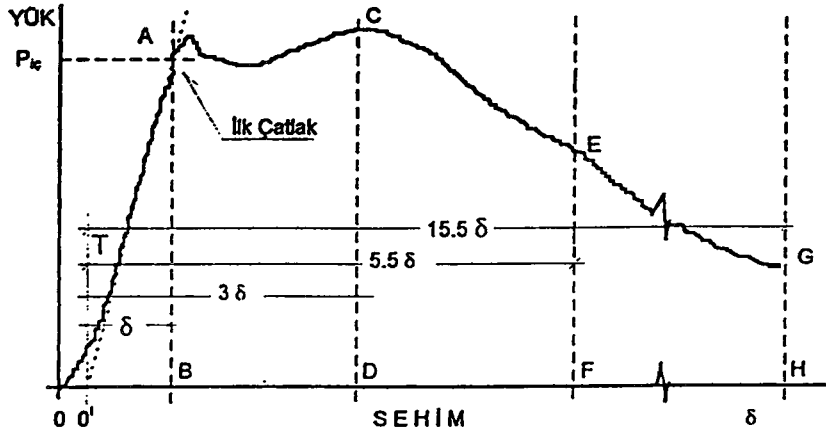
ele alınabilmektedir. Kuvvet uygulanması ile birlikte, giderek artan gerilmenin etkisi ile meydana gelen ilk çatlama kadar davranış donatısız betonunkine, matrise çok yakın olmaktadır. Ancak, gevrek matriste, çatlamaı takiben mukavemet birden ortadan kalkmasına karşın liflerin etkisi bu noktadan sonra, Şekil-1.7'de de verildiği gibi, açıkça görülmektedir. Bu davranış üzerinde, özellikle lif şekli, narinlik oranı ve hacim oranı da etkili olmaktadır.



Şekil -1.7 Çekme halinde tipik kuvvet/şekil değiştirme davranışı [61]

Çelik tellerde donatılmış betonlarda, çelik tel donatının etkisi eğilme halinde belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Diğer özelliklerde olduğu gibi burada da çelik telin türü, biçimi, narinlik oranı ve hacim oranı gibi özellikler bu durumda belirleyici bir unsur olmaktadır. Eğilme mukavemeti, çelik tellerle donatılı betonların önemli bir özelliğini oluşturmaktadır. Bu betonların eğilme mukavemeti deney metodu TS 10515 de belirtilmiştir. Buna göre çelik tellerle donatılı beton numuneler, açıklığının 1/3 noktalarında yüklenerek, yük-sehim eğrisi altında kalan alanlar aracılığı ile eğilme mukavemeti değerlendirilmektedir. Standardtaki ifadesiyle, yük-sehim eğrisi altındaki alanla ifade edilerek belirlenen mukavemet, özel test numunesinin enerji yutma kapasitesinin bir göstergesidir. Sonuç olarak bunun miktarı doğrudan doğruya numunenin ve yükleme sisteminin karakteristiğine bağlıdır [61, 65].

Eğilme halinde normal betonda görülen ani kırılma yerine, malzeme çatladıktan sonra bir miktar yük taşımaktadır. Eğilme halinde, iki farklı gerilme ile karşılaşılmaktadır. Bunlar ilk çatlak gerilmesi ve maksimum gerilmedir. İlk çatlak gerilmesi, yük-sehim eğrisi üzerinde ilk kez doğrusal yoldan sapıldığı anda numunede oluşan çatlak olarak tanımlanmaktadır. Bunun aşılması ile eğilmede taşınabilen en yüksek gerilme seviyesinde malzeme göçmektedir. Aşağıdaki şekilde çelik tellerde donatılı betonların yük altındaki tipik eğilme - şekil değiştirme davranışı görülmektedir..



Şekil-1.8 Eğilme halinde yük/sehim eğrisi [61]

Dolayısıyla gevrek bir yapıya sahip olan betonları çelik tellerle donatmakla kesme kuvvetlerine karşı daha dayanımlı betonlar elde etmek mümkün olmaktadır.

Çelik telli betonun çarpma mukavemeti matrisin mukavemetinden daha büyük olmaktadır [80]. Örneğin yapılan bir araştırmada [81], harca % 2.0 oranında çelik tel katılması matrisin kırılma işinden 2 kat daha büyük bir değer elde edilmesine neden olduğu belirtilmektedir. Cam liflerinin kullanılması da çarpma mukavemetini arttırmaktadır [82]. Ancak bazı özellikler açısından cam liflerinin etkinliği çelik tellere oranla daha düşük oranlarda olmaktadır.

CIGB ICOLD Bulletin 40a'da [62] çelik tellerle ve cam lifleriyle donatılmış betonların normal betona göre özelliklerindeki değişim oranları şu şekilde verilmektedir:

Malzeme özelliklerindeki yaklaşık artış oranları (%)		
Özellikler	Çelik tellerle donatılı betonda	Cam lifleriyle donatılı betonda
Sertlik	100 ile 1200	1000
Çarpma mukavemeti	100 ile 1200	1000
İlk çatlak gerilmesi	25 ile 100	50 ile 300
Eğilme gerilmesi	25 ile 200	50 ile 300
Çekme gerilmesi	25 ile 150	300 ile 800
Yorulma direnci	50 ile 100	-
Şekil değiştirme kapasitesi	50 ile 300	1000 ile 10000
Basınç gerilmesi	-25 ile +25	200 ile 800
Aşınma direnci	300	-
Elastiklik Modülü	-25 ile +25	-
Elastik deformasyon	20 ile 500	100 ile 1000

Tablo-1.4. Normal betona göre çelik telli ve cam lifi donatılı betonların özelliklerindeki yaklaşık artış değerleri [62].

1.6.2.2.4 Liflerle Donatılı Betonların Kullanım Yerleri

Çelik teller, çelik tel takviyeli döşeme betonları dışında çeşitli alanlarda da kullanılmaktadırlar. Bunlar genellikle;

- beton döşemeler,
- tesviye betonu vb. uygulamalar,
- prekast beton yapımı,
- koruyucu kaplamalar,
- ateşe dayanıklı beton üretimi,
- beton kaplamalar, park alanları ve
- güvenlik yapıları

şeklinde guruplandırılabilir.

1.6.3 Polimer Katkılı Betonların Özellikleri İle İlgili Çalışmalar

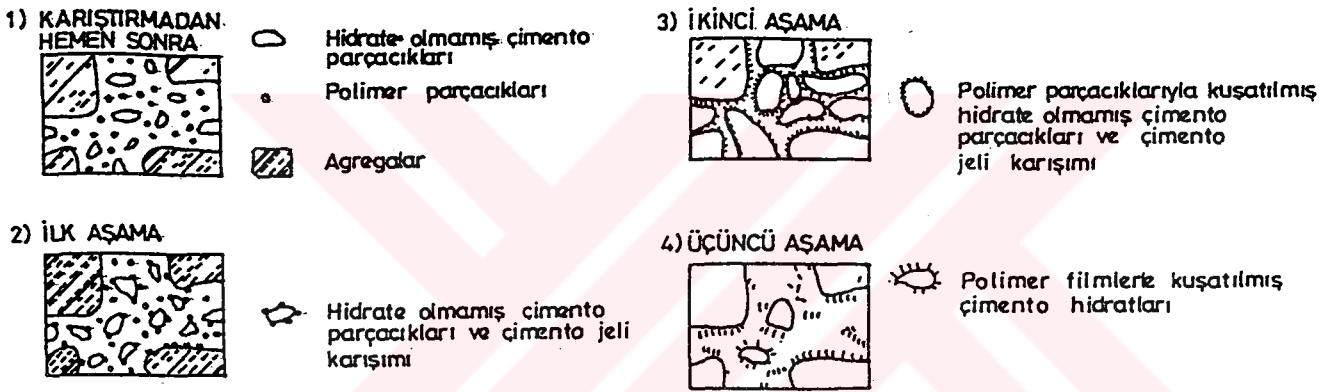
Polimerli betonlarla ilgili olarak yapılan yayın taramalarında, çalışmaların genellikle normal agregalı betonlar üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür. Polimer katkı maddesinin süngertaşı hafif agregalı betonların özellikleri üzerindeki etkileri konusunda pek çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak Kuzey ülkelerinde, özellikle Rusya'da bu konu ile ilgili çalışmalar yapıldığı bazı literatürlerde [24, 34, 83] belirtilmektedir. Fakat bu çalışmalarda polimer maddesinin emülsiyon halinde değil, polimer emdirilmiş beton şeklinde kullanıldığı görülmüştür. Agregada olarak da farklı hafif malzemeler kullanılmıştır. Bu başlık altında genellikle polimer katkı normal betonlar konusunda yapılan çalışmalar irdelenmektedir.

Mukavemet, deformasyon kabiliyeti, yapışma, geçirimsizlik ve dayanıklılık gibi özellikleri iyileştirmek için harç ve betonlarda bir polimer emülsiyonu kullanımı gittikçe yaygınlaşmaktadır [84]. Ayrıca, lif takviyeli çimento ve betonunun işlenebilirlik, kuruma rötresi ve dayanıklılık özelliklerini iyileştirmek veya polimerlerle geliştirilmiş harç ve betonun eğilme mukavemetini, sertliğini ve darbe dayanımını arttırmak amacıyla; çelik, cam, polimer ve karbon lifleri kullanılarak lif takviyeli polimerlerle geliştirilmiş çimento ve beton üretilmiştir. Özellikle, cam yünü katkı çimentolu karışımlar durabilitenin artırılmasında etkilidir [23]. Son zamanlarda karbon lif takviyeli çimento polimeri geliştirilmesine doğru güçlü bir eğilim meydana gelmiştir. Son yıllarda dünyada Stiren-bütadyen, poliakrilik ester, poli(viniliden klorit-vinil klorit), poli(etilen-vinil asetat) ve polivinil asetat lateksin yaygın bir şekilde kullanıldığı görülmektedir.

1.6.3.1 Çimento Bağlayıcı Betonlara Polimer Katma İlkeleri:

Polimerlerle geliştirilmiş harç ve beton, sıvı veya toz halindeki polimer monomeri çimentolu beton veya harç karışımına katılarak hazırlanmaktadır. Bu işleme aynı zamanda "modifiye etme" ismi de verilmektedir. Böylece harç veya beton

içindeki monomer yerinde polimerize olmaktadır. Suda çözünebilen polimer, sıvı reçine, monomerler ve lateksler gibi herhangi bir şekilde bulunan polimer ve monomerler harç ve beton gibi çimentolu kompozitlerde kullanılmasına rağmen çimentonun hidratasyonu ve polimer fazının oluşumu monolitik bir matris fazı verecek şekilde ilerlemektedir (monomerin polimerizasyonu ve polimer parçacıklarının birleşme işlemi). Böyle bir yapı içerisinde hidrate çimento fazı ve polimer fazı birbirleriyle bütünleşmektedirler. Polimerlerle geliştirilmiş harç ve betonlarında agrega böyle bir fazla (hidrate çimento ve polimer fazı) çevrilmiş bulunmaktadır. Polimerle geliştirilmiş harç ve betonun geleneksel beton ve harca üstün özellikleri böyle bir farklı yapı ile belirlenmektedir [23, 32]. Lateksle geliştirilmiş harç ve betonlarında çimentonun hidratasyon işlemi genellikle polimer oluşma işlemiyle birlikte ilerlemektedir. Çimento jeli ve polimer filminden oluşan bu komatris fazın oluşumu Şekil-1.9'da üç aşamalı modelle ifade edilmiştir [23, 85].



Şekil-1.9 Polimer-çimento komatrisinin oluşumu [23]

Lateks harç ve betonlarında sürekli faz, çimento ve polimer fazlarının birleşiminden oluşmaktadır. Polimer, taze harç ve betonla karıştırıldığında polimer parçacıkları çimento fazında düzgün şekilde dağılırlar. Böyle bir polimer çimento hamurunda çimento jeli çimentonun hidratasyonu ile yavaşça oluşmakta ve su fazı hidratasyon sırasında oluşan kalsiyum hidroksitle doymun hale gelmektedir. Oysa polimer parçacıkları çimento jeli ve anhidrit çimento parçacıklarının yüzeyinde kısmen birikirler. Su fazındaki kalsiyum hidroksitin, silisli agreganın yüzeyinde kalsiyum silikat katmanı oluşturacak şekilde reaksiyona girme olasılığı vardır [23, 30, 34]. Çimentonun hidratasyonu devam ederken, lateks içindeki polimer taneleri kapiler boşluklara ve hidrate elemanlar üzerine çökelmekte ve suyun, hidratasyon ve kuruma ile tükenmesi sonucu, birleşerek monolitik bir film tabakası oluşturmaktadırlar [30, 84, 85]. Polimer fazı çimento hidratı fazı içine girer. Böyle bir yapı lateks modifiye harç ve betonlarında matris fazını oluşturur. Agrega bu fazla

çevrilmiştir. Böylece hem hidrate elemanlar ve agregalar birbirlerine daha iyi bağlanmakta, hem de sürekli faz içindeki boşluklar doldurulmuş olmaktadır [85].

Allen [86], değişik oranlarda akrilik bazlı katkı maddeleri ve hacim oranı $V_f = 0.04$ olan cam lifleri kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada şu sonuçlara varmıştır:

- yüksek oranlarda ($p/\ç > 0.15$) polimer kullanılması durumunda çimento matris esnekleşmekte ve kırılma dayanımını yitirmekte, numune kopuncaya kadar çatlamamaktadır.

- polimer/çimento ($p/\ç$) oranı arttıkça elastiklik modülü azalmaktadır,
- polimer/çimento ($p/\ç$) oranı arttıkça çekme dayanımı artmaktadır.

Cimilli [30], yapmış olduğu deneysel çalışmasında üç tür polimer katkı maddesi kullanmıştır. Bu çalışmada polimer, E-camı ve Portland çimentosu kullanarak üretilmiş olan kompozitlerin mekanik özellikleri araştırılmıştır. Cimilli çalışmasında özetle;

- Polimer katkı maddelerinin çimentonun elastiklik modülünü etkilediği, ancak bu etkinin türü ve derecesinin kullanılan katkı maddesinin türüne bağlı olduğu, katkı maddelerinin elastiklik modülüne bu etkilerinin zamanla kaybolduğu, polimer katkı maddeleriyle hazırlanmış çimento hamurunda numunelerin çekme mukavemetlerinin, katkısızlara oranla daha yüksek olduğu ve kompozitlerin çekme dayanımının zamanla azaldığı ve bu azalmaya neden olarak cam liflerinin çimentonunun alkali ortamında erimesi dolayısıyla ileri geldiği sonucuna varmıştır.

Yine bu araştırmada strien bütadyen lateks katkı maddesinin lif matris aderansını azalttığı, çimento hamurunun yapısını bozarak erken yaşlarda matrisin dolayısıyla kompozitin E-Modülünde bir azalmaya neden olduğu ileri sürülmüştür.

Özturan [33], Portland çimentosunun bir kısmı yerine aynı ağırlık oranında olmak üzere yüksek kireçli uçucu kül kullanarak lateks harçlarının mekanik özelliklerini incelemiştir. Bu çalışmada katkısız ve çimento ağırlığının %25 ile %50 oranlarında uçucu kül katkılı harçlarda, polimer-bağlayıcı katkı maddesi oranı 0.05, 0.10, 0.15 ve 0.20 olacak şekilde vinil asetat ve akrilik asit ester kopolimer lateksi kullanılmıştır.

Deney sonuçlarında ise lateks kullanımının hem katkısız hem de uçucu kül katkılı harçlarda basınç mukavemetini azalttığını, diğer taraftan eğilme ve çekme mukavemetlerinin uçucu kül oranı ve polimer-bağlayıcı katkı maddesi oranındaki artışlara benzer değişimler gösterdiği ve lateks harçlarının eğilme ve çekme dayanımları polimer-bağlayıcı oranındaki artışla birlikte uçucu kül katkısız harçlarda lateks içermeyen harçlara oranla artışlar gösterdiği, polimer-bağlayıcı oranının 0.15 değerinde 28 günlük eğilme ve çekme dayanımlarında lateks içermeyen harçlara oranla sırasıyla % 40 ile % 25 oranında artışlar gösterdiği ve dinamik elastisite modülünün uçucu kül miktarı ve polimer-bağlayıcı oranıyla, basınç dayanımındaki benzer bir değişim gösterdiği, neticesine ulaşmıştır.

Doğu [23], deneysel çalışmasında değişik oranlarda (%5 - %15) ve farklı tiplerde (PVA, akrilonitril, akrilik) polimer ilavesiyle oluşan betonların mekanik özelliklerini araştırmıştır. Bu araştırmada şu sonuçlara varılmıştır:

- PVA katkılı betonlarda, PVA miktarı arttıkça normal betona göre numunelerin eğilmede çekme ve basınç mukavemetlerinde azalma olduğu, akrilik katkılı numunelerde ise polimer-çimento oranının artmasıyla eğilme ve basınç mukavemetlerinin arttığı görülmüştür.

- Polimer katkılı betonların su dirençlerinin zayıf olduğu halde su ile karşı karşıya bırakıldıklarında mukavemetlerinde azalmalar meydana gelmesi yanında, su emme dirençlerinin oldukça yüksek olduğu belirlenmiştir.

- PVA ve akrilik katkılı numunelerin birim hacim ağırlık ve özgül ağırlık değerlerinin normal betona göre daha az olduğu ve polimer-çimento oranının artışıyla azaldığı izlenmiştir.

Solovjov, Trambovetksy ve Kruger [83], Furan reçinası (FAM) kullanarak üretmiş oldukları normal agregalı ve hafif agregalı polimer betonların özelliklerini şu şekilde karşılaştırmışlardır. Burada hafif agrega olarak ise genleştirilmiş perlit, keramzite, agloporite ve cam pamuğu kullanılmıştır.

Özellikler	Hafif Agregalı Polimer Beton	Normal Agregalı Polimer Beton
Birim Ağırlık	1200 - 1900	2200 - 2400
Basınç Gerilmesi [MPa]	20 - 65	70 - 90
Çekme Gerilmesi [MPa]	10 - 20	5 - 8
E-Mod. [GPa]	10 - 20	20 - 32
Poisson Oranı	0.15 - 0.2	0.20 - 0.24
24 saatlik su emme	0.1 - 0.8	0.05 - 0.03
Isı Geçirgenlik oranı [W/mK]	0.2 - 0.65	0.79 - 0.9
Donma-Çözülme devri	300	300

Tablo-1.5 Hafif agregalı ve normal agregalı Polimer betonun özellikleri

Bu şekilde üretilmiş olan polimerli normal ve hafif betonların Kuzey ülkelerinde, özellikle Rusya'da, kolon, kiriş, temeller, döşeme elemanı ve kimyasal etkilere karşı dayanımı yüksek elemanlarda kullanımı yaygınlaşmıştır.

1.6.3.2 Polimerlerin Beton Teknolojisinde Kullanımı

Son 40 yıldır, beton-polimer kompozitleri ile ilgili aktif araştırmalar ve gelişmeler bütün dünyada, özellikle ABD, Sovyetler birliği, İngiltere, Japonya ve Almanya'da yürütülmüştür. Bununla birlikte ülkelerin bilgi birikimindeki farklılıklar nedeniyle bu araştırma ve gelişmelerin de oldukça farklı olduğu görülmektedir [23].

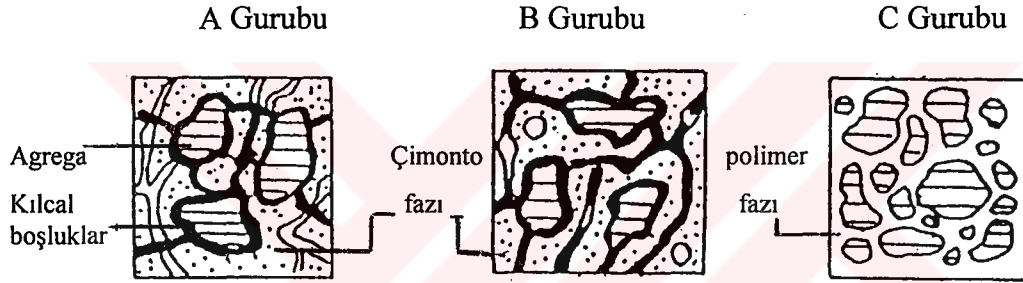
Beton-polimer kompozitleri, üretim teknolojisi prensiplerine göre 3 grupta toplanmışlardır: [21, 23, 24, 34].

A. Polimerlerle Geliştirilmiş Harç ve Polimerlerle Geliştirilmiş Beton [Polimer Çimento Harcı ve Polimer Çimento Betonu veya Polimer Portland Çimento Betonu],

B. Polimer Harcı ve Polimer Betonu,

C. Polimer Emdirilmiş Harç ve Polimer Emdirilmiş Beton

Şekil-1.10'da taralı alanlar agregaları, koyu siyah kanallar polimerle doldurulmuş kılcal boşlukları, noktalı alanlar çimento fazını ve beyaz bırakılan sürekli alanlar polimer fazını göstermektedir.



Şeki-1.10..Polimer-Beton Kompozitleri [85].

Çeşitli Polimer betonların tipik fiziksel ve mekanik özellikleri aşağıdaki Tablo-1.6'da gösterilmiştir.

Özellikler	Reçina Esaslı Polimer Beton				ReçinaEsaslı Polimer Beton		Diğer Betonlar	
	Furan	Poliester	Epoksi	Poliüretan	Fenol	Polimetil Akrilat	Asfalt Betonu	Çimento bağlayıcılı
Yoğunluk (kg/m ³)	2000/2400	2000/2400	2100-2300	2000-2100	2200-2400	2200-2400	2100-2400	2300-2400
Dayanım (MPa);								
Basınç	70-80	80-150	80-120	65-72	50-60	80-150	2-15	10-60
Çekme	5-8	9-14	10-11	8-9	3-5	7-10	0.2-1	1-5
Eğilme	20-25	14-35	17-31	20-23	15-20	15-22	2-15	1-7
E-Modülü MPa x 10 ³	20-30	15-35	15-35	10-20	10-20	15-35	1-5	20-40
Ağırlıkça Su Emme (%)	0.005-0.3	0.05-0.2	0.05-0.3	0.3-1	0.1-0.3	0.05-0.6	1-3	4-6

Tablo-1.6 Polimer Betonların Fiziksel ve Mekanik Özellikleri [24].

• Polimer-Çimento Betonları

Polimerlerle geliştirilmiş harç ve beton üretimi için, lateks veya emülsiyon dağılımı şeklinde olarak polimerler normal çimento harcına ve betonuna karışım sırasında ilave edilmektedir [87]. Polimerlerle geliştirilmiş harç ve beton, işlem teknolojilerinin normal çimento harç ve betonunkine çok benzemektedir. Dolayısıyla kullanım ve araştırmalar açısından bu özellik bir tercih nedeni olmuştur.

Polimer portland çimento betonlarının doğmasına neden olan teknik gereksinimler şu şekilde özetlenmiştir [21];

1. Beton malzemenin tokluğu ve sünekliği artırılmalıdır,
2. Betonda geçirimsizlik geliştirilmelidir,
3. Beton eski betona, agregalar çimento hamuruna, beton çeliğe daha iyi yapışmalıdır, yani aderans kabiliyeti geliştirilmedir. Bu tür amaçlar yerine getirilirken betonun mekanik mukavemeti düşmemelidir.

Bu koşullar "Lateks" türü polimerleri gündeme getirmiştir

Polimer Portland çimento betonlarında, polimer malzeme normal taze betona karıştırılmakta, betonun prizi sırasında polimer de polimerize olarak istenilen süneklikte ve geçirimsizlikte beton elde edilmektedir. Üretim süreci dikkate alınırca kullanılan portland polimerin önce emülsiyon (suda erimiş süspansiyon yapı) haline getirilmesi, sonra bu emülsiyondaki organik polimerin çimento kireci ile reaksiyona girip koagüle olmaması ve nihayet polimerizasyonunun sulu ve alkali ortamda oluşması gerekmektedir [21].

Japonya, Avrupa ve Amerika'da polimer dispersiyonlarından en çok stiren-bütadyen kauçuk lateksi, etilen-vinil asetat ve poliakrilik ester emülsiyonları ve epoksi reçinası kullanılmaktadır [23].

Polimerle geliştirilmiş olan bu harç ve betonların üretiminde polimer miktarı çimento ağırlığının %5 - %20'si olarak bulunabilmektedir. (p/ç [polimer ağırlığı/Çimento ağırlığı] = %5-%20). [23]. Bunun yanında ayrıca polimer miktarı karışım suyuna göre de belirlenebilmektedir.

• Sentetik Reçine Betonları

Bu gruptaki polimerli betonlar; Epoksi reçineli betonlar, Poliester reçineli betonlar ve Furan reçineli betonlar olmak üzere üç grupta toplanmıştır [21]. Epoksi betonlarında normal beton agregaları epoksi reçinesi ile bağlanırlar. Yani epoksi reçinesi bu betonların bağlayıcı maddesini oluşturmaktadır. Bu şekilde üretilen betonların mukavemetlerinin yüksek olmasına karşın, epoksi reçinelerinin fiyatının pahalı olması bu betonların en büyük kusurlarından birisini oluşturmaktadır.

• Polimer Emdirilmiş Betonlar

Polimer Emdirilmiş Betonlar Polimer emdirilmiş betonlar, önceden dökülmüş olan betonlara polimer emdirilmesi anlamına gelmektedir. Bu tür betonlarda polimer maddesi, betonun en ince kılcal boşluklarına kadar nüfuz ederek, burada polimerize olmakta, geçirimsiz ve yüksek mukavemetli betonlar elde edilmektedir. Bu tür betonların üretiminde başarılı olmanın iki önemli koşulu: yüksek oranda polimer emdirilmesi ve tam polimerizasyondur. Vakum, basınçlı emdirme, su altında saklama, radyasyon, kurutma hep bu iki önemli koşulu sağlama amaçına yönelik üretimlerdir [23, 24, 34].

1.6.3.3 Beton Üretiminde Kullanılan Polimer Katkı Maddeleri

Polimerli betonlar üzerinde yaptığı çalışmasında Cimilli [30], çimento harçlarında ve betonlarda kullanılan polimer esaslı katkı maddelerini şu şekilde sınıflandırmıştır:

1. Çözelti halindeki (veya suda çözünebilir durumdaki) polimerler:

- a. Polielektrolitler (poliakrilamid, poliakrilonitril),
- b. Selüloz ve nişasta eterleri (metil selüloz, etil selüloz).

2. Dispersiyon halindeki polimerler:

- a. Polivenil asetat ve kopolimerleri (vinilasetat/butil akrilat),
- b. Kaucuk ve benzeri polimerler ile bunların kopolimerleri (doğal kauçuk, stiren bütadyen lateks [SBR]),
- c. Akrilikler ve kopolimerleri (metil metarilat),
- d. Viniller ve kopolimerleri (vinilid klorür).

3. Dispersiyon veya çözelti halindeki reçineler:

- a. Formaldehidli reçineler (fenol formaldehid, melamin formaldehid),
- b. Diğerleri (poliester reçinesi/strin, epoksi reçinesi, amin).

Birinci gruptaki polimerler daha çok çimento şerbetlerinde, çok sulu hazırlanması gereken betonlarda ayrışmayı önlemek için;

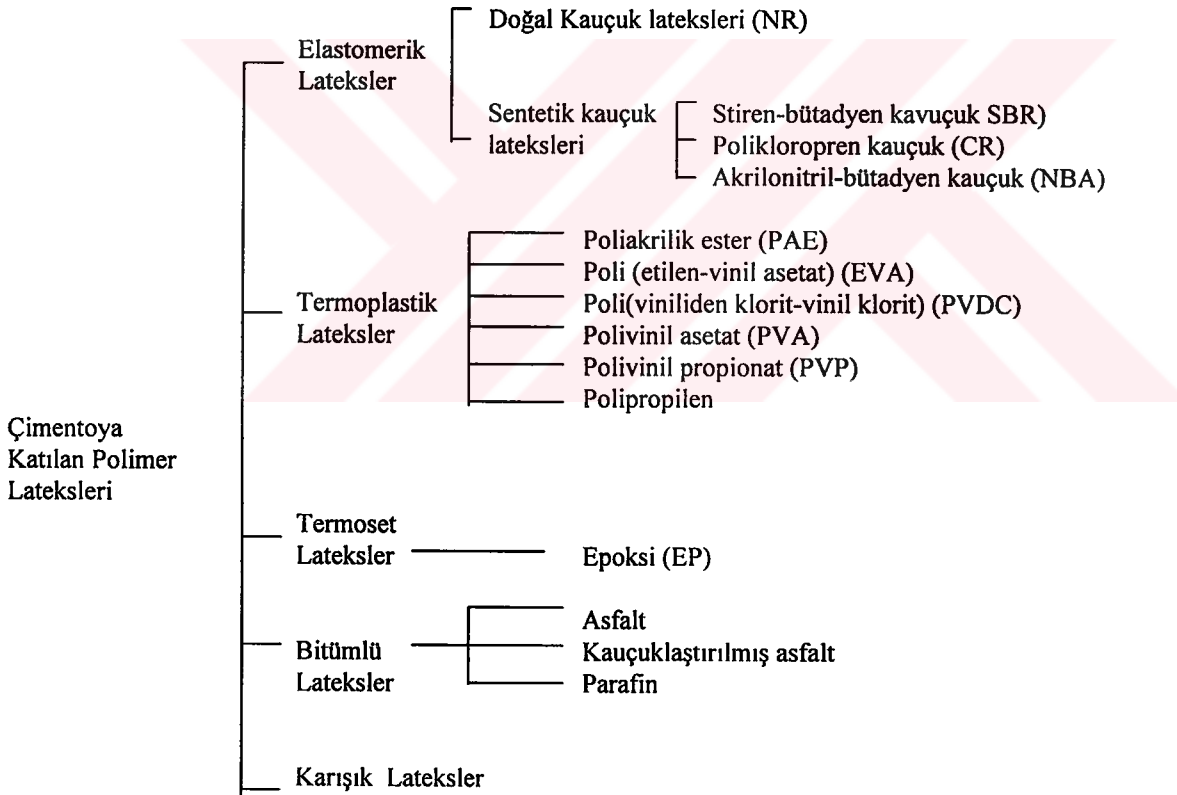
İkinci gruptaki polimerler çimento harcı ve betonun işlenebilirliğini, çekme dayanımını, esnekliğini, aşınma ve kimyasal etkilere karşı mukavemetini arttırmak ve eski beton yüzeylere iyi tutunmasını sağlamak için;

Üçüncü gruptaki polimerler ise betona aşırı akışkanlık kazandırmak ve betondaki su miktarını azaltmak ve dolayısıyla mukavemetini arttırmak için kullanılmaktadırlar [30].

Bu çalışmada 2. gurubu oluşturan, stiren-bütadyen lateks katkı maddesi kullanılmıştır.

1.6.3.3.1 Polimer Lateksleri

Suda dağılı çok küçük (çapı 0.05-0.5 μm) polimer parçacıklarından oluşan polimer lateksleri genellikle emülsiyon polimerizasyonu ile elde edilimektedir. Genellikle polimer lateks iki veya daha farklı monomerlerden oluşan kopolimer sistemdir. Toplam katı miktarı, polimer, emülsiyon haline getirici, stabilize edici vs. dahil ağırlıkça % 40-%50'dir. Lateksler, kurduğunda sürekli bir polimer film oluşturan termoplastik ve elastomerik esaslı polimerlerdir [23, 24]. Aşağıda Şekil-1.11'de piyasadaki mevcut polimer latekslerinin genel bir sınıflaması yapılmaktadır.



Şekil- 1.11 Çimentoya katılan polimer lateksleri [23]

Günümüzde beton-polimer kompozitleri, mekanik, elektrik ve kimya endüstrisi kadar gelişmiş olup yapı endüstrisinde yüksek performanslı ve çok amaçlı malzemeler olarak dikkat çekmekte ve bu konu ile ilgili uygulamaya yönelik çalışmalar yapılmaktadır.

BÖLÜM-2 DENEYSEL ÇALIŞMA

2.1 KULLANILAN MALZEMELER

Numunelerin hazırlanmasında kullanılan agregaların, bağlayıcının, donatının ve polimer malzemesinin gerek ön deneylerle elde edilmiş ve gerekse üretici firmaları tarafından verilmiş özellikleri alt başlıklarda verilmiştir.

2.1.1 Agregaların Özellikleri

Beton numunelerinde kullanılan kum, kırmataş ve süngertaşı hafif agregaları üzerinde birim ağırlık, özgül ağırlık ve ağırlıkça su emme miktarlarının saptanması için ilgili standartlar uyarınca deneyler yapılmıştır. Kullanılan bütün agregalar kare gözlü eleklerde elenerek guruplara ayrılmış ve kabul edilen granülometri eğrisine göre gerekli miktarlarda ağırlıkça alınarak karışıma katılmıştır.

• Kumun Özellikleri

Hazırlanan bütün beton numunelerde aynı cins Riva kum kullanılmıştır. Riva kumu kare gözlü eleklerde elenerek 0.00/0.25 0.25/0.50, 0.50/1.0, 1.0/2.0 ve 2.0/4.0, mm'lik guruplara ayrılmıştır. Kum malzemesi üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen değerler aşağıda, Tablo-2.1'de verilmiştir.

Agrega Gurubu	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Yığın Br. Ağırlık (kg/dm ³)	Sıkışık Br. Ağırlık (kg/dm ³)	Su Emme (%)
.4/2	2.51	1.478	1.630	1.1
.2/1	2.51	1.451	1.600	1.1
1/5.0	2.51	1.453	1.600	1.1
0.50/0.25	2.51	1.439	1.510	1.1
0.25	2.51	1.424	1.576	1.1

Tablo-2.1 Kum Agregasının Özellikleri

• Kırmataş Agregasının Özellikleri

Kırmataş agregaları temizlendikten sonra elenerek 4/8 ve 8/16 mm.lik guruplara ayrılmıştır. Her iki gurubun da özelliklerini içeren değerler aşağıda, Tablo-2.2'de gösterilmiştir.

Agrega Gurubu	Özgül Ağırlık (kg/dm ³)	Yığın Birim Ağırlık (kg/dm ³)	Sıkışık Br. Ağırlık (kg/dm ³)	Su Emme (%)
16/8	2.69	1.360	1.571	0.2
8/4	2.69	1.380	1.580	0.2

Tablo - 2.2 Kırmataş Agregasının Özellikleri

• **Sünger Taşı Hafif Agregasının Özellikleri**

Deneylerde kullanılmış olan süngertaşı hafif agregası Nevşehir yöresine aittir. Elde edilen süngertaşı hafif agregaları yine aynı şekilde kare gözlü eleklerde elenerek 16/8 ve 8/4 mm.lik guruplara ayrılmıştır. Sünger taşı agregası üzerinde özgül ağırlık, dane birim ağırlık ve gevşek birim ağırlık deneyleri yapılmıştır.

Süngertaşı öğütülüp toz haline getirildikten sonra 105° C'de etüvde sabit ağırlığa kadar kurutulduktan sonra, sıvısı gazyağı olan Le Chatelier balonu ile yapılan üç ölçüm neticesinde özgül ağırlık 2470 kg/m³ olarak saptanmıştır.

Süngertaşı hafif agregasının guruplara ayrılmış her dane boyutu için deneylerle saptanmış olan birim ağırlık değerleri Tablo-2.3' de verilmiştir.

Agrega Gurubu (mm)	Özgül Ağırlık (kg/m ³)	Dane Birim Ağırlık (Kg/m ³)	Gevşek Birim Ağırlık (Kg/m ³)
16/8	2470	701	380
8/4	2470	723	459

Tablo-2.3 Sünger taşı agregasının birim ağırlıkları

Sünger taşı hafif agregasının değişik sürelerdeki su emme yüzdeleri, kuru ağırlıklarına göre hesaplanarak saptanmıştır. Karışım hesaplarında ilk 30 dakikalık su emme oranı dikkate alınmıştır. Bu değerler Tablo-2.4' de verilmiştir.

Agrega Gurubu (mm)	Ağırlıkça Su Emme Oranları (%)						
	10 dk.	20 dk	30 dk	1 saat.	12 saat.	24 saat	48 saat
16/8	0.17	0.19	0.19	0.22	0.30	0.33	0.37
8/4	0.16	0.17	0.18	0.19	0.27	0.32	0.36

Tablo- 2.4 Sünger taşı hafif agregası su emme değerleri

Sünger taşı agregasının üretimini ve ihracını yapan firma tarafından verilen teknik föyde [107] agreganın kimyasal bileşimi şu şekilde belirtilmiştir:

Silis	(SiO ₂)	73.73 %
Alumin	(Al ₂ O ₃)	13.24 %
Potasyum Oksit	(K ₂ O)	4.33 %
Sodyum Oksit	(Na ₂ O)	3.58 %
Demir Oksit	(Fe ₂ O ₃)	1.34 %
Kireç	(CaO)	0.73 %
Mangnesi	(MgO)	0.20 %
Titan Dioksit	(TiO ₂)	0.10 %
Mangan Oksit	(MnO)	0.06 %
Kızdırma Kaybı		3.10 %

		100.00 %

Şekil- 2.1. Süngertaşı hafif agregasının kimyasal özellikleri

2.1.2 Çimentonun Özellikleri

Deneylerde, Nuh Çimento Fabrikası tarafından üretilmiş olan PÇ 425 tipi Normal Portland Çimentosu kullanılmıştır. Çimento üzerinde TS 24'e göre yapılan deneylerin sonucunda elde edilen fiziksel ve mekanik özelliklerin TS 19'da belirtilmiş olan PÇ 425 standardına uygun olduğu görülmüştür. Çimento ile ilgili özellikler aşağıda gösterilmiştir.

- **Kimyasal özellikler:** (teknik föyden alınarak) [108]

SO ₃	max. % 3.5
MgO	max. % 5
Kızdırma kaybı	max. % 3
Çözünmeyen Kalıntı	max. % 1.5
Klörür (Cl)	max. % 0.1

- **Fiziksel özellikler:**

Donma başlangıcı	min. 1 saat
Donma sonu	min. 10 saat
Hacim genişmesi	4 mm.
Özgül yüzey	2800 cm ² / gr (min.) [108]
28 günlük basınç mukavemeti	440 kg/cm ²
Eğilme mukavemeti	79.1 kg/cm ²
Yoğunluk	3.16 kg/dm ³ (Le Chatelier balonu ile)

2.1.3 Çelik Tel Donatı Malzemesinin Özellikleri

Çelik tel donatılı normal beton ve hafif beton serilerinde kullanılan çelik donatı telleri BEKAERT Firması tarafından üretilmiş olan bu teller BEKSA Firmasından elde edilmiştir. Deneylerde ZC 50/50 olarak kodlanmış tipteki çelik teller kullanılmıştır. Bu liflerin boyu $l = 50$ cm ve kalınlığı $d = 0.5$ mm. dir ve iki ucu kancalı olarak üretilmiştir. Narinlik oranı 100 ve özgül ağırlığı 7.85 gr/cm³ olan bu teller, suda çözünebilen polimer esaslı bir yapıştırıcı ile bağlanarak demetler halinde hazırlanmıştır. Üretim sırasında bu lif kümeleri su ile temasa girince yapıştırıcı maddenin çözülmesi ile tek tek lifler halinde taze betona karışabilmektedirler. Çelik teller, TS 10513 uyarınca belirtilen hususlara uygun özelliklere sahiptirler.

2.1.4 Polimer Maddesinin Özellikleri

Deneylerde kullanılmak üzere beton teknolojisinde kullanılan stiren bütadyen kopolimer lateksi seçilmiştir. Bu türdeki polimer malzemesinin seçim nedeni, betonun işlenebilirliğinin, çekme dayanımının, esnekliğinin, aşınma ve kimyasal etkilere karşı dayanımının artırılması yanında mukavemetler üzerinde olası iyileştirici etkisinden dolayıdır. Bu amaçla iki farklı firmadan, iki tür malzeme sağlanmıştır. BEKAME Firmasından BEKOSAL olarak (P-1) ve İNKA Firmasından SL şeklinde isimlendirilmiş polimer (P-2) malzemeleri alınarak ön deneylerde kullanılmıştır. Her iki katkı maddesinin betonun özellikleri üzerindeki etkilerinin saptanması ve uygun karışım oranlarının belirlenmesi amacıyla ön deneyler yapılmıştır. Bu katkı maddelerinin özellikleri aşağıda verilmiştir.

• Polimer Katkı Maddesinin Özellikleri

Teknik ve Kimyasal Veriler

Renk	beyaz
Biçim	sıvı-dispersiyon
Çözünübilirlik	suda kolayca dağılır
Özgül ağırlık (+20° C'da)	1.02 kg/l
Donma noktası	- 8 C°
pH değeri	8 - 9
Klorid miktarı	çözünebilir klorid içermez

Ayrıca yine aynı firmadan elde edilen teknik föyde adı geçen katkı maddesinin yüksek konsantrasyonda ve suya dayanıklı sentetik bir madde olduğu, iyi bir su tutucu yeteneğe sahip bulunduğu, su geçirimsizliğini arttırdığı belirtilmektedir. Fiziksel bakımda ise harcın eğilme-çekme mukavemetini büyük ölçüde arttırdığı, bu artışın zamanla devam ettiği ve basınç mukavemetini olumlu yönde etkilediği de ifade edilmektedir [88].

• Polimer Katkı Maddesinin Özellikleri

Teknik Özellikler

Görünüm	Süt beyaz renkli sıvı
Yoğunluk	1.05 kg/lt.
Donma noktası	- 5 C ⁰

Yine aynı ürün için, çimento harçlarında yüksek aderans, geçirimsizlik ve suya karşı mukavemet sağlayan akrilik esaslı bir emülsiyon olduğu belirtilmektedir.

2.2 Beton Bileşimleri, Kabul Edilen Esaslar ve Numuneler ile İlgili Açıklamalar

Deney programı kapsamınca üretilen betonlarda en büyük agrega boyutu değişmez olup 16 mm. olarak seçilmiştir. Üretilen numunelerin agrega granülometreleri A16 ve B16 eğrileri arasında kalacak şekilde ayarlanmıştır. Yine aynı şekilde bütün numunelerde çimento dozajı sabit olup 350 kg/m³ olarak kabul edilmiştir.

Beton karışımlarında gerekli olan kıvamın sağlanması için ayrıca ön karışım seriler hazırlanmıştır. Etkin su/çimento oranı (s/ç) 0.40, 0.50, 0.55, 0.60, olan numunelerin üzerinde yapılan deneyler sonucunda s/ç oranı 0.55 olan karışımın kıvam bakımından daha uygun olduğu görülmüş ve tüm karışımlarda sabit etkin su/çimento oranı 0.55 olarak kabul edilmiştir.

Bu esaslardan hareketle ilk önce, en büyük agrega boyutu, granülometrisi, dozajı ve etkin su/çimento oranı sabit olan karışımlarda granülometrinin belirli bir bölümünü oluşturan gurup, hafif agrega ile belirli oranlarda (0.10, 0.20, 0.30, 0.36,) değiştirilmiştir. Bu oranlar, iri agrega gurubun (16/8, 8/4) tüm agrega gurubu içindeki hacminden hareketle tesbit edilmiştir. İri agrega gurubunun 1 m³ beton içindeki maksimum sınırı hacimce 0.36 olarak bulunmuştur. Bu orandaki karışımda iri agrega gurubu tamamen süngertaşı hafif agregalı ve ince agrega gurubu ise kum olmak üzere hafif beton (BH) numuneleri hazırlanmıştır. Bu şekilde üretilmiş olan numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarından hareketle, bu deney serisinde mekanik özellikleri en iyi olan gurup esas alınarak, hafif agrega oranı sabit, çelik tel hacim oranları değişken olan karışımların beton özelliklerine etkisinin araştırılması amacıyla, lif oranı değişken olan çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) numuneleri üretilmiştir. Bunun yanında ayrıca, sabit lif oranına ($V_f = 0.075$) sahip olan numunelerde hafif agrega oranının değişmesinin, beton özelliklerini ne yönde etkilediğini görmek açısından değişken hafif agregalı (BHL-1) deney karışımları da hazırlanmıştır. Burada sabit çelik tel hacim oranının miktarı deneylerle saptanmıştır.

Çelik tel donatılı karışımlarda donatının tipi sabit olup boyu $l = 50$ mm. ve kalınlığı $d = 0.5$ mm., narinlik oranı (uzunluk/çap) ise 100 şeklindedir.

Karışımlarda kullanılması gerekli çelik tel miktarlarının saptanması için ön karışım deney serileri hazırlanmıştır. Bu amaçla 4 x 4 x 16 cm. boyutlarında prizmalar ve 10 x 10 x 10 cm. boyutlarında küp kalıplarda, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015 ve 0.02 oranlarında donatı teli katılarak elde edilen (BL) numuneler üzerinde yapılan deney sonuçlarına göre mekanik özellikleri en uygun olan karışımın diğer serilerde sabit olarak kabul edilmesine karar verilmiştir. Ön deneyler sırasında $V_f = 0.01$ karışım oranından sonra, deney numunelerinin hazırlanmasında ve kalıba yerleştirmelerde zorluklar görüldüğü gibi, eğilme mukavemetlerinde yükselmeler olmakla birlikte boşluk miktarının artması sonucu basınç mukavemetleri değerlerinde düşüşler olduğu tesbit edilmiştir. Aynı esaslardan hareketle yukarıda belirtildiği gibi hafif agregalı ve çelik lif donatılı numuneler (BHL Serileri) üretilmiştir. Hafif agregalı çelik tel donatılı beton serilerinde öncelikle granülometrinin iri agrega bölümü, saptanmış olan oranlar doğrultusunda süngertaşı hafif agregası ile değiştirilmiştir. Burada tel hacim oranı sabit tutulmuştur. Sonra, iri agrega gurubu tamamen hafif agrega ile değiştirilmiş olan karışımlarda değişik tel hacim oranlarının beton özelliklerindeki etkilerini belirlemek amacıyla da donatılı hafif beton serileri üretilmiştir..

Bundan sonraki aşamada ise polimer katkıli karışım serilerinin hazırlanması aşamasına geçilmiştir. Burada iki farklı firmadan sağlanmış olan iki tür (stiren bütadyen kopolimer lateks) polimer malzemesi kullanılmıştır. İlk aşamada, bu katkı maddeleriyle çeşitli karışım oranlarında olarak, polimer katkıli ön deney beton numuneleri üretilmiştir. Burada yine 4 x 4 x 16 ve 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki kalıplar kullanılmıştır. Beton karışımına girecek polimer malzemesi hacimce saptanmış ve belirli oranlarda olmak üzere iki tür polimer maddesini içeren, iki grup deney serisi hazırlanmıştır. Bu numuneler üzerinde yapılan deneyler sonucunda elde edilen verilere göre BEKAME Firmasından alınmış BEKOSAL isimli ve P-1 olarak kodlanmış bulunan Polimer katkı maddesinin asıl Polimerli Normal ve Hafif Beton Serilerinde (BP ve BHP) kullanılmasına karar verilmiştir.

Tüm mekanik deneyler kapsamınca elde edilen sonuçlar sonraki Bölüm-3 ve Tablo-3.4'de verilmektedir

2.2.1 Beton Bileşim Hesapları ve Kabul Edilen Esaslar

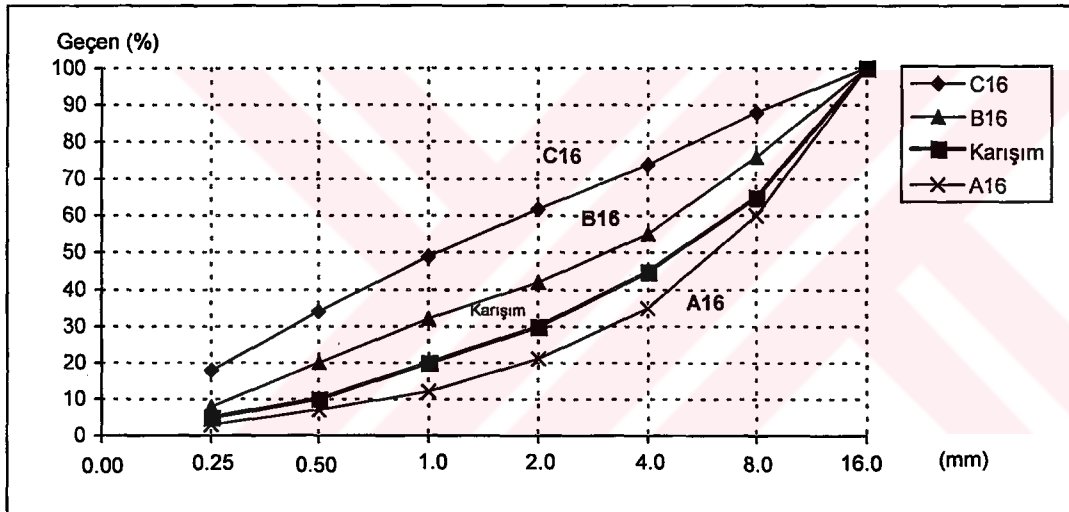
Daha önce de belirtildiği gibi araştırmada üretilen betonlarda en büyük agrega boyutu sabittir ve 16 mm.dir. Beton agregası karışımlarının granülometrisi A16 ve B16 eğrileri arasında kalacak şekilde düzenlenmiştir. Bütün beton örneklerinde çimento dozajı sabit olup 350 kg/m^3 'dür.

Hafif Beton bileşim hesaplarında kullanılan yöntemler genel olarak şu şekildedir:

- a) Mutlak Hacim Yöntemi. Burada su ve çimentonun mutlak hacmi tahmin edilir, agreganın mutlak hacmi hesapla bulunur.

- b) Hacimsel Yöntem. Agreganın kuru ve gevşek durumdaki hacmi ile çimentonun ağırlığı tahmin edilir. Su miktarı ise, deneme karışımını hazırlarken deneysel olarak bulunur.
- c) Ağırlık Yöntemi. Su ve çimentonun ağırlıkları tahmin edilir, agreganın ağırlığı hesapla bulunur [89].

Bu çalışmada ise Mutlak Hacim Metodu kullanılmış olup her bir agreganın, gerek ince agrega gurubunun gerek kaba agrega gurubunun bileşeni, hacim oranlarından hareket edilerek belirlenmiştir. Betonun granülometri eğrisi ve agrega karışım oranları aşağıdaki Şekil-2.2'de ve Tablo-2.5'de gösterilmiştir.



Şekil-2.2 Beton agregasının granülometrik bileşimi

	Agrega Gurubu (mm)	Karışım Oranları (%)	Toplam (%)
İnce	0.00/0.25	0.05	0.45
	0.25/0,5	0.05	
	0.5/1.0	0.10	
	1.0/2.0	0.10	
	2.0/4.0	0.15	
Kaba	4.0/8	0.20	0.55
	8.0/16.0	0.35	

Tablo-2.5 Agregas bileşim oranları

Her bir agregaya bileşeni ise aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır:

- C : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun ağırlığı, (kg)
 V_c : 1 m³ yerleşmiş betondaki çimentonun mutlak hacmi (dm³)
 P_{su} : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun ağırlığı (kg)
 V_{su} : 1 m³ yerleşmiş betondaki suyun hacmi (dm³)
 P_{ag} : 1 m³ yerleşmiş betondaki agreganın ağırlığı (kg/m³)
 v_{su} : ilave suyu (kg)
 δ_c : Çimentonun özgül ağırlığı (kg/dm³)
 δ_{su} : Suyun özgül ağırlığı (kg/dm³)
 δ_h : (h) agregasının dane birim hacim ağırlığı (kg/dm³)
 P_h : (h) agregasının karışım oranı
 V_{ag} : Toplam agregaya hacmi (dm³)
 $(V_{ag, max.})$: Maksimum agregaya hacim oranı
 V_f : Lif hacmi
 V_p : Polimerin hacmi.
 $s/\ç$: Etkin su/çimento oranı
 V_H : 1 m³ yerleşmiş betondaki hava hacmi, (dm³)
 G_h : (h) agregasının ağırlığı (kg)
 S_h : (h) agregasının ağırlıkça su emme yüzdesi (30 dakikadaki)

ise

$$V_c = \frac{C}{\delta_c} \quad V_{su} = \frac{P_{su}}{\delta_{su}} \quad [2.1] \quad \text{ve}$$

$$V_{ag} = 1000 - \left[\frac{C}{\delta_c} + V_{su} + V_f + V_p + V_H \right] \quad [2.2]$$

olarak yazılarak buradan toplam agreganın hacmi ve ağırlığı,

$$V_{ag} = 677 \text{ dm}^3, P_{ag} \text{ ise, } P_{ag} = 1765.5 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak bulunmuştur.}$$

Seçilen granülometri eğrisine göre, Normal 1 m³ beton içerisindeki toplam agreganın ağırlıkça 0.45'i ince, 0.55 ise kaba agregadan oluşmaktadır. Kaba agreganın 0.35'i 16/8 ve 0.20'si ise 8/4 mm. boyutlarındaki agregaya gurubundan oluşmaktadır. Toplam agregaya gurubunu oluşturan ince ve kaba agregaya bölümlerinin ağırlıkları;

$$\text{Kaba } P_{kag} = 1765.5 \cdot 0.55 = 971 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{İnce } P_{iag} = 1765.5 \cdot 0.45 = 795 \text{ kg/m}^3 \text{ olarak, elde edilmiştir.}$$

Kaba agregaya gurubunu oluşturan 16/8 ve 8/4 mm.lik bölümün ağırlıklar (P_{kag});

$$16/8 \rightarrow 971 \cdot 0.35/0.55 = 617.9 \text{ kg/m}^3$$

$$8/4 \rightarrow 971 \cdot 0.20/0.55 = 353.1 \text{ kg/m}^3, \text{ hacimleri } (V_{kag}) \text{ ise,}$$

$$16/8 \rightarrow 617.9/2.69 = 229.4 \text{ dm}^3$$

$$8/4 \rightarrow 353.1/2.69 = 131.2 \text{ dm}^3$$

olarak belirlenmiştir. Kaba agrega hacim oranının ulaşabileceği en üst sınır ($V_{ag \text{ max.}}$) ile agrega bölümlerinin karışım oranları (p_h) ise;

$$16/8 \rightarrow 229.4/1000 = 0.229 \quad \% 23$$

$$8/4 \rightarrow 131.2/1000 = 0.131 \quad \% 13$$

	—————	—————	
toplam	0.360	% 36	olarak elde edilerek,

1 m³ betondaki toplam agrega içinde, kaba agrega hacim oranının erişebileceği en üst sınır ($V_{ag \text{ , max.}}$), **0.36** olarak saptanmıştır.

Hafif agregalı karışımlarda ise agreganın dane birim ağırlıklarından yola çıkılarak Tablo-2.3'deki değerlerden hareketle her dane gurubu için karışıma girecek malzeme miktarlarının hacimleri belirlenip, buradan ağırlıkları hesaplanmıştır. İlave suyu ise;

$$G_h = V_{ag} \cdot p_h \cdot \delta_h$$

$$v_{su} = \Sigma G_h \cdot S_h \text{ ' dir.}$$

İlave suyu, normal su miktarına ilave edilerek verilmiştir. Polimer katkılı betonlarda polimer malzemesinin hacim oranı karışıma giren su miktarına göre ayarlanmıştır. Bu serilerde etkin su miktarının hacimce %10'nu 20'si 30'u ve 40'ı polimer katkılardan oluşmaktadır.

2.2.2 Beton üretimi, karıştırma, yerleştirme ve kür koşulları

Bütün beton numuneleri hazırlanırken 30 dm³ kapasiteli bir karıştırma kabı kullanılmıştır. Karıştırma işlemi elle yapılmıştır. Karıştırma işlemi, karma suyu ilave edilmeden önce ve ilave edildikten sonra olmak üzere işi aşamada yapılmıştır. İlk aşamada bileşenler, bir harman içerisinde düzgün olarak dağılıncaya kadar karıştırma işlemine devam edilmiş ve bu aşamadan sonra karma suyu verilmiştir. Hafif agregalı karışımlarda, hafif agregalar ön bir emdirme işlemine tabi tutulmamış, gerekli olan ilave suyu normal karma suyu miktarına katılarak verilmiştir.

Üretilen betonlar üç farklı boyuttaki kalıplara yerleştirilmiştir. Her kalıp için yerleştirme koşulları aynı şekilde olmak üzere, her tabakası 25 kez şişlenmek suretiyle üç tabakada yerleştirilmiştir. Yerleştirme işlemi bittikten sonra kalıpların yan yüzleri 1 dakika süreyle vibrasyon işlemine tabi tutulmuştur.

Beton numuneleri 24 saat sonra kalıplardan çıkartılmış ve 7. güne kadar 20° C ± 2° C'lik ortamda su içinde bekletilmişlerdir. Sudan çıkartılan numuneler, deneylerin uygulandığı 28. güne kadar % 60 ± % 5 bağıl nem ve ortalama 18-20 ° C'lik şartlarda muhafaza edilmişlerdir. Sertleşmiş beton deney sonuçları 28 günlük sonuçlardır.

2.2.3 Beton numunelerinin boyutları ve sayıları

Numuneler 10 x 10 x 40 cm., 10 x 10 x 10 cm. ve 4 x 4 x 16 cm. boyutlarındaki çelik kalıplara dökülmüştür. Birinciler eğilme, yarma ve Elastiklik Modülü deneyleri için, ikinciler basınç deneyleri için kullanılmışlardır. Üçüncüler ise daha sonra kontrol amacıyla muhafaza edilmişlerdir. Her boyut için 3 adet numune olmak üzere toplam 9 numune üretilmiştir. Bütün deney numunelerinin sayısı 252 adettir. Ön deneylerde 10 x 10 x 10 cm. ve 4 x 4 x 16 cm. boyutlarında numuneler hazırlanmıştır. Ön deneyler için hazırlanan numune sayısı ise 144 adettir.

2.2.4 Beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler

2.2.4.1 Taze beton deneyleri

Taze beton numuneleri üzerinde, yaş birim ağırlık ve kıvam özelliği deneyleri yapılmıştır. Yaş birim ağırlığı saptanması için 5.3 dm³'lük çelik bir kab kullanılmıştır. İşlenebilirlik özelliğinin saptanabilmesi için çökme deneyleri yapılmıştır. Bu deneyler Slump ve Walz olmak üzere iki aşamadan oluşmaktadır. Walz deneyi için 20 x 20 x 40 cm. boyutlarındaki ahşaptan yapılmış prizma içerisine taze beton, her tabakası 25 kez şişlenmek üzere üç tabakada yerleştirilmiştir. Daha sonra bunun içerisine vibratörün ucu aynı hızla sokulup çıkarıldıktan sonra çökme miktarı cm. olarak ölçülmüştür.

2.2.4.2 Sertleşmiş beton deneyleri

Sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan deney sonuçları, 28 günlük verilerdir. Deney günü tüm numuneler 10 kg. kapasiteli, 10 gr. hassasiyeti ve 2 kg. kapasiteli 0.1 gr. hassasiyeti olan terazilerde tartılarak birim ağırlıkları hesaplanmıştır.

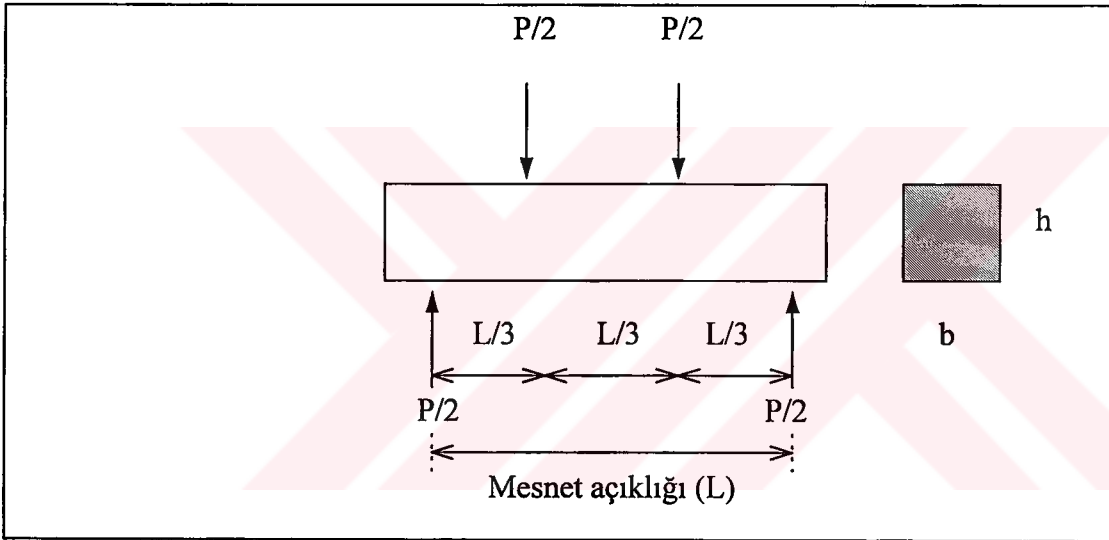
Dinamik elastisite modülünün, (E_d), hesaplanması için ultrases hızları C.N.S. Electronics Ltd. firmasının üretmiş olduğu PUNDIT markalı ultrases aleti ile ölçülmüştür. Bu ultrases hızı değerinden hareket edilerek aşağıda verilen bağıntı ile dinamik elastisite modülleri hesaplanmıştır.

$$v = l/t \quad [2.3]$$

$$E_d = \frac{10^5 \cdot v^2 \cdot \Delta}{g} \quad [2.4]$$

Burada (v) sesin hızı, (E_d) ultrases hızı aracılığı ile hesaplanan dinamik elastiklik modülünün değeri, (l) sesin aşdığı kabul edilen mesafe, (t) sesin geçiş süresi, (Δ) malzemenin birim hacim ağırlığı ve (g) yerçekimi ivmesidir.

10 x 10 x 40 cm. boyutlarındaki numuneler 20 ton kapasiteli, Losenhausenwerk Marka üniversal preste üçte bir noktalı yükleme olarak eğilme deneyine tabi tutulmuşlardır. Presin 4 tonluk skalası kullanılmıştır. Yükleme 1/4 sabit hızda yapılmıştır. Eğilme mukavemetleri, TS 10515 "Beton-Çelik Tel Takviyeli-Eğilme Mukavemeti Deney Metodu" [90] uyarınca beton numuneler, açıklığın 1/3 noktalarından yüklenerek yapılmışlardır. Deney düzeni yine ilgili standard uyarınca Şekil-2.6'da verilmektedir.



Şekil-2.3. Çelik tellerle donatılı betonlarda eğilme deneyi düzeni

Çelik tellerle donatılı betonlarda eğilme gerilmesi ise;

$$\sigma_{eğ} = \frac{M}{W} = \frac{\frac{R \cdot L}{2 \cdot 3}}{\frac{b \cdot h^2}{6}} = R \cdot \frac{L}{b \cdot h^2} \quad [2.5]$$

bağıntısı ile elde edilmektedir.

Burada (R) maksimum yükü (N/mm^2), (L) deney numunesinin 2 mesnet arasındaki uzunluluğunu, (b) deney numunesinin genişliğini, (h) deney numunesinin yüksekliğini, ($\sigma_{eğ}$) eğilme gerilmesini ifade etmektedir.

Basınç gerilmelerini saptamak için 200 ton kapasiteli ALŞA marka presin 50 tonluk skalası kullanılmıştır. Bu deneyler 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Yükleme hızı sabit tutulmuştur. Basınç gerilmeleri TS 3289 "Hafif Agregalı Yalıtım Betonu Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı" standardı [91] uyarınca belirtilen;

$$\sigma_b = \frac{R}{A_o} \quad [2.6]$$

bağıntısı ile hesaplanmıştır. Burada (R) uygulanan basınç yükünü (N/mm^2), (A_o) basınç doğrultusuna dik olan kesitin alanını " cm^2 " ve (σ_b) basınç gerilmesini ifade etmektedir.

Eğilme deneylerinin uygulandığı prizmaların iki parçası üzerinde yarma deneyi yapılmıştır. Bu deneyde de yine aynı 200 ton kapasiteli ALŞA deney aleti kullanılmıştır. Yarma gerilmelerinin hesaplanmasında TS 691.32 "Betonda Yarma Çekme Dayanımı Saptama Deneyi" uyarınca [92] aşağıdaki;

$$\sigma_y = \frac{2P_{max}}{d^2} \quad [2.7]$$

bağıntıdan hareket edilmiştir. Burada (R) uygulanan maksimum basınç yükünü (N/mm^2), (d) basınç doğrultusuna paralel olan kesitin alanını " cm^2 " ve (σ_y) yarıma gerilmesini ifade etmektedir

2.2.5 Deney Numunelerinin Kodlanması

Araştırma süresince başlıca 8 karışım serisi hazırlanmıştır. Bu serilerin kodlanması şu şekilde yapılmıştır:

Adı	Kodu	Gurup No
- Normal Beton Serisi	(BN)	A
- Hafif Beton Serileri (V_{hag})	(BH)	B
- Çelik Telli Normal Beton Serileri (V_f)	(BL)	C
- Çelik Telli Hafif Beton Serileri (V_{hag})	(BHL-1),	D
- Çelik Telli Hafif Beton Serileri (V_f)	(BHL-2)	E
- Polimerli Normal Beton Serileri (V_p)	(BP)	F
- Polimerli Hafif Beton Serileri (V_p)	(BHP)	G
- Polimerli Çelik Telli Hafif Beton Serileri (V_p)	(BHLP)	H

Kodlamada, seri isimlerinden sonra gelen birinci terim, su/çimento oranını, ikinci terim, hafif agrega hacim oranını, ondan sonraki üçüncü terim, çelik tel hacim oranını ve son terim ise hacimce polimer katkı oranını ifade etmektedir.

s/c	V_{hag}	V_f	V_p
-----	------------------	-------	-------

Örneğin; BHLP 0.55 0.36 0.0075 0.30 serisi, su/bağlayıcı oranı 0.55 olan, içerisinde hafif agrega hacim oranının 0.36 olduğu, 0.0075 çelik tel donatılı, su/bağlayıcı oranına göre 0.30 polimer katkılı beton serisini ifade etmektedir.



BÖLÜM-3 DENEY SONUÇLARI

Bu bölümde beton numuneleri üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiş olan sonuçlar tablolar halinde verilmektedir.

3.1 Ön Deneylerden Elde Edilen Sonuçlar

Daha önce de belirtildiği gibi gerekli bileşenlerin saptanması ve karışıma giren bileşenlerin beton üzerindeki etkilerinin belirlenmesi amacıyla ön deney serileri hazırlanmıştır. Bu deneylerden elde edilen taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları aşağıdaki Tablo-3.1'de topluca verilmiştir.

ADI		s/ç	V _{na}	V _f	V _p	Kuru Br.Ağ.	Teorik Br.Ağ.	Taze Br.Ağ.	Boşluk	Basınç Muk.	Eğilme Muk.	E-Mod (dinamik)
B	s/ç	Va	Vp	Vf		(Kg/dm ³)	(Kg/dm ³)	(Kg/dm ³)	(%)	(N/mm ²)	(N/mm ²)	(kN/mm ²)
Lifli Normal Beton												
BL	55	00	00	000		2.376	2.308	2.284	1.0	42.5	7.1	29.47
BL	55	00	00	005		2.334	2.344	2.311	1.4	40.4	7.8	30.59
BL	55	00	00	0075		2.352	2.362	2.307	2.3	41.8	12.1	31.65
BL	55	00	00	010		2.375	2.380	2.297	3.5	42.1	13.9	31.87
BL	55	00	00	015		2.409	2.416	2.273	5.9	30.6	17.8	26.95
BL	55	00	00	020		2.439	2.452	2.249	8.3	22.6	20.8	26.87
Polimerli Normal Beton (P-1)												
BP	55	00	00	00		2.376	2.308	2.284	1.0	42.5	7.1	29.47
BP	55	00	10	00	10	2.295	2.309	2.306	0.1	43.2	5.9	31.95
BP	55	00	20	00	20	2.291	2.310	2.308	0.1	39.0	6.1	30.57
BP	55	00	30	00	30	2.285	2.310	2.309	0.0	39.1	7.2	28.13
BP	55	00	40	00	40	2.274	2.311	2.310	0.0	37.6	6.8	27.18
BP	55	00	50	00	50	2.260	2.312	2.310	0.1	36.7	6.3	25.98
Polimerli Normal Beton (P-2)												
BP	55	00	00	00		2.376	2.308	2.284	1.0	42.5	7.1	29.47
BP	55	00	10	00	10	2.300	2.309	2.257	2.3	28.6	4.8	28.19
BP	55	00	20	00	20	2.294	2.310	2.252	2.5	25.1	4.6	26.09
BP	55	00	30	00	30	2.282	2.310	2.256	2.3	21.3	4.9	23.43
BP	55	00	40	00	40	2.260	2.311	2.247	2.8	15.2	4.2	25.89
BP	55	00	50	00	50	2.253	2.312	2.242	3.0	14.9	3.7	21.00
Polimerli Hafif Beton (P-2)												
BHP	55	00	00	00		1.579	1.640	1.600	2.7	21.3	3.1	14.07
BHP	55	36	10	00	10	1.576	1.641	1.606	2.1	21.9	3.2	14.69
BHP	55	36	20	00	20	1.593	1.642	1.598	2.7	20.1	3.5	13.76
BHP	55	36	30	00	30	1.627	1.643	1.592	3.1	18.5	3.5	12.35
BHP	55	36	40	00	40	1.559	1.644	1.579	4.0	15.1	2.6	11.24
BHP	55	36	50	00	50	1.574	1.645	1.568	4.7	13.9	1.9	11.02

Tablo-3.1 Ön deney taze ve sertleşmiş beton deney sonuçları, (10x10x10 ve 4x4x16 cm. boyutlarındaki numuneler için)

Bu deney çalışmaları sırasında basınç mukavemeti deneyleri için 72 adet 10 x 10 x 10 cm. boyutlarında küp numune ve eğilme mukavemeti deneyleri için ise yine 72 adet 4 x 4 x 16 cm. boyutlarında prizma numune hazırlanmıştır. Asıl deneylerde kullanılmak üzere gerekli olan çelik tel ve polimer malzemesi bileşenlerinin miktarı bu deneylerden alınan sonuçlardan hareketle belirlenmiştir.

3.2 Taze Beton Deneyi Sonuçları

Üretilen beton karışım serilerinin kodları, bileşimleri ve özellikleri Tablo-3.2'de verilmiştir. Taze beton karışımlarının işlenebilirlik özellikleri için Slump ve Walz çökme deneyi yapılmıştır. Taze beton birim ağırlıklarının hesaplanmasında hacmi 5.3 dm^3 olan çelik bir kap kullanılmıştır.

Grup No	Örnek No	BETON SERİLERİ	1 M ³ BETONDAKİ GERÇEK MALZEME MİKTARLARI VE TAZE BETON ÖZELİKLERİ												
			Çimento (Kg)	Su (lt)	İlave Suyu (lt)	Kırmaç (kg)	Kum (kg)	Hafif Agr. (kg)	Çelik Tel (Kg)	LateksKa tki (m ³)	Δ (Taze) (kg/m ³)	Çökme (Slump) (cm)	Çökme (Walz) (cm)	Boşluk (%)	Kompaste (m ³ /m ³)
A	1	BN 55 00 00 00	357.1	196.4	-	990.9	810.7	-	-	-	2262	2.4	2.9	2.0	0.804
B	1	BH 55 00 00 00	357.1	196.4	-	990.9	810.7	-	-	-	2262	2.4	2.9	2.0	0.804
	2	BH 55 10 00 00	358.1	197.0	13.3	718.3	812.9	72.5	-	-	2075	1.7	5.3	2.3	0.734
	3	BH 55 20 00 00	359.6	197.8	26.8	445.0	816.4	145.7	-	-	1886	1.8	3.8	2.7	0.663
	4	BH 55 30 00 00	356.7	196.2	39.8	167.2	809.7	216.8	-	-	1720	1.2	ölçülmedi	1.9	0.585
	5	BH 55 36 00 00	356.5	196.1	47.9	0	809.3	260.7	-	-	1610	1.4	ölçülmedi	1.8	0.541
C	1	BL 55 00 00 00	357.1	196.4	-	990.9	810.7	0.0	-	-	2262	2.4	2.9	2.0	0.804
	2	BL 55 00 0025 00	355.2	195.5	-	985.5	806.3	0.0	18.3	-	2292	2.0	2.3	1.5	0.802
	3	BL 55 00 005 00	357.2	196.4	-	991.0	810.8	0.0	36.7	-	2297	2.0	2.2	2.0	0.809
	4	BL 55 00 0075 00	358.0	196.9	-	993.4	812.8	0.0	55.2	-	2309	2.1	3.0	2.2	0.813
	5	BL 55 00 010 00	361.9	199.0	-	1004.0	821.5	0.0	74.4	-	2302	0.9	2.6	3.3	0.825
	6	BL 55 00 015 00	368.1	202.5	-	1021.4	835.7	0.0	114	-	2297	1.0	2.1	4.9	0.844
	7	BL 55 00 020 00	374.9	206.2	-	1040.2	851.1	0.0	154	-	2289	0.6	1.0	6.7	0.864
D	1	BHL 55 00 0.075 00	358.0	196.9	-	993.4	812.8	0.0	55.2	-	2309	2.1	3.0	2.2	0.813
	2	BHL 55 10 0.075 00	357.2	196.5	13.3	716.5	810.9	72.4	55.1	-	2133	1.2	2.0	2.0	0.739
	3	BHL 55 20 0.075 00	357.6	196.7	26.6	442.3	811.6	144.9	55.2	-	1950	1.4	2.3	2.1	0.667
	4	BHL 55 36 0.075 00	359.1	197.5	48.2	-	815.2	262.6	55.4	-	1651	0.4	1.5	2.4	0.552
E	1	BHL 55 36 00 00	356.5	196.1	47.9	-	809.3	260.7	0	-	1610	1.4	ölçülmedi	1.8	0.541
	2	BHL 55 36 0.025 00	356.7	196.2	47.9	-	809.7	260.8	18.3	-	1627	1.7	2.3	1.9	0.543
	3	BHL 55 36 0.050 00	357	196.4	48.0	-	810.5	261.1	36.7	-	1643	0.9	2.1	2.0	0.546
	4	BHL 55 36 0.075 00	359.1	197.5	48.2	-	815.2	262.6	55.4	-	1651	0.4	1.5	2.4	0.552
	5	BHL 55 36 0.1 00	359.2	197.6	48.1	-	815.3	262.0	73.9	-	1670	0.4	1.3	2.6	0.554
F	1	BP 55 00 00 00	357.1	196.4	-	990.9	810.7	0.0	-	-	2262	2.4	2.9	2.0	0.804
	2	BP 55 00 00 10	354.0	194.7	-	982.1	803.5	0.0	-	19.9	2282	1.7	2.2	1.1	0.817
	3	BP 55 00 00 20	354.4	194.9	-	982.9	804.2	0.0	-	39.8	2280	1.4	2.0	1.2	0.837
	4	BP 55 00 00 30	354.8	195.2	-	984.1	805.2	0.0	-	59.7	2277	1.5	2.5	1.4	0.857
	5	BP 55 00 00 40	355.2	195.3	-	984.9	805.8	0.0	-	79.7	2275	2.1	2.5	1.4	0.878
G	1	BHP 55 36 00 00	356.5	196.1	47.9	-	809.3	260.7	-	-	1610	1.4	ölçülmedi	1.8	0.541
	2	BHP 55 36 00 10	352.8	194.1	47.4	-	800.9	258.0	-	24.6	1627	0.8	1.3	2.2	0.559
	3	BHP 55 36 00 20	350.9	193.0	47.1	-	796.4	256.6	-	49.0	1636	0.3	1.9	1.4	0.580
	4	BHP 55 36 00 30	351.0	193.0	47.2	-	796.4	256.7	-	73.5	1636	0.3	3.2	1.8	0.604
	5	BHP 55 36 00 40	353.9	194.6	47.5	-	802.8	258.8	-	98.8	1622	1.1	2.9	1.8	0.633
H	1	BHLP 55 36 0.075 00	359.1	197.5	48.2	-	815.4	262.6	55.4	-	1651	0.4	1.5	2.4	0.552
	2	BHLP 55 36 0.075 10	352.5	193.9	47.4	-	800.2	257.8	54.4	24.6	1682	0.7	1.3	1.2	0.566
	3	BHLP 55 36 0.075 30	356.0	196.2	47.9	-	809.3	260.8	55.0	74.7	1653	1.9	1.5	1.3	0.621

Tablo-3.2 Beton bileşimleri ve taze betonların özellikleri

İşlenebilme özeliğinin saptanması için değişik su/çimento (s/ç) oranına sahip olan Normal beton (BN) ön karışım serileri hazırlanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, su/çimento (s/ç) 0.55 oranının kıvam açısından uygun olduğu belirlenerek, böylece tüm beton serilerinde sabit su/çimento oranı (s/ç) 0.55 olarak kabul edilmiştir.

3.3 Sertleşmiş Beton Deneyi Sonuçları

Sertleşmiş betonlar üzerindeki mekanik deneyler 28.nci günde yapılmıştır. Betonların basınç mukavemeti değerleri 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki küp numuneler üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiştir.

Karışım Kodu	Δ (ort.) (kg/dm ³)	v (ort.) (Km/sn)	E-Modülü (ort) (kN/mm ²)
BN 55 00 00 00	2.397	3.73	33.94
BH 55 00 00 00	2.397	3.73	33.94
BH 55 10 00 00	2.189	3.83	32.71
BH 55 20 00 00	1.992	3.58	25.96
BH 55 30 00 00	1.841	3.24	19.74
BH 55 36 00 00	1.730	3.34	19.67
BL 55 00 00 00	2.397	3.73	33.94
BL 55 00 0.025 00	2.433	3.93	38.36
BL 55 00 0.05 00	2.436	3.98	39.43
BL 55 00 0.075 00	2.458	4.10	42.05
BL 55 00 0.1 00	2.475	4.04	41.23
BL 55 10 0.15 00	2.441	3.97	39.27
BL 55 00 0.2 00	2.384	3.82	36.32
BHL 55 00 0.75 00	2.458	4.10	42.05
BHL 55 10 0.075 00	2.355	3.95	37.50
BHL 55 20 0.075 00	2.011	3.88	30.80
BHL 55 36 0.075 00	1.796	3.76	26.91
BHL 55 36 00 00	1.730	3.34	19.67
BHL 55 36 0.025 00	1.757	3.68	24.20
BHL 55 36 0.5 00	1.793	3.76	25.85
BHL 55 36 0.075 00	1.796	3.84	26.91
BHL 55 00 0.1 00	1.853	3.71	26.03
BP 55 00 00 00	2.397	3.73	33.94
BP 55 00 00 10	2.348	4.02	38.31
BP 55 00 00 20	2.321	3.96	37.17
BP 55 00 00 30	2.324	3.80	34.22
BP 55 00 00 40	2.325	3.72	33.02
BHP 55 36 00 00	1.730	3.34	19.67
BHP 55 36 00 10	1.648	3.44	19.86
BHP 55 36 00 20	1.628	3.36	18.71
BHP 55 36 00 30	1.623	3.41	19.28
BHP 55 36 00 40	1.617	3.36	18.67
BHLP 55 36 0.075 00	1.796	3.84	26.91
BHLP 55 36 0.075 10	1.652	3.68	22.80
BHLP 55 36 0.075 30	1.683	3.42	20.10

Tablo-3.3 Betonların ultrases hızları ve E-Modülü değerleri.

Gurup No	Örnek No	DENEY SERİLERİ	Değişken Malzeme(%)	Br.Ağır. (Kg/dm ³)	E-MOD (Dinamik) (kN/mm ²)	σ_b Basınç Gerilmesi (N/mm ²)	$\sigma_{iç}$ İlk Çatlak Gerilmesi (N/mm ²)	$\sigma_{eğ}$ Eğilme Gerilmesi. (N/mm ²)	σ_y Yarma Gerilmesi (N/mm ²)
BN		Normal Beton	s/ç						
A	1	BN 55 00 00 00	0.55	2.397	33.94	48.0	-	3.9	7.8
BH		Hafif Beton	V_{hag} (%)						
B	1	BH 55 00 00 00	0	2.397	33.94	48.0	-	3.9	7.8
	2	BH 55 10 00 00	10	2.189	32.71	40.9	-	3.5	7.6
	3	BH 55 20 00 00	20	1.992	25.96	28.6	-	3.4	7.2
	4	BH 55 30 00 00	30	1.841	19.74	26.3	-	2.8	6.0
	5	BH 55 36 00 00	36	1.730	19.67	22.7	-	2.5	5.4
BL		Lifli Normal Beton	V_f (%)						
C	1	BL 55 00 00 00	0	2.397	33.94	48.0	-	3.9	7.8
	2	BL 55 00 0025 00	0.25	2.433	38.36	41.1	4.0	4.8	8.6
	3	BL 55 00 0050 00	0.50	2.436	39.43	41.6	4.5	5.3	9.4
	4	BL 55 00 0075 00	0.75	2.458	46.01	41.7	5.1	7.0	9.8
	5	BL 55 00 010 00	1.0	2.475	41.23	41.2	5.4	7.3	10.2
	6	BL 55 00 015 00	1.5	2.441	39.27	34.7	6.3	7.6	10.3
	7	BL 55 00 020 00	2.0	2.384	36.32	31.1	6.9	7.5	10.0
BHL1		Lifli Hafif Beton	V_{hag}/V_f (%)						
D	1	BHL 55 00 0.075 00	0/0.75	2.458	42.05	41.7	5.1	7.0	9.8
	2	BHL 55 10 0.075 00	10/0.75	2.355	41.50	30.4	5.3	6.8	9.2
	3	BHL 55 20 0.075 00	20/0.75	2.011	35.21	28.4	4.7	6.1	8.3
	4	BHL 55 36 0.075 00	36/0.75	1.796	26.91	21.3	4.5	5.9	7.8
BHL2		Lifli Hafif Beton	V_{hag}/V_f (%)						
E	1	BHL 55 36 00 00 00	36/0.00	1.730	19.67	22.7		2.5	5.4
	2	BHL 55 36 0025 00	36/0.25	1.757	24.20	22.5	2.4	3.2	5.8
	3	BHL 55 36 0050 00	36/0.50	1.793	25.85	21.7	2.2	4.3	6.0
	4	BHL 55 36 0075 00	36/0.75	1.796	26.91	21.6	4.5	5.9	7.8
	5	BHL 55 36 010 00	36/1.0	1.853	26.03	21.3	4.1	5.4	8.0
BP		Polimerli Beton	V_p (%)						
F	1	BP 55 00 00 00 00	0	2.397	33.94	48.0	-	3.9	7.8
	2	BP 55 00 00 00 10	10	2.348	38.31	35.0	-	4.3	8.1
	3	BP 55 00 00 00 20	20	2.321	37.17	30.3	-	3.7	8.0
	4	BP 55 00 00 00 30	30	2.324	34.22	28.8	-	3.8	8.3
	5	BP 55 00 00 00 40	40	2.325	33.02	31.0	-	4.0	8.7
BHP		Polimerli Hafif Beton	V_{hag}/V_p (%)						
G	1	BHP 55 36 00 00	36/0.00	1.730	19.67	22.7	-	2.5	5.4
	2	BHP 55 36 00 10	36/10	1.648	19.86	23.1	-	1.8	5.1
	3	BHP 55 36 00 20	36/20	1.628	18.71	16.7	-	1.9	4.4
	4	BHP 55 36 00 30	36/30	1.623	19.28	16.6	-	2.2	4.9
	5	BHP 55 36 00 40	36/40	1.617	18.67	16.3	-	2.6	4.7
BHLP		Polimerli Lifli H.Beton.	V_f/V_p (%)						
H	1	BHPL 55 36 0.075 0	0.75/10	1.796	26.91	21.3	4.5	5.9	7.8
	2	BHPL 55 36 0.075 10	0.75/10	1.652	22.80	23.8	4.1	5.3	6.3
	3	BHPL 55 36 0.075 30	0.75/30	1.683	20.10	19.8	4.2	5.8	6.2

Tablo-3.4. 28 Günlük sertleşmiş beton sonuçları (10x10x40 ve 10x10x10 cm.boyutlarındaki numuneler için)

Eğilme mukavemeti deneyleri ve E-Modülü değerlerinin saptanması için ultrases okumaları 10 x 10 x 40 cm. boyutlarındaki prizmalar üzerinde yapılmıştır. Eğilme deneyi ilgili TS 10515'de de belirtildiği üzere [85] numune açıklığının 1/3 noktalarından yüklenerek yapılmıştır. Yükleme hızı tüm deney numunelerinde sabit ve aynı hızda olmak üzere ayarlanmıştır. Bu deneylerde numunelerin eğilmede ilk çatlak ve maksimum göçme gerilmeleri tesbit edilmiştir. Bu betonların artan iki parçası üzerinde de yarma gerilmesi değerlerinin saptanması için yarma deneyleri uygulanmıştır.

Yukarıdaki Tablo-3.3'de tüm serilerin ultrases değerleri ve buradan elde edilen dinamik E-Modülü değerleri verilmektedir. Buradaki değerler, her bir beton grubunu oluşturan üç örneğin ortalamalarıdır.

Üretilen tüm karışımlar üzerinde yapılan deneylerden elde edilmiş olan sonuçlar ise topluca Tablo-3.4' de verilmiştir.

İlgili tablolarda verilen deney sonuçlarının irdelenmesi ve değerlendirmesi Bölüm-4'de yapılmaktadır.

BÖLÜM-4 DENEY SONUÇLARININ BİLEŞEN ÖZELİK AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

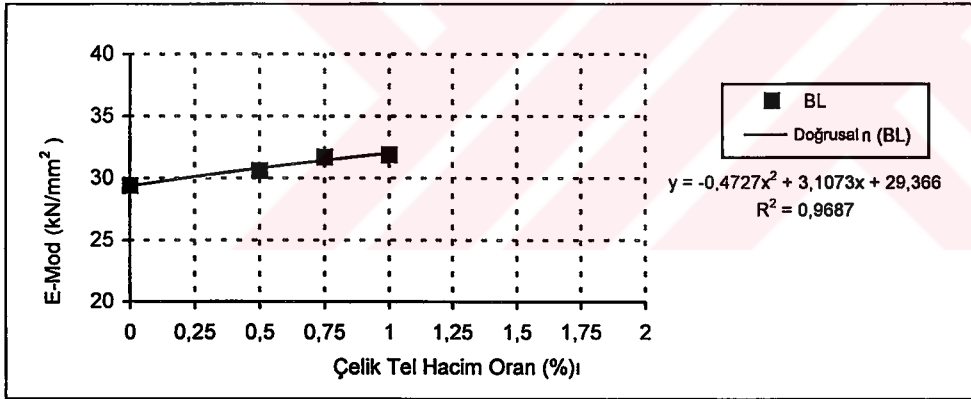
Bu Bölümde, Bölüm-3, Tablo-3.4'de verilmiş olan deney sonuçlarının genel bir değerlendirilmesi yapılmaktadır. Bu değerlendirmeler genel olarak ön deneylerin ve sertleşmiş deney sonuçlarının irdelenmesi şeklinde ele alınmaktadır.

4.1 Ön Deney Sonuçlarının İrdelenmesi

Bu başlık kapsamında Tablo-3.1 de verilmiş olan ön deneylerden elde edilen sonuçların genel bir değerlendirilmesi yapılmaktadır.

4.1.1 Çelik Tel Oranı Elastiklik Modülü İlişkisi

Bu deneyler 4 x 4 x 16 cm. boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmıştır. Ölçülen ultrases hızlarından hareketle dinamik Elastiklik Modülü değerleri belirlenmiş olup, bu değerler topluca Tablo-3.4'de verilmiştir. Şekil-4.1'de görüldüğü gibi numunelerin elastiklik modülünde başlangıçta yükseliş izlendiği halde çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımlardan sonra elastiklik modülünde bir düşüş olduğu görülmektedir. Bu ise, artan lif hacim oranı ile birlikte çelik tellerin betonun yerleşebilmesini zorlaştırmasından ve boşluklu bir beton oluşumuna yol açmasından ileri gelmektedir. Numune boyutlarının küçük olmasının da burada etkisi vardır.

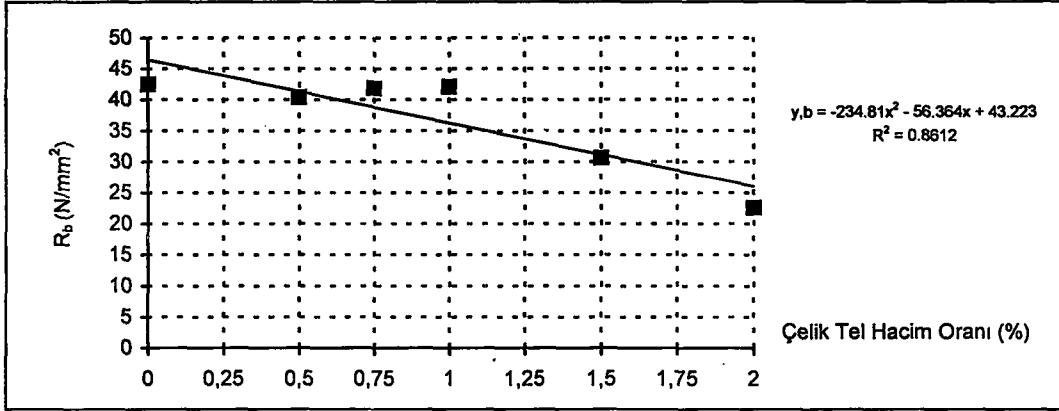


Şekil- 4.1 Çelik tel oranı ile dinamik E-Modülü ilişkisi

Yukarıdaki şekilde gösterilen doğru çelik tel hacim oranının 0.01 olduğu sınıra kadar olanlardır. Bu orandan sonra iç yapıda oluşan kusurlardan dolayı betonların E-Modülü değerleri azalmaktadır. Ön deneylerde $V_f = 0.01$ olduğunda E-Modülü yaklaşık % 9 artmaktadır. E-Modülündeki artış oranı numune boylarına bağlı olarak artmaktadır. 10x10x40 cm.boyutlarında aynı hacim oranında artış oranı %21 dolayındadır.

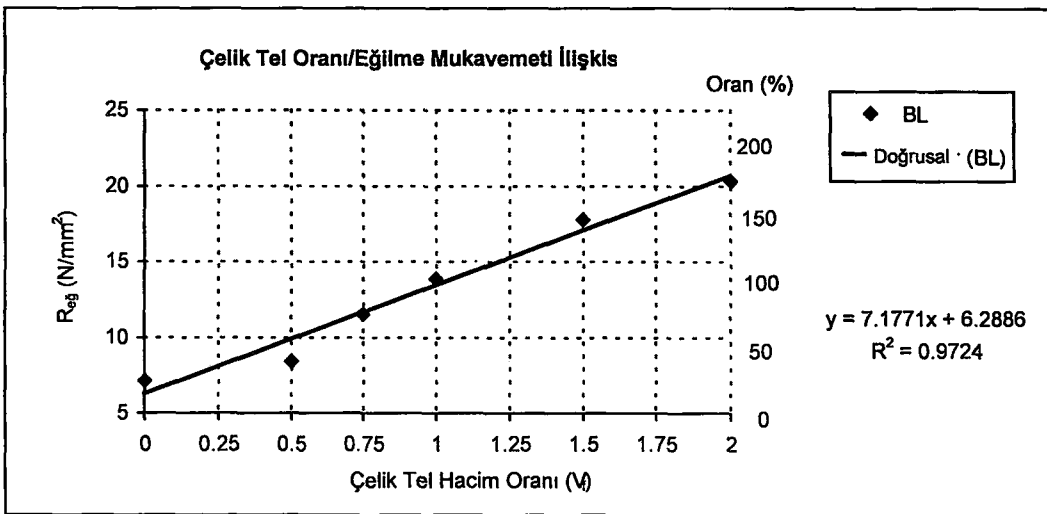
4.1.2 Çelik Tel Oranı Eğilme ve Basınç Mukavemeti İlişkisi

Çelik tel hacim oranına bağlı olarak ön deney numunelerinin basınç ve eğilme davranışları Şekil-4.2 ve Şekil-4.3'de görülmektedir. Eğilme mukavemeti değerleri 4 x 4 x 16 cm., basınç mukavemetleri ise 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılan deneylerle saptanmıştır.



Şekil-4.2 Çelik tel oranı ile basınç gerilmesi arasındaki ilişkiler

Betonların basınç mukavemetinin tel hacim oranına bağlı olarak değişiminin belirlendiği Şekil-4.2'de çelik tel oranının artmasıyla birlikte mukavemette bir düşüş görülmekte ve V_f 'nin 0.005 değerini aşmasıyla mukavemetteki bu düşüşün ortadan kalktığı, hatta nisbi bir yükselme eğiliminin bile görüldüğü izlenmektedir. Ancak homojen bir karışımın artık sağlanamadığı 0.01 oranının üzerine çıkıldığında basınç mukavemetinin tekrar hızla düşmeye başladığı görülmektedir. Dolayısıyla genel olarak betonu çelik tellerle donatmanın, betonun basınç dayanımı üzerinde önemli bir artışa neden olmadığı söylenebilir. Bunun yanında [61] basınç halinde çelik tel donatılı betonun enerji yutma özeliği, tokluğu arttırmakta olduğu literatürde belirtilmektedir. Artan lif hacim oranı ile birlikte basınç mukavemetindeki bu azalmaya, belirli bir tel hacim oranı sınırından ($V_f = 0.01$) sonra çelik tellerin, matrisin iç yapısında temas yüzeylerinin artmasıyla sürekliliğini ve homojen yapısını etkileyerek bir kusur etkisi yaratmalarının neden oldukları sonucuna varılabilir.



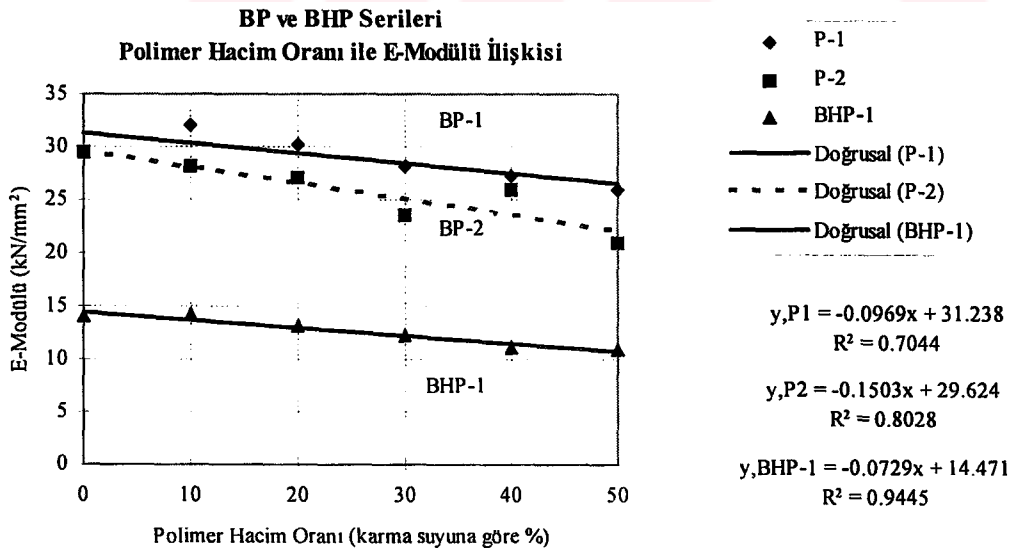
Şekil- 4.3 Çelik tel oranı ile eğilme gerilmesi arasındaki ilişkiler

Bununla beraber artan çelik tel hacim oranı ile birlikte betonların eğilme mukavemetinde doğrusal bir artış olduğu ve çelik tel hacim oranının 0.02 olduğu karışımlarda bile bu artışın devam ettiği Şekil-4.3'de görülmektedir. Çelik tellerin çekme gerilmesi mukavemetlerinin, betonun gerilme mukavemetlerinden yüksek oluşu bu artışa neden olmaktadır. Burada numunelerin küçük ebatlarda olmasının etkisi de vardır. Halbuki numune boyutları büyüdüğü zaman, belirli bir lif hacim oranından sonra, eğilme mukavemetinin de düşüş kaydettiği, izlenmektedir. Şekilde de görüldüğü gibi tel hacim oranına bağlı olarak eğilme mukavemetindeki artış gayet belirgindir. Çelik tel hacim oranının $V_f = 0.02$ olduğu seride eğilme gerilmesi değeri kontrol betonuna göre % 192 gibi daha yüksek değere ulaşmaktadır.

4.1.3 Elastiklik Modülü Açısından Polimer Katkıların Kıyaslanması

Polimer katkılı ön karışım deneylerinde, üreticileri tarafından harçlarda aderansı ve eğilme-çekme mukavemetini artırıcı olarak uygulandığı belirtilen iki tür polimer katkı maddesi kullanılmıştır. Bu şekilde üretilen betonların dinamik elastiklik modülleri ultrases hızlarından hareket edilerek belirlenmiştir. Numune boyutları 4 x 4 x 16 cm.dir. Aşağıdaki Şekil-4.4'de belirli hacim oranlarına göre bu polimer katkı maddeleriyle üretilmiş polimer katkılı normal (BP) ve polimer katkılı hafif betonun (BHP) dinamik E-Modülleri arasındaki ilişkiler görülmektedir.

Şekil-4.4'den, bu iki tür polimer katkı maddesinin beton üzerinde farklı etkileri olduğu görülmektedir. P-1 katkısının hacim oranının, $V_p = 0.10$ olması durumunda, normal betonun E-Modülüne göre % 9 artış sağlandığı, fakat hacim oranının artmasına bağlı olarak E-Modülünde düşüşler olduğu halde, P-2 katkısının her karışım hacim oranında betonun E-Modülü değerlerinde bir azalma olduğu görülmektedir.

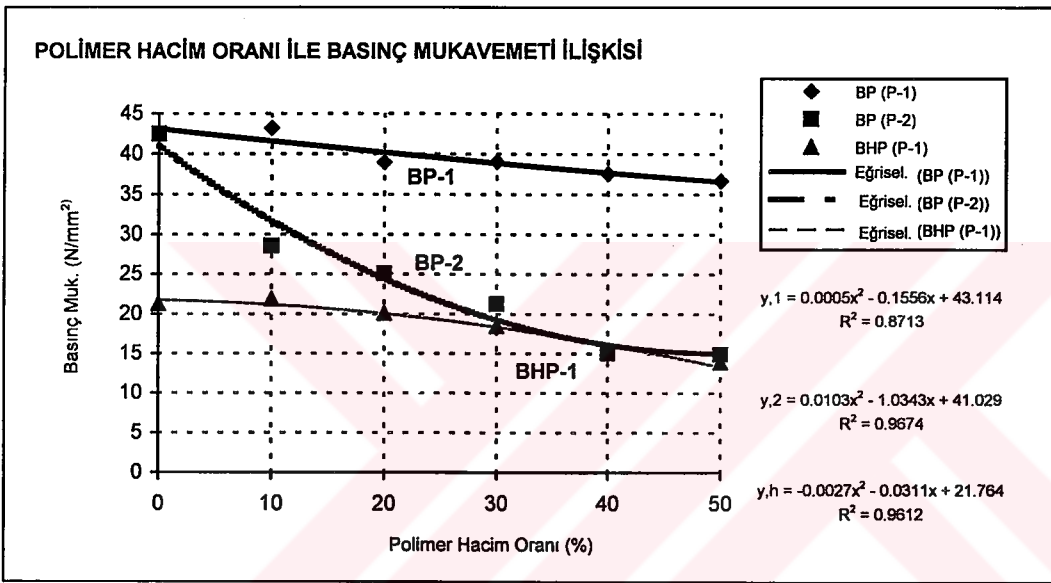


Şekil-4.4 Polimer katkıların betonların dinamik E-Modüllerine etkisi

Gerçi %10' luk hacim oranında biraz artış görülmesine rağmen, aynı olay hafif beton (BHP) serileri için de söz konusudur. Bu sonuçlardan hareket edilerek asıl polimerli Normal (BP) ve polimerli hafif Beton (BHP) karışımların hazırlanmasında P-1 katkısının kullanılmasına karar verilmiştir.

4.1.4 Basınç Mukavemeti Açısından Polimer Katkılarının Kıyaslanması

Aşağıdaki Şekil- 4.6'da değişken polimer katkı hacim oranları ile normal ve hafif betonun basınç mukavemetleri arasındaki ilişkiler görülmektedir.



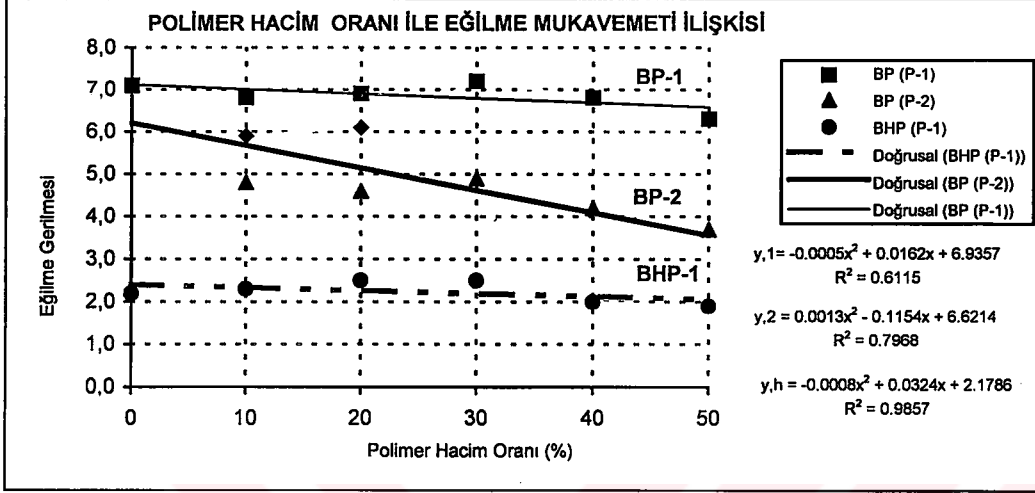
Şekil-4.5 Polimer katkı maddelerinin basınç mukavemeti üzerindeki etkisi

P-1 lateks polimer katkı maddesinin karışımdaki hacim oranının $V_p = 0.10$ olması durumunda basınç mukavemeti açısından normal betonunkine göre % 0.2 gibi çok az bir artış olmasına rağmen, artan polimer hacim oranına bağlı olarak betonun basınç mukavemetinde düşüşler olduğu görülmektedir. Diğer P-2 polimer katkı maddesinin ise, her hacim oranında betonun basınç mukavemeti üzerinde olumlu bir etki yapmadığı, bunun yanında artan polimer katkı miktarına göre mukavemetteki düşüşlerin P-1 katkısına göre daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

P-1 katkı maddesinin belirli bir hacim oranından sonra betonların basınç mukavemetinde oluşturduğu düşüşe, katkı maddesinin hacim oranının artmasıyla birlikte muhtemel hava sürüklenme etkisinin neden olabileceği söylenebilir. Özturan [33], Neville [93] ve Kemerli [94], hava sürükleyici özeliği olan katkıların betonların basınç mukavemetini azaltabileceğini belirtmektedirler.

4.1.5 Eğilme Mukavemeti Açısından Polimer Katkılarının Kıyaslanması

Polimer katkıların normal ve hafif betonların eğilme mukavemeti değerleri üzerindeki etkileri Şekil- 4.5'de görülmektedir. Eğilme mukavemeti deneyleri 4 x 4 x 16 cm. boyutlarındaki numuneler üzerinde yapılmıştır.



Şekil- 4.6 Polimer katkı oranı ile eğilme mukavemeti arasındaki ilişkiler

Polimer katkı maddeleri başlangıçta gerek normal beton gerek hafif beton numunelerin eğilme mukavemetleri üzerinde bir düşüşe neden olurlarken, Polimer katkı hacim oranının P-1 ve P-2 katkılarında $V_p = 0.30$ olduğu karışımlarda bir artış eğilimi gösterdikleri izlenmektedir. Bununla birlikte P-2 katkısının mukavemet değerleri daha düşük seviyededir. Bu orandan sonra eğilme mukavemetindeki azalmalar tekrar devam etmektedir. P-2 katkısı ile üretilen beton numunelerindeki değerler tüm polimer hacim oranlarında kontrol betonuna göre düşük seviyelerde kalmaktadır. P-1 katkısının hacim oranının $V_p = 0.30$ olduğu karışımlarda ise eğilme mukavemeti değerlerinde, kontrol betonuna göre bir miktar yükselme olmaktadır. Sonuçta, P-2 katkısının betonların eğilme mukavemeti üzerindeki etkisinin diğer P-1 katkısına göre daha zayıf olduğu belirlenmiştir.

Bu kısa değerlendirmelerden sonra asıl deney serilerinde P-1 lateks polimer katkı maddesinin kullanılmasına karar verilmiştir.

4.2 Taze Betonun Özelliklerinin İrdelenmesi

Taze betonlarla ilgili olarak elde edilen deney sonuçları Bölüm-3 ve Tablo-3.2'de verilmiştir.

Üretilen taze karışımlara hafif agrega, çelik tel ve polimer malzemesi katılması sonucunda ortaya çıkan özellikler, birim ağırlık, çökme ve hava boşluğu bakımından incelenmektedir.

4.2.1 Taze Hafif Betonun Özelliklerinin İrdelenmesi

Tablo-3.2'den görülebileceği gibi, (BH) şeklinde kodlanmış hafif beton serilerinde hafif agregası karışım oranına bağlı olarak betonunun işlenebilirlik özelliğinde önemli bir değişiklik olmamaktadır. Bu seri betonların hazırlanmasında kuru karışıma su verildiği zaman hafif agregaların karışım suyunda yüzerek ayrışmaları söz konusu olabilmektedir. Fakat karışım suyu üç aşamalı olarak verildiği ve su/bağlayıcı oranı plastik kıvamda bir karışıma olanak verecek şekilde seçildiği için bu mahzurun önüne geçilmiştir.

Yine hafif agregası karışım oranına bağlı olarak taze betonun boşluk miktarında bir miktar azalma olduğu gözlenmiştir. Walz çökme değerlerinde hafif agregası hacim oranına bağlı olarak artış görülmeyle beraber, Slump çökme değerlerinde ise fazla değişimler olmamaktadır. Taze birim ağırlık ise agregası miktarına bağlı olarak düşüşler kaydetmektedir. Aynı şekilde agregası hacim oranının artışına bağlı olarak kompasitede de azalmalar olmaktadır. Bu, agregasının birim hacim ağırlığının az olmasından ileri gelmektedir. Maksimum hafif agregası hacim oranı 0.36 olan hafif betonda taze birim ağırlık 1610 kg/m^3 olarak elde edilmiştir.

4.2.2 Çelik Tel Donatılı Taze Normal Betonun Özellikleri

BL olarak kodlanmış çelik tel donatılı normal beton karışımlarında, çelik tel hacim oranları $V_f = 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015$ ve 0.02 şeklindedir. Burada Çelik tellerin karışım oranına bağlı olarak betonun işlenebilirlik, karışım ve kalıplara yerleşebilirlik özelliklerinde değişiklikler olmaktadır. Çelik tel miktarına bağlı olarak taze betonunun akıcılığındaki değişim de oldukça belirgindir. Çökme değerleri yine çelik tel miktarına bağlı olarak azalmaktadır. Bu ise, çelik tellerin, karışım oranlarına bağlı olarak birbirlerinin içine girerek hareketi, şekil değişikliğini nisbeten engellemelerinden ve belirli bir değerin üzerine çıkılması ile birlikte tellerin topaklanmalarına neden olmasından ileri gelmektedir. Bu, topaklanmalara telin biçimi, agregasının ve telin karışım oranları ve karışım süresi etki etmektedir. Taze birim ağırlık ise yine karışım oranlarına bağlı olarak, normal betonun birim ağırlığından daha yüksektir.

4.2.3 Çelik Tel Donatılı Taze Hafif Betonun Özellikleri

Yine aynı şekilde, çelik tel kullanılarak üretilen BHL şeklinde kodlanmış çelik telli hafif beton serilerinde betonların işlenebilirlik, akıcılık ve yerleşebilirlik yetenekleri çelik tel hacim oranlarına bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Bununla ilişkili olarak boşluk miktarında da bir artışlar söz konusu olmaktadır. Normal ve hafif betonlarda çelik tel kullanılması bu betonların kompasitesini tel hacim oranına bağlı olarak bir miktar arttırmaktadır. Çökme değerleri yine V_f 'na bağlı olarak azalmaktadır. Birim ağırlık, hafif agregası hacimce maksimum 0.36 ve çelik tel hacim oranı maksimum 0.0075 olan karışımlarda 1671 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Karışım sırasında çelik tel hacim oranlarının 0.005 ve 0.01 arasında olmasının işlenebilirlik açısından daha uygun olabileceği gözlenmiştir. Bu oranın 0.0075 olması durumu TS-10514 için önerilen çelik tel miktarına da uygun

düşmektedir. Çelik tel miktarının bu orana kadar katılması taze betonun boşluk miktarında önemli sayılabilecek değişimlere neden olmamakta, kompasite değerlerini biraz yükseltmektedir. Ancak bu oran aşıldıktan sonra boşluk oranı da buna paralel olarak artmaktadır.

4.2.4 Polimer Katkılı Taze Normal Betonun Özellikleri

BP olarak kodlanmış polimer katkı normal beton serilerinde, polimer katkı maddesi karma suyunun 0.10, 0.20, 0.30, ve 0.40'ı nisbetinde suya katılmıştır. Kullanılan polimer katkı malzemesinin karışım oranına göre betonun akıcılığında değişiklikler olduğu gözlenmiştir. Lateks polimer katkı maddesi taze betona aynı zamanda akışkanlaştırıcı bir nitelik kazandırmaktadır. Bu özellik polimer miktarına göre artış göstermektedir. Fakat bir süre sonra bu akışkanlaştırıcı özellik niteliğini yitirmekte ve betonun daha elastik bir taze beton haline dönüşmesine olanak vermektedir. Bununla birlikte çelik tel donatılı normal beton karışımlarına göre daha iyi bir yerleşme söz konusu olduğundan boşluk miktarı normal betona göre daha az olmaktadır. Bunun yanında birim ağırlıktaki değişimler önemli sayılabilecek ölçüde değildirler. Kompasitedeki değişiklikler ise normal betona göre daha yüksek değerlerdedir. Polimer katkı maddesinin karışım oranlarındaki artışı paralel olarak artmaktadır. Bu ise polimer maddesinin betona sağladığı akışkanlaştırıcı özelliğinden dolayı daha iyi bir yerleşme sonucu dolu bir beton elde edildiği anlamına gelmektedir. Literatürde [95], stiren bütadyen latekslerle modifiye edilmiş betonların düşük su/çimento (0.30, 0.40) oranında bile yüksek bir çökmeye sahip oldukları ifade edilmektedir.

4.2.5 Polimer Katkılı Taze Hafif Betonun Özellikleri

BHP şeklinde kodlanmış olan polimer katkı taze hafif beton karışım serilerinde polimer katkı maddesinin karışım oranlarına bağlı olarak başlangıçta birim ağırlıkta bir artma söz konusu iken polimer katkı maddesinin hacim oranı 0.30 olduğu karışımlardan itibaren bir azalma olduğu görülmektedir. Birim ağırlıktaki bu azalmaya bağlı olarak Walz çökme değerlerinde ise bir artış olduğu gözlenmiştir. Bu, taze betonun, polimer maddesinin başlangıçta sağlamış olduğu akışkanlığını kaybederek daha katı bir nitelik kazanmasından ve yerleşebilme özelliğinin değişmesine neden olmasından ileri gelmektedir. Bunun yanında polimerli normal beton serilerinde olduğu gibi bu serilerde de kompasitede bir artış eğilimi olduğu gözlenmiştir.

Son olarak, BHLP şeklinde kodlanmış olan, hacim oranı $V_{\max \text{ hafif}} = 0.36$ hafif agregalı, hacim oranı $V_f = 0.0075$ çelik tel donatılı yarı hafif beton serilerinde polimer katkı maddesinin karışım oranlarına göre polimer katkı hafif beton serilerinde örnek hafif betona göre gerek birim ağırlıktaki, gerekse çökme değerlerindeki ve kompasitedeki değişiklikler önemli sayılabilecek sınırlar içerisinde değildirler. Gerçi polimer katkı maddesinin karışım oranının 0.30 olduğu seride, örnek betona göre kompasitedeki bir miktar artış, daha önce de değinildiği gibi, katkı maddesinin taze betona sağladığı akışkanlıktan ileri gelmektedir.

4.3 Setleşmiş Betonların Özelliklerinin İrdelenmesi ve Değerlendirilmesi

Bu başlık altında sertleşmiş betonlar üzerinde yapılan mekanik deneylerden elde edilmiş olan 28 günlük sonuçlar şekiller halinde verilerek, bileşenlere göre ortaya çıkan özelliklerin bir değerlendirmesi yapılmaktadır.

İlgili Tablo-3.4'den de görülebileceği gibi, çalışma programınca üretilen deney numuneleri sekiz guruptan oluşmaktadır. Bu guruplar, üretilen beton örneklerinin karışımına giren farklı bileşenlere göre harflerle adlandırılmışlardır. "A" gurubunu oluşturan seri, katkısız ve donatısız kontrol betonunu ifade etmektedir.

4.3.1 Birim Ağırlık Açısından Karışımları Değerlendirilmesi

Bilindiği gibi, beton ve harçlarda, karışımın birim hacim ağırlığı üzerinde en büyük etki, kullanılan agreganın özelliklerinden kaynaklanmaktadır. Bunun yanı sıra, özellikle matrisin birim ağırlığı üzerinde ve dolayısıyla betonun birim ağırlığı üzerinde, su/bağlayıcı oranı da ikinci derecede etkili olmaktadır. Ayrıca eğer beton birçok bileşenden oluşuyorsa, karışıma giren bu bileşenlerin özellikleri de betonunun birim hacim ağırlığı üzerinde etkili olmaktadır.

Beton üretiminde kullanılan karma suyunun işlevleri, bağlayıcı maddenin hidrasyonunu sağlaması, agregaları ıslatması ve betonunun işlenebilme özelliğinin istenilen düzeyde olmasına yardım etmesi şeklindedir [15].

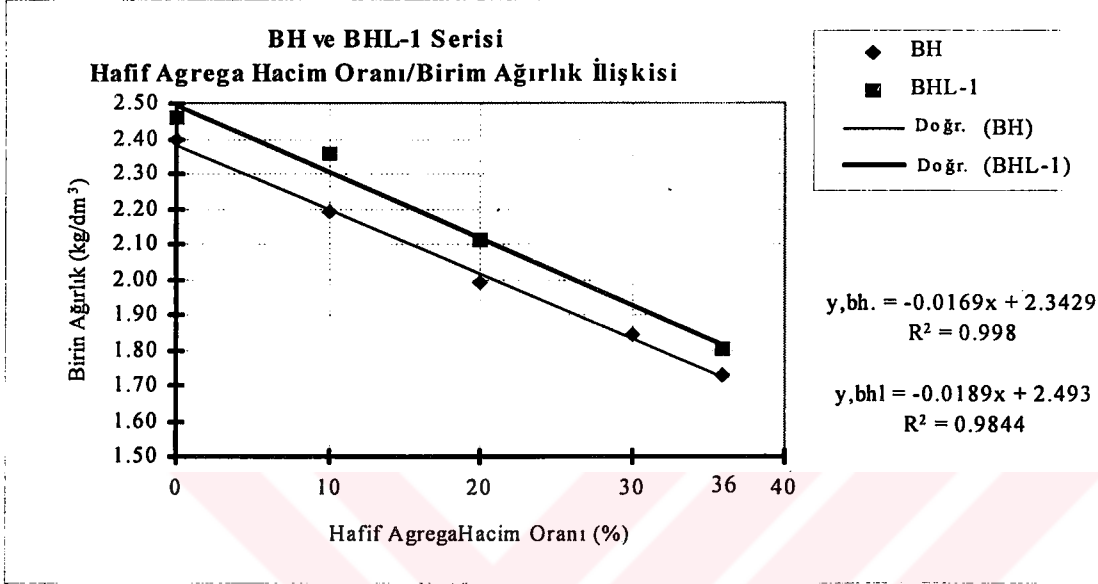
Hafif agregalı karışımların (BH) hazırlanmasına geçmeden önce değişken su/bağlayıcı oranına sahip çeşitli normal beton (BN) karışım ön deney serileri üretilmiştir. Bu karışım serilerinde su/bağlayıcı oranı 0.40, 0.50, 0.55 ve 0.60 şeklinde değiştirilerek betonda oluşturdukları özellikler belirlenmiştir. Bu beton serilerinin özelliklerinin değerlendirilmesi neticesinde "A" gurubunu oluşturan ve su/bağlayıcı oranının 0.55 olduğu serisinin betonun işlenebilirliği ve özellikleri bakımından daha uygun olduğu kanaatine varılarak tüm serilerde bu oran sabit olarak kabul edilmiştir. Bu seride normal betonun birim ağırlığı 2397 kg/m^3 olarak elde edilmiştir. Aynı zamanda bu beton kontrol betonunu oluşturmaktadır.

4.3.1.1 Hafif Agreganın Birim Ağırlığa Etkisi

Bu başlık altında değişken hafif agreganın hacim oranının, üretilen hafif (BH) ve çelik tel donatılı hafif (BHL-1) betonların birim ağırlıkları üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

"B" gurubunu oluşturan süngertaşı hafif agregalı beton serilerinde (BH), birim ağırlığı 2397 kg/m^3 olan normal betonun kaba agreganın gurubu, karışım hacim oranları % 10, 20, 30 ve 36 olan süngertaşı hafif agregası ile değiştirilmiştir. "D" gurubu betonlarda çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit tutularak üretilen hafif betonlarda da hafif agreganın karışım oranları aynı şekilde değiştirilmiştir. Bu oranlar, iri agreganın gurubunun beton içindeki hacminden hareketle belirlenmiş ve hafif agregaların miktarı ağırlıkça alınmıştır. Bu değişiklik sonucunda maksimum hafif agreganın karışım oranı hacimce % 36 olan, hafif beton karışım serisinde, birim ağırlığı

1730 kg/m³ olan hafif betonlar elde edilmiştir. Donatılı hafif beton serisinde ise birim ağırlık 1796 kg/m³'tür. Bu karışım oranlarındaki birim ağırlık değişimleri aşağıdaki Şekil-4.7'de görülmektedir.



Şekil-4.7 Hafif agreganın hacim oranı ile birim ağırlık ilişkisi

Şekilde de görülebileceği gibi hafif agreganın kullanılarak üretilen hafif betonlarda hafif agreganın betonun birim ağırlığını önemli ölçüde etkilemektedir. Hafif agreganın karışım oranına bağlı olarak betonun birim ağırlığında da azalmalar olmaktadır. Hafif agreganın hacim oranı maksimum düzeyde olduğunda normal betonun birim ağırlığı % 30 dolayında azalmaktadır.

Bölüm-1'de değinildiği gibi, kullanılan agreganın birim ağırlığı ve beton bileşimine bağlı olarak, taşıyıcı hafif betonların birim ağırlıkları 1000 kg/m³ ile 2000 kg/m³ arasında değişmektedir. DIN 1045'de birim ağırlığı 2000 kg/m³'ün altındaki betonlar hafif beton olarak tanımlanmaktadır. Dolayısıyla birim ağırlığı 1730 kg/m³ olarak saptanan betonlar, bu standarda göre hafif beton sınıfına girmektedir. Bununla birlikte hafif betonlarda ince agreganın ince hafif agregası ve kum da kullanılabilir.

Üretilen bu hafif beton serilerinde hafif agreganın karışım oranına bağlı olarak birim ağırlık doğrusal olarak azalmaktadır. Birim ağırlıktaki bu azalmalar, kullanılan hafif agreganın birim ağırlığının düşük olmasından ileri gelmektedir. Genel olarak hafif agreganın kullanılarak üretilen hafif betonlar ile ilgili çalışmalarda da hafif agreganın normal betonun birim ağırlığını düşürdüğü belirtilmektedir.

Bu karışımlardan sonra "D" ve "E" gurubunu oluşturan iki farklı çelik tel donatılı hafif beton (BHL) serisinin üretimine geçilmiştir. Birinci seride (BHL-1) çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ olarak sabit tutulmuş ve hafif agrega miktarı belirli oranlarda değiştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda çelik tel donatılı hafif betondaki birim ağırlık değişimi yukarıdaki Şekil-4.7 görülmektedir.

Burada da hafif agrega karışım oranına bağlı olarak birim ağırlık doğrusal olarak azalmaktadır. Birim ağırlıktaki bu azalma agreganın birim ağırlığının düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum. 0.36 ve çelik tel hacim oranı 0.0075 olan çelik tel donatılı hafif betonunun birim ağırlığı 1796 kg/m^3 olarak saptanmıştır. Çelik tel donatılı hafif betonların birim ağırlıkları bünyedeki çelik tellerin ağırlığından dolayı donatısız hafif betonların birim hacim ağırlıklarına göre biraz yüksek değerler almaktadır.

4.3.1.2 Çelik Tel Hacim Oranının Betonların Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi

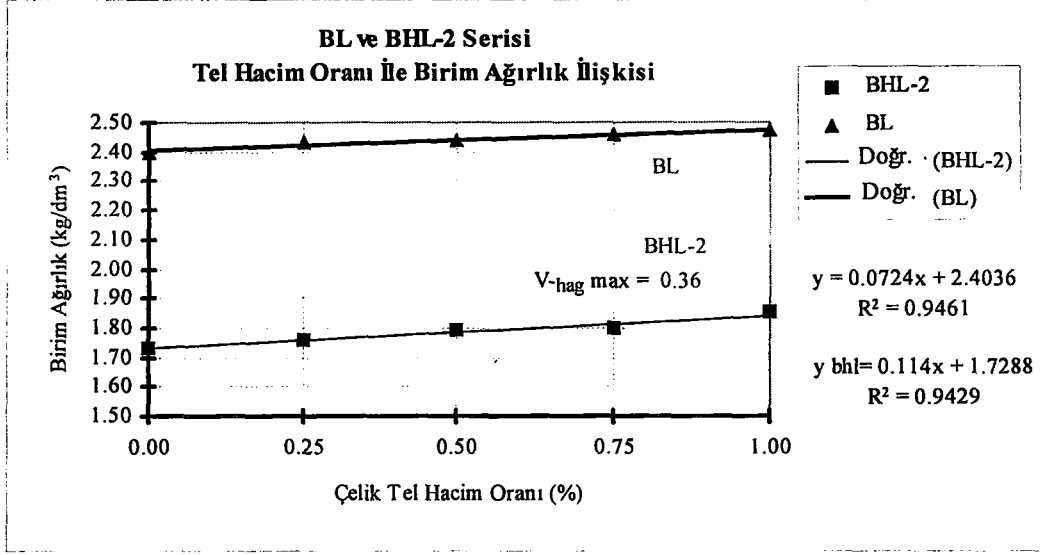
Liflerle donatılı betonların birim hacim ağırlıkları, doğal olarak, katılan lif türü ve miktarına göre değişmektedir. Çelik tellerle donatılı betonlarda, donatı hacim oranı genellikle yüzde beşin altında kaldığı ($V_f < 0.05$) literatürde [61] belirtilmektedir. Bu çalışmada üretilen normal agregalı betonlarda çelik tel hacim oranı $V_f = 0.02'$ ye kadar artırılarak betonların özellikleri üzerindeki etkileri tesbit edilmiştir.

Çelik tellerle donatılı betonlarda, betonun birim hacim ağırlığı, fazların özellik ve miktarına bağlı olarak, danelerle donatılı kompozitlerin birim ağırlığı için verilen bağıntı uyarınca:

$$\Delta_c = \Delta_m V_m + \Delta_f V_f \quad [4.1]$$

şeklinde hesaplanabilmektedir.

Çelik tel donatılı yarı hafif beton (BHL) serilerinin üretimine geçilmeden önce, değişik çelik tel hacim (V_f) oranlarına sahip olan ve "C" gurubunu oluşturan normal beton serileri hazırlanarak, betondaki özellik değişimleri gözlenmiştir. Bu özelliklerden biri de birim ağırlıktaki değişimlerdir. Birim ağırlıktaki bu değişimler aşağıdaki Şekil-4.8'de verilmiştir.



Şekil-4.8 Çelik tel oranı birim ağırlık ilişkisi

Yukarıdaki şekilde tel hacim oranının 0.01 olduğu bölgeye kadar birim ağırlıklardaki değişimler gösterilmektedir. Şekil-4.8'den, çelik tel hacim oranına bağlı olarak başlangıçta birim ağırlıkta bir miktar artış görülmektedir. Fakat çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımlardan sonra birim ağırlıkta bir düşme söz konusu olmakta ve bu azalma çelik tel karışım oranına bağlı olarak devam etmektedir. Birim ağırlıktaki bu azalma, artan tel hacim oranına bağlı olarak belli bir limitten sonra liflerde görülen guruplaşmalar sonucunda betonunun işlenebilme ve yerleşebilme özeliğinin zorlaşmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla boşluklu bir yapıya sahip beton elde edilmektedir. Çelik tel oranı 0.02'ye çıkarıldığı zaman taze betonun boşluk miktarı kontrol betonuna göre yaklaşık % 235 artmaktadır. Bu ise birim ağırlığın azalması anlamına gelmektedir.

TS 10514'de betona karıştırılacak en fazla tel miktarı, agreganın en büyük dane çapına ve telin uzunluk/çap oranı bağlı olarak bir çizelgede gösterilmiştir (Tablo-1.2). Buna göre en büyük dane çapı 16 mm. ve çelik tel narinlik oranı (uzunluk/çap) 100 olan sınıfta maksimum tel oranı normal beton için 55 kg/m^3 olarak verilmiştir. Bu da yaklaşık olarak hacimce 0.0075'lik karışıma denk düşmektedir. Dolayısıyla bu belirtilen nitelikteki beton sınıfı için bu oran aşıldıktan sonra betonunun işlenebilirliği zorlaşmakta ve betonun boşluk miktarı artmaktadır.

Sonuç olarak, normal betonlara belirli bir oran dahilinde kalmak koşuluyla çelik tel katmak bu betonların birim ağırlığın bir miktar yükseltmekte fakat bu değer normal betonunun birim ağırlığına yakın olmaktadır. Ersoy [61], düşük lif hacim oranının kullanıldığı kırılğan matris ve sünek lifli sistemlerde donatıda kullanılan malzemelerin ağırlık yönünden betona yakın değere sahip olması halinde, bu konunun ihmal dahi edilebileceğini belirtmektedir.

Çelik tel donatılı hafif beton serisinin ikinci gurubunda (BHL-2) ise hafif agrega karışım oranı $V_{\max \text{ hag}} = 0.36$ olarak sabit tutulmuş ve çelik tel hacim oranı $V_f = 0.01$ 'e kadar olmak üzere 0.0025'lik artışlarla değiştirilerek özelliklerdeki değişimler gözlenmiştir. Bu çelik tel donatılı hafif beton serisinde değişken çelik tel oranına göre birim ağırlıktaki değişimler yukarıdaki Şekil-4.8'de birlikte gösterilmiştir

İlgili Şekil-4.8'den de görülebileceği gibi hafif agrega karışım oranı ($V_{\text{hag max}} = 0.36$) olarak sabit tutularak, çelik tel karışım oranlarını belirli miktarlarda değiştirerek elde edilen donatılı hafif betonların birim ağırlıkları da tel oranına bağlı olarak yükselmektedir. Birim ağırlıktaki bu artış betona katılan çelik tel malzemesinin ağırlığından kaynaklanmaktadır. Bu şekilde elde edilen donatılı hafif betonların birim ağırlığa bağlı olarak eğilme mukavemeti özelliklerinde de büyük artışlar görülmektedir. Çelik tel oranına bağlı olarak betonların birim ağırlığında görülen artış normal betonlara oranla hafif betonlarda daha fazla olmaktadır. Çünkü,

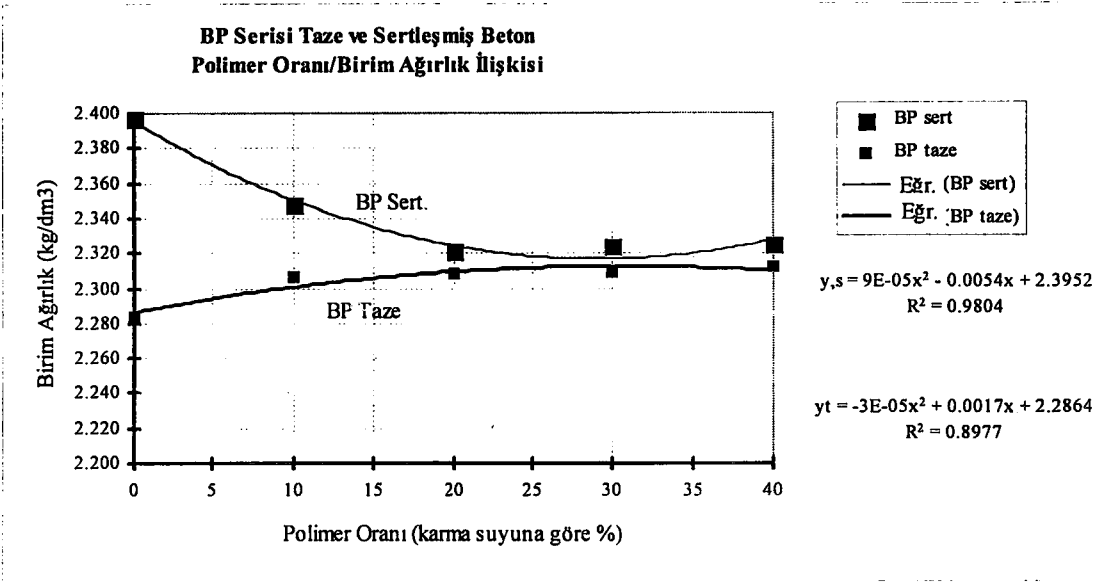
$$\Delta_c = (\delta_f - \Delta_m) V_f + \Delta_m \text{ ise} \quad [4.2]$$

buradaki " Δ_m " değeri normal betonlarda daha büyük, ($\Delta_{mBN} < \Delta_{mBH}$) ve dolayısıyla ($\delta_f - \Delta_m$) faktörü de daha küçük olmaktadır.

4.3.1.3 Polimer Katkının Üretilen Betonların Birim Ağırlığı Üzerine Etkisi

Genellikle harçlarda aderansı artırıcı olarak kullanılan lateks polimer katkı maddesiyle hazırlanan karışımlar, "F" gurubunu oluşturan polimerli normal betonlar (BP) ve "G" gurubunu oluşturan polimerli hafif betonlar (BHP) ve "H" gurubunu oluşturan polimer katkılı çelik tel donatılı (BHLP) hafif betonlar şeklinde üretilmişlerdir. Bu karışımlarda polimer katkı maddesinin normal ve hafif betonların birim ağırlıkları üzerinde oluşturduğu değişimler tesbit edilmiştir. Bu karışımlarda polimer katkı maddesi karma suyuna göre hacimce % 10, 20 , 30 ve 40 olarak alınmıştır.

"F" gurubu Polimerli normal beton (BP) serilerinde kullanılan lateks polimer katkı maddesinin sertleşmiş ve taze betonların birim ağırlığı üzerindeki etkisi Şekil-4.9'da görülmektedir.

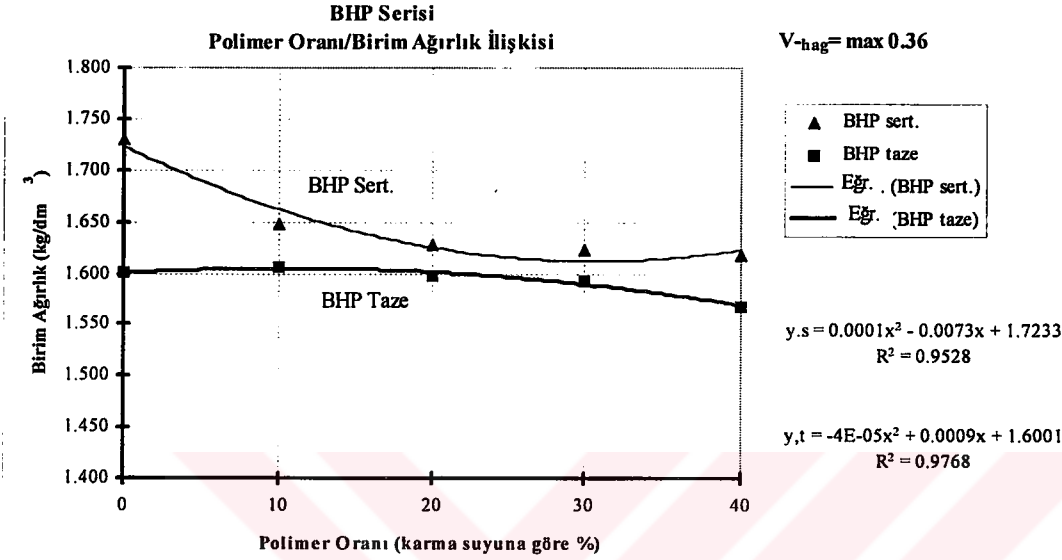


Şekil-4.9 Normal betonlarda polimer katkı oranı ile birim ağırlık arasındaki ilişkiler

Örnek betona göre, polimer katkı maddesi normal betonun birim hacim ağırlığını düşürmektedir. Bu düşüş polimer katkı oranına göre artmakta ancak % 30'luk karışımdan sonra önemli sayılmayacak çok az bir artış eğilimi göstermektedir. Birim ağırlıktaki bu azalmaya betondaki suyun betonun bünyesini terketmesi ve lateksin muhtemel hava sürükleyici etkisi sonucu oluşan boşlukların neden olduğu söylenebilir. Polimer katkılı taze normal betonun birim ağırlık davranışı bunun tersini göstermektedir. Taze betonda polimer katkı oranına göre birim ağırlıklarda bir yükselme izlenirken, sertleşmiş betonlarda birim ağırlık polimer katkı oranına göre azalmaktadır.

Özturan [33], uçucu küllü Lateks harçlarının mekanik özelliklerini belirlemek için yapmış olduğu deneysel çalışmada da aynı şekilde katkısız ve uçucu kül katkılı harçlarda lateks kullanımının sabit işlenebilirlik için gerekli karışım suyu miktarını azalttığını ve lateksin olası hava sürükleyici etkisinin birim ağırlığını azalttığını ileri sürmüştür. Doğu [23], PVA ve akrilik polimer katkıları kullanarak yaptığı çalışmada numunelerin birim hacim ağırlık ölçüm değerlerinin normal betona göre daha az olduğunu ve polimer-çimento oranının artışıyla bu oranının azaldığını belirtmiştir. Cimilli [30], yaptığı deneysel çalışmada kullandığı stiren bütadyen lateks polimer katkının matris içerisinde esnek bir film tabakası oluşturduğundan matrisin dolayısıyla da betonun rijitliğinin azalmasına ve boşluk artışına neden olduğunu söylemiştir. Dolayısıyla üretilen betonlara lateks katkı maddesi katılmasıyla, literatürde belirtilmiş olan benzer birim ağırlık değişimlerinin burada da söz konusu olduğu görülmektedir.

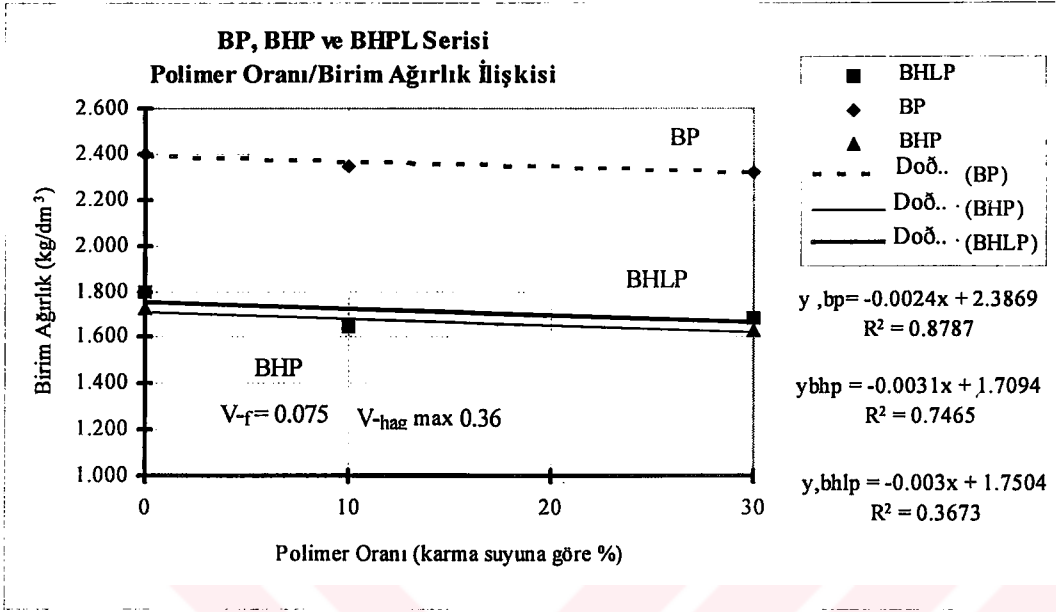
"G" gurubunu oluşturan süngertaşı hafif agregalı lateks polimer katkıli hafif betonlarda (BHP) lateks polimer maddesinin birim ağırlık üzerindeki etkisi ise aşağıdaki Şekil-4.10'da verilmiştir.



Şekil-4.10 BHP Serisi lateks polimer katkı oranı ile birim ağırlık ilişkisi

Şekilden de görülebileceği gibi lateks polimer katkı maddesinin, polimerli normal betonlar üzerindeki birim ağırlık açısından oluşturduğu etki, hafif betonlar için benzer şekilde söz konusu olmaktadır. Taze ve sertleşmiş hafif betonlarda polimer katkı oranına (P_p) bağlı olarak birim ağırlıklarda bir azalma eğilimi görülmektedir. Gerek polimerli normal betonlarda ve gerekse polimerli hafif betonlarda lateksin işlenebilme için gerekli su miktarını azaltarak, olası hava sürükleyici etkisinin birim ağırlık değerlerinde azalmaya neden olduğu görüşü ileri sürülebilir.

DeneySEL çalışmanın son gurubunu oluşturan "H" gurubu serilerinde polimer katkıli ve çelik tel donatılı hafif betonlar (BHLP) üretilerek bunların özellikleri saptanmaya çalışılmıştır. Bu grupta hafif agrega hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ ve çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit olarak tutulmuş ve polimer katkı maddesinin karışım oranları, karma suyuna göre 0.10 ve 0.30 olarak değiştirilmiştir. Bu şekilde polimer katkı oranına göre, üretilen polimer katkıli ve çelik tel donatılı hafif betonlardaki birim ağırlık ilişkileriyle diğer polimer katkıli normal ve hafif betonların (BP, BHP) birim ağırlık ilişkileri toplu olarak Şekil-4.11 de verilmiştir.



Şekil-4.11 Lateks katkılı normal ve hafif betonlarda birim ağırlık değişimi.

Birim ağırlıkla ilgili özellikler genel olarak tüm katkılı normal ve hafif beton serileri için benzer eğilimi göstermektedirler. Yukarıdaki şekilden de görülebileceği gibi çelik tel donatılı hafif betonlara (BHLP) lateks katkı maddesi katılması, bu betonların birim ağırlıklarını bir miktar düşürmektedir. Lateks katkı maddesinin karışım oranına bağlı olmaksızın, çelik tel donatı oranının sabit olduğu bu deney gurubu kapsamında üretilen betonlarda birim ağırlık, çelik tel donatılı lateks katkısız hafif betonların (BHL-1) birim ağırlığından biraz daha düşük değerler almaktadır. Bu betonların taze durumdayken tesbit edilen boşluk miktarlarında ise önemli farklılıklar görülmemektedir. Bununla birlikte, daha önce de değinildiği gibi, birim ağırlıktaki bu azalmaya lateks katkının hava sürükleyici etkisinin neden olduğu söylenebilir.

4.3.2 Elastiklik Modülü Açısından Karışımların İrdelenmesi

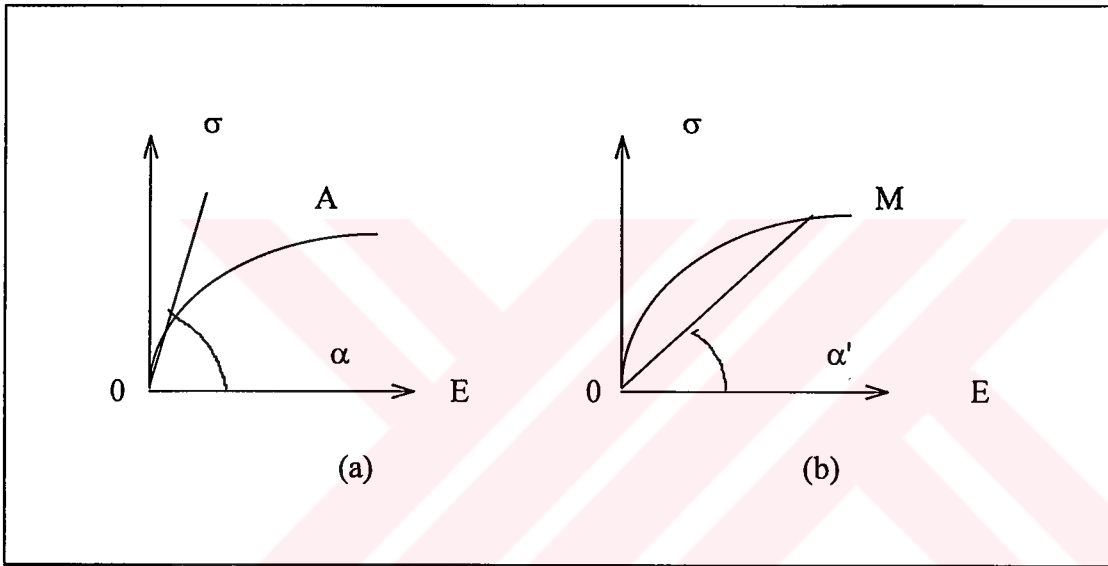
Bu başlık altında bileşenlerin, üretilen karışımların dinamik elastiklik modülü üzerindeki etkileri irdelenmektedir.

Bilindiği gibi birden çok malzemenin biraraya getirilmesi ile oluşturulan kompozit malzemelerde özelliklerin, bileşenlerin özellik ve miktarına bağlı olarak farklı değerler alabilmektedirler. Daneli kompozit malzeme olarak nitelenen betonlarda ve harçlarda da gerek matrisin özellikleri ve gerekse kullanılan daneli malzemenin elastik özellikleri ve miktarı; kompozitin E-Modülü üzerinde etkili

olmaktadır. Bu şekilde, alt başlıklarda karışıma giren malzeme bileşenlerinin üretilen karışımların E-Modülü üzerinde oluşturduğu etkilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır.

Betonlarda, gerilme-deformasyon eğrisinin bir doğru içermemesi, iki tür elastik modülünün tanımına yol açmıştır. Bunlardan biri dinamik elastik modülü, diğeri ise statik elastiklik modülüdür [15].

Dinamik E-Modülü betonun gerilme-deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğiminin alabileceği maksimum değerdir. Buna göre deney hızı belirli bir değer üstünde arttırılacak olursa elde edilecek gerilme-deformasyon eğrileri başlangıçta daima bir "OA" doğrusuna teğet kalır (Şekil-4.12a). İşte bu "OA" doğrusunun eğimi $tg\alpha$ bize betonun dinamik E-Modülünü vermektedir [15].



Şekil-4.12 Betonun gerilme-şekil değiştirme davranışı

Statik E-Modülüne gelince bu, gerilme-deformasyon eğrisini bir "M" noktasının koordinat merkezine birleştiren "OM" doğrusunun eğimidir. Şekil-4.12b'de gösterildiği gibi $E_s = tg\alpha'$ dır. Bu modülün bilinmesiyle deformasyondan derhal gerilmeye geçmek mümkündür. Yalnız kolaylıkla görülmektedir ki, " E_s " gerilmenin değeri ile değişen bir büyüklüktür [15].

Dinamik E-Modülünün saptanması için çeşitli yöntemler vardır. Bunlardan biri gerilme-deformasyon eğrisinden faydalanmaktır.

Bu metoddan başka beton içinde "v" ultrases hızını ölçmek suretiyle de dinamik E-Modülü bulunabilmektedir. Ses dalgalarının meydana getirdiği deformasyonların hareketi göz önünde tutularak teorik yoldan "v" ile " E_d " arasında, alt başlıkta verilen, bağıntıları (Bağıntı-4.3 ve 4.4.) kurmak mümkün olmuştur.

4.3.2.1 Hafif Agreganın Üretilen Beton Karışımlarının Elastiklik Modülü Üzerine Etkisi

(BH) olarak kodlanmış bulunan hafif beton serilerinde, normal betonu oluşturan iri agreg a bölümü belirli oranlarda hafif agreg a ile değiştirildiğinden bahsedilmiştir. Bu değ işime bağı lı olarak, oluşturulan hafif betonlarda, hafif agreg a miktarının değ işiminin betonunun dinamik E-Modülü üzerindeki etkileri ař ağı daki Ş ekil-4.13'de gösterilmiştir. Buradaki dinamik E-Modülü değ erleri ultras es hız larından hareket edilerek

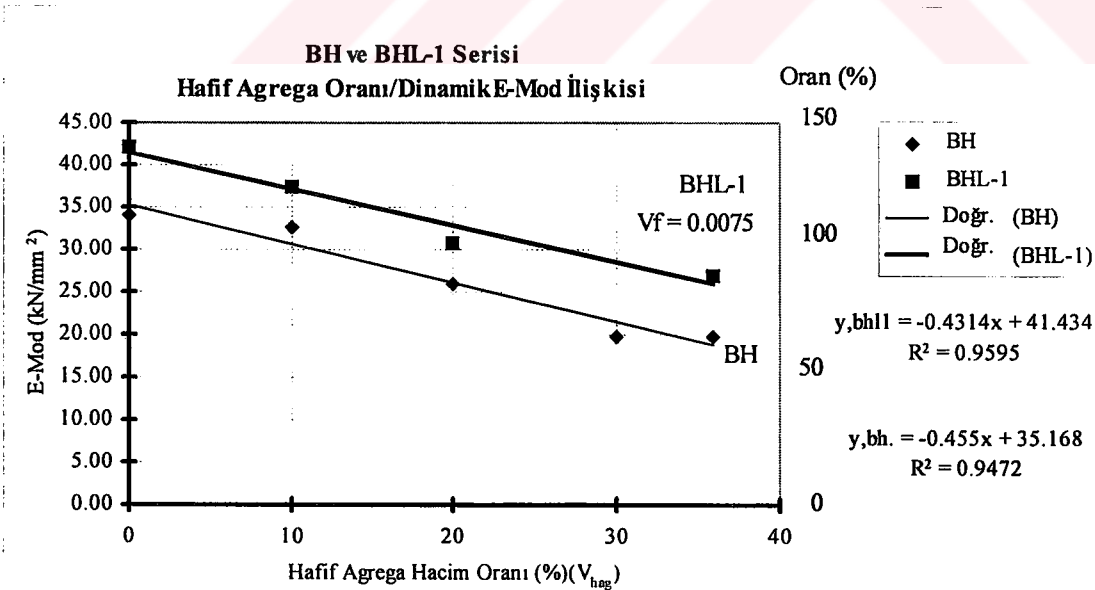
$$v = l/t \quad [4.3]$$

$$E_d = \frac{10^5 \cdot v^2 \cdot \Delta}{g} \quad [4.4]$$

bağı ntılarından hareketle belirlenmiştir.

Bu bağı ntıda v (km/sn) cinsinden ses geçiş hız ını, (E_d) ultras es aracılığ ıyla hesaplanan dinamik elastiklik modülü değ erini, (l) sesin ař tığ ı mesafeyi, (t) ses geçiş süresini, (Δ) betonun birim ağı rlığ ını ve (g) yerçekimi ivmesini ifade etmektedir.

Ş ekil-4.13'de, hafif betonlarda (BH) ve ç elik tel donatı oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit tutularak hafif agreg a hacim oranlarının belirli oranlarda değ iş tirildiğ i BHL-1 serisi betonlarda, agreg a hacim oranlarına bağı lı olarak E-Modülü değ erleri arasındaki iliş kiler verilmektedir.



Ş ekil-4.13 Değ iş ken hafif agreg a hacim oranı ile dinamik E-Modülü iliş kisi

Ş ekil-4.13'de görüldüğü gibi BH şeklinde kodlanmış hafif beton serilerinde artan hafif agreg a hacim oranına bağı lı olarak doğ rusal şekilde dinamik E-Modülü

değerleri de azalmaktadır. Normal betonun iri agregası gurubunun, toplam agregası içinde erişebileceği en üst sınır $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olarak tesbit edilmişti. Bu bölüm hafif agregası ile değiştirildiğinde dinamik E-Modülü 19.67 kN/mm^2 olarak bulunmuştur. Bu değerin hafif betonlara göre bir miktar yüksek olması, üretiminde kullanılan ince agregasının kum olmasından ileri gelmektedir. Bilindiği gibi, hafif betonların üretilmesinde ince agregası olarak kum kullanılması, birim ağırlığı yükseltmesi yanında E-Modülünde de artışlara neden olmaktadır.

Üretilen hafif betonların dinamik E-Modülündeki bu doğrusal azalma hafif agregasının E-Modülünün düşük olmasından ve betonda oluşturduğu boşluklardan kaynaklanmaktadır. Bu azalma hafif agregasının her boyutu için söz konusudur. Tüm iri agregası gurubu hafif agregası ile değiştirildiğinde donatısız hafif betonların E-Modülü değerleri, kontrol betonunun E-Modülüne göre % 42 oranında azalmaktadır. Literatürde de [5, 26, 27, 44,] bu konu ile ilgili olarak yapılan çalışmalarda benzer sonuçlar elde edilmiştir. Örneğin Al-Awawdeh [26], deneysel çalışmaları sonucunda hafif betonlarda, ortalama hafif agregası boyutuna bağlı olarak E-Modülünün % 38 azaldığını belirlemiştir.

"E" gurubunu oluşturan hafif agregalı ve çelik tel donatılı hafif beton serisinde çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit tutulmuş ve hafif agregası hacim oranı değiştirilmiştir. Bu değişime bağlı olarak çelik tel donatılı hafif betonların E-Modülü değerleri arasındaki ilişkiler yukarıdaki Şekil-4.13'de verilmektedir.

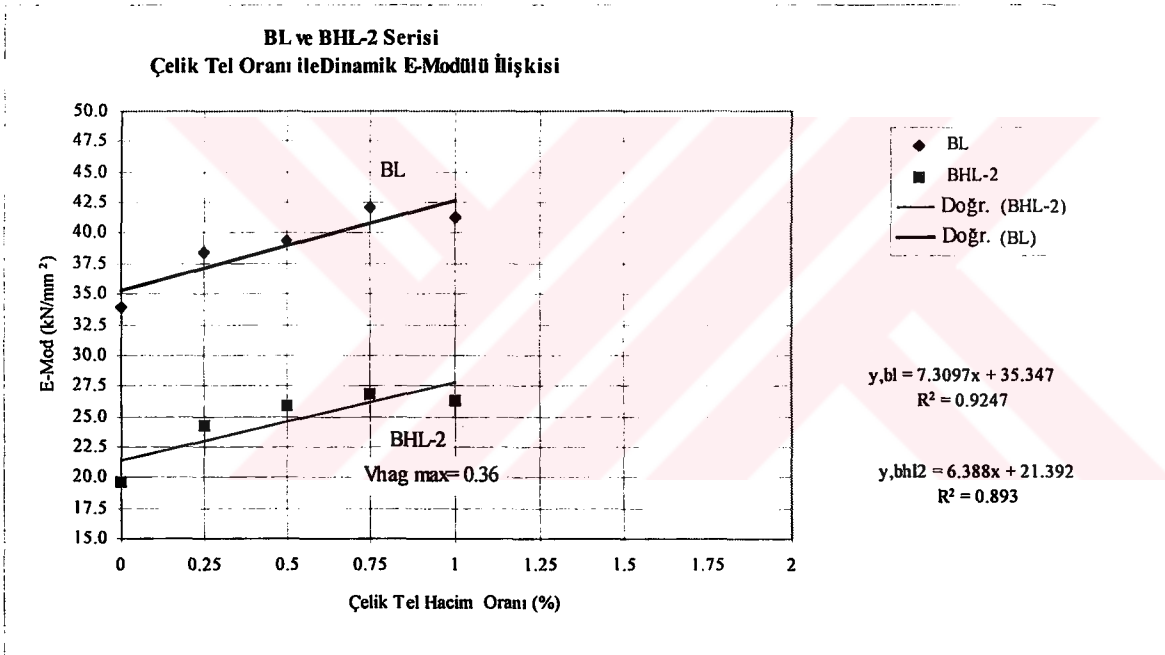
İlgili şekilden de anlaşılacağı gibi çelik tel hacim oranı sabit kalmak koşulu ile ($V_f = 0.0075$) normal betonun iri agregası gurubunu oluşturan bölümü hafif agregası ile değiştirildiğinde E-Modülü değerleri de düşmektedir. Hafif agregası hacim oranının $V_{\text{hag max}} = 0.36$ ve çelik tel donatı miktarının $V_f = 0.0075$ olduğu karışımında elde edilen E-Modülü değeri, donatısız fakat hafif agregası hacim oranının $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olduğu örnek BH serisi karışımının E-Modülüne göre daha yüksek değer almaktadır ve bu değer % 37'dir. Yani normal betonun iri agregası gurubu hafif agregası ile değiştirilerek içerisine binde 7.5 oranında çelik tel katılırsa dinamik E-Modülü % 37 artmaktadır. Bu artış çelik tel donatının elastiklik modülünün yüksek olmasından ($E_f < E_{\text{mBH}}$) ileri gelmektedir.

Literatürde de bu konu ile ilgili benzer sonuçlar görülmektedir. Taşdemir [5], hafif agregası kullanılarak normal betonun hafifleştirilmesiyle en az Poisson oranının, en çok E-Modülünün azaldığını göstermiştir. Ayrıca Gjørve ve Zhang [36] ile Lydon ve Balerdan [96], E-Modülüne etki yapan en önemli faktörlerin agregasının rijitliğinin yanı sıra agregası miktarının ve cinsinin olduğunu belirtmişlerdir. Neville [93], normal betonlara göre, hafif betonların E-Modülünün 1/2 ila 3/4 oranında daha az olduğunu belirtmiştir. Arda [44], yaptığı deneysel çalışmasında hafif betonlarda agregası hacim konsantrasyonunun artmasıyla E-Modülü değerlerinin azaldığı sonucuna ulaşmıştır. Kaynaklarda ileri sürülen E-Modülü ile ilgili bu sonuçların bu çalışmada elde edilenlerle uygunluk içerisinde oldukları görülmektedir.

4.3.2.2 Çelik Tel Hacim Oranının Betonların E- Modülü Üzerine Etkisi

Çelik tel donatılı betonlar, çelik tel donatılı normal (BL) ve çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) serileri olarak iki grupta ele alınarak, bu iki grubu oluşturan çelik tel donatılı betonların elastik özellikleri ayrı ayrı değerlendirilmektedir.

Şekil-4.14'de BL serisini oluşturan normal betonların dinamik E-Modülü ile, değişik çelik tel hacim oranları arasındaki ilişkiler görülmektedir. E-Modülü eğrisi 0.0075 çelik tel oranına göre en yüksek değeri göstermekte, bu oranda en yüksek sınıra ulaşmaktadır. Bundan sonraki çelik tel karışım oranları betonun E-Modülünü düşürmektedir. Ama yine de çelik tel hacim oranının en fazla $V_f = 0.02$ olduğu karışımlardaki E-Modülü değerleri, örnek betonunun E-Modülü değerlerinden yüksektir.



Şekil-4.14 Çelik tel hacim oranının dinamik E-Modülüne etkisi

Bilindiği gibi çelik tellerle donatılmış kompozitler, bir matris malzemesi içinde çeşitli hacim oranlarındaki liflerin yerleştirilmesi suretiyle üretilirler. Burada kesikli yapıya sahip olan lifler matris içerisinde dağılı durumdadır. Bu tip betonlarda güçlendirici bileşen olan çelik tellerin E-Modülü, matrisinkine göre daha yüksektir ($E_f > E_m$). Çelik tel donatılı betonun bünyesinde, matrisin ana görevi gelen yükleri liflere ve komşu liflere iletmektir.

Bu nedenlerden dolayı çelik tel donatılı betonların E-Modülleri, donatısız betonlara göre daha yüksek değerler alabilmektedir. E-Modülünün en yüksek değere ulaştığı 0.0075 tel karışımında E-Modülü değeri kontrol betonun E-Modülü değerine

göre % 35 oranında artmaktadır. Bu karışım oranından sonra, E-Modülü değerlerindeki azalmanın, çelik tellerin hacim konsantrasyonunun yükselmesi sonucunda betonun bünyesinde oluşan boşluklardan ileri geldiği söylenebilir. Bu sav, bu seri betonların birim ağırlıklarında görülen değişimle bir paralellik göstermesiyle de desteklenmektedir. Literatürdeki bu konu ile ilgili verilerin hemen hepsinde E-Modülünün lif hacim oranına bağlı olarak arttığı belirtilmektedir.

Çelik tel donatılı hafif beton serisinin ikinci "E" gurubunda hafif agregaya hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olarak sabit tutularak değişken çelik tel hacim oranının mekanik özelliklerdeki etkileri belirlenmiştir. BHL olarak kodlanmış bulunan bu çelik tel donatılı hafif beton serilerinde, aynı şekilde çelik tel karışım oranları $V_f = 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015$ ve 0.02 şeklinde değiştirilerek ultrases hızlarından hareketle E-Modülü değerleri saptanmıştır. Elde edilen bu ilişkiler yukarıdaki Şekil-4.14'de gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi çelik tel donatının, normal betonların ve hafif betonların elastik özellikleri üzerinde oluşturdukları etkiler birbirine benzemektedir. Çelik tel oranı $V_f = 0.0075$ oranını aştıktan sonra bu betonların E-Modülü değerleri de azalmaktadır. Bununla birlikte seçilen çelik tel oranlarına göre üretilen tüm karışımların E-Modülü değerleri kontrol betonun E-Modülüne göre ($E_f > E_m$) olduğundan daha yüksek değerler almaktadırlar. Hafif betonlara 0.0075 oranında çelik tel katılması E-Modülünü % 37 değerlerini arttırırken, normal betonlara aynı hacim oranında çelik tel katılması ise bu betonların E-modülü değerlerini % 24 arttırmaktadır. Dolayısıyla belirli bir hacim oranında çelik tel donatı malzemesi normal betonlara göre hafif betonların E-Modülü değerleri üzerinde daha fazla etkili olmaktadır.

Şekil-4.14'de gösterilmiş olan bu ilişkilere göre donatısız hafif betonlara çeşitli oranlarda çelik tel donatı malzemesi katılması durumunda, buna paralel olarak E-Modülü değerleri de, yükselmektedir. Hafif agregaya hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olan bu seride E-Modülünün en yüksek değere ulaştığı karışım, çelik tel donatı karışım oranının $V_f = 0.0075$ olduğu karışımdır. Bu karışım oranında, yukarıda değinildiği gibi, hafif kontrol betonun E-Modülü değerine göre % 37'lik bir artış söz konusu olmaktadır. Betona katılan bu oran aynı zamanda TS 10514'de önerilen ve narinlik oranı (uzunluk/çap) = 100 olan çelik tellerin betona ilave edilebilecek maksimum miktarına da uygun düşmektedir.

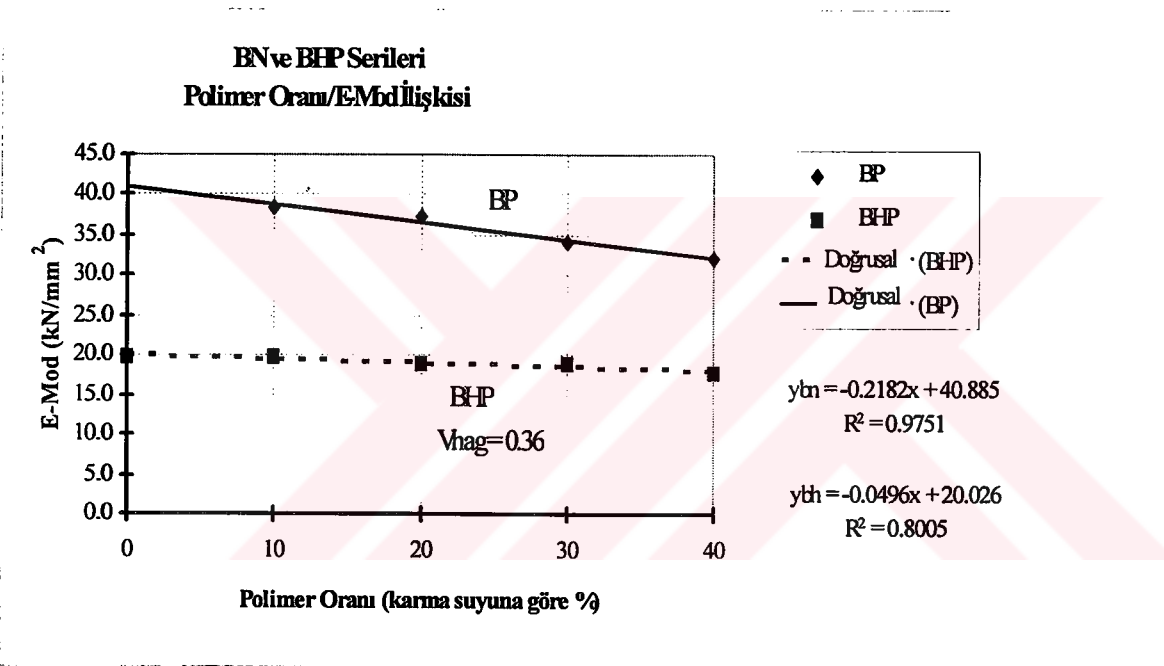
Genel olarak literatürdeki verilerin hemen hepsi E-Modülünün life bağlı olarak ($E_f > E_m$) olduğundan, arttığı yönündedir. Örneğin, E-Modülündeki bu artış Rahimi ve Cao'nun [45] yapmış oldukları deneysel çalışmalarla da desteklenmektedir.

4.3.2.3 Polimer Katkı Oranının Üretilen Betonların Elastiklik Modülü Üzerine Etkisi

Polimer katkılı beton serileri, "F" gurubunu oluşturan katkılı normal (BP), "G" gurubunu oluşturan lateks katkılı hafif beton (BHP) ve "H" gurubunu oluşturan

çelik tel donatılı polimer katkılı hafif beton (BHLP) serileri olmak üzere üç grupta yapılmıştır.

Polimer katkılı normal beton serilerinde (BP) ve polimer katkılı hafif beton (BHL) serilerinde lateks polimer katkı maddesi karışım oranı karma suyuna göre belirlenerek, yüzde 10, 20, 30 ve 40 olmak üzere değiştirilmiştir. Değişken polimer katkı hacim oranı ile bu seri betonların dinamik E-Modülleri arasındaki ilişkiler Şekil-4.15'de verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, buradaki E-Modülü değerleri, bu betonlar üzerinde ölçülen ultrases hızlarından hareket edilerek belirlenmiştir.



Şekil-4.15 BP ve BHP seri betonlarda polimer katkı oranı ile dinamik Elastiklik Modülü ilişkisi

Bu betonlarda kullanılan lateks polimer katkı maddesi, grafikten de anlaşılacağı gibi betonların E-Modülü üzerinde önemli bir artış sağlamamaktadır. Gerçi 0.10 karışım oranında (BP) serisinde yaklaşık % 13 gibi bir artış görülmesine rağmen, artan karışım miktarlarına göre bir azalma eğilimi söz konusu olmaktadır. Aynı hacim oranında bu artış hafif betonlarda % 0.2 şeklindedir. Dolayısıyla polimer katkı maddesi normal betonların elastiklik modülü değerlerini hafif betona göre daha çok arttırmaktadır. Genel olarak, kullanılan bu polimer katkı maddesinin karışım oranlarının normal betonun E-Modülünü % 10 karışımdan sonra olumlu yönde pek etkilemediği, polimer katkı oranına göre azalmaya neden olduğu görülmektedir. Sonuçta polimer katkı maddesi matris içinde esnek bir film tabakası oluşturduğundan matrisin dolayısıyla da betonun rijitliğinin bir miktar azalmasına neden olarak E-Modülü değerlerinde azalmalara neden olduğu söylenebilir.

Cimilli [30], cam lifleriyle pekiştirilmiş çimento kompozitlerinin mekanik özelliklerini araştırdığı çalışmasında üç farklı polimer katkı maddesi kullanmış ve bu polimerlerin E-Modülü değerlerinde bir miktar azalmaya neden olduklarını ve bu etkinin zamanla kaybolmadığını ileri sürmüştür. Yine aynı şekilde Özturan [33], E-Modülü değerlerinin harçlarda lateks katkı kullanılmasıyla da, lateks içermeyen örneklere göre daha düşük değerler aldıklarını söylemiştir. Doğu [23], deneysel çalışmasında üç farklı tipte akrilik kullanmış ve numuneler üzerinde yapılan ölçümlerde ultrases geçiş sürelerinde artış, ses geçiş hızlarında ve elastisite modüllerinde ise azalmalar olduğu sonucuna varmıştır. Dolayısıyla burada elde edilen neticeler literatürde belirtilen sonuçlara da uygun düşmektedir.

Yine aynı şekilde lateks katkı maddesinin hafif betonların E-Modülü değerlerindeki etkilerinin saptanması amacıyla, karışım oranları normal betonlarda olduğu gibi aynı oranlarda olmak üzere, lateks katkılı hafif beton serileri üretilmiştir. Bu karışımlarda hafif agrega karışım oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur. Üretilen bu karışımlar üzerinde ultrases hızlarından hareketle elde edilen E-Modülü değerleri ile polimer katkı oranı arasındaki ilişkiler yukarıdaki Şekil-4.15'de gösterilmiştir.

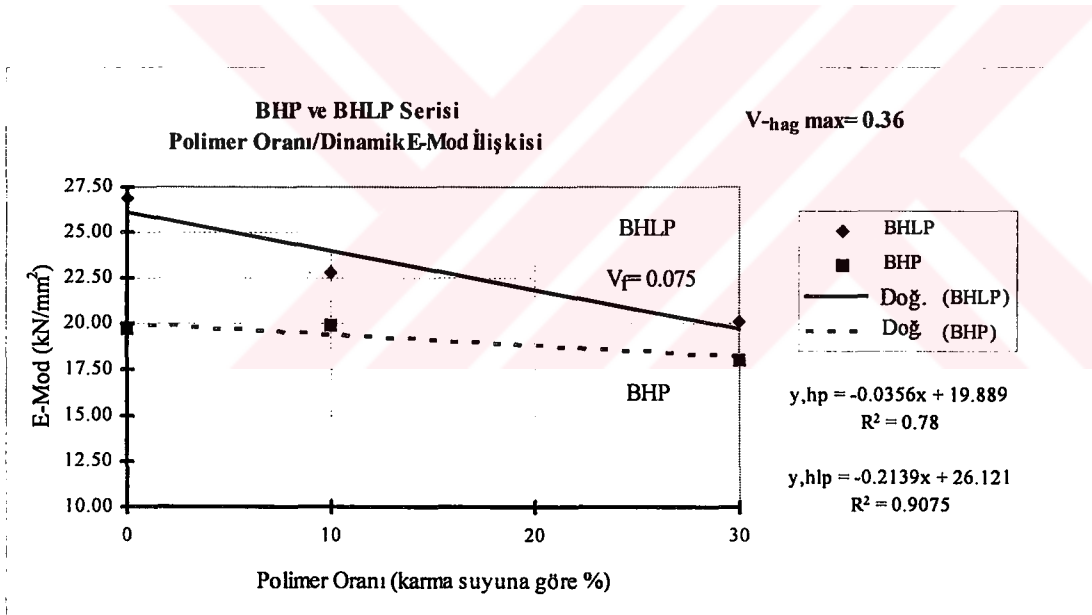
Katkılı hafif betonların üretiminde kullanılan lateks polimer katkı maddesi, grafikten de anlaşılacağı gibi hafif betonların E-Modülü üzerinde de, normal agregalı betonlarda olduğu gibi, önemli sayılabilecek bir artış sağlamamaktadır. Bunun yanında artan lateks katkı oranına bağlı olarak bir miktar düşüş eğilimi görülmektedir. Dolayısıyla lateks katkının normal betonlar üzerindeki davranışın aynı şekilde hafif betonlarda da söz konusu olduğu ve E-Modülünü olumlu yönde pek etkilemediği sonuç olarak söylenebilir.

Polimer katkılı beton serilerinde görülen E-Modülü değerlerine bağlı olarak normal ve hafif betonların diğer mekanik özelliklerinde de, polimer hacim oranının 0.10 olduğu karışımlar dışındaki diğer karışımlarda, önemli sayılabilecek bir iyileşmenin olmadığı gözlenmiştir. Latekslerle geliştirilmiş harç ve betonların çimento jelinden ve polimer liflerinden oluşan bir yapısı vardır. Bu tür harç ve betonların özellikleri polimer türünden, polimer/çimento oranından, su/çimento oranından, hava miktarı ve kür koşullarından etkilenmektedir. Özetle Lateks, çimento, agrega gibi kullanılan malzemelerin cinsi, karışım oranları için kabul edilen faktörler (polimer/çimento oranı, su/çimento oranı, vb.), kür koşulları ve deney yöntemleri mekanik özellikleri belirleyebilmektedir.

Bu tür betonların çoğunda, latekslerdeki emülsiyon oluşturan ve dayanımı artırıcı maddelerin hareketi nedeniyle, normal çimento harç ve betonlarına göre daha fazla miktarda hava sürüklenmektedir. Biraz hava sürüklenmesi taze betonun kıvamının düzeltilmesi bakımından faydalı olabilir. Fakat fazla miktarda hava sürüklendiğinde buna bağlı olarak mukavemette azalmalar meydana gelmektedir. Ayrıca betonlarda kullanılan agregaların boyutlarının daha büyük olması da hava sürüklenmesini arttırmaktadır. Dolayısıyla, dinamik E-Modüllerindeki bu değerler, polimer maddesinin hava sürükleyici özeliğinden kaynaklandığı ileri sürülebilir.

Bu çalışmada kullanılmak üzere seçilen polimer türü harçlarda aderansı artırıcı olarak kullanılmakta olup harcın eğilme-çekme mukavemetini bir miktar arttırmaktadır. Eğilme mukavemetindeki artış oranı, üretilmiş olan lateks katkı normal betonlarda (BP) polimer hacim oranınının 0.10 olduğu karışımda % 10 dolayındadır. Bunun nedeni, bilindiği gibi sertleşmiş çimento hamurunun zayıf Van der Waals bağlarıyla birbirine bağlı kalsiyum hidroksit ve kalsiyum silikat hidrattan oluşan bir yapısı vardır ve bu yüzden kuvvet altında, hamurda mikroçatlaklar kolayca meydana gelebilmektedir. Bu da çekme mukavemetinin ve kırılma tokluğunun çok zayıf olmasına neden olmaktadır [15]. Oysa lateksle geliştirilmiş harç ve betonlarda mikroçatlaklar çatlağın yayılmasını önleyen polimer filmi ile kapatılmakta ve böylece agrega ve çimento hidratları arasında bir bağ oluşmaktadır. Yine de bu özellik kullanılan katkıların kendi özelliklerine göre farklılıklar gösterebilmektedir.

Çalışmanın son aşamasında "H" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı hafif beton serileri (BHPL) üretilmiştir. Bu seri betonlar üzerinde ultrases hızlarından hareketle tesbit edilen dinamik E-Modülü değerleri ile polimer katkı oranı arasındaki ilişkiler Şekil-4.16'da gösterilmiştir. Çelik tel hacim oranı ($V_f = 0.0075$) olarak sabittir



Şekil-4.16 Çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda lateks katkı maddesinin dinamik E-Modülü üzerine etkisi

Yukarıdaki Şekil-4.16'dan da görüldüğü gibi çelik tel donatılı hafif betonlara lateks polimer katkısı katılması bu betonların dinamik E-Modülü değerlerini düşürmektedir. Lateks katkı maddesininin karışım oranına bağlı E-Modülü değerleri doğrusal olarak azalmaktadır. Lateks katkısız çelik tel donatılı hafif betonlara lateks katkı maddesi katmak bu betonların E-Modülü değerlerini olumlu yönde etkilememektedir. Aksine bir miktar düşürmektedir. Bu azalma oranı BHP'ye göre BHLP karışımlarında daha fazla olmaktadır. İlgili şekilde polimer katkı

hacim oranına bağılı olarak E-Modülündeki azalmayı gösteren doğrunun, BHP doğrusuna yaklaşımakta olduğu görülmektedir.

Normal betonlar üzerinde polimer katkının E-Modülü değerlerini azaltması olgusu aynı şekilde hafif betonlar için de söz konusu olmaktadır. Hafif betonlar normal agregalı betonlara göre daha boşluklu bir yapıya sahiptirler. Lateks harç ve betonlarında sürekli faz, çimento ve polimer fazlarının birleşmesinden oluşmaktadır. Karışım sırasında çimentonun hidrasyonu devam ederken, lateks içindeki polimer taneleri de kapiler boşluklara ve hidrate elemanlar üzerine çökmekte ve suyun kuruma ile tükenmesi sonucu olarak monolitik bir filim tabakası oluşturmaktadır. Ayrıca hafif beton gibi normal betona göre daha boşluklu yapıya sahip betonların bu boşlukları polimer maddesi tarafından doldurulmakta ve porozitenin azalmasına neden olmaktadır. Bununla birlikte betonların ultrases geçiş hızlarında ve E-Modülü değerlerinde azalmalar görülebilmektedir.

Doğu [23], PVA esaslı polimer katkılı çimento betonları üzerinde yaptığı deneysel çalışmada da aynı sonuca varmıştır. Bu çalışma normal betonlar üzerinde yapılmıştır. Özturan [33], lateks harçlarında E-Modülünün polimer/bağlayıcı oranına bağılı olarak düştüğünü söylemiştir. Aynı görüşü Allen [86] ve Cimilli de [30] ileri sürmektedirler.

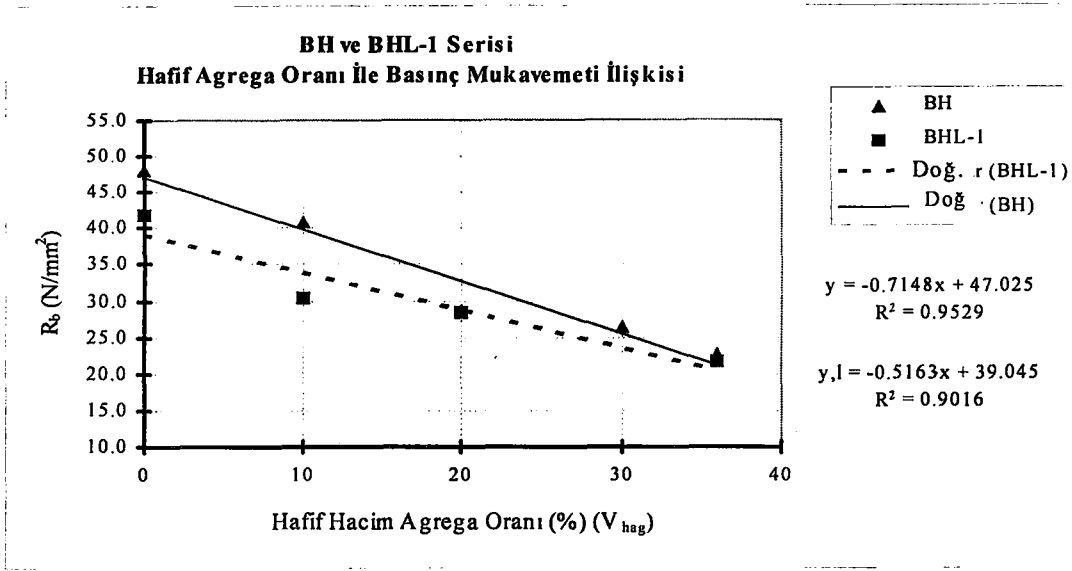
4.3.3 Basınç Mukavemeti Açısından Karışımların İrdelenmesi

Bu başlık altında karışıma giren bileşenlerin, üretilen betonların basınç mukavemeti üzerindeki etkilerin değerlendirmesi ve irdelenmesi yapılmaktadır.

4.3.3.1 Hafif Agreganın Üretilen Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi

Bilindiği gibi hafif betonların üretiminde kullanılan agregaların özellikleri, bu betonların basınç mukavemetini önemli ölçüde belirlemektedir. Bunun yanında, çimento özelliklerinin ve su/bağlayıcı oranının da mukavemet üzerinde etkisi olduğu bilinmektedir.

"B" gurubunu oluşturan ve (BH) olarak kodlanmış bulunan hafif betonlar ile "D" gurubunu oluşturan ve (BHL-1) şeklinde kodlanmış bulunan donatılı hafif beton serilerinde, daha öncede değinildiği gibi, beton içindeki hafif agrega hacim oranı belirli oranlarda değiştirilmiştir. Üretilen bu betonlar üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemeti deneyleri sonucunda elde edilen değerler ve ilişkiler aşığıdaki Şekil-4.17'de gösterilmiştir. Basınç deneyleri 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki numuneler üzerinde uygulanmıştır.



Şekil-4.17 Donatılı ve donatısız hafif betonlarda hafif agrega hacim oranı ile basınç mukavemeti ilişkisi

Şekil-4.17'den de görülebileceği gibi normal betonun bünyesindeki hafif agrega hacim oranı arttıkça basınç mukavemeti değerleri azalmaktadır. Bilindiği gibi, normal betonun basınç mukavemetini belirleyen en önemli etkenler çimento hamurunun ve agreganın mukavemetidir. Yine normal betonun basınç mukavemetini etkileyen ikinci derecedeki faktörler ise; çimento hamurunun hacmi, agreganın kökeni, dane boyu, kür koşulu ve deney sırasındaki yükleme hızı sayılabilir.

Halbuki hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonlarda, basınç halindeki kırılmanın, harcın mukavemetine erişilmesi sonucunda ortaya çıktığı ön kabulü, hafif betonlarda agrega mukavemetinin normal betonun aksine harç mukavemetinden düşük olması nedeni ile, tam olarak geçerli olamamaktadır. Bu malzemede göçme, normal betonların aksine, agrega fazından başlamaktadır ve bu nedenle, basınç mukavemeti üzerinde hafif agreganın mukavemet özellikleri büyük rol oynamaktadırlar [1]. Ayrıca su/çimento oranı kuralı hafif betonlar için de geçerlidir. Böylece normal betonlarda mukavemeti belirleyici etkin faktör olan harç, hafif betonlarda agreganın düşük bir mukavemete sahip olması nedeni ile, bu etkin rolünü kaybetmektedir. Hafif betonun sertleşmeye başladığı ilk günlerde, harç mukavemeti agrega mukavemetine erişinceye kadar, taze beton mukavemetini doğrudan belirleyen, harç fazı olmaktadır. Ancak, mukavemetlerin eşitlendiği zamandan itibaren, harç bu belirleyici özelliğini yitirmekte, böylelikle sertleşmiş hafif betonlarda ancak mukavemeti etkileyen faktörlerden biri olmaktadır.

Yukarıda sözü edilen husus, hafif betonlar üzerinde yapılan çalışmalarda da gözlenebilmektedir. [1, 2, 5, 26, 27, 44]. Örneğin, Taşdemir [5] ve Arda [44],

yapmış oldukları deneysel çalışmalarda hafif agregası konsantrasyonunun azalmasıyla mukavemetin artacağını belirtmektedirler.

Üretilen hafif agregalı ve çelik tel donatılı hafif beton serileri (BHL) iki guruptan oluşmaktadır. Birinci "D" gurubu, (BHL-1) serisinde, çelik tel oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit tutularak hafif agregası miktarı belirli oranlarda değiştirilmiştir. Bu değişimlere göre üretilen çelik tel donatılı hafif betonların basınç mukavemetinde görülen ilişkiler de yukarıdaki Şekil-4.17'de gösterilmiştir.

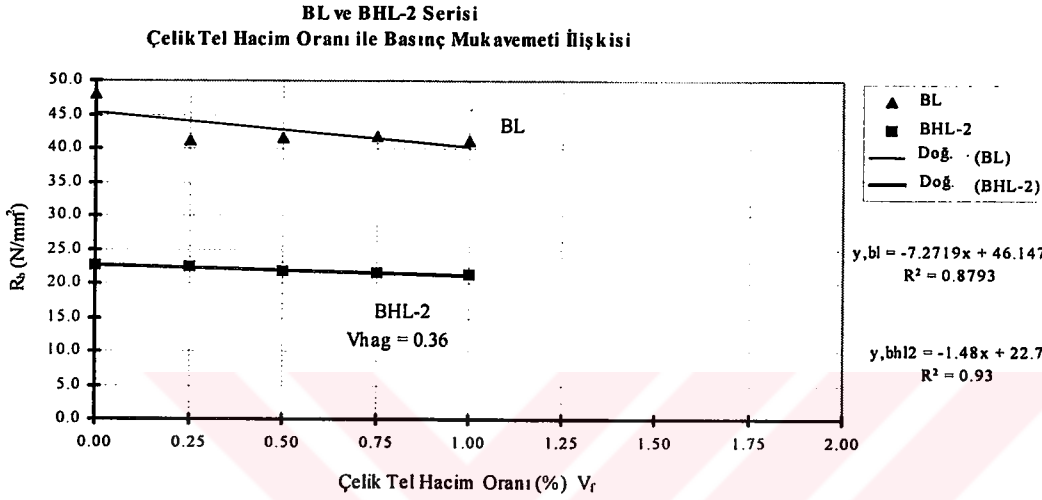
Artan hafif agregası hacim oranıyla (% 10, 20, 36) birlikte basınç mukavemetindeki doğrusal düşüşler ilgili Şekil-4.17'de izlenmektedir. Başlangıçta her iki gurubun mukavemet değerlerindeki düşüşlerde farklar olmasına rağmen, değişen hafif agregası hacim oranına göre birbirine yaklaşmakta ve maksimum hafif agregası karışım oranının $V_{hag\ max} = 0.36$ ve çelik tel karışım oranının $V_f = 0.0075$ olduğu karışım basınç mukavemeti değerleri donatısız hafif betonunun mukavemet değerleriyle neredeyse birbirine çakışmaktadır. Her iki gurupta da agregası hacim oranına bağlı olarak basınç mukavemetindeki değişimi gösteren doğruların birbirlerine çok yaklaştığı ilgili şekilden de görülmektedir. Dolayısıyla hafif betonları çelik tellerle donatmanın bu betonların basınç mukavemetinde olumlu yönde değişimlere neden olmadığı görülmektedir. Hafif agregası hacim oranıyla birlikte basınç mukavemetindeki bu azalmalar, karışıma giren hafif agregası miktarına bağlı olarak devam ettiğine göre, buradaki mukavemet düşüşünün boşluklu bir iç yapıya sahip süngertaşı hafif agregası mukavemetinin düşük olmasından ve betonda oluşturduğu mekanik özelliklerden ileri geldiği anlaşılmaktadır. Balaguru ve Foden [69], hafif betonlarda çelik liflerin etkilerini araştırmışlar ve hafif agregası olarak da geliştirilmiş arduvaz kullanmışlardır. Birim ağırlığı $1750\ kg/m^3$ olan hafif betonların basınç mukavemetini 42 MPa olarak elde etmişlerdir. Dolayısıyla değişik hafif agregası kullanılarak üretilen lif donatılı hafif betonlarda basınç gerilmesi farklı değerler alabilmektedir.

4.3.3.2 Çelik Tel Hacim Oranının Üretilen Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkisi

Çelik tel donatılı karışımlardaki basınç mukavemeti özellikleri, çelik tel donatılı normal beton (BL) ve çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) karışımlarında olmak üzere iki gurupta ele alınarak değerlendirilmektedir. Bu beton serilerinde çelik tel donatı malzemesinin hacim oranı belirli miktarlarda değiştirilmiş olup, çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) serisinde ise süngertaşı hafif agregasının hacim oranı $V_{hag\ max} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur.

Çelik tel donatının, betonunun basınç mukavemeti üzerindeki etkisi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklikler gösterebilmektedir. Genel olarak çelik tellerin, betonların basınç mukavemeti üzerinde artışlara neden olmadıkları söylenebilir. Ayrıca basınç halinde donatılı betonun artan enerji yutma özeliği tokluğu arttırmakta ve maksimum gerilmeye ulaşıldığında kırılma anında çelik teller betonun dağılmasını büyük ölçüde önleyebilmektedirler.

"C" gurubu olarak isimlendirilmiş ve (BL) şeklinde kodlanmış bulunan çelik tel donatılı normal beton serilerinde, çelik tel karışım oranları 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01, 0.015 ve 0.02 şeklinde değiştirilmiştir. Üretilmiş olan 10 x 10 x 10 cm. boyutlarındaki örnekler üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda, çelik tel donatı oranı ile betonların basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler aşağıdaki Şekil-4.18'de görülmektedir.



Şekil-4.18 Çelik tel hacim oranı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler

Basınç mukavemeti açısından, çelik tellerin betonların basınç mukavemeti değerleri üzerinde olumlu yönde bir etki yapmadıkları Şekil-4.18'de de görülmektedir. Normal betonlar açısından yukarıdaki şekil üç aşamada değerlendirilebilir. İlk olarak, normal betona çelik tel katılmakla birlikte basınç dayanımında önce bir düşüş izlenmekte, sonra artan tel hacim oranı ile bu düşüşün ortadan kalktığı hatta nisbi bir artışın dahi olabildiği ancak, sonuçta da homojen bir karışımın sağlanamadığından tel hacim oranının $V_r > 0.01$ 'in üzerine çıktığında ise yine basınç mukavemetinin hızla düşmeye başladığı görülmektedir.

Elde edilen bu bulgular Soroushain ve Bayası'nın [60] çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarla benzerlik içindedir. Bu araştırmacılar yaptıkları deneysel çalışmada, çelik tellerin betonun basınç mukavemetine etkisinin oldukça az olduğunu ve bunun değişik tip çelik tellerle de değişmediğini ileri sürmüşlerdir. Roux, Cheminais, Rivallain ve Mourand [58], tarafından Fransa'da (SHFC) yapılan deneysel çalışmalar sonucunda çelik tellerin hafif betonların basınç mukavemetlerinde olumlu etkiler yaptığı ileri sürülmüştür. Amerikan Beton Enstitüsü'nün [97] bülteninde çelik tel donatının betonun basınç mukavemetini önemli bir ölçüde arttırmadığı, bununla birlikte maksimum yükte basınca bağlı deformasyonu arttırdığı ifade edilmektedir. Gököz [54], yapmış olduğu deneyler sonucunda tel donatı malzemesinin çimento bağlayıcılı betonlarda mukavemetleri

olumlu yönde etkilediğini ileri sürmektedir. Genel olarak çelik tel donatılı betonlarda basınç mukavemeti değerlerinin % -25 ile + 25 arasında değişebileceği literatürde [62] belirtilmektedir.

Bununla birlikte çelik tellerle donatılı beton ve harçların basınç mukavemetinde çelik tel donatıya bağlı olarak artış görüldüğü çeşitli literatürlerde belirtilmektedir [53, 61, 63]. Fakat buradaki artışın önemli değerlerde olmadıkları da irdelenmektedir. Şekil-4.18' de, çelik tel donatı oranına bağlı olarak betonun basınç mukavemetinde bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Ancak, V_f 'nın 0.0025 değerini aşması ile birlikte, mukavemette tekrar bir yükselme eğilimi izlenmekte ve 0.01 oranından sonra mukavemetteki azalma tekrar ortaya çıkmaktadır. Bu düşüş, artan çelik tel hacim oranı ile birlikte tellerin matrisin sürekliliğinde ve homojen yapısında oluşturabileceği kusur etkisinden kaynaklanabilir. Ayrıca yerleştirme koşullarından dolayı oluşan boşluklu bir iç yapı da bu hususta etkili olabilmektedir.

Bu irdelemeler normal betonlar için yapılmıştır. Bunun gibi, normal betonların iri agrega gurubu tamamen süngertaşı hafif agregası ile değiştirilerek üretilmiş olan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde de değişik çelik tel hacim oranlarına göre basınç mukavemeti değerlerinde de, kontrol betonuna göre önemli değişimler gözlenmemiştir. Bununla birlikte burada normal betonlara göre durum biraz farklı görünmektedir. Artan tel hacim oranına bağlı olarak basınç mukavemetleri doğrusal bir şekilde düşme eğilimi göstermektedirler. Dolayısıyla, betonların üretiminde kullanılmak üzere seçilmiş bulunan çelik tel donatı malzemesi, normal ve hafif betonların basınç mukavemetlerini arttırmamaktadır. Normal betonlarda belirli bir hacim oranında bir artış eğilimi görülmekle birlikte artan tel hacim oranına bağlı olarak mukavemette azalmalar tekrar ortaya çıkmaktadır.

Bilindiği gibi betonun kırılması aşamaları, çatlakların başlaması, bu çatlakların çoğalarak birbirleriyle bir ağ oluşturması ve sonuçta göçmesi şeklinde gerçekleşmektedir. Hafif betonlarda çatlak başlaması olayı genellikle hafif agregalarda olduğundan, tellerin bu betonların basınç mukavemetleri üzerinde fazla etkili olmadıkları söylenebilir. Normal betonlarda ise, beton basınç altında iken gerilmeye birlikte çatlağın başlama ve yayılması üzerinde tellerin etkili olmaları yanında, bünyeye katılan teller ilk aşamada iç yapıyı etkilediklerinden basınç mukavemeti değerleri bir miktar düşmekte, artan lif hacim oranıyla birlikte iç yapıdaki bu kusur etkisi daha da azaldığından mukavemet artış eğilimi göstermektedir. Fakat tellerin hacim miktarı arttırılınca bu kusurlar tekrar oluşarak mukavemetleri azaltmaktadır.

Çelik tel donatılı hafif betonların ikinci aşamasında (BHL-2) hafif agrega oranı $V_{hag\ max} = 0.36$ olarak sabit tutulmuş ve aynı şekilde çelik tel oranı 0.0025'lik artışlarla maksimum 0.01 oranına kadar değiştirilerek, artan çelik tel hacim oranının, hafif betonun mekanik özelliklerine kazandırdığı etkiler gözlemlenmiştir. Bu betonlar üzerinde yapılan tek eksenli basınç mukavemeti deneyleri sonucunda elde edilen değerler yukarıdaki Şekil-4.18'de verilmiştir.

İlgili şekilden de görüldüğü gibi, hafif betonlarda çelik tel donatı oranı maksimum 0.01 olmak koşulu ile hangi oranda değiştirilirse değiştirilsin basınç mukavemetlerinde önemli değerlerde bir değişim olmamaktadır. Bu oran aşıldıktan sonra basınç mukavemeti değerleri düşmektedir. Daha önce de değinildiği gibi buna, hafif agrega mukavemetinin az olmasının yanı sıra çelik tellerin konsantrasyonunun artmasıyla matrisin sürekliliğinde tellerden dolayı meydana gelen kusurun ve boşluklu yapının oluşturduğu mukavemet azaltıcı etki neden olmaktadır. Ancak, V_f 'nin 0.0025 değerini aşması ile birlikte, normal betonlarda olduğu gibi, mukavemette tekrar bir yükselme eğilimi donatılı hafif betonlarda da izlenmemektedir. Basınç mukavemetindeki düşüşün doğrusal bir eğim içinde olduğu görülmektedir. Taze betonların özellikleri irdelenirken, artan lif hacim oranına bağlı olarak betonunun boşluk yapısının arttığından söz edilmişti. Normal betonlarda çelik tel oranının oranını 0.0075 değerine çıkması taze betonda hava boşluğunu kontrol betonuna göre % 10 artmaktadır. Sonuç olarak normal ve hafif betonlarda kullanılan çelik tellerin, bu betonların basınç mukavemetleri üzerinde olumlu yönde bir etki oluşturmadıkları söylenebilir.

Hafif agrega ile üretilmiş çimento bağlayıcılı hafif betonlarda lif donatı etkilerini araştırmaya yönelik olarak Ritchie ve Al Kayyali'nin [29] çalışmalarında donatı malzemesi olarak polipropilen ve çelik teller kullanılmıştır. Yapay agregalar ile üretilmiş numunelerde, polipropilen donatının basınç mukavemetinde düşüşe neden olduğu, çelik tellerin ise bu anlamda bir etki yapmadığı belirtilmektedir. Fransa'da laboratuvar (SHFC)'de [66] yapılan deneysel çalışmalara göre ise çelik tellerin hafif betonların basınç mukavemetlerini olumlu yönde etkilediği ileri sürülmüştür. Yukarıda da değinildiği gibi çelik teller çeşitli faktörlere bağlı olarak betonların mukavemetlerinde farklı davranışlar gösterebilmektedirler.

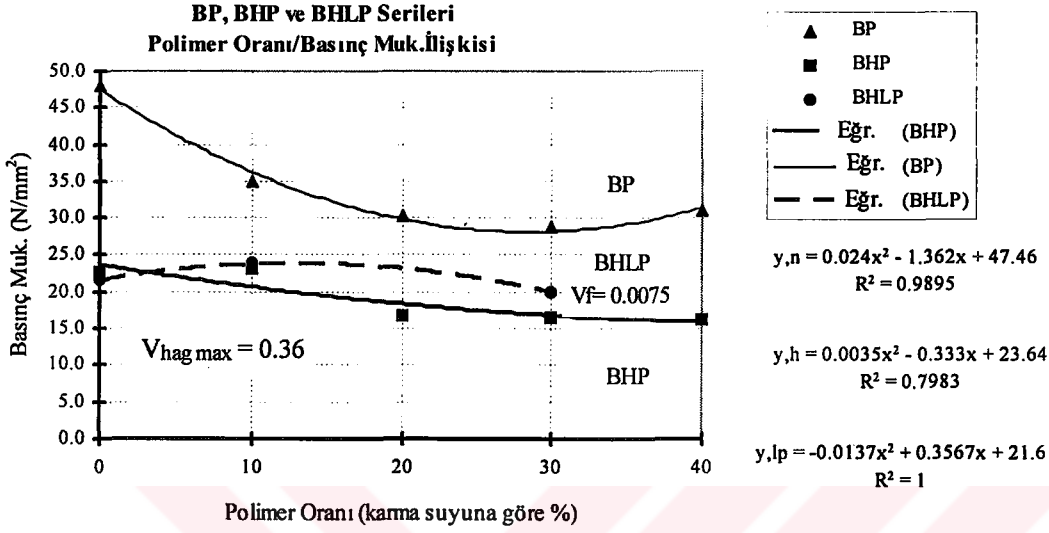
Bağlayıcı malzemesi alçı olan ve cam lifleri kullanılarak yapılmış olan çalışmalar da buna benzer sonuçlar elde edilmiştir. Ersoy [9], Atan ve Uyan [98], Kılıçarslan [99] ve Erkoç'un [82] bu yöndeki çalışmalarında elde ettikleri sonuçlara göre artan lif hacim oranı ile birlikte malzemenin basınç mukavemetinde kayda değer bir değişim olmadığı belirtilmektedir. Bu çalışmalarda donatı malzemesi olarak çeşitli özelliklere sahip cam lifleri kullanılmıştır.

4.3.3.3 Polimer Katkı Hacim Oranının Üretilen Betonların Basınç Mukavemeti Üzerine Etkileri

Lateks polimer katkılı beton serileri, katkılı normal (BP) ve katkılı hafif beton (BHP) ve polimer katkılı çelik tel donatılı hafif beton (BHLP) serileri olmak üzere üç grupta üretilmiştir. Daha önce de değinildiği gibi bu deneylerde kullanılan polimer lateks katkı maddesi genellikle harçlarda kullanılmakta ve aderans köprüsü oluşumunda, aşınmaya dayanıklı yüzeylerin uygulanmasında, beton yüzeylerin onarım işlerinde iyi sonuçlar verdiği belirtilmektedir [31, 84, 88].

Polimer katkılı normal (BP), hafif (BHP) ve çelik tel donatılı hafif beton (BHLP) serilerinde, polimer katkı maddesi karışım oranı karma suyuna göre belirlenerek, yüzde 10, 20, 30 ve 40 olmak üzere değiştirilmiştir. Bu değişim

sonucunda üretilen betonların basınç mukavemeti ile polimer katkı oranları arasındaki ilişkiler Şekil-4.19'da verilmiştir.



Şekil-4.19 Polimer katkı oranı ile basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler

İlgili şekilden de görüldüğü gibi deneylerde kullanılmak seçilmiş olan polimer katkı maddesi üretilen normal betonların (BP) ve hafif betonların (BHP) basınç mukavemetleri üzerinde olumlu sayılabilecek bir etki oluşturmamaktadır. Gerçi BHP serisinde polimer katkı oranının 0.10 olduğu karışımlarda basınç mukavemetleri değerlerinde az bir miktar (0.02) artış eğilimi görülmekle birlikte, artan polimer hacim oranlarına bağlı olarak mukavemetleri azaltmaktadır. Böylece polimer katkı maddesinin, karışıma giren polimer hacim oranına bağlı olarak, normal betonun basınç mukavemetinde azalmalara neden olduğu söylenebilir. Polimer katkı hacim oranının 0.40 olduğu karışımda tekrar bir yükselme eğilimi görülmekle birlikte bundan sonraki karışım oranlarında da bu artışın devam etmediği ön deneylerden elde edilen sonuçlardan anlaşılmıştır. Deney çalışmasının son gurubu olan çelik tel donatılı ve polimer katkılı hafif betonlarda (BHLP) ise 0.10 katkılı serilerde basınç mukavemeti değerlerinde % 10 gibi bir artış izlenmiştir.

Latekslerle geliştirilmiş normal çimento harç ve betonlarında lateks katkı maddesi çeşitli özellikler gösterebilmektedir. Bu seri katkılı betonların eğilme mukavemetlerinde artış olduğu halde basınç mukavemetinde, BHLP serisi dışında, düzelmeler olmadığı görülmektedir. Bu, polimerin kendi çekme mukavemetinin yüksek olmasına ve çimento/agrega arasındaki bileşimin önemli ölçüde gelişmesine

bağlı olmaktadır. Lateks polimer katkı maddesiyle geliştirilmiş harcın ve betonun mukavemet özelliklerinin çeşitli faktörlere bağlı olduğu konusu yukarıda belirtilmişti.

Doğu [23], latekslerdeki polimerin cinsinin plastikleştiricinin tipine ve miktarına ve kopolimerlerdeki monomer oranına bağlı olduğunu ve bunların lateks katkının özelliklerini etkilediğini belirterek, mekanik ve kimyasal mukavemetler gibi lateks özelliklerin, kuruma sırasındaki birleşme ve kabarcık oluşumu, sürfaktanların ve antiköpük yapıcıların tipine ve miktarına ve dağılmış polimer parçacıklarının büyüklüğü ile ilgili olduğunu ileri sürmektedir. Bunun yanında ayrıca, monomer oranının da harçların mukavemetini etkilediğini, stiren bütadyen kauçuk (SBR) ile geliştirilmiş harcın mukavemetinin stiren miktarındaki artışla yükseldiğini, stiren lateksinden yapılmış kuru filmin çekme mukavemetinin stiren içeriğinin miktarı arttırıldığı zaman yükselerek, % 10'un üzerinde polimer çimento oranındaki SBR ile geliştirilmiş harcın eğilme mukavemeti ve çekme mukavemeti arasında olumlu bir bağlantı olduğunu eklemektedir.

Genellikle latekslerin mekanik ve kimyasal mukavemetleri bünyedeki sürfaktanların miktarının arttırılmasıyla geliştirilmekte ve dayanımlı hale getirilmiş lateksler, lateksle geliştirilmiş harç ve betonda pıhtılaşma olmaksızın dağılabilmektedir. Diğer taraftan, sürfaktanın aşırı miktarı, lateks film mukavemetinin azalması, çimento hidrasyonunun gecikmesi ve aşırı miktarda hava sürüklenmesi nedeniyle, lateksle geliştirilmiş harç ve betonun mukavemeti üzerinde ters etki yapabilmektedir.

Sonuç olarak, lateksler, gerek harçlarda ve gerekse betonlarda yüksek mukavemet elde etmek amacıyla en uygun sürfaktan içeriğine sahip olmalıdır. Uygun sürfaktanlar genellikle aşırı miktarda hava sürüklenmesini önlemek amacıyla latekslere ilave edilmektedirler. Bilindiği gibi betonun basınç dayanımı hava içeriği ile ters orantılı olarak değişmektedir. Literatürde [95], genellikle stiren bütadyen lateks katkı maddesinin betonun akıcılığını ve işlenebilme özeliğini arttırmakla birlikte bir miktar hava sürüklenmesine de neden olabildiği ifade edilmektedir. Neville [88], hava sürükleyici katkıların sürüklediği havanın, betonların basınç mukavemetinde düşüşlere yol açtığını, Kemerli ise [94], hava sürükleyici özeliği olan katkıların betonların basınç mukavemetini azaltabileceğini belirtmektedirler.

Bunun yanında kum-çimento oranı arttırıldığı zaman da, eğilme ve basınç mukavemetleri önemli ölçüde azalmaktadır. Ayrıca polimer-çimento oranının artması da mukavemet üzerindeki etkiyi de yavaş yavaş azalmaktadır.

Üretilen lateks katkılı normal beton karışımlarındaki mukavemet düşüklüğü yukarıda belirtilen hususlardan kaynaklanmış olabilir.

Yine Doğu [23], PVA katkılı betonlarda, PVA miktarı arttıkça normal betona göre numunelerin eğilmede çekme ve basınç mukavemetlerinde azalma olduğunu, akrilik katkılı numunelerde ise polimer-çimento oranının artmasıyla eğilme ve basınç

mukavemetlerinin bir miktar arttığını ileri sürmektedir. Özturan [33], uçucu kül kullanarak yapmış olduğu deneysel çalışmada, hem katkısız hem de uçucu kül katkılı karışımlarda lateks harçlarının basınç dayanımlarının lateks içermeyenlere oranla daha düşük olduğu ve lateks harçlarının basınç dayanımlarının uçucu kül oranındaki artışla azaldığı sonucuna varmıştır.

"F" gurubunu oluşturan Polimer katkılı betonların diğer bir varyasyonunu, "G" gurubunu ve BHP olarak kodlanmış polimer katkılı hafif betonlarla BHLP olarak kodlanmış çelik tel donatılı lateks katkılı hafif betonlar oluşturmaktadır. Bu seride de, normal betonlarda olduğu gibi, polimer karışım oranı %10, 20, 30 ve 40 olarak karma suyuna verilmiştir. Son seri olan BHLP serisinde polimer katkı maddesinin karışım oranı % 10 ve 30 şeklinde karışıma katılmıştır. Hafif agrega hacim oranı $V_{f \max} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur. Bu karışım oranlarına göre polimer katkılı normal ve hafif betonlar üzerinde yapılan tek eksenli basınç deneyleri sonucunda elde edilen ilişkiler tüm hafif seriler için toplu olarak Şekil-4.19'da gösterilmiştir.

İlgili Şekil-4.19'dan, hafif betonlara (BHP) katılan %10'luk lateks polimer katkısının betonların basınç mukavemetinde yaklaşık olarak % 0.2 gibi önemsiz bir artış sağladığı görülmektedir. Bu ihmal edilebilir bir değerdedir. Bunun yanında polimer katkı miktarının artırılmasına bağlı olarak basınç mukavemetinde azalmalar olmaktadır. Fakat bu % 10 oranından sonraki düşüş doğrusal değildir. Katkı oranının değişmesiyle bu düşüşte önemli değişimler olmamaktadır. Basınç mukavemetindeki bu bir miktar artışın, lateks polimer parçacıklarının hafif agreganın boşluklarına dolmasıyla oluşan lateks filim tabakasının mukavemeti arttırmasından ileri geldiği söylenebilir. Fakat bu değer önemli sayılabilecek sınırlar içerisinde olmadığı görülmektedir. Polimer katkı oranı % 40 olduğunda hafif betonların basınç mukavemetinde % 27'lik bir azalma olmaktadır. Bunun yanında birim ağırlıklarda önemli bir değişim görülmemektedir.

Polimer katkı maddesi kullanılarak yapılan çalışmalar, literatürde görüldüğü şekilde, normal beton ağırlıklıdır. Başka bir deyişle bu çalışmalar genel olarak normal agregalı betonlar üzerinde yapılmıştır.

Bu çalışmada lateks katkılı hafif betonlar üzerinde yapılan mekanik deneyler sonucunda elde edilen sonuçlar bazı özellikler bakımından, yukarıda sözü edilmiş olan çalışmalardan da elde edilen sonuçlarla bir benzerlik göstermektedir. Dolayısıyla lateks katkıların normal agregalı betonlardaki basınç mukavemeti davranışı ile hafif betonlardaki basınç mukavemeti davranışında, hafif betonlarda lateks katkı oranının 0.10 olduğu durumda az bir artış olmasına rağmen, benzerlikler olduğu, basınç mukavemetlerinin bir azalma eğilimi içinde buldukları görülmektedir.

"H" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde (BHLP) lateks katkı maddesinin kullanılmasıyla bu betonlardan elde edilen basınç mukavemeti değerleri ve ilişkileri yine yukarıdaki Şekil-4.19'da gösterilmiştir.

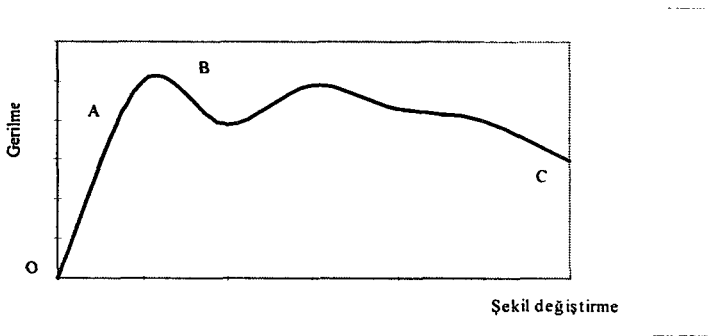
Şekilden de görüldüğü gibi hafif agrega karışım oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ ve çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ olan çelik tel donatılı hafif betonlara, karma suyuna göre 0.10 lateks katılması, bu betonların basınç mukavemeti değerlerini yaklaşık olarak %10 arttırmaktadır. Fakat lateks karışım oranı artırıldığı zaman basınç mukavemetinde bir azalma eğilimi izlenmektedir. Bu serilerde, polimer katkının belirli bir hacim oranında olmak üzere çelik tel donatılı hafif betonların basınç mukavemetinde daha etkin bir rol oynadığı görülmektedir.

Dolayısıyla bu beton serileri için de, yukarıdaki başlık altında söylenmiş olan nedenler ileri sürülerek, çelik tel donatılı hafif betonlarda da lateks polimer katkı maddesinin çelik tel donatılı hafif betonların basınç mukavemeti üzerinde $V_p = 0.10$ karışımında % 10 arttırırken, artan hacim oranlarında olumlu yönde değişikliklere neden olmadığı söylenebilir. Bununla birlikte birim ağırlıklarda bir azalma olduğu görülmektedir. Cimilli [33], yaptığı deneysel çalışmasında kullandığı stiren bütadyen lateks polimer katkının matris içerisinde esnek bir film tabakası oluşturduğundan matrisin dolayısıyla da betonun rijitliğinin azalmasına ve boşluk artışına neden olduğunu söylemiştir. Yukarıda da değinildiği gibi, Neville ise [93], hava sürükleyici özelliği olan katkıların, betona hava sürüklenmesine neden olmasıyla, betonun basınç mukavemeti değerlerinde azalmalara neden olacağını ifade etmiştir. Bu özellikler, bilindiği gibi, mukavemet üzerinde etkili olmaktadır.

4.3.4 Eğilmede İlk Çatlak Gerilmesi Açısından Karışımları İredelenmesi

Betona katılan çelik teller onun çatlama ve kırılma davranışlarını etkilemektedir. Bu etkiyi iki ayrı görüş açısından inceleyenler vardır. Bunlardan ilki tellerin etkisini kompozit malzeme olarak ele alanlardır. Diğeri ise çatlama teorisidir [54].

İnce tellerle donatılı betonlar çekme, eğilme veya basınç etkilerine maruz kalacak olurlarsa elde edilecek gerilme - şekil değiştirme grafiği Şekil-4.20' de gösterilmektedir.



Şekil-4.20 Tellerle donatılı betonlarda gerilme-şekil değiştirme grafiği

Bu grafiğin (OA) ile gösterilen kısmında gerilmeler şekil değiştirmelerle doğrusal olarak değişmektedir. Bu bölgede hem beton hemde teller elastik olarak davrandığı için kompozit malzemenin elastik sabitleri hesaplanabilmektedir. Gerilme (A) noktasındaki değerine ulaşıncaya çatlamalar başladığı için (σ - ϵ) grafiği doğrudan sapmakta ve gittikçe yatıklaşmaktadır. Çatlamaların başladığı bu noktaya elastiklik sınırı veya ilk çatlama mukavemeti adı verilmektedir. İlk çatlama sonrası eğri haline gelen (σ - ϵ) grafiği (B) noktasında maksimum seviyesine ulaşmakta ve sonra azalan bir eğri durumuna gelmektedir. Bu bölgede tellerin etkisi daha da belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Çünkü ilk çatlama matris fazda oluşunca teller gerilerek daha fazla kuvvet almaya başlamaktadır. Bu nedenle çelik tellerle donatılı betonlarda maksimum gerilme ve şekil değiştirme daha büyük değerler alabilmektedir. (B) noktasından sonraki davranış çelik teller tarafından belirlenmektedir.

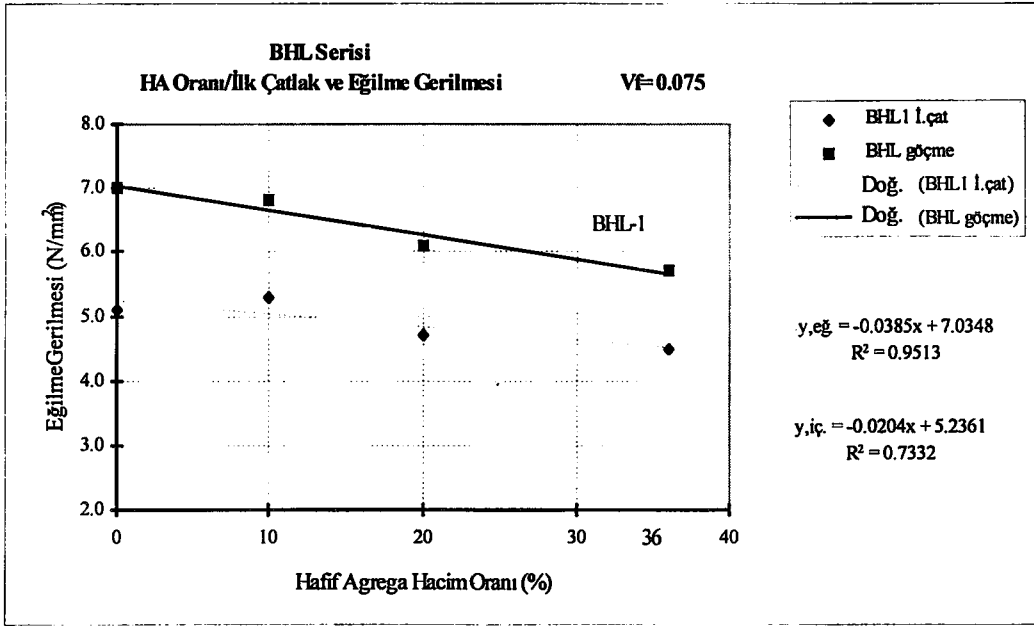
Normal betonda maksimum gerilmeye ulaşıldığında beton parçalanarak kırıldığı halde, çelik tellerin katılması betonun parçalanmasını önlemekte ve grafikte gösterilmiş olan eğimin azalan kısmının oluşmasını sağlamaktadır. Çelik tel miktarı arttıkça inen kısımdaki azalma hızı yavaşlamaktadır [54]

Eğilmede ilk çatlak gerilmeleri ölçümleri, çelik tel donatılı normal (BL), çelik tel donatılı hafif (BHL) ve çelik tel donatılı lateks katkılı hafif betonlar (BHLP) serileri üzerinde yapılmıştır. Her gurubu oluşturan beton serilerinin ilk çatlak gerilme davranışları alt başlıklarda irdelenmektedir.

4.3.4.1 Donatılı Hafif Betonlarda Hafif Agrega Hacim Oranı İle İlk Çatlak Gerilmesi Arasındaki İlişkiler

"D" gurubu olarak isimlendirilmiş çelik tel donatılı hafif beton serilerinde çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit olarak tutulmuştur. Bu serilerde betonun iri agregaya bölümü belirli oranlarda hafif agregaya ile değiştirilerek, 4.ncü seride hafif agregaya hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olan çelik tel donatılı hafif betonlar elde edilmiştir. Bu değişimlere göre hafif betonlar üzerinde yapılan eğilme deneyleri neticesinde saptanan ilk çatlak gerilmesi ilişkileri aşağıdaki Şekil-4.21'de gösterilmiştir.

Hafif betonlarda karışıma giren hafif agregaya hacim oranına bağlı olarak ilk çatlak gerilme değerleri bir miktar azalma eğilimi göstermektedirler. Bu betonlarda çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabittir. Değişken olan hafif agregaya hacim oranıdır. Hafif agregaya hacim oranı maksimum sınıra çıkarıldığında ilk çatlak gerilmesi kontrol betonuna göre % 11 dolayında azalmaktadır. Hafif agregaya hacim oranı maksimum seviyede tutularak bu betonlara 0.0075 oranında çelik tel ilave edilmesiyle, 0.005 oranında çelik tellerle donatılmış normal betonun ilk çatlak gerilmesi seviyesine ulaşılmış olmaktadır.



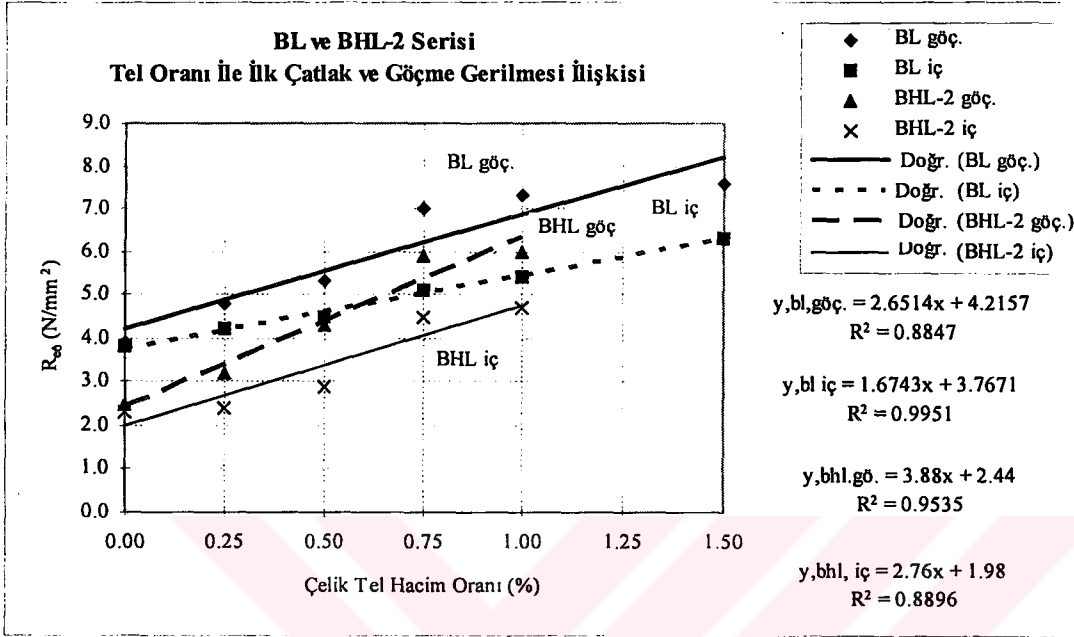
Şekil-4.21 Donatılı hafif betonlarda agrega hacim oranının ilk çatlak gerilmesi üzerine etkisi

Yukarıdaki şekil incelendiğinde, hafif agrega karışım oranının ilk çatlak gerilmesi değerini bir miktar azaltmasına rağmen, hafif betonlara belirli bir oranda çelik tel katılmasıyla, hafif agrega hacim oranına bağlı olmaksızın, bu betonların ilk çatlak gerilmeleri önemli sayılabilecek bir oran dahilinde değişmemektedir. Bir miktar düşüşe hafif agrega mukavemetinin düşük olması ve ilk çatlağın agregaların kırılması sonucunda başlaması neden olmaktadır. Şekilden hafif agrega hacim oranı arttıkça, ilk çatlak gerilmesinin, göçme mukavemetine yaklaşmakta olduğu, bu ise artan V_{hag} ile agreganın ilk çatlak gerilmesinin, göçmeye göre daha az etkilendiği ve ayrıca liflerin etkinliğinin de göçmede nisbeten daha azalmakta olduğu görülmektedir. Böylece, hafif betonlara çelik tel takviye edilmesi bu betonların ilk çatlak gerilme davranışları üzerinde olumlu bir etki yaptıkları söylenebilmektedir.

4.3.4.2 Normal Betonlarda Çelik Tel Oranının İlk Çatlak Gerilmesi Üzerindeki Etkileri

Donatılı betonlarda, eğilme halinde normal betonda görülen ani göçme yerine beton çatladıktan sonra da bir miktar yük taşımaktadır. Dolayısıyla bu tür betonlarda, daha önce de değinildiği gibi, eğilme halinde iki farklı gerilme ile karşılaşmaktadır. Bunlar ilk çatlak gerilmesi ve göçme (maksimum gerilme) gerilmedir. TS 10515'de ilk çatlak gerilmesi, yük-sehim eğrisinin ilk kez doğrusal yoldan saptığı sırada numunede oluşan çatlak olarak tanımlanmaktadır. Çelik tel donatılı betondaki yük-sehim eğrisi üzerinde üzerinde ilk çatlağın meydana geldiği sehim değeri, ilk çatlak sehimi olarak isimlendirilmektedir.

"C" ve "E" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı normal (BL) ve hafif betonlar (BHL) üzerinde yapılan eğilme mukavemeti deneyinde saptanmış olan bu betonların ilk çatlak gerilme değerleri ve ilişkileri aşağıdaki Şekil-4.22'de verilmiştir.



Şekil-4.22 Normal ve hafif betonlarda çelik tel hacim oranının ilk çatlak gerilmesi üzerine etkisi

Yukarıdaki şekilden, çelik tellerle normal donatılı betonlarda çelik tel donatının eğilme halinde ilk çatlak gerilmeleri görülmektedir.

Betonlara katılan çelik tel karışım oranına bağlı olarak ilk çatlak gerilme değerleri doğrusal olarak büyük bir oranda artmaktadır. Üretilmiş olan normal betonlara $V_f = 0.005$ oranında çelik tel katıldığında betonun ilk çatlak gerilmesi değerlerinde % 19 dolayında, 0.0075 oranında % 35, 0.01 oranında % 42 ve 0.015 oranında ise % 66 artış olmaktadır. Bu karışım oranı 0.02'ye çıkarıldığı zaman ilk çatlak gerilmesindeki artış % 82 dolayında olmaktadır. Bu orandan sonra eğilmede ilk çatlak gerilme değerleri düşmektedir. Diğer mekanik özelliklerde olduğu gibi, çelik tel oranının belirli bir sınırı aşması ile birlikte, betonların üretimden kaynaklanan kusurlardan dolayı ilk çatlak gerilmesinin artışında önce bir duraklama, sonra da bir düşüş görülmektedir. Ayrıca çelik tel katılması ile artan lif hacim oranı ile $\sigma_{iç}$ ile σ_{max} gerilmeler oranındaki farklar artmaktadır. Bu ise çelik tellerin giderek etkinleştiği, yani artan (V_f) ile ilk çatlak sonrası kırılma ile ilgili olarak gerekli enerjinin arttığı anlamına gelmektedir. Bu verilere göre normal betona katılan çelik tel hacim oranına bağlı olarak ilk çatlak gerilemelerinin belirli bir çelik tel hacim oranına göre doğrusal olarak arttığı, bunun sonucu olarak çelik tel oranının donatılı betonların kırılma enerjisini arttırdığı belirlenebilir. Literatürde [62], donatılı

betonlarda ilk çatlak gerilme değerlerinin normal betona göre % 25 ile % 100 arasında artabileceği ifade edilmektedir.

Normal betonlardaki çatlak veya kusurun büyümesi için gerekli olan enerji düşüktür. Bu betonlar çelik tellerle donatıldığında, donatı sayesinde mevcut kuvvetin mikro çatlaklara etkisi ayrılmış ve etrafa dağılmış olmaktadır. Böyle olunca çatlağı büyütmek için daha fazla kuvvete ihtiyaç duyulmaktadır. Çatlağı büyütmek için gerilmenin devam etmesi gerekmektedir. Maksimum gerilme düzeyine ulaşıldığında ve betonda göçme olduğunda bile çelik teller beton parçalarını birarada tutma-taşıma işlevini sürdürmektedir.

Ersoy [61], liflerde donatılı kompozitlerde, eğilme ve çekme gerilmelerine paralel olarak ilk çatlak gerilmesinin de artan lif hacim oranı ile birlikte olumlu yönde etkileneceğini belirtmektedir. Ancak yine diğer özelliklerde olduğu gibi, lif oranının belirli bir üst sınırı aşması ile birlikte, üretimden kaynaklanan hatalar nedeniyle ilk çatlak gerilmesinin yükselmesinde de önce bir duraklama, daha sonra bir düşüş görülecektir. Gököz [54], ince tellerin katılmasının betonu sünekleştirdiğini ve kırılma işini, yalın betona göre 6 misline kadar çıkardığını ileri sürmüştür. Craig [28], yapmış olduğu deneysel çalışmalarının birinde çelik tel donatılı hafif betonların mekanik özelliklerini ve yapı elemanlarının davranışlarını araştırmıştır. Burada amaçlanan diğer bir konu da çelik tel kullanmakla hafif betonlarda düşük olan çekme gerilmesinin artırılmasının sağlanabileceğini görmektir. Araştırma sonucunda çekme gerilmesinde ve eğilme mukavemetlerinde önemli derecede bir artış olduğu, sünmenin arttığı ve ilk çatlak süresinin uzadığı tesbit edilmiştir. Çelik lifli betonarme duvar projesi kapsamında Moyson ve Nemegeer tarafından yapılan diğer bir çalışmada [81], ZC 50/50 tipteki liflerin 50 kg/m³lük bir dozaj miktarı için, eşdeğer direncin betonun ilk çatlak direncini % 94, göçme direncini ise % 20 artırdığı belirtilmektedir. Literatürde bu konu ile ilgili olarak belirtilen hususların elde edilen sonuçlara benzer olduğu görülmektedir.

Çelik tel donatılı hafif betonların ikinci grubu "E" olarak adlandırılmış ve BHL-2 şeklinde kodlanmış bulunan serilerdir. Bu serilerde hafif agrega hacim oranı sabit olarak tutulmuş ve çelik tel hacim oranları belirli miktarlarda değiştirilmiştir. Çelik tel hacim oranlarının değişimine göre, hafif betonlar üzerinde yapılan eğilme deneylerinde gözlemlenen ilk çatlak gerilme ilişkileri yine yukarıdaki Şekil-4.22'de gösterilmiştir.

Yukarıdaki şekil incelendiğinde, çelik tel karışım oranının hafif betonların ilk çatlak gerilme değerlerini de doğrusal bir şekilde yükseltmekte olduğu görülmektedir.

Böylece hafif betonlarda karışıma giren donatı malzemesi, hacim oranına bağlı olarak ilk çatlak gerilme değerlerini önemli sayılabilecek ölçüde artırdığı görülmektedir. Burada hafif agrega hacim oranı sabit olarak tutulmuştur. Değişken olan çelik tellerin hacim oranıdır. Hafif betonlarda çelik tellerin hacim oranı 0.01'e çıkarıldığında ilk çatlak gerilmesi, tel hacim oranının 0.0025 olduğu betona göre %

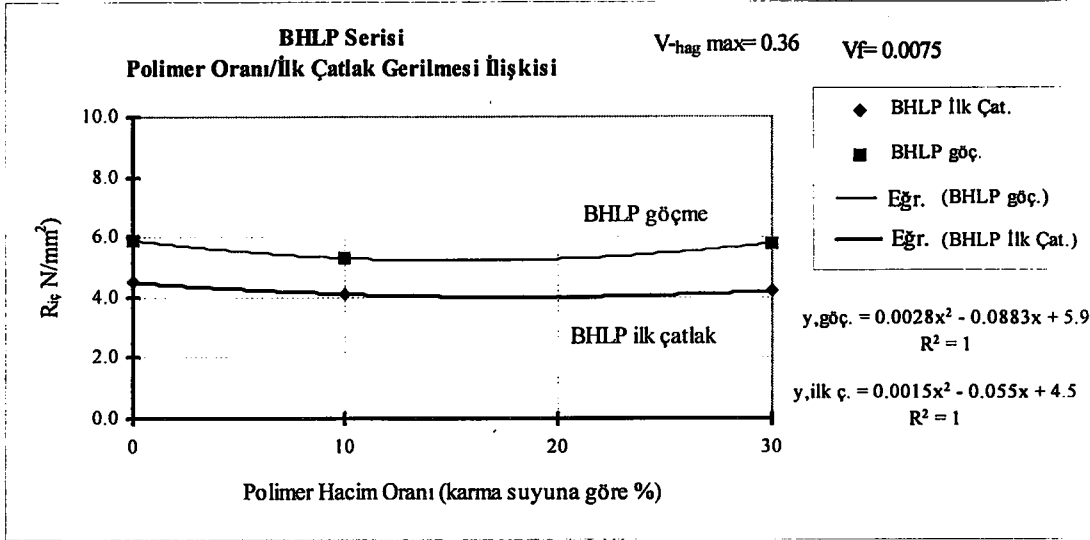
96 dolayında artmaktadır. Hafif betonlarda hafif agrega hacim oranı maksimum düzeyde tutularak bu betonlara 0.0075 oranında çelik tel ilave edilmesiyle, 0.005 oranında çelik tellerle donatılmış normal betonun ilk çatlak gerilmesi seviyesine ulaşılmış olmaktadır. Çelik donatı telleri, normal betonlara göre hafif betonların ilk çatlak gerilme değerleri üzerinde daha etkin bir rol oynadıkları görülmektedir.

Donatısız normal betonlarda ilk çatlama bölgesi matrise çok yakın olmaktadır. Bu betonlarda gevrek özellikte olan matris kırılğan bir niteliktedir ve çatlamayla birlikte mukavemet aniden ortadan kalkmaktadır. Donatılı betonlarda tellerin etkisi işte bu noktadan sonra belirgin bir şekilde kendini göstermektedir. Beton çatladıktan sonra tellerin etkisiyle ani olarak mukavemet düşüklüğü söz konusu olmadığı gibi belirli bir miktar daha yük taşımaya devam etmektedir. Normal betonlar için ileri sürülen bu görüşler hafif betonlar için pek geçerli olamamaktadır. Burada matrisin mukavemeti hafif agreganın mukavemetinden daha yüksek olduğu için ilk kırılma matriste değil agregada ortaya çıkmaktadır. Dolayısıyla ilk çatlağın matrisi oluşturan çimento fazında değil agreganın kendisinde olduğu anlaşılır. Agregada çatlaklar oluşmasına rağmen mukavemeti yüksek olan harç fazı eğilme durumunda yine de yük alabilmektedir. Harç fazı çelik tellerle donatıldığında eğilme halindeki gerilme değerleri artışlar gösterebilmektedir. Bu nedenle bu hafif betonları, çelik tellerle donatmakla ilk çatlak gerilmesi ve göçme gerilmeleri bakımından zayıf olan mukavemetlerini büyük ölçüde iyileştirmek mümkün olabilmektedir.

4.3.4.3 Çelik Tel Donatılı Hafif Betonlarda Lateks Polimer Katkı Maddesinin İlk Çatlak Gerilmesi Üzerine Etkisi

"H" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde (BHLP) lateks katkı maddesinin kullanılmasıyla bu betonların ilk çatlak gerilmeleri arasındaki ilişkiler aşağıda Şekil-4.23'de gösterilmiştir.

Şekil-4.23'den de görüldüğü şekilde, çelik tel donatılı hafif betonlara katılan lateks polimer katkısının bu betonların eğilme mukavemetlerine benzer davranışlar göstererek, ilk çatlak gerilmesi değerlerinde de önemli sayılabilecek etki yapmadığı izlenmektedir. Lateks polimer katkı maddesi miktarınının % 30 olması durumunda eğilme mukavemeti çelik tel donatılı kontrol betonunun eğilme mukavemetine yaklaşık bir değer almaktadır. Bu karışım oranında mukavemetlerde bir artış eğilimi görülmekle birlikte, bu deney serilerinin hazırlanmasından önce yapılmış olan ön deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu oranın arttırılmasının eğilme mukavemetinde önemli bir artış sağlamadığı yukarıda söylenmişti. Aynı şekilde ilk çatlak gerilmeleri üzerinde de bu davranışın söz konusu olduğu görülmektedir.



Şekil-4.23 Çelik tel donatılı hafif betonlarda lateks polimer katkı oranının ilk çatlak gerilmesi üzerine etkisi

Bu irdelemeler neticesinde lateks polimer katkı maddesinin gerek hafif betonların gerek çelik tel donatılı hafif betonların, üretilen polimer karışım oranlarına göre, ilk çatlak ve göçme gerilmeleri üzerinde önemli rol oynamadıkları sonucuna varılmaktadır.

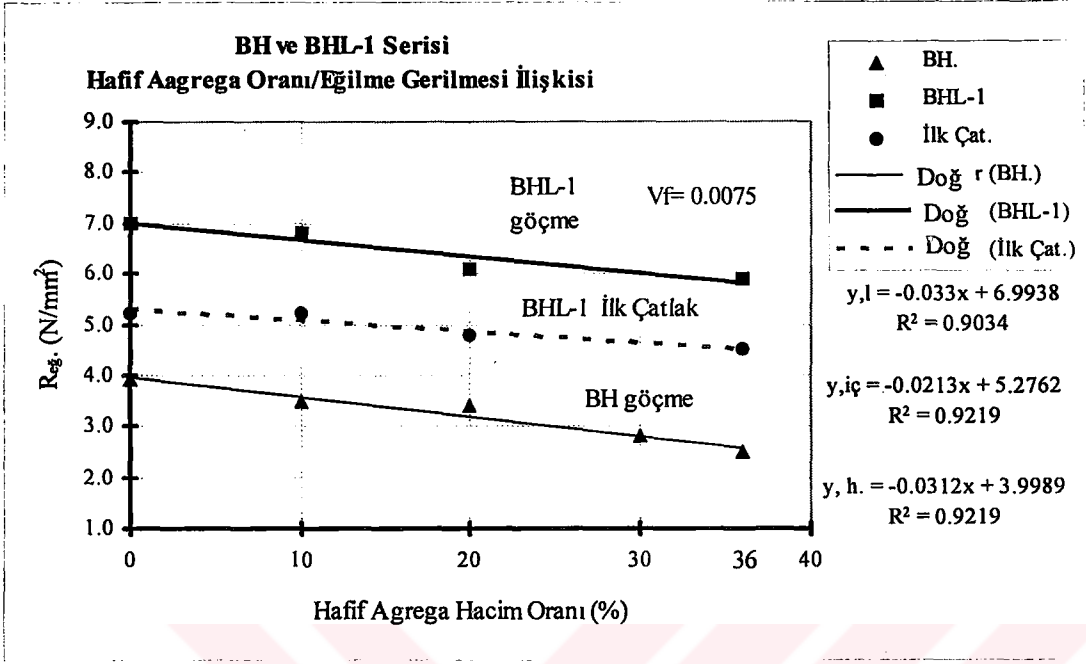
4.3.5 Eğilme Mukavemeti Açısından Karışımların İrdelenmesi

Bu başlık altında karışıma giren bileşenlerin, normal betonların ve hafif betonların eğilme mukavemeti üzerinde oluşturduğu mekanik etkiler irdelenmektedir. Eğilme deneyleri, her karışım serisi kapsamında üretilen 10 x 10 x 40 cm. boyutlarında beton prizmalar üzerinde uygulanmıştır.

4.3.5.1 Hafif Agreganın Betonların Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi

Hafif betonların üretiminde kullanılan süngertaşı hafif agregasının özellikleri, bu betonların diğer mekanik özelliklerini olduğu gibi, eğilme mukavemetlerini de önemli ölçüde etkilemektedir.

"B" gurubunu oluşturan (BH) olarak kodlanmış bulunan hafif beton ve "D" gurubunu oluşturan (BHL-1) şeklinde kodlanmış olan serileri üzerinde yapılan 1/3 noktalı eğilme mukavemeti deneyleri sonucunda elde edilen ilişkiler aşağıdaki Şekil-4.24'de verilmiştir.



Şekil-4.24 Hafif betonlarda değişken hafif agregası oranının eğilme mukavemeti üzerine etkisi

Şekilden de görüldüğü gibi betonların eğilme mukavemetleri hafif agregası karışım oranlarına bağlı olarak her iki seride de aynı şekilde düşmektedir. Eğilme mukavemetindeki bu davranış, hafif betonların basınç mukavemetindeki davranışlarına benzer özelliktedir. Eğilme mukavemetindeki bu azalma, bilindiği gibi, sünger taşı hafif agregasının mukavemetinin düşük olmasından kaynaklanmaktadır. Burada mukavemeti belirleyen, agreganın mukavemeti olmaktadır.

Hafif agreganın etkisinin araştırıldığı "D" gurubu deney serilerinde (BHL-1) çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit olarak tutulmuş ve hafif agregası hacim oranı değiştirilmiştir. Bu değişim sonucunda hafif betonların eğilme gerilmeleri ile hafif agregası hacim oranı arasındaki ilişkiler yine yukarıdaki Şekil-4.24'de gösterilmiştir.

Çelik tel hacim oranı sabit olarak alınıp hafif agregası hacim oranı değiştirilerek üretilen bu deney betonlarında, eğilme mukavemeti hafif agregası karışım oranına bağlı olarak azalmaktadır. Eğilme gerilmesindeki bu azalmaya, doğal olarak hafif agregası mukavemetinin düşüklüğünün neden olduğu açıktır. Hafif agregası karışım oranı maksimum 0.36 olduğu durumda eğilme gerilmesi 5.9 N/mm^2 olarak elde edilmiştir. Aynı çelik tel hacim oranına sahip hafif agregasız normal betonda

eğilme gerilmesi 7.0 N/mm^2 'dir. Dolayısıyla şu sonuca varılabilir. Çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ olan normal betonun iri agrega gurubu tamamen hafif agrega ile değiştirildiğinde eğilme mukavemeti normal betonun eğilme mukavemetine göre % 15 azalmaktadır.

Buna karşın çelik tel donatısız hafif betonun (BH) eğilme mukavemetine göre ise donatılı hafif betonun (BHL-1) eğilme mukavemeti değerleri arasında % 58 gibi bir oran vardır. Normal betona aynı oranda çelik tel katılmakla eğilme mukavemetinde % 80'lik bir artış sağlanırken bu oran hafif betonlar için % 136 olmaktadır. Sonuçta çelik tel donatı malzemesinin hafif betonlarda, normal betonlara göre eğilme mukavemeti açısından daha olumlu bir etki oluşturduğu söylenebilir.

4.3.5.2 Çelik Tel Hacim Oranının Üretilen Betonların Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkisi

Çelik tel donatılı karışımlardaki eğilme mukavemeti özellikleri, çelik tel donatılı normal beton (BL) ve çelik tel donatılı hafif beton (BHL) karışımlarında olmak üzere iki grupta ele alınıp, alt başlıklarda bu grupları oluşturan betonların eğilme mukavemeti açısından değerlendirmeleri yapılmaktadır.

Çelik tel donatının, betonunun eğilme halindeki davranışı üzerindeki etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle çelik tel donatının betonunun eğilme mukavemeti üzerinde önemli artışlara neden olduğu söylenebilir. Diğer özelliklerde de görüldüğü gibi, çelik telin türü, şekli, narinlik oranı ve hacim oranı gibi hususlar bu konuda da belirleyici rol oynamaktadırlar.

"C" gurubunu oluşturan değişken çelik tel donatılı normal (BL) ve hafif betonlara (BHL-1) uygulanan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen ilk çatlak ve göçme gerilmeleri arasındaki ilişkiler yukarıda başlık 4.3.4.2 ve Şekil-4.22'de birlikte gösterilmiştir.

Şekil-4.22'den, çelik tellerle normal donatılı betonlarda çelik tel donatının eğilme halinde etkisi belirgin bir şekilde görülmektedir. Bilindiği gibi eğilme halinde iki farklı gerilme söz konusu olmaktadır. Bunlar ilk çatlak gerilmesi ve maksimum (göçme) gerilmesidir. İlk çatlak gerilmesi, yük-sehim eğrisi üzerinde ilk kez doğrusal yoldan sapıldığı anda numunede oluşan çatlak olarak tanımlanmaktadır [90]. Bu seviyenin aşılması ile eğilmeye taşınabilen en yüksek gerilme sınırında beton göçmektedir.

Betonlara katılan çelik tel karışım oranına bağlı olarak eğilme gerilmeleri büyük bir oranda artmaktadır. Normal betona $V_f = 0.0025$ oranında çelik tel katıldığında betonun eğilme mukavemetinde % 23, $V_f = 0.005$ oranında % 35, $V_f = 0.0075$ oranında % 80, ve $V_f = 0.015$ oranında ise % 95 artış olmaktadır. Bu karışım oranı 0.02'ye çıkarıldığı zaman eğilme mukavemeti bir miktar düşerek % 92 dolayında olmaktadır. Buna, betonun hazırlanmasında, çelik tel hacim oranının artması sonucu tellerin guruplaşmasıyla ortaya çıkan karıştırma ve yerleştirmedeki zorluklar sonucunda betondaki boşlukların artmasıyla mukavemetin düşmesi neden

olmaktadır. Bu sonuçlardan sonra, daha sonraki karışımlar için çelik tel hacim oranı 0.0075 şeklinde sabit olarak kabul edilmiştir. Gerçi bu orandan sonra da eğilme mukavemeti ve yarma mukavemetindeki artışlar devam etmektedir. Fakat bunun yanında hem taze betonun hazırlanmasında zorluklarla karşılaşmakta hem de sertleşmiş betonun diğer mekanik mukavemet değerlerinde azalmalar olmaktadır.

Çalışmanın teorik kısmında değinildiği gibi, çelik tel donatılı betonlarda, matrisin görevi telleri birbirine bağlamak, bunları korumak ve gerilemeleri tellere aktarmaktır. Dolayısıyla eğilme gerilmesindeki bu artışlar çelik tellerin gerilme mukavemetlerinin, matrisi oluşturan çimento hamurunun mukavemetinden daha yüksek olmasından ileri gelmektedir. Bu betonlarda gerilme şekil değiştirme davranışı iki farklı bölgede ele alınmaktadır. Kuvvet uygulanması ile birlikte giderek artan gerilmenin etkisi ile meydana gelen ilk çatlama kadar olan davranış, donatısız betonunkine, matrise, çok yakındır. Ancak gevrek nitelikteki matriste, çatlama sonrası mukavemet birden ortadan kalkmasına karşın, çelik tellerin etkisi bu noktadan sonra açıkça görülmektedir. Bu davranış üzerinde, daha önce de söylenildiği gibi, çelik tellerin şekli, narinlik oranı ve hacim oranları etkili olmaktadır.

Daha önce çelik tel donatılı betonlar konusunda yapılmış çalışmalarda da [28, 29, 60, 62, 74] çelik tellerin betonun eğilme mukavemetini iyileştirdiği belirtilmektedir. Örneğin, Craig [28], çelik tel donatılı betonlar üzerinde yaptığı araştırmasında betona lif ilave etmekte eğilme mukavemetinde % 100'den fazla bir artış sağlanabildiğini söylemiştir. Ersoy [61] ve Gököz [54], çelik tellerle donatılı betonlarda çelik tel donatısının, betonun eğilme mukavemetini belirgin bir şekilde arttırdığını belirtmektedirler. Yavuz [18], lif takviyesinin betonun kırılma, çekme ve yorulmaya karşı direncini arttırdığını belirtmiştir. Gündüz ve Yalçın [74], normal betona çelik tel takviyesinin betonların eğilme mukavemetlerini % 148 oranında arttırdığını ileri sürmüşlerdir. Dolayısıyla elde edilen sonuçların literatürde belirtilenlerle uygunluk içerisinde olduğu görülmektedir.

"E" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı yarı hafif beton (BHL-2) serilerinde ise hafif agrega hacim oranı maksimum seviyede sabit olarak alınmış ($V_{hag\ max} = 0.36$) ve çelik tel hacim oranları değiştirilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen ilk çatlak ve eğilme gerilmeleri değerleri yine yukarıdaki Şekil-4.22'de gösterilmiştir.

Çelik tel hacim oranları belirli miktarlarda değiştirilerek hafif agrega hacim oranı sabit olan bu deney betonlarında, eğilme mukavemeti çelik tel karışım oranına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermektedir. Eğilme gerilmesindeki bu artışı, doğal olarak çelik tel donatısının hafif betonlara kazandırmış olduğu mekanik özelliklerden ileri gelmektedir.

Hafif betonlara $V_f = 0.0025$ oranında çelik tel katıldığında eğilme gerilmesi kontrol betonunkine göre % 28, $V_f = 0.0050$ oranında % 52, $V_f = 0.0075$ oranında % 136 ve $V_f = 0.01$ oranında ise % 140 artmaktadır. Hafif betonların eğilme

gerilmelerinde, katılan çelik tel oranına bağlı olarak izlenen artış oranları çelik tel donatılı normal betonlara göre daha yüksek olmaktadır.

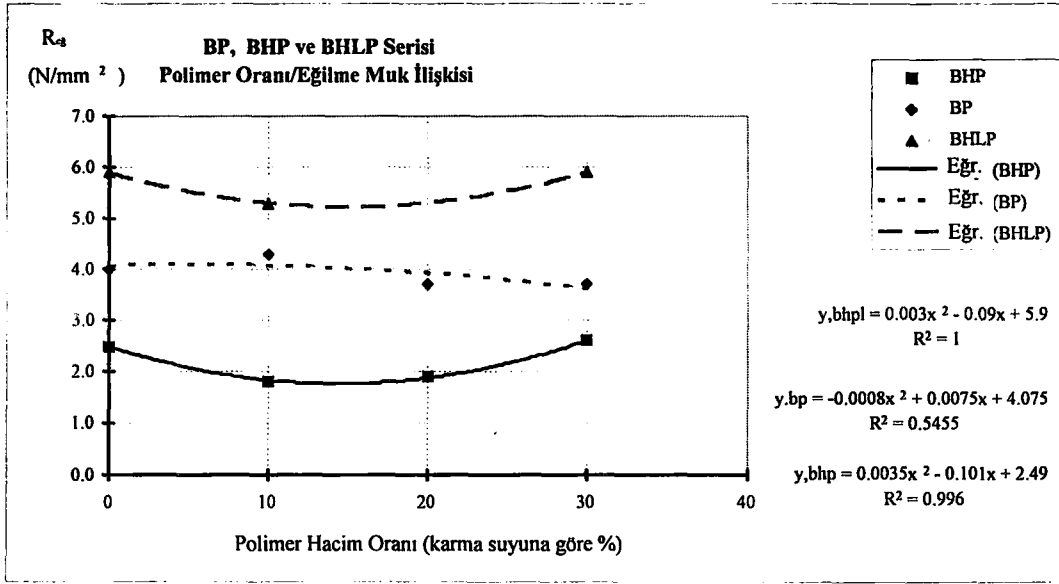
Dolayısıyla çelik tel donatılı hafif betonlarda değişken hafif agrega hacim oranına göre eğilme gerilmelerinde azalma olduğu fakat, hafif agrega hacim oranı sabit tutularak çelik tel hacim oranının 0.01 olduğu seviyeye kadar belirli oranlarda değiştirilmesiyle bu değişime bağlı olarak eğilme gerilmelerinde doğrusal bir artış olduğu sonuç olarak söylenebilir. Yıldırım [10], lif hacim oranına bağlı olarak yarı hafif betonların eğilme mukavemetlerinde büyük artışlar olacağını ileri sürmektedir. Fransa'da [58] yapılan hafif betonlar üzerindeki çalışmalarda da normal agregalı betonların eğilme mukavemetlerine ulaşmak için, yarı hafif betonlarda yaklaşık olarak hacimce % 0.5, hafif betonlarda ise yaklaşık hacimce % 0.9 lif kullanımının yeterli olacağı saptanmıştır. Burada kullanılan teller farklı özelliklere sahiptirler. (BN) serisini oluşturan kontrol betonun eğilme mukavemetine ulaşmak için, hafif betonlara 0.005 çelik tel katılması yeterli olacağı bu şekilde ortaya çıkmaktadır. Balaguru ve Fodan [61] yaptıkları deneysel çalışmalarda geliştirilmiş hafif agrega kullanarak ürettikleri betonlarda çelik liflerin etkilerini araştırmışlar ve liflerin hafif betonların eğilme ve yarma mukavemetlerini büyük ölçüde arttırdığını söylemişlerdir. Bunun yanında çelik tel tipinin ve narinlik oranının da eğilme mukavemeti üzerinde etkili olacağı belirgindir.

4.3.5.3 Polimer Katkının Üretilen Betonların Eğilme Mukavemeti Üzerine Etkileri

Daha önce de değinildiği gibi Polimer katkılı beton serileri, "F" gurubunu oluşturan lateks katkılı normal (BP) ve "G" gurubunu oluşturan lateks katkılı hafif beton (BHP) ve "H" gurubunu oluşturan lateks katkılı çelik tel donatılı hafif beton (BHLP) serileri olmak üzere üç grupta yapılmıştır.

Polimer katkılı normal beton serilerinde (BP) polimer katkı maddesi karışım oranı karma suyuna göre belirlenerek, yüzde 10, 20, 30 ve 40 olmak üzere değiştirilmiştir. Bu değişim sonucunda normal betonların, katkılı hafif betonların (BHP) ve çelik tel donatılı hafif betonların (BHLP) eğilme mukavemeti ilişkileri Şekil-4.25'de verilmiştir. Buradaki eğilme mukavemeti değerleri, bu betonlar üzerinde yapılan 1/3 noktalı eğilme deneyi sonucunda elde edilmiş değerlerdir.

Aşağıdaki Şekil-4.25'den, normal agregalı (BP) betonlara katılan hacimce 0.10'luk lateks polimer katkısının betonların eğilme mukavemetinde yaklaşık olarak % 10 gibi bir artış sağladığı görülmektedir. Bunun yanında polimer katkı miktarının arttırılmasına bağlı olarak eğilme mukavemetinde azalmalar olmaktadır. Fakat bu % 10 oranından sonraki düşüş doğrusal değildir. Katkı oranının değişmesiyle bu düşüşte önemli değişimler olmamaktadır. Fakat lateks katkı oranının % 40 olduğu seviyedeki eğilme gerilmesi kontrol betonun eğilme gerilmesine yaklaşık değerdedir.



Şekil-4.25 Beton karışımlarında farklı oranlardaki lateks katkı hacim oranının eğilme gerilmesi üzerine etkisi

Eğilme mukavemetindeki bu bir miktar artışın, lateks polimer parçacıklarının hafif agreganın boşluklarına dolmasından ve hafif agregaların üzerinde oluşturduğu filim tabakasının mukavemetteki olumlu etkisinden ileri geldiği söylenebilir. Fakat bu değer önemli sayılabilecek sınırlar içerisinde olmadığı görülmektedir. Doğu [23], çimentoya katılan polimer latekslerin bir gurubu olan termoplastik latekslerden polivinil asetatı kullanarak üretmiş olduğu normal betonların eğilme ve basınç gerilmelerinde azalmalar olduğu ileri sürmektedir. Bizim çalışmamızda seçilmiş olan lateks türü ise yine çimentoya katılan latekslerin bir gurubunu oluşturan elastomerik lateks sınıfına girmektedir.

Dolayısıyla sonuç olarak deneysel çalışmada kullanılmak üzere seçilen lateks polimer katkı maddesinin normal betonların eğilme mukavemetinde, lateks hacim oranının $V_p = 0.10$ olduğu karışımda % 10 gibi bir artış sağlamış olmasına rağmen, diğer karışım oranlarında olumlu yönde bir etki yapmadığı saptanmıştır. Cimilli [30] ve Irvin [95], lateks katkı maddesinin betonların çekme dayanımlarını etkilediğini ve belirli bir hacim oranında iyileşme sağladığını ifade etmişler, Cimilli, bu etkilerin katkı türüne göre değiştiğini söylemiştir. Böylece elde edilen sonuçların literatürde belirtilenlerle uyum içinde olduğu görülmektedir.

"F" gurubunu oluşturan Polimer katkılı normal betonların diğer bir varyasyonunu, "G" gurubu olarak adlandırılmış ve BHP şeklinde kodlanmış olan polimer katkılı hafif betonlar oluşturmaktadır. Bu seride de, normal betonlarda olduğu gibi, polimer karışım oranı yine aynı şekilde olarak karma suyuna verilmiştir.

Hafif agrega hacim oranı $V_{f \max} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur. Bu karışım oranlarına göre polimer katkılı yarı hafif betonlar üzerinde yapılan eğilme deneyleri sonucunda elde edilen ilişkiler aynı Şekil-4.25'de gösterilmiştir.

Yukarıdaki Şekil-4.25'den de anlaşıldığı gibi, hafif betonlara katılan lateks polimer katkısının bu betonların eğilme mukavemeti değerlerini düşürdüğü görülmektedir. Bunun yanında polimer katkı maddesi miktarının arttırılmasına bağlı olarak eğilme mukavemetinde bir miktar artış olmaktadır. Bu artış polimer katkı oranının % 40 olduğu sınıra kadar doğrusal olmaktadır. Lateks katkı oranının % 40 olduğu seviyedeki eğilme gerilmesi hafif kontrol betonun eğilme gerilmesine yaklaşık degerdedir. Daha önce yapılmış olan ön deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu oranın arttırılmasının eğilme mukavemetinde bir artış sağlamadığı anlaşılmıştır. Hafif betonlara % 40 oranında lateks polimer katkı maddesi katılması bu betonların eğilme gerilmesini çok az arttırmaktadır. Fakat bu degerin önemli sayılabilecek sınırlar içerisinde olmadığı görülmektedir.

Sonuç olarak lateks polimer katkı maddesinin hafif betonların eğilme mukavemetleri üzerinde iyileştirici bir etki oluşturmadığı söylenebilir. Normal betonlarda lateks polimer katkısının % 10 olduğu karışımda daha iyi bir aderans sağlanabildiği bunun yanında hafif betonlarda bunun gerçekleşmediği görülmektedir. Hafif betonlarda aksine %10 katkılı hafif betonlarda eğilme dayanımı % 28 oranında düşmekte, ancak artan polimer katkı oranı ile katkısız kontrol hafif betonun eğilme mukavemeti degeri az da olsa aşılmaktadır.

Son olarak "H" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde (BHLF) lateks katkı maddesinin kullanılmasıyla bu betonların eğilme mukavemeti davranışları yine yukarıdaki ilgili Şekil-4.25'de gösterilmiştir. Bu guruba giren beton karışımlarında da genel olarak BHP gurubunun özelliklerine benzer davranışlar görülmektedir.

Şekil-4.25'den de görüldüğü şekilde, çelik tel donatılı hafif betonlara katılan lateks polimer katkısının bu betonların eğilme mukavemeti degerlerini az bir miktar düşürdüğü görülmektedir. Bunun yanında polimer katkı maddesi miktarınının % 30 olması durumunda eğilme mukavemeti çelik tel donatılı kontrol betonunun eğilme mukavemetine yaklaşık deger almaktadır. Daha önce yapılmış olan ön deneylerden elde edilen sonuçlara göre de bu oranın arttırılmasının eğilme mukavemetinde bir artış sağlamadığı yukarıda belirtilmiştir.

Sonuç olarak karışımlarda kullanılan lateks polimer katkı maddesinin çelik tel donatılı hafif betonların eğilme mukavemetleri degerlerinde önemli sayılabilecek bir etki yapmadığı söylenebilir.

4.3.6 Yarma Mukavemeti Açısından Karışımların İrdelenmesi

Bu başlık altında karışıma giren bileşenlerin, normal betonların ve hafif betonların yarma mukavemeti üzerinde oluşturduğu etkiler degerlendirilmektedir. Yarma mukavemeti deneyleri, eğilme deneyleri kapsamınca üretilen 10 x 10 x 40

cm. boyutlarındaki beton kirişler üzerinde yapılan eğilme mukavemeti deneyleri sonucunda numunelerin artan parçaları üzerinde uygulanmıştır.

Betonların çekme mukavemeti dolaylı ve dolaysız olmak üzere iki şekilde bulunabilmektedir. Dolaylı deneylerden birisi yarma metodu veya Brezilya deneyidir [15]. Numunelerin yarma mukavemeti değerleri bu yöntemle tesbit edilmiştir. Deney kare kesitli beton numuneleri üzerinde doğrudan doğruya aksenal kuvvet uygulanmak suretiyle yapılmıştır. Bu deneyde aksenal kuvvet uygulanması durumunda numunenin dik kesitlerinde iki aksenli çekme gerilmeleri oluşmaktadır. Kuvvetin değeri atırıldığı zaman çekme gerilmeleri gittikçe büyümekte ve maksimum gerilme sınırına ulaşıldığında numune ikiye ayrılmak suretiyle kırılmaktadır. Böylelikle yarma gerilmesi değerleri aşağıda verilmiş olan bağıntıdan bulunabilmektedir.

$$\sigma_y = \frac{2R_{\max}}{d^2} \quad [4.5]$$

Burada (R) uygulanan maksimum basınç yükünü " N/mm²", (d) basınç doğrultusuna paralel olan kesitin alanını "cm²" ve (σ_y) yarıma gerilmesini ifade etmektedir

Betonların eğilme dayanımlarını etkileyen faktörler aynı etkinliklerini çekme mukavemetleri üzerinde de göstermektedirler. Bilindiği gibi hafif betonların üretiminde kullanılan agregaların özellikleri, bu betonların mekanik mukavemetini önemli ölçüde etkilemektedir. Bunun yanında ayrıca çimento özelliklerinin ve su/bağlayıcı oranının da mukavemet üzerinde etkisi olmaktadır.

Agregaların cinsi ve özellikleri çekme mukavemeti değerlerini de büyük oranda etkilemektedirler. Normal betonlarda iri agrega olarak çakıl yerine kırmataş kullanılması sonucunda çekme mukavemeti büyük değerler almaktadır. Bunun nedeni de bu agrega taneleri ile çimento veya harç arasında daha kuvvetli bir aderansın bulunmasından ileri gelmektedir. Hafif agrega kullanılarak üretilen hafif betonlarda ise çekme mukavemeti agrega-çimento hamuru çekme mukavemetleri ile agrega-harç arasındaki aderansa bağlı olmaktadır. Dolayısıyla hafif betonların çekme mukavemetleri, agreganın çekme mukavemetine bağlı olarak belirlenmektedir. Çekme etkisi ile göçen hafif betonlarda kırılma genel olarak iri agregada gerçekleşmektedir.

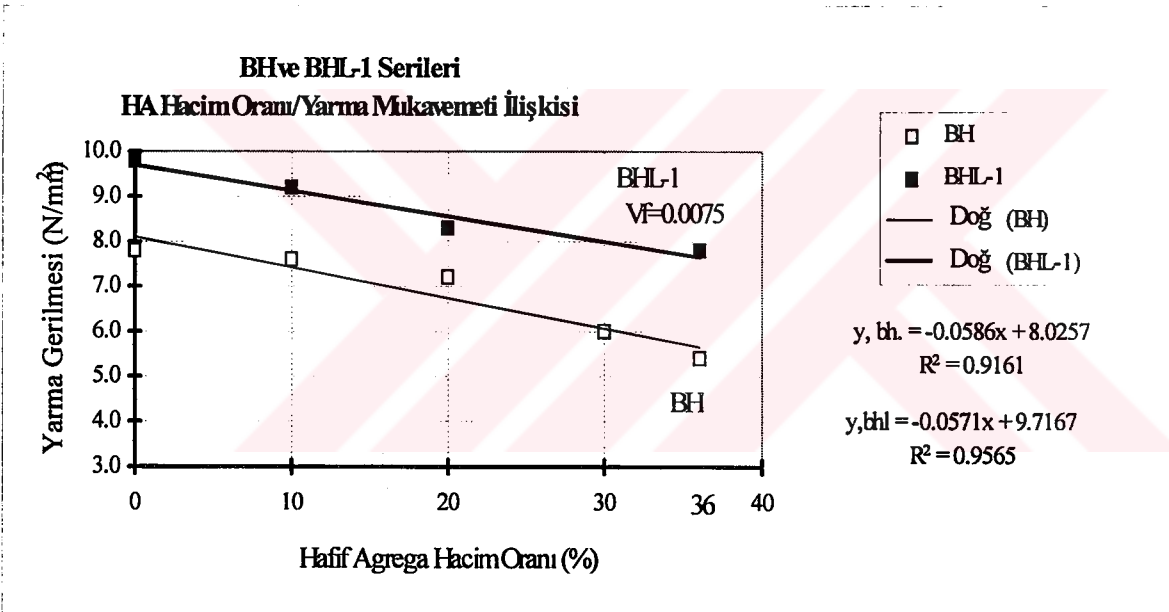
Çimentonun dozajını arttırmakla çekme mukavemetinin daha yüksek değerler alması sağlanabilmektedir. Fakat kritik bir değerden sonra çimento miktarının artırılması çekme mukavemetlerinde herhangi bir artış meydana getirmemektedir [15]. Bu durum çimento miktarının büyük değerler alması halinde rötrenin artmasından ve bunun sonunda betonun içindeki çatlakların oluşmasından kaynaklanmaktadır.

4.3.6.1 Hafif Agregalı Hafif Betonun Yarma Mukavemeti Üzerine Etkisi

Alt başlıklarda süngertaşı hafif agregalı çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonların bileşimine giren hafif agregalı bileşenlerinin bu betonların yarma gerilmeleri üzerindeki etkileri değerlendirilmektedir.

Normal agregalı kontrol betonunun (BN) yarma gerilmesi 7.8 N/mm^2 olarak saptanmıştır.

"B" gurubunu oluşturan ve (BH) olarak kodlanmış bulunan hafif betonlar üzerinde yapılan yarma mukavemeti deneyleri sonucunda elde edilen değerler aşağıdaki Şekil-4.26'da verilmiştir. Yarma mukavemeti deneyleri, eğilme deneyleri sonucunda artan numuneler üzerinde uygulanmıştır.



Şekil-4.26. Hafif agregalı oranının yarma mukavemeti üzerine etkisi

Şekil-4.26'dan da görülebileceği gibi çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonların bünyesindeki hafif agregalı hacim oranı arttıkça yarma mukavemeti değerleri azalmaktadır. Bu mukavemet azalması, serilerin kontrol betonlarına göre, hafif (BH) betonlarda, % 31, çelik tel donatılı hafif (BHL-1) betonlarda ise % 20 şeklindedir.

Hafif betonlarda (BH) çekme mukavemetinin agrega,- çimento hamuru çekme mukavemetleri ile agrega-harç arasındaki aderansa bağlı olduğu belirtilmişti. Hafif agregaların çekme mukavemeti, eşdeğer basınç mukavemeti sağlayan normal

agregadan düşük olması nedeniyle, aynı basınç mukavemetine sahip bir betona göre, hafif betondaki bağlayıcı hamur mukavemeti ile daneler arasındaki aderans nisbeten daha yüksektir. Buradan da anlaşılacağı gibi, hafif betonların çekme mukavemeti, daha düşük değerlerden itibaren, agreganın çekme mukavemetince belirlenmektedir. Hafif agreganın çekme mukavemetinin düşük olması nedeniyle, çekme etkisi ile geçen hafif betonlarda kırılma genellikle iri agregada olmaktadır. Diğer bir husus ise kuvvet altında hafif betonlarda ortaya çıkan iç gerilmelerin, hafif betonu normal betona göre daha fazla etkilemesidir. Benzer sonuçlar Arda'nın [44] çalışmalarında da görülmektedir. Burada agrega hacim konsantrasyonunun artmasıyla yarıma dayanımlarının azaldığı, ayrıca yarıma mukavemeti ile basınç mukavemeti arasında iyi bir ilişki olduğu belirtilmektedir.

"D" ve "E" guruplarını çelik tel donatılı hafif beton serileri (BHL) oluşturmaktadır. "D" gurubu deney serilerinde (BHL-1) çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ şeklinde sabit olarak tutulmuş ve hafif agrega hacim oranı değiştirilmiştir. Bu değişim sonucunda hafif betonların yarma mukavemetlerinden elde edilen değerler ve ilişkiler yukarıdaki Şekil-4.26'da gösterilmiştir.

Çelik tel hacim oranı sabit olarak tutulup hafif agrega hacim oranı değiştirilerek üretilen bu deney betonlarında, yarma mukavemetleri, eğilme mukavemetleri davranışlarına benzer şekilde, hafif agrega karışım oranına bağlı olarak azalma eğilimi içindedir. Eğilme gerilmesinde olduğu gibi yarma gerilmesinde de bu azalmaya, doğal olarak süngertaşı hafif agregası mukavemetinin düşüklüğünün neden olduğu açıktır. Hafif agrega karışım oranı maksimum 0.36 olduğu durumda donatılı hafif betonların yarma gerilmesi 7.8 N/mm^2 olarak elde edilmiştir ki, bu da donatısız normal betonun yarma mukavemetiyle eşit değerdedir. Aynı çelik tel hacim oranına ($V_f = 0.0075$) sahip hafif agregasız normal betonda yarma gerilmesi 9.8 N/mm^2 dir. Yani donatılı yarı hafif betonunun yarma mukavemeti, aynı lif hacim oranına sahip çelik tel donatılı normal betonun yarma mukavemeti değerinden % 20 daha düşüktür. Dolayısıyla şu sonuca varılmaktadır: Çelik tel karışım oranı $V_f = 0.0075$ olan normal betonun iri agrega gurubu tamamen hafif agrega ile değiştirildiğinde yarma mukavemeti normal betonun yarma mukavemetine göre % 20 azalmaktadır. Çelik tel katılmadığında bu oran % 31 olarak elde edilmiştir.

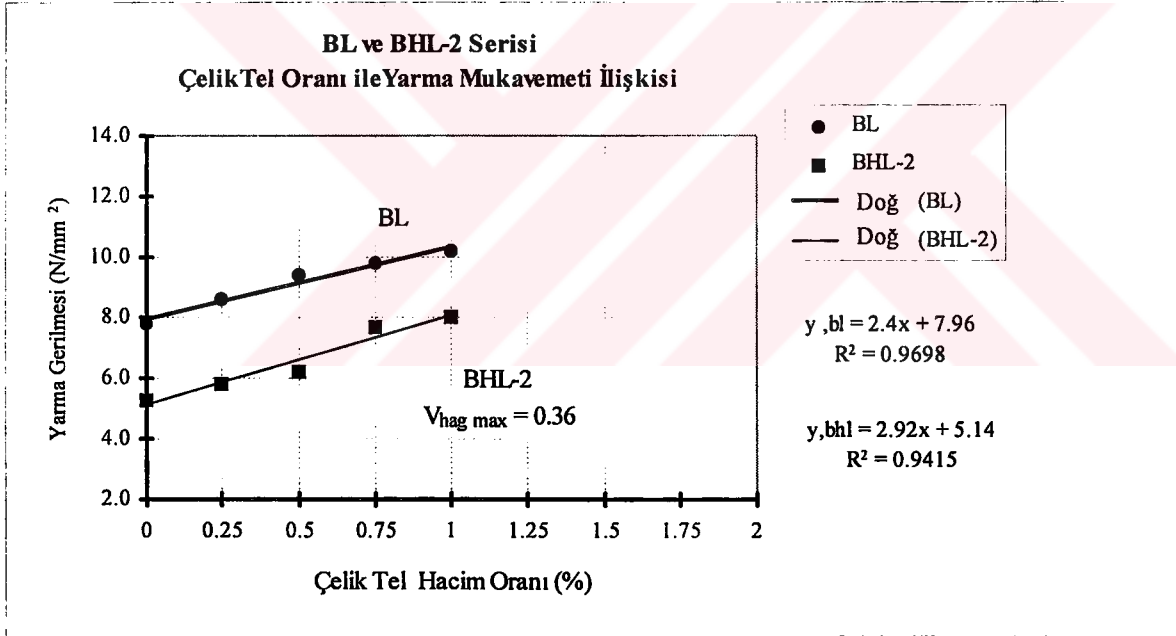
Buna karşın çelik tel donatısız hafif betonun yarma mukavemeti değerine göre ise 0.0075 oranında tel donatılı hafif betonun yarma mukavemeti % 45'lik bir artış göstermektedir. Sonuçta çelik tel donatı malzemesinin hafif betonlarda, normal betonlara göre yarma mukavemeti açısından belirgin bir iyileşme oluşturduğu söylenebilir.

Donatısız hafif betonlara göre donatılı hafif betonların yarma mukavemetindeki bu artış, uygulanan kuvvetinin hemen hemen tamamının teller tarafından karşılanmasından ileri gelmektedir. Bu nedenle betonların yarma-çekme mukavemetleri artış göstermektedir. Aynı sonuç, yarı hafif betonlarda çelik tellerin etkilerini araştırdıkları çalışmalarında Yıldırım [10], Balaguru ve Foden [69] ve Paillère ve Serrano [66], tarafından da ileri sürülmüştür.

4.3.6.2 Çelik Tel Hacim Oranının Üretilen Betonların Yarma Mukavemetleri Üzerine Etkileri

Çelik tel donatının betonunun yarma mukavemeti üzerindeki etkisi çeşitli faktörlere bağlı olarak değişiklikler göstermektedir. Genel olarak çelik tel donatı malzemesinin betonların yarma mukavemeti üzerinde önemli bir artışa neden olduğu görülmektedir. Yarma gerilmeleri değerleri hafif agrega hacim oranına göre düşerken, çelik tel hacim oranına göre yükselmektedir.

"C" gurubu olarak isimlendirilmiş ve (BL) şeklinde kodlanmış bulunan çelik tel donatılı normal ve "D" gurubu olarak isimlendirilmiş ve (BHL-2) şeklinde kodlanmış bulunan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde, çelik tel karışım oranları, daha önce de belirtildiği gibi, 0.0025, 0.005, 0.0075, 0.01 0.015 ve 0.02 şeklinde değiştirilerek üretilmişlerdir. Bu karışımlar üzerinde yapılan yarma deneyleri sonucunda, çelik tel donatının betonunun yarma mukavemeti üzerindeki etkileri aşağıdaki Şekil-4.27'de görülmektedir.



Şekil-4.27 Normal ve hafif betonlarda çelik tel hacim oranının yarma mukavemetine etkisi

Şekil-4.27'den de görülebildiği gibi, normal beton çelik tellerle donatıldığında, betonun yarma mukavemeti değerleri tel hacim oranına göre artmaktadır. Yarma mukavemetindeki bu değişim artan çelik tel hacim oranına bağlı olarak belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Normal betonun bünyesine hacimce

0.0075 oranında çelik tel katmak bu betonun yarma mukavemeti değerini % 26, $V_f = 0.01$ oranında donatmak % 31 ve $V_f = 0.015$ hacim oranında ise % 32 oranında arttırmaktadır. Bundan sonraki donatı hacim oranları, yarma mukavemeti üzerinde, çelik tellerin hacim oranlarının fazlalığından dolayı, düşme eğilimi göstermektedir. Yarma mukavemetindeki bu artışlara, deney sırasında uygulanan kuvvet karşısında betonda oluşan iç gerilmelere karşı çelik tellerin göstermiş olduğu mukavemet neden olmaktadır. Burada ayrıca çimento hamurunun çekme mukavemeti ile agrega-harç arasındaki aderans da etkili olmaktadır. Literatürde [62], çekme mukavemeti değerlerinin çelik tel donatılı betonlarda % 25 ile 150 arasında artabileceği belirtilmektedir.

Amerikan Beton Enstitüsü'nün [97] bülteninde ve literatürde [76], çelik tel donatının normal betonun yarma mukavemetini önemli bir ölçüde arttırdığı ifade edilmektedir.

"E" gurubunu oluşturan çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) serilerinde ise hafif agrega hacim oranı maksimum seviyede sabit olarak tutulmuş ($V_{\text{hag max}} = 0.36$) ve çelik tel hacim oranları değiştirilmiştir. Üretilen bu numuneler üzerinde yapılan yarma-çekme deneyleri sonucunda elde edilen yarma gerilmeleri değerleri yine yukarıdaki aynı Şekil-4.27'de gösterilmiştir.

Çelik tel hacim oranları belirli miktarlarda değiştirilerek hafif agrega hacim oranı sabit olan bu deney betonlarında, yarma mukavemeti çelik tel karışım oranına bağlı olarak doğrusal bir artış göstermektedir. Yarma gerilmesindeki bu artışı, doğal olarak çelik tel donatının hafif betonlara kazandırmış olduğu mekanik özelliklerden ileri gelmektedir. Burada, çekme mukavemetinin tümüne yakın bölümünün çelik teller tarafından karşılanması sonucunda hafif betonların yarma-çekme dayanımları artış göstermektedir. Bu davranış, bu seri betonların eğilmede çekme davranışlarına benzer bir nitelik göstermektedir.

Normal betonlarda $V_f = 0.0075$ oranındaki çelik tellerin yarma mukavemetini % 26, 0.01 hacim oranında ise % 31 oranında yükseltmekte, hafif betonlarda ise $V_f = 0.0075$ hacim oranında % 44 ve $V_f = 0.01$ hacim oranında ise % 48 oranında arttırmaktadır. Dolayısıyla çelik teller yarma mukavemeti bakımından hafif betonlarda daha etkin bir rol oynamaktadırlar.

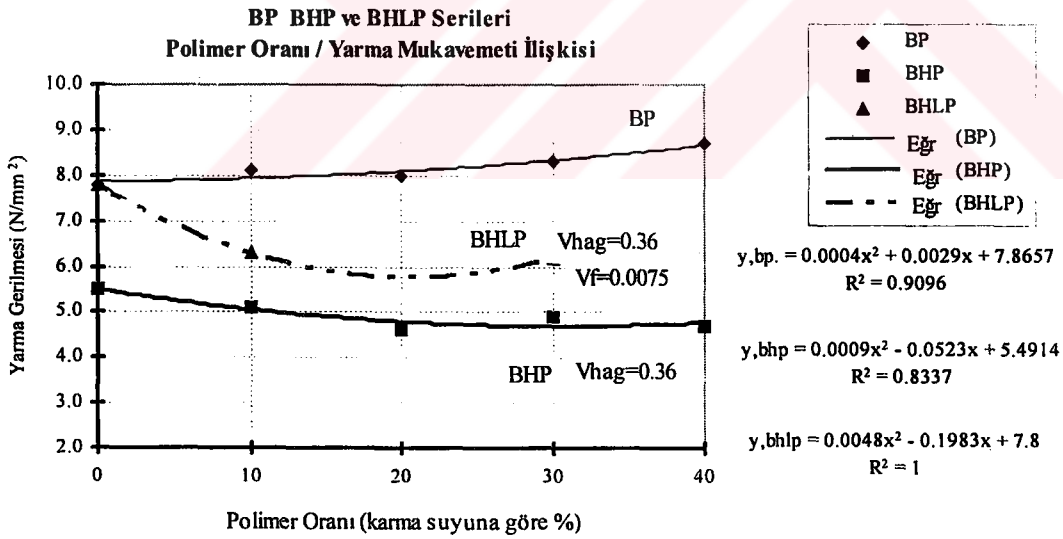
Dolayısıyla, çelik tel donatılı hafif betonlarda değişken hafif agrega hacim oranında yarma gerilmelerinde azalma olduğu fakat, hafif agrega hacim oranı sabit tutularak çelik tel hacim oranının 0.01 olduğu seviyeye kadar belirli oranlarda değiştirilmesiyle bu değişime bağlı olarak yarma gerilmelerinde doğrusal bir artış olduğu sonuç olarak söylenebilir. Yıldırım [10], lif hacim oranına bağlı olarak yarı hafif betonların eğilme ve yarma mukavemetlerinde artışlar olacağını ileri sürmektedir. (BN) serisini oluşturan kontrol betonun yarma mukavemetine ulaşmak için, hafif betonlara 0.0075 oranında çelik tel katılması yeterli olacağı bu şekilde ortaya çıkmaktadır. Bunun yanında çelik tel tipinin ve narinlik oranının da yarma mukavemeti değerleri üzerinde etkili olacağını belirtmek gerekir.

Elde edilen bu bulgular Soroushain ve Bayası'nın [28, 64] ve Balaguru ile Foden'in [69], çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarla paralellik içindedir. Bu araştırmacılar yaptıkları deneysel çalışmada, çelik tellerin betonun çekme mukavemetine etkisinin oldukça fazla olduğunu ileri sürmüşlerdir. Ayrıca, çelik tellerin yarma mukavemeti açısından hafif betonlarda nisbeten daha etkili oldukları ilgili şekilden (Şekil-4.27) ve artış oranlarındaki farklardan da görülmektedir.

4.3.6.3 Polimer Katkı Maddesinin Üretilen Betonların Yarma Mukavemetleri Üzerine Etkileri

Polimer katkıli beton serileri, "F" gurubunu oluşturan lateks katkıli normal (BP), "G" gurubunu oluşturan lateks katkıli hafif beton (BHP) ve "H" gurubunu oluşturan lateks katkıli çelik tel donatılı hafif beton (BHLP) serileri olmak üzere üç grupta üretilmişlerdir. Her gurubunun yarma mukavemetleri açısından değerlendirmesi alt başlıklara yapılmaktadır.

Polimer katkıli normal beton (BP) serilerinde polimer katkı maddesi karışım oranı karma suyuna göre saptanarak, belirli oranlarda (% 10, 20, 30 ve 40) değiştirilmiştir. Bu karışım oranları ile normal ve hafif betonların yarma mukavemetleri arasındaki ilişkiler toplu olarak aşağıdaki Şekil-4.28'de verilmiştir.



Şekil-4.28. Normal ve hafif betonlarda polimer katkı oranı ile yarma mukavemeti ilişkisi

Yukarıdaki şekilden, normal agregalı betonlara katılan lateks polimer katkısının bu seri betonların yarma mukavemetinde, polimer katkı miktarının artırılmasına bağlı olarak artışlar sağladığı görülmektedir. Lateks katkı oranının % 40 olduğu seviyedeki yarma gerilmesi kontrol betonun eğilme gerilmesinden yaklaşık olarak % 12 daha fazla bir değer almaktadır. Yarma mukavemetindeki bu küçük artışın, lateks polimer parçacıklarının agregaların üzerinde oluşturduğu filim tabakasının mukavemetteki olumlu etkisinden ve daha iyi bir aderans sağlanabilmesinden ileri geldiği söylenebilir.

Dolayısıyla sonuçta, deneysel çalışmada kullanılmak üzere seçilen lateks polimer katkı maddesinin normal betonların yarma-çekme mukavemetlerini artıran polimer hacim oranına göre arttırmaktadır. En yüksek artış oranı 0.40 karışım oranında % 12 olarak elde edilmiştir.

"F" gurubunu oluşturan Polimer katkılı normal betonların diğer bir varyasyonunu, "G" gurubu olarak adlandırılmış ve (BHP) şeklinde kodlanmış olan polimer katkılı hafif betonlar oluşturmaktadır. Bu seride de polimer karışım oranları, normal betonlarda olduğu gibidir. Hafif agrega hacim oranı $V_{hag\ max} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur. Bu karışım oranlarına göre polimer katkılı hafif betonlar üzerinde yapılan yarma deneyleri sonucunda elde edilen ilişkiler yukarıdaki Şekil-4.28'de gösterilmiştir.

İlgili Şekil-4.28'den de, hafif betonlara katılan lateks polimer katkısının bu betonların yarma-çekme mukavemetlerini artıran polimer oranına göre düşürdüğü görülmektedir. Bununla birlikte 0.30 karışım oranında mukavemette bir yükselme eğilimi görülmekle beraber sonraki hacim oranında düşme tekrar ortaya çıkmaktadır. Değişik hacim oranlarındaki katkılı hafif betonların her serisinde yarma gerilmeleri değerleri katkısız hafif betonun gerilmelerinden daha düşük değerlerde olmaktadır. Yükselme eğiliminin görüldüğü polimer hacim oranının 0.30 olduğu karışımda yarma gerilmesi değeri katkısız hafif betonunun yarma gerilmesi değerine göre % 9 daha düşüktür. En fazla mukavemet azalması % 18 olarak, polimer hacim oranının 0.20 olduğu karışımda görülmektedir. Dolayısıyla yarma gerilmesi açısından lateks katkının hafif betonlarda olumlu yönde etkisi olmamakta, söz konusu özellik üzerinde azaltıcı bir rol oynamaktadır.

Sonuç olarak seçilmiş olan lateks polimer katkı maddesinin hafif betonların yarma mukavemetleri üzerinde iyileştirici bir etki oluşturmadığı söylenebilir. Normal betonlarda lateks polimer katkısının 0.40 olduğu karışımda daha iyi bir aderans sağlayarak mukavemeti arttırdığı fakat, hafif betonlarda bunun gerçekleşmediği görülmektedir. Burada yarma mukavemetinin büyük ölçüde hafif agreganın çekme mukavemetine göre belirlendiği ve lateks katkının burada önemli bir rol oynamadığı anlaşılmaktadır.

Polimer katkılı betonların son serisi olan ve "H" gurubu olarak adlandırılan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde (BHLP) lateks katkı maddesinin kullanılmasıyla bu betonlarda elde edilen yarma gerilmesi değerleri ve ilişkileri

Şekil-4.28'de gösterilmiştir. Bu beton gurubu, polimer katkı hacim oranları 0.10 ve 0.30 olmak üzere iki seriden oluşmaktadır.

Şekil-4.28'de görüldüğü gibi, çelik tel donatılı hafif betonlara katılan lateks polimer katkısının bu betonların yarma mukavemetlerinde de azalmalara neden olduğu anlaşılmaktadır. Polimer katkı maddesi miktarınının 0.30 olması durumunda yarma mukavemeti çelik tel donatılı kontrol betonunun yarma mukavemetinden % 20 daha düşüktür. Daha önce yapılmış olan ön deneylerden elde edilen sonuçlara göre bu oranın artırılması durumunda da katkı maddesinin hafif betonların çekme mukavemetleri üzerinde bir iyileşmeye neden olmadığı yukarıda belirtilmiştir.

Sonuç olarak lateks polimer katkı maddesinin çelik tel donatılı hafif betonların (BHLP) yarma mukavemetleri değerlerinde olumlu yönde etkilemedikleri, ayrıca bir düşmeye neden oldukları görülmektedir. Bunun yanında yarma mukavemeti değeri 0.30 karışımda donatısız ve katkısız hafif betonunun yarma mukavemetine göre % 15 daha fazladır. Bu mukavemet artışı ise çelik del donatı malzemesinden ileri gelmektedir. Halbuki bu oran lateks katkısız ve çelik tel donatılı hafif betonda katkısız betona göre % 44 daha fazla olmaktadır. Dolayısıyla çelik tel donatılı hafif betonlara % 30 oranında lateks polimer katkı maddesi katılması bu betonların yarma mukavemeti değerlerini yaklaşık olarak % 20 civarında düşürmektedir.

Lateks katkısı (BP) serisinde zayıf da olsa bir iyileşmeye neden olmaktadır. (BHP) serilerinde, artan polimer oranı ile bir düşüş izlenmektedir. Ancak, lateks katkısının (BHLP) serisinde özellikle düşüşe neden olduğu, karışıma polimer katılması ile birlikte yarma mukavemeti değerlerinde hızlı bir düşüş olduğu görülmektedir.

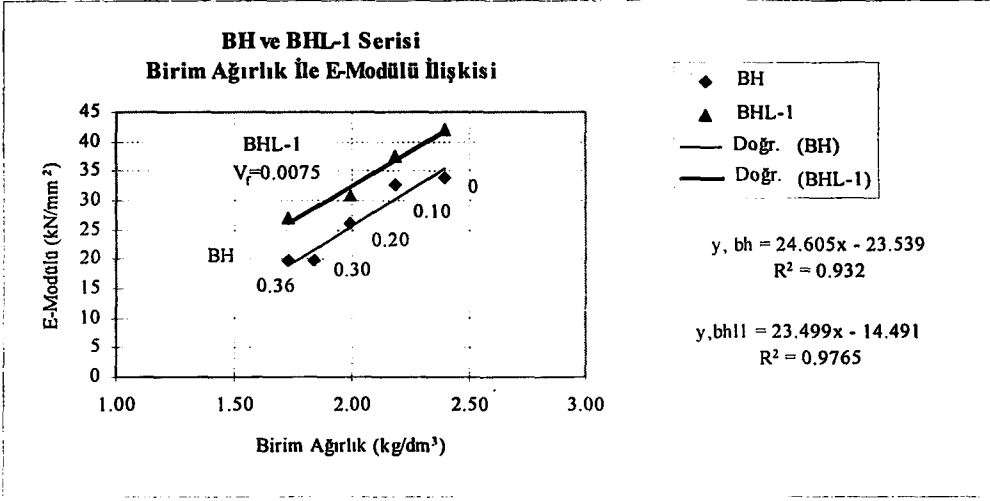
Bu bölümün genel bir değerlendirmesi şu şekilde yapılabilir. Yarma gerilmeleri değerleri yarı hafif betonlarda hafif agrega hacim oranına göre düşerken, tel hacim oranına göre yükselmekte, polimer hacim oranına göre normal betonlarda artış göstererek, hafif betonlarda ise düşüşlere neden olmaktadır.

4.4 Bileşenlerin Özelliklere Etkileri Açısından Karışımların İrdelenmesi

Çalışmanın bu aşamasında üretilen karışımlara giren bileşenlerin, beton numunelerinin özellikleri üzerinde oluşturduğu etkilerin, her beton gurubu için genel bir kıyaslaması ve değerlendirilmesi yapılmaktadır.

4.4.1 Beton Karışımlarında Birim Ağırlıkla E-Modülü Arasındaki İlişkiler

“B” gurubunu oluşturan ve BH şeklinde kodlanmış hafif beton ve "D" gurubunu oluşturan ve BHL şeklinde kodlanmış bulunan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde değişken hafif agrega hacim oranlarına bağlı olarak birim ağırlıklardaki ve E-Modüllerindeki değişimler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. BHL serilerinde çelik tel donatı oranı $V_f = 0.0075$ olarak sabittir.

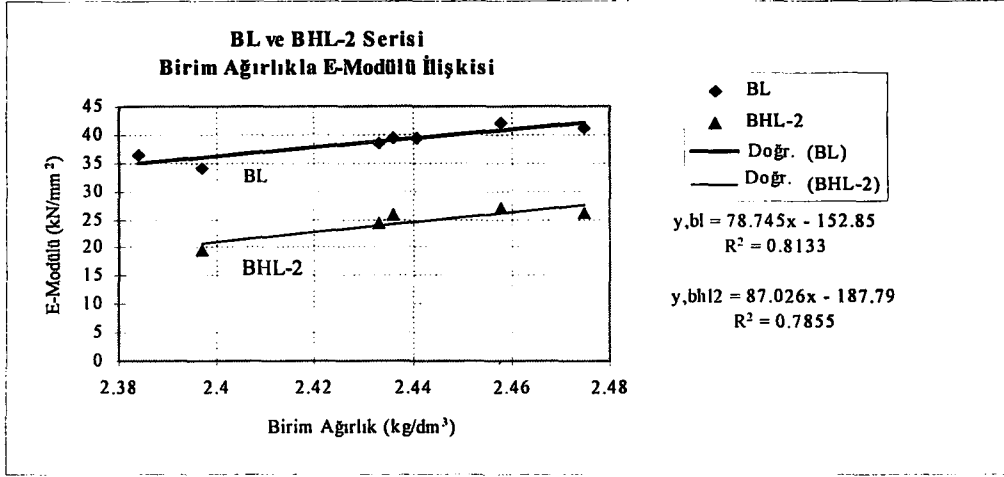


Şekil-4.29 Hafif ve donatılı hafif betonlarda birim ağırlıkla E-Modülü ilişkisi

Değişken hafif agrega hacim oranına göre hafif betonların ve çelik tel donatılı hafif betonların birim ağırlıklarında ve E-Modüllerinde, artan hafif agrega hacim oranına göre azalmalar olduğu yukarıdaki Şekil-4.29'da görülmektedir. Dolayısıyla hafif agrega hacim oranına bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları ve E-Modülleri arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu ilişki, hafif agrega hacim oranı arttırıldıkça hafif betonların birim ağırlık ve E-Modülü değerlerinin azaldığı şeklinde ileri sürülebilir. Buradan da anlaşılacağı üzere, bu davranış üzerinde sünger taşı hafif agregasının fiziksel özellikleri etkili olmaktadır.

Bununla birlikte, çelik tel donatılı hafif betonların gerek birim ağırlık açısından gerek E-Modülü değerleri açısından, çelik tel donatısız hafif betonlara göre daha yüksek değerler aldıkları ve bu değerlerin hafif agrega hacim oranına bağlı olarak birbirlerine benzer bir ilişki içerisinde azaldıkları görülmektedir. Şekilden, BH ve BHL serilerinin korelasyon yönünden irdelenmesinde BHL serisinin (R^2) değerinin BH serisine göre daha iyi bir doğrusal regresyon eğrisi verdiği ve (R^2) değerinin 0.97 gibi bir değer üzerinde olduğu görülmektedir.

Aynı şekilde, (BL) şeklinde kodlanmış çelik tel donatılı normal beton ve (BHL-2) şeklinde kodlanmış bulunan çelik tel donatılı hafif beton serilerinde değişken çelik tel hacim oranlarına bağlı olarak birim ağırlıklardaki ve E-Modüllerindeki değişimler aşağıdaki şekilde gösterilmiştir. Donatılı normal serilerinde çelik tel donatı oranı maksimum $V_f = 0.02$ 'dir. Bu oran, donatılı hafif betonlarda maksimum $V_f = 0.01$ seviyesine kadardır. Bu betonların birim ağırlıklarına bağlı olarak E-Modülü değerlerindeki ilişkiler Şekil-4.30'da gösterilmiştir.



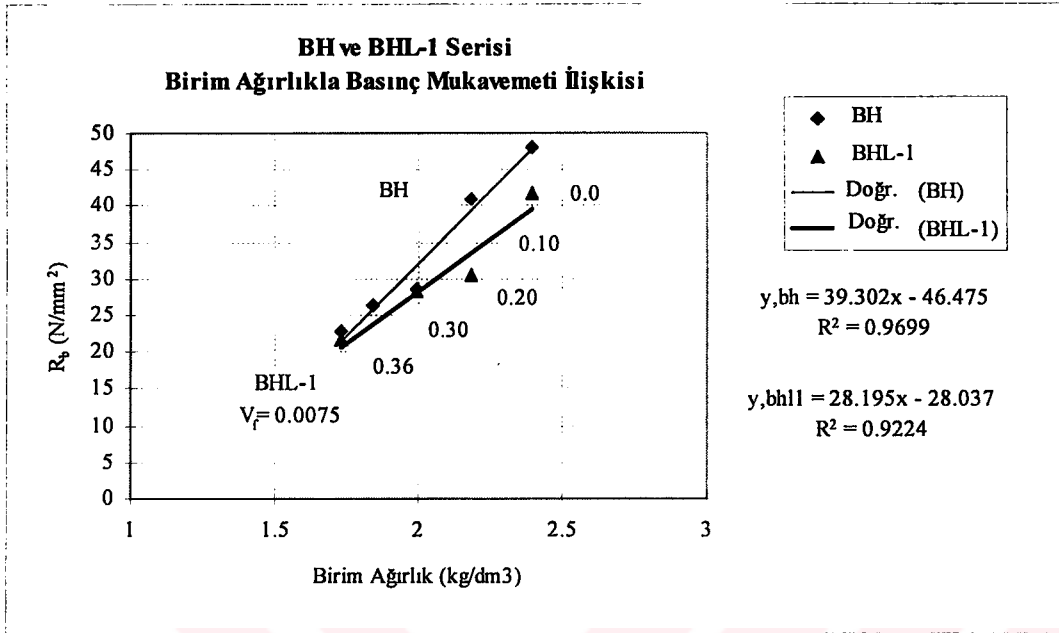
Şekil-4.30 Değişken donatı hacim oranına göre normal ve hafif betonlarda birim ağırlık ile E-Modülü arasındaki ilişkiler

Değişken çelik tel hacim oranına göre donatılı normal ve hafif betonların birim ağırlıklarında ve E-Modüllerinde, artan çelik tel hacim oranına göre artışlar olduğu yukarıdaki şekilde de görülmektedir. Dolayısıyla donatı malzemesinin hacim oranına bağlı olarak betonların birim ağırlıkları ve E-Modülleri arasında da bir ilişki olduğu söylenebilir. Bu ilişki, donatı hacim oranı arttırıldıkça normal ve hafif betonların birim ağırlık ve E-Modülü değerlerinin yükseldiği şeklinde ileri sürülebilir. Gerçi birim ağırlıklardaki artış önemli sayılabilecek sınırlarda olmamasına karşın dinamik E-Modülü değerlerindeki artış daha önem taşımaktadır. Elastiklik modüllerindeki bu artış çelik tel hacim oranı $V_f = 0.01$ 'den sonra bir miktar düşme eğilimi göstermektedir. Bu davranışa donatı malzemesinin betonların matris fazının sürekliliğini etkileyerek oluşturabileceği kusurların neden olduğu söylenebilir.

Bununla birlikte, çelik tel donatılı normal ve hafif betonların gerek birim ağırlık açısından gerek E-Modülü değerleri açısından, çelik tel donatısız betonlara göre daha yüksek değerler aldıkları ve bu değerlerin donatı hacim oranına bağlı olarak birbirlerine benzer bir ilişki içerisinde arttıkları görülmektedir. Şekilde, (BL) ve (BHL-2) serilerinin korelasyon yönünden irdelenmesinde (BL) serisinin ve (BHL-2) serisinin (R^2) değerlerinin birbirlerine yaklaşık sınırlarda olduğu ve doğrusal regresyon eğrilerinin de buna benzer bir davranış gösterdikleri izlenmektedir.

4.4.2 Üretilen Betonlarda Birim Ağırlık İle Basınç Mukavemeti İlişkisi

(BH) ve BHL-1) gurubunu oluşturan hafif ve donatılı hafif betonların birim ağırlıkları ile basınç mukavemetleri arasındaki ilişkiler, değişken sünger taşı hafif agrega hacim oranına göre aşağıdaki Şekil-4.31'de gösterilmektedir.



Şekil- 4.31 Çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda birim ağırlık ile basınç mukavemeti arasındaki ilişki

Sünger taşı hafif agrega hacim oranları belirli oranlarda değiştirilerek üretilen hafif betonların birim ağırlık ve basınç mukavemetleri değerlerinde, artan hafif agrega hacim oranına göre azalmalar olduğu yukarıdaki şekilden de görülmektedir. Dolayısıyla hafif agrega hacim oranına bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları ve E-Modülleri arasındaki ilişkiler için belirtilen görüşler burada da aynı şekilde ileri sürülerek, hafif agrega hacim oranı artırıldıkça hafif betonların birim ağırlık ve basınç mukavemeti değerlerinin lineer olarak azaldığı söylenebilir. Yine aynı şekilde, buradan da anlaşılacağı üzere, bu davranış üzerinde sünger taşı hafif agregasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkili olduğu açıktır. Burada, mekanik mukavemetleri ve birim ağırlığı etkileyen en önemli faktörün hafif agreganın özellikleri olduğu anlaşılmaktadır.

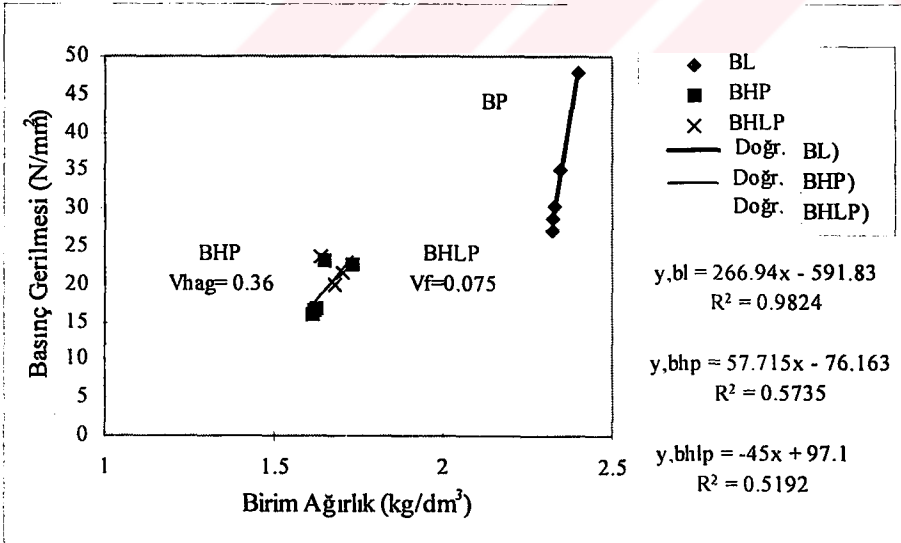
Basınç mukavemeti ve birim ağırlık değerleri her iki grupta, her serinin hafif agrega hacim oranının 0.20 olduğu karışımlarda, birbirlerine çok yakın sınırlardadır. Bu orandan sonra hafif agrega hacim oranı maksimum 0.36 olarak artırıldığında söz konusu özelliklerde önemli bir değişiklik olmamaktadır.

Sonuç olarak, belirli bir lif hacim oranına sahip ($V_f = 0.0075$) normal betonların iri agrega gurubu belirli oranlarda hafif agrega ile değiştirildiğinde basınç mukavemeti bir miktar düşmektedir. Bu davranış aynı şekilde donatısız hafif betonlarda söz konusu olmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum 0.36 olduğunda donatısız ve çelik tel donatılı hafif betonlar basınç mukavemeti ve birim ağırlıkları açısından birbirlerine çok yaklaşık değerler almaktadırlar. Her iki seride de basınç mukavemeti ile birim ağırlık ilişkisini gösteren doğruların bu aynı hacim oranında neredeyse çakıştıkları da ilgili şekilden izlenmektedir.

Şekil-4.31'den, (BH) ve (BHL-1) serileri korelasyon yönünden irdelendiğinde (BH) serisinin (R^2) değerinin (BHL-1) serisine göre daha iyi bir doğrusal regresyon eğrisi verdiği de görülmektedir.

Yine aynı şekilde, lateks polimer katkıli normal beton (BP), lateks polimer katkıli hafif beton (BHP) ve çelik tel donatılı lateks polimer katkıli hafif beton (BHLP) serilerinde değişken polimer katkı hacim oranlarına bağlı olarak bu betonların basınç mukavemetleri ile birim ağırlıklarındaki ilişkiler ise Şekil-4.32'de gösterilmiştir.

Polimerli normal beton serilerinde, katkı oranına bağlı olarak birim ağırlıklarda önemli bir değişme olmaksızın basınç mukavemetleri azalmaktadır. Katkıli hafif beton serilerinde katkı hacim oranına göre birim ağırlıklar bir miktar azalırken basınç mukavemetleri %10'luk karışımda pek değişmemekle birlikte bundan sonraki karışım oranlarında düşmektedir. Aynı davranışın çelik tel donatılı polimer katkıli hafif beton serileri için de geçerli olduğu ilgili grafikten görülmektedir. Genel olarak polimer katkıli tüm normal ve hafif beton serilerini oluşturan betonların birim ağırlıkları, bu serilerin kontrol betonlarına göre daha düşük değerler almaktadır. Aynı özeliğin, polimer katkı hacim oranının 0.10 olduğu hafif karışımlar hariç olmak üzere, bütün katkıli betonların basınç mukavemetleri için de geçerli olduğu izlenmektedir. Dolayısıyla polimer katkı maddesinin normal ve hafif betonlarda birim ağırlığı bir miktar düşürmesine bağlı olarak basınç mukavemetlerini de aynı yönde etkilediği anlaşılmaktadır.

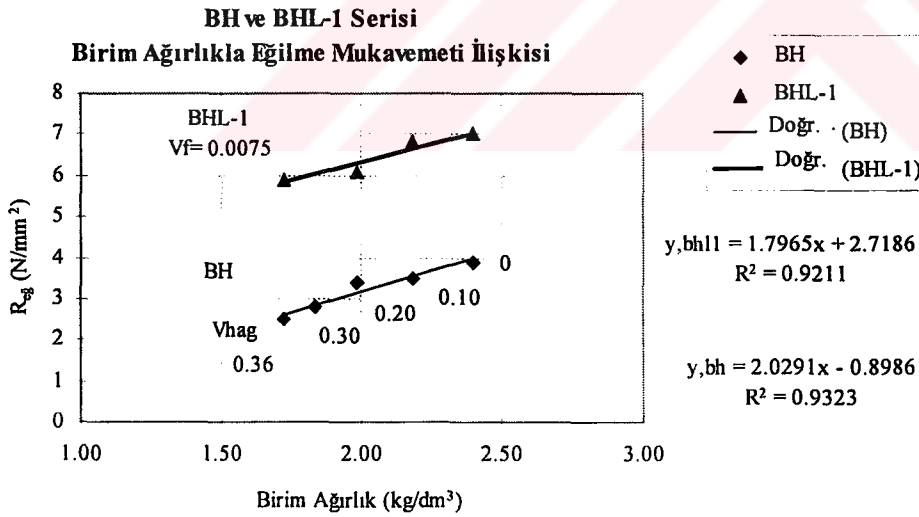


Şekil-4.32 Lateks polimer katkıli normal ve hafif beton serilerinin basınç mukavemeti ile birim ağırlıkları arasındaki ilişkiler

Sonuç olarak, harçlarda aderansı artırıcı olarak kullanılmakta olan lateks polimer katkı maddesinin normal ve hafif betonların basınç mukavemetleri ile birlikte birim ağırlıklarını da bir miktar düşürdüğü ortaya çıkmaktadır. Daha önce de değinildiği gibi betondaki su çekildiği zaman çimento hidratları üzerindeki sıkı paket şeklindeki polimer parçacıkları sürekli bir film oluşturacak şekilde birleşmektedirler. Bu film tabakası bir ağ oluşturacak şekilde çimento hidratlarını bağlamaktadır. Polimer fazı çimento hidratı fazı içine girmekte ve böyle bir yapı lateksle modifiye edilmiş harçlarda ve betonlarda matris fazını oluşturmakta ve agregalar da bu fazla çevrili bulunmaktadır. Bu film tabakasının mukavemetinin çimento mukavemetinden daha düşük olması ve katkı maddesinin hava sürükleyici etkisinden dolayı beton mukavemetlerinin ve birim ağırlıklarının olumsuz olarak etkilendiği görüşü sonuç olarak ileri sürülebilir.

4.4.3 Üretilen Betonlarda Birim Ağırlık İle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler

(BH) ve (BHL-1) serilerinde değişken sünger taşı hafif agrega hacim oranına bağlı olarak birim ağırlıklardaki ve eğilme mukavemetlerindeki değişimler aşağıdaki Şekil- 4.33'de gösterilmiştir.



Şekil- 4.33 Çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda birim ağırlıkla eğilme mukavemeti arasındaki ilişkiler

Sünger taşı hafif agrega hacim oranları belirli oranlarda (%10, 20, 30, 36) değiştirilerek üretilen hafif betonların eğilme mukavemeti ile birim ağırlık

değerlerinde, artan hafif agregası hacim oranına göre azalmalar olduğu yukarıdaki Şekil- 4.33'den de görülmektedir. Dolayısıyla hafif agregası hacim oranına bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları ve eğilme mukavemetleri arasında da, diğer mekanik ilişkilerde olduğu gibi bir ilişkinin olduğu görülmektedir. Süngertaşı hafif agregası hacim oranı arttırıldıkça hafif betonların birim ağırlık ve eğilme mukavemetleri değerleri doğrusal olarak azalmaktadır. Yine aynı şekilde, burada da bu davranış üzerinde sünger taşı hafif agregasının fiziksel ve mekanik özelliklerinin etkili olmaktadır.

Bununla birlikte hafif agregası hacim oranına göre hafif ve donatılı hafif betonlar eğilme mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında aradaki fark gayet belirgin olarak Şekil-4.33'den görülmektedir. Her iki grupta da birim ağırlıktaki davranışlar arasında önemli sayılabilecek farklar olmamasına karşın eğilme gerilmeleri değerleri arasındaki görünür artış çelik tellerin olumlu etkilerinden ileri gelmektedir. Çelik tel hacim oranı 0.0075 olan normal betonun iri agregası gurubu tamamen süngertaşı hafif agregası ile değiştirildiğinde eğilme gerilmesi değeri % 16 azalmaktadır. Halbuki çelik tel donatısız normal betonun iri agregası gurubu yine aynı şekilde süngertaşı hafif agregası ile değiştirildiğinde eğilme gerilmesi değeri % 36 azalmaktadır. Dolayısıyla hafif agregası hacim oranının değiştiği hafif betonlarda çelik teller eğilme mukavemeti açısından, (BHL-1) serisinde (BH) serisine göre daha etkin bir rol oynamaktadırlar

Ayrıca, (BH) ve (BHL-1) serilerileri eğilme mukavemeti ile birim ağırlık davranışları korelasyon yönünden irdelendiğinde her iki serinin de (R^2) değerlerinin, biraz düşük olmakla birlikte, birbirlerine yakın değerlerde oldukları görülmektedir.

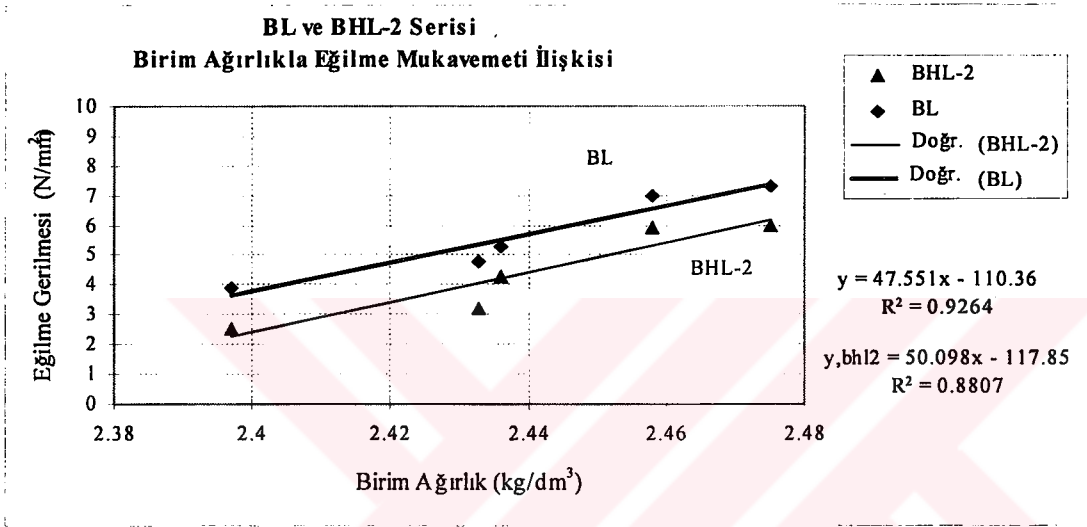
Yukarıda da değinildiği gibi, çelik tel donatı malzemesi hafif betonların eğilme mukavemeti üzerinde önemli artışlara neden olmaktadır. Donatılı hafif betonların eğilme mukavemeti ile E-Modülü değerleri karşılaştırıldığında, E-Modülü davranışının bu betonların eğilme mukavemetleri ile ilgili olduğu görülmektedir. Çelik tel donatılı hafif betonlarda E-Modülü değerlerinin yüksek olması, bu betonların bünyesindeki çelik tellerin ultrases hızlarını etkilemelerinden ileri gelmektedir. Dolayısıyla, sonuç olarak, hafif betonlar belirli bir oran dahilinde olmak üzere çelik tellerle donatıldığında, bu betonların eğilme mukavemeti ve E-Modülü değerleri önemli sayılabilecek bir ölçüde artış gösterdiği, bu artışın hafif agregası hacim oranına bağlı olarak biraz düştüğü, birim ağırlıklarda da buna benzer bir ilişkinin bulunduğu söylenebilir.

"C" gurubu donatılı normal betonlara (BL) ve "E" gurubu donatılı hafif beton serilerinde (BHL-2) değişken çelik tel hacim oranına bağlı olarak birim ağırlıklardaki ve eğilme mukavemetlerindeki değişimler ise aşağıdaki Şekil-4.34'de gösterilmiştir.

Çelik tel hacim oranları belirli oranlarda değiştirilerek üretilen donatılı normal ve hafif betonların eğilme mukavemeti ile birim ağırlık değerlerinde, çelik tel hacim oranına göre bir artış eğilimi olduğu yukarıdaki şekilden de görülmektedir. Dolayısıyla çelik tel hacim oranına bağlı olarak normal ve hafif betonların birim ağırlıkları ve eğilme mukavemetleri arasında da, diğer mekanik ilişkilerde olduğu

gibi bir ilişkinin varlığı görülmektedir. Çelik tel hacim oranı arttırıldıkça normal ve hafif betonların birim ağırlıklarında önemli derecede sayılamayacak bir artış içinde olmakla birlikte, eğilme mukavemetleri değerleri doğrusal olarak yükselmektedir.

Ayrıca, donatı hacim oranına göre normal ve hafif betonlar eğilme mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında aradaki fark belirgin bir şekilde grafikte görülmektedir. Her iki grupta da birim ağırlıklar arasında önemli sayılabilecek farklar olmamasına karşın eğilme gerilmeleri değerleri arasındaki görünür artış çelik tellerin olumlu etkilerinden ileri gelmektedir.



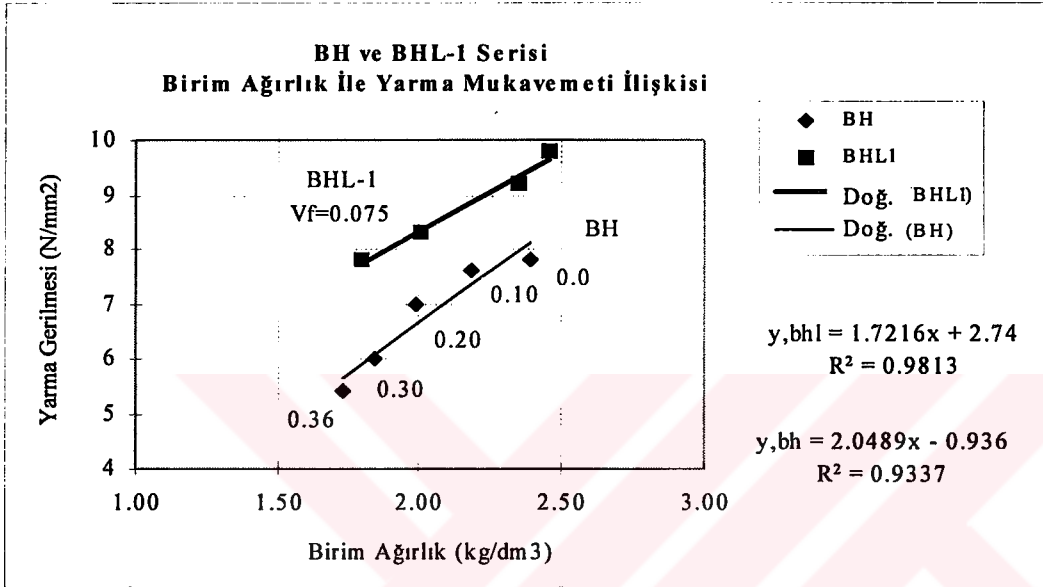
Şekil-4.34 Çelik tel donatılı normal ve hafif betonlarda birim ağırlıkla eğilme mukavemeti arasındaki ilişkiler

Bu artış donatının hacim oranına göre yükselmektedir. Çelik tel hacim oranı 0.01 olan normal betonun eğilme gerilmesi donatısız normal betonun eğilme gerilmesine göre % 87 artmaktadır. Bunun yanında aynı betonun birim ağırlığındaki artış % 3 gibi önemsiz bir değer almaktadır. Birim ağırlıktaki bu değişim üzerinde çelik tellerin oluşturduğu boşlukların etkili olduğu düşünülebilir. Çelik tel hacim oranının 0.01 olduğu hafif beton serisinin eğilme gerilmesi kontrol betonun eğilme gerilmesine göre % 140 bir artış göstermektedir. Yine aynı şekilde aynı çelik tel karışım oranında bu betonun birim ağırlığının donatısız hafif betona göre % 7 gibi önemli sayılamayacak bir değer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla çelik tellerin etkinliğinin normal betonlara göre hafif betonlarda daha belirgin olduğu anlaşılmaktadır.

Ayrıca, Şekil-4.34'den, BL ve BHL-2 serilerinin korelasyon yönünden irdelenmesinde BL serisinin ve BHL-2 serisinin (R^2) değerlerinin bir miktar düşük olmakla birlikte birbirlerine yaklaşık değerlerde olduğu ve doğrusal regresyon eğrilerinin de buna benzer bir davranış gösterdikleri izlenmektedir. Burada (R^2) değerlerinin düşük olmasının çelik tellerin betonların iç yapısında oluşturabilecekleri boşluklardan ileri gelebileceği düşünülebilir.

4.4.4 Üretilen Karışımlarda Birim Ağırlık İle Yarma Mukavemeti İlişkisi

Yine (BH) ve (BHL-1) grupları oluşturan hafif ve çelik tel donatılı hafif betonların değişken süngertaşı hafif agregaya hacim oranlarına göre birim ağırlıkları ile yarma mukavemetleri arasındaki ilişkiler, aşağıdaki Şekil-4.35'de verilmiştir.



Şekil- 4.35 Çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda birim ağırlıkla yarma mukavemeti arasındaki ilişkiler

"B" gurubunda sünger taşı hafif agregaya hacim oranları belirli oranlarda (%10, 20, 30, 36) değiştirilerek üretilmiş olan hafif ve yarı hafif beton serilerinin yarma mukavemeti ile birim ağırlık değerlerinde, artan hafif agregaya hacim oranına göre azalmalar olduğu yukarıdaki şekilden de görülmektedir. Aynı davranış çelik tel donatılı hafif betonlar için de geçerlidir. Dolayısıyla hafif agregaya hacim oranına bağlı olarak hafif betonların birim ağırlıkları ve yarma mukavemetleri arasında da, eğilme mukavemetlerine benzer bir ilişki olduğu görülmektedir. Süngertaşı hafif agregası hacim oranı arttırıldıkça hafif betonların birim ağırlık ve yarma mukavemetleri değerleri doğrusal olarak azalmaktadır. Yine aynı şekilde, yukarıda da değinildiği gibi, bu davranış üzerinde süngertaşı hafif agregasının özelliklerinin etkili olmaktadır. Burada harç fazının değil, hafif agregaya fazının mukavemetinin düşük olması yarma mukavemeti değerini belirlemektedir.

Bununla birlikte değişken hafif agregaya hacim oranına göre hafif ve donatılı hafif betonlar yarma mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında aradaki farkın belirgin olduğu ilgili Şekil-4.35'den de görülmektedir. Her iki grupta da birim ağırlıklar arasında önemli sayılabilecek farklar olmamasına karşın yarma gerilmeleri değerleri arasında görünür bir artış olmaktadır. Bu ise çelik tellerin olumlu

etkilerinden ileri gelmektedir. Çelik tel hacim oranı 0.0075 olan normal betonun iri agrega gurubu tamamen süngertaşı hafif agregası ile değiştirildiğinde yarma gerilmesi değeri % 20 azalmaktadır. Halbuki çelik tel donatısız normal betonun iri agrega gurubu yine aynı şekilde süngertaşı hafif agregası ile değiştirildiğinde yarma gerilmesi değeri % 31 oranında azalmaktadır. Buradan, çelik tellerle donatılı betonların iri agrega gurubu tamamen hafif agrega ile değiştirildiğinde yarma gerilmesindeki düşüş oranının donatısız hafif betonlara göre daha az değerler aldığı sonucu çıkmaktadır.

Ayrıca, (BH) ve (BHL-1) serilerinin yarma gerilmeleri ile birim ağırlık davranışları korelasyon yönünden irdelendiğinde (BHL-1) serisinin (R^2) değerinin (BH) serisine göre 0.98 şeklinde daha yüksek ve daha iyi bir regresyon doğrusu verdiği de görülmektedir. (BH) serisinin (R^2) değeri 0.93'dür.

Çelik tel donatı malzemesi hafif betonların eğilme ve yarma mukavemeti üzerinde donatısız hafif betonlara göre, yukarıdaki Şekil-4.35'den de görüldüğü gibi, önemli artışlara neden olmaktadır. Donatılı hafif betonlarda yarma mukavemeti ile E-Modülü değerleri karşılaştırıldığında, E-Modülü davranışı ile yarma mukavemeti değerleri arasında, eğilme mukavemetine benzer bir ilişki olduğu da görülmektedir. Yukarıda da değinildiği gibi, çelik tel donatılı hafif betonlarda E-Modülü değerlerinin yüksek olması, bu betonunların bünyesindeki çelik tellerin ultrases geçiş hızlarını etkilemelerinden ileri gelmektedir. Dolayısıyla, sonuç olarak, hafif betonlara belirli bir oran dahilinde katılan çelik tellerin, bu betonların yarma mukavemetini ve E-Modülü değerlerini önemli sayılabilecek bir ölçüde arttırdıkları, bu değerlerin hafif agrega hacim oranına bağlı olarak bir miktar düştüğü, birim ağırlıklardaki artışları ise önemli sayılabilecek sınırlar içerisinde etkilemedikleri söylenebilir.

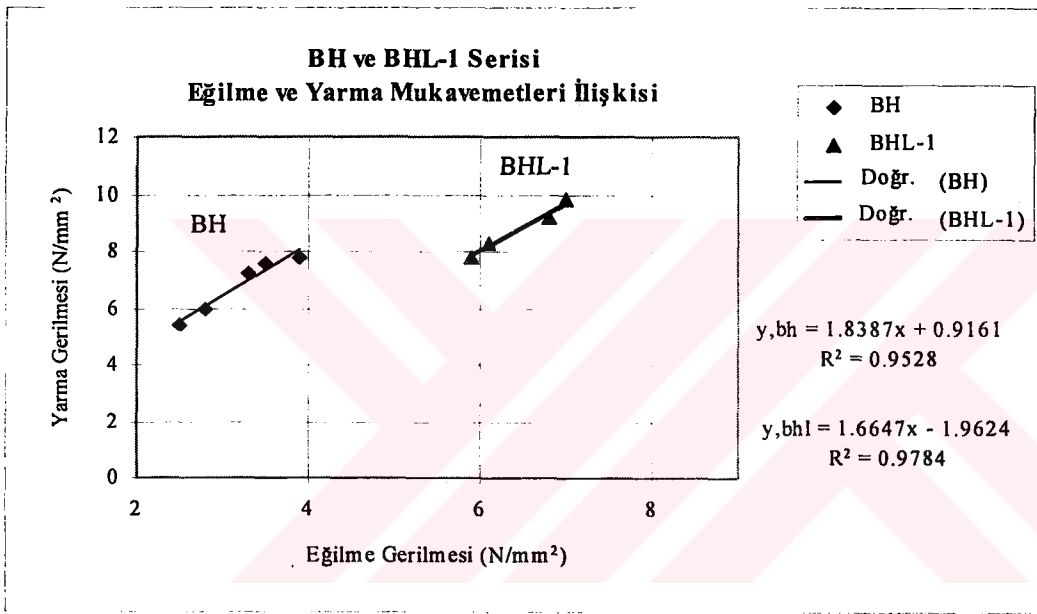
Bu başlıkların genel bir değerlendirmesi yapıldığında sonuç olarak, hafif betonlara belirli bir oran dahilinde ($V_f = 0.0075$) katılan çelik tellerin, bu betonların basınç mukavemetini ve birim ağırlıklarını önemli sayılabilecek bir ölçüde değiştirmedikleri, hatta basınç mukavemetlerinde bir azalmaya neden oldukları, E-Modülü değerlerini % 37, eğilme mukavemetlerini % 136 ve yarma mukavemetlerini ise % 45 oranlarında arttırdıkları anlaşılmaktadır.

4.4.5 Betonların Eğilme Mukavemeti İle Yarma Mukavemeti Arasındaki İlişkileri

Bu başlık altında normal ve değişken süngertaşı hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş hafif ve donatılı hafif betonların eğilme mukavemetleri ile yarma mukavemetleri arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesi yapılmaktadır. Çelik tellerin normal ve hafif betonlara kazandırmış olduğu en önemli mekanik özellikler, eğilme ve yarma gerilmelerindeki olumlu yöndeki iyileşmeler şeklinde kendini göstermektedir. Bu betonların eğilme ve yarma gerilmelerindeki ilişkiler Şekil-4.36'da görülmektedir.

Süngertaşı hafif agrega hacim oranları belirli oranlarda (%10, 20, 30, 36) değiştirilerek üretilmiş olan hafif ve yarı hafif beton serilerinin yarma mukavemeti

ile eğilme mukavemeti değerlerinde, artan hafif agregası hacim oranına göre azalmalar olduğu yukarıdaki şekilde görülmektedir. Aynı davranış çelik tel donatılı hafif betonlar için de geçerlidir. Dolayısıyla hafif agregası hacim oranına bağlı olarak hafif betonların eğilme ve yarma mukavemetleri arasında bir ilişki olduğu söylenebilir. Süngertaşı hafif agregası hacim oranı arttırıldıkça hafif betonların birim ağırlık, eğilme ve yarma mukavemetleri değerleri doğrusal olarak azalmaktadır. Yine aynı şekilde, yukarıda da değinildiği gibi, bu davranış üzerinde süngertaşı hafif agregasının mukavemet özellikleri etkili olmaktadır. Hafif betonlarda harç fazının değil, hafif agregası fazının mukavemetinin düşük olması eğilme ve yarma mukavemeti değerini belirlemektedir.

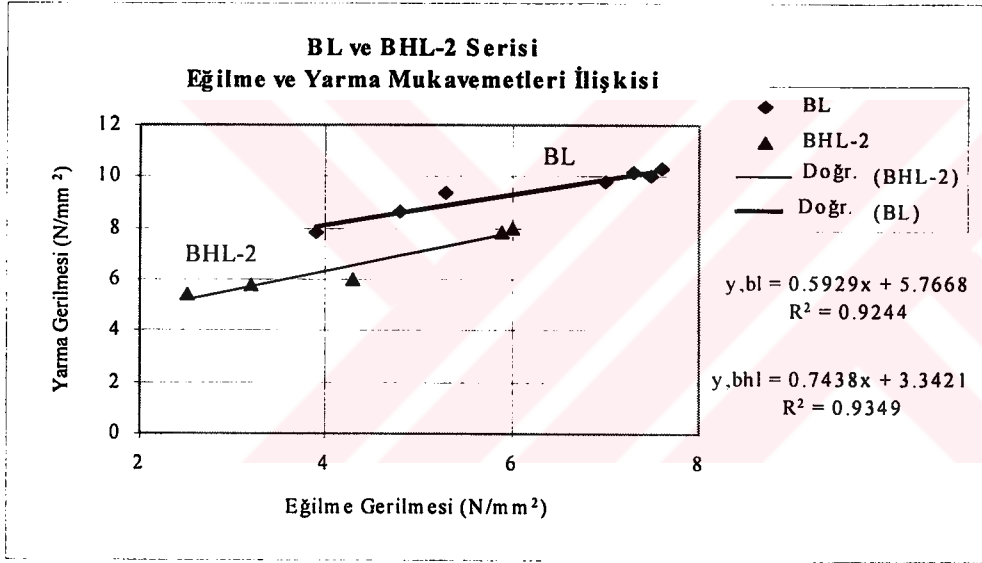


Şekil-4.36 Çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda eğilme mukavemeti ile yarma mukavemeti arasındaki ilişkiler

Bununla birlikte çelik tel donatılı hafif beton serilerinin eğilme ve yarma mukavemeti değerleri donatısız hafif betonlara göre daha yüksek değerler almaktadır. Bu seriler korelasyon değerleri bakımından kıyaslandığında elde edilen (BHL-1) serisinin (R^2) değerinin donatısız betona göre biraz daha yüksek olduğu (0.978) görülmektedir.

Aynı özellik değerlendirmeleri çelik tel hacim oranının değişken olduğu normal ve hafif betonlar için yapıldığında da, çelik tellerin normal (BL) ve hafif betonlara (BHL-2) kazandırmış olduğu en önemli mekanik özelliklerin, eğilme ve yarma gerilmelerindeki iyileşmeler şeklinde kendini gösterdiği anlaşılmaktadır. Bu betonların, değişken çelik tel hacim oranına bağlı olarak eğilme ve yarma gerilmeleri davranışları aşağıdaki Şekil-4-37'de gösterilmektedir.

Çelik tel hacim oranları belirli oranlarda değiştirilerek üretilen donatılı normal ve hafif betonların eğilme mukavemeti ile yarma mukavemeti değerlerinde, çelik tel hacim oranına bağlı olarak yükselmeler olduğu yukarıdaki şekilden görülmektedir. Buna göre, çelik tel hacim oranına bağlı olarak normal ve hafif betonların eğilme ve yarma mukavemetleri arasında da lineer bir ilişkinin olduğu anlaşılmaktadır. Çelik tel hacim oranı arttırıldıkça normal ve hafif betonların birim ağırlıklarında önemsiz sayılabilecek bir artış izlenmekle birlikte, eğilme ve yarma mukavemetleri değerlerinin ise doğrusal olarak yükseldiği görülmektedir. Ancak bu yükseliş belirli bir hacim oranına göre gerçekleşmektedir. Bu orandan sonra ($V_f = 0.02$) söz konusu mekanik değerlerde bir düşüş eğilimi görülmektedir. Buna çelik tel hacim oranının artmasıyla bünyede oluşan kusur etkisi neden olmaktadır. Aynı şekilde bu betonlar korelasyon değerlerin bakımından da karşılaştırıldığında söz konusu değerlerin birbirlerine yakın olduğu da görülmektedir.



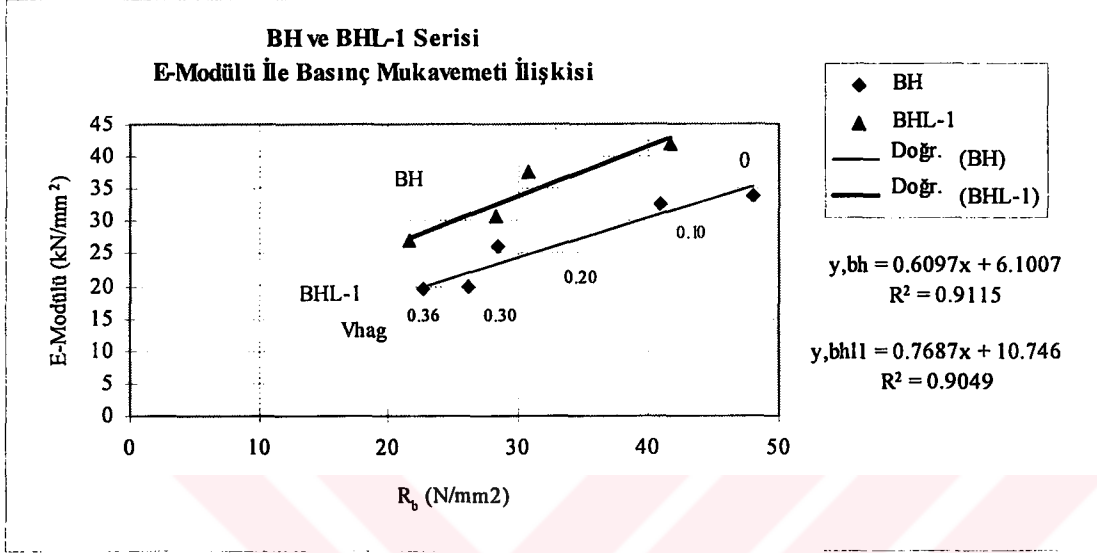
Şekil-4.37 Çelik tel donatılı normal ve hafif betonlarda eğilme mukavemeti ile yarma mukavemeti arasındaki ilişkiler

Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesinin üretilen gerek normal gerek hafif karışımlar üzerinde oluşturduğu en önemli özellikler olarak eğilme ve yarma mukavemetlerindeki belirgin artışlar olduğu şeklinde bir sonuç ortaya konulabilir. Bu iyileşme söz konusu beton serilerinin basınç mukavemetleri için söz konusu olmamaktadır.

4.4.6 Üretilen Betonlarda E-Modülü İle Basınç Mukavemeti Arasındaki İlişkiler

Değişken süngertaşı hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş olan yine aynı (BH) ve (BHL-1) ve değişken polimer katkılı normal (BP) ve hafif (BHP) serilerini oluşturan betonların E-Modülü değerleri ile basınç mukavemeti değerleri

araşındaki ilişkiler bu başlık altında değerlendirilmektedir. Söz konusu (BH) ve (BHL-1) serisi betonların belirtilen özellikleri arasındaki ilişkiler Şekil-4.38'de gösterilmektedir.



Şekil-4.38 Değişken hafif agrega hacim oranına göre çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda E-Modülü ile Basınç mukavemeti arasındaki ilişkiler

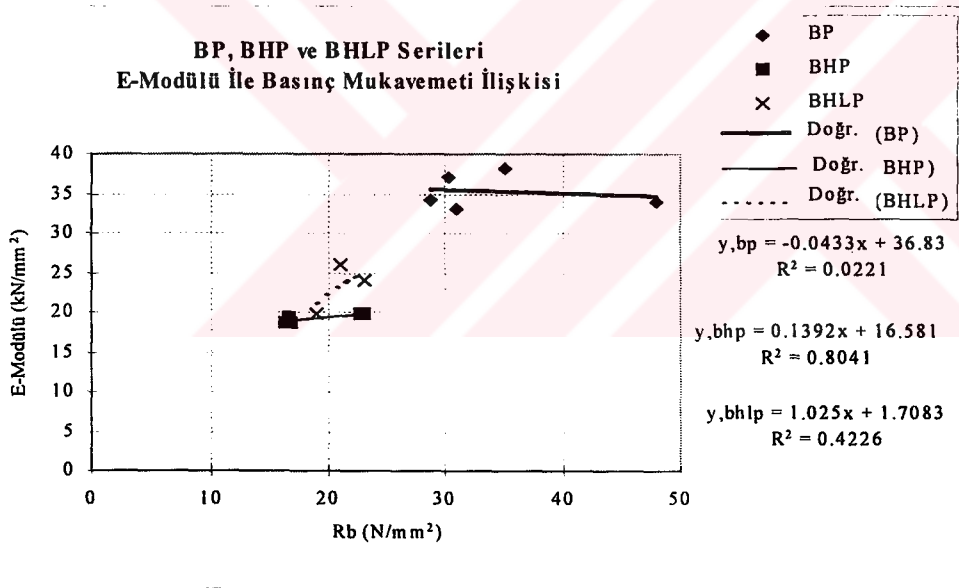
Burada hafif agrega hacim oranına göre hafif ve donatılı hafif betonlar E-Modülü ve basınç mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında söz konusu özellikler arasında bir ilişki olduğu görülmektedir. Her iki grupta da hafif agrega hacim oranlarına bağlı olarak E-Modülü ve basınç mukavemetleri değerlerinin azaldığı ilgili grafikten izlenmektedir. Bununla birlikte çelik tel donatılı betonların E-Modülü değerlerinin çelik tellerden kaynaklanan özelliklerinden dolayı daha yüksek değerler aldıkları ve basınç mukavemetlerinin ise bir miktar azaldıkları da görülmektedir.

Ayrıca, BH ve BHL-1 serilerinin basınç gerilmeleri ile E-Modülü davranışları korelasyon yönünden irdelendiğinde BH ve BHL-1 serilerinin (R^2) değerlerinin birbirlerine yaklaşık değerlerde oldukları ve benzer bir doğrusal regresyon eğrisi verdikleri de izlenmektedir. BH serisinin (R^2) değeri 0.91 ve BHL-1 serisinin değeri ise 0.90 şeklindedir.

Çelik tellerle donatının betonunun basınç mukavemeti üzerinde önemli bir artışa neden olmadığından yukarıda bahsedilmiştir. Daha önce de değinildiği gibi, genel olarak çelik tellerle donatılı betonların basınç mukavemetlerindeki değişimlerin % -25 ile % 25 arasında değişebileceği literatürde [62]. belirtilmektedir. E-Modülündeki değişimlerin de aynı oranlar içerisinde olabileceği aynı literatür [62]'de ifade edilmektedir. Donatılı hafif betonlarda basınç mukavemeti ile E-Modülü değerleri karşılaştırıldığında, E-Modülü davranışının bu betonların basınç

mukavemetinden bağımsız olduğu görülmektedir. Çelik tel donatılı hafif betonlarda E-Modülü değerlerinin yüksek olması, bu betonların bünyesindeki çelik tellerin ultrases hızlarını etkilemelerinden ileri gelmektedir. Dolayısıyla, genel olarak hafif betonlar belirli bir oran dahilinde olmak üzere çelik tellerle donatıldığında, bu betonların basınç mukavemetinin önemli sayılabilecek bir ölçüde değiştirmedığı fakat E-Modülü değerlerinin oldukça önemli sayılabilecek ölçüde arttığı, birim ağırlıkların ve bahsedilen özelliklerin hafif agrega hacim oranına bağlı olarak bir miktar azaldığı söylenebilir.

Yine aynı şekilde, lateks polimer katkıli normal beton (BP), lateks polimer katkıli hafif beton (BHP) ve çelik tel donatılı polimer katkıli hafif beton (BHLP) serilerinde değişken polimer katkı hacim oranlarına bağlı olarak bu betonların basınç mukavemetleri ile E-Modüllerindeki değişimler Şekil-4.39'da gösterilmektedir. Katkıli normal ve hafif beton serilerinde lateks katkı oranı (V_p) yüzde 10, 20, 30 ve 40 şeklinde değişken olup, katkıli hafif beton serilerinde hafif agrega hacim oranı maksimum $V_{hag\ max} = 0.36$ şeklinde sabittir. BHLP serisinde ise çelik tel hacim oranı 0.0075 ve polimer katkı hacim oranı yüzde 10 ile yüzde 30 şeklindedir.



Şekil-4.39 Lateks polimer katkıli normal ve hafif beton serilerinin basınç mukavemeti ile E-Modülü arasındaki ilişkiler

Söz konusu beton serileri E-Modülü ile basınç mukavemetleri davranışları açısından değerlendirildiğinde bu betonların iyi bir korelasyon değeri vermedikleri görülmektedir. Lateks polimer katkı maddesi genel olarak bu seri betonların mukavemetlerinde olumlu sayılabilecek bir etki oluşturmamaktadır. Gerek (BP) serisinde gerek (BHP) serisinde katkı oranı ile birlikte birim ağırlıklardaki değişimler pek fazla olmamakla birlikte basınç mukavemetleri genel olarak bir azalma eğilimi göstermektedirler. Bunun yanında E-Modülü (BP) serisinde daha yüksek değerler alınırken (BHP) serisinde ise pek değişmemektedir. Basınç mukavemetleri açısından,

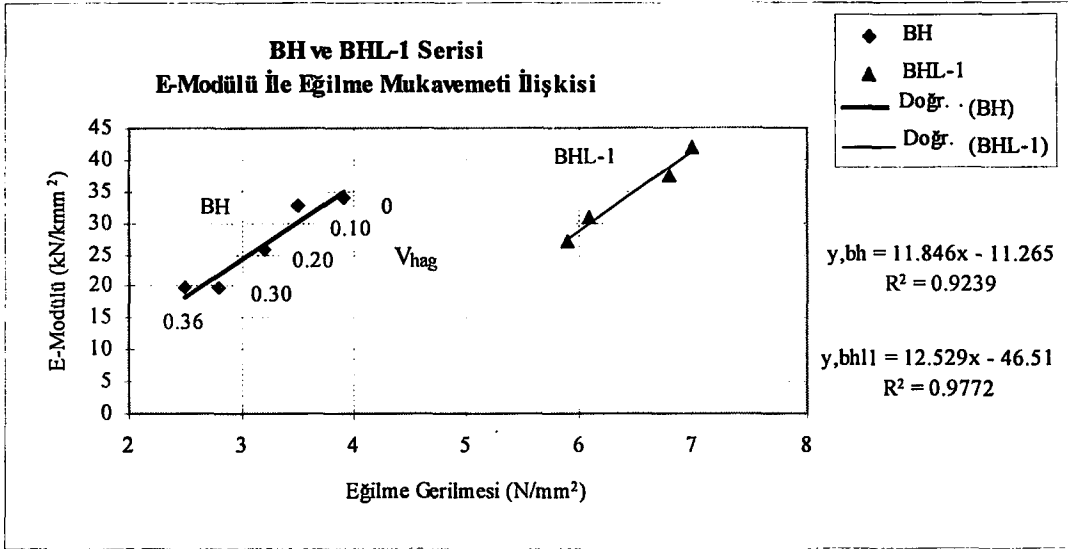
polimer katkı oranının 0.10 olduğu her iki seride de diğer karışım oranlarına göre biraz yüksek değerler elde edilmesine karşın, bu değerler aynı karışım oranında (BP) serisinde, bu serisinin kontrol betonuna göre % 27 daha az, (BHP) ve (BHL) serilerinde bu serilerin kontrol betonlarına göre ise önemli sayılamayacak bir artış göstermektedir.

Sonuç olarak lateks polimer katkı maddesi normal ve hafif betonlarda basınç mukavemeti açısından aynı davranışları gösterirken E-Modülü değeri açısından (BP) serisinde daha yüksek değerler almakta, (BHP) serisinde önemli derecede bir etki yapmamakta ve (BHL) serisinde ise polimer hacim oranına bağlı olarak düşmektedir. (BHL) serisinde polimer katkı oranının 0.10 olduğu karışımında basınç mukavemetinin katkısız çelik tel donatılı hafif betona göre % 10 daha yüksek bir değer aldığı görülmektedir. Dolayısıyla polimer katkılı beton serilerinde E-Modülü ile basınç mukavemeti arasında iyi bir ilişkinin kurulamadığı anlaşılmaktadır.

4.4.7 Hafif Betonlarda E-Modülü İle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler

Değişken süngertaşı hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş olan yine aynı (BH) ve (BHL-1) gruplarını oluşturan hafif ve çelik tel donatılı hafif betonların E-Modülü değerleri ile eğilme mukavemeti değerleri arasındaki ilişkiler Şekil-4.40'da gösterilmektedir.

Aşağıdaki Şekil-4.40'da gösterilmiş olan değişken hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş olan hafif ve çelik tel donatılı hafif betonlar, E-Modülü ve eğilme mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında yine arada benzer bir ilişki olduğu yani, her iki grupta da hafif agrega hacim oranlarına bağlı olarak E-Modülü ve eğilme mukavemetleri değerlerinin azaldığı ilgili şekilden de izlenmektedir. Bununla birlikte çelik tel donatılı betonların (BHL-1) E-Modülü ve eğilme mukavemeti değerlerinin çelik tellerden kaynaklanan özelliklerinden dolayı (BH) serisine göre daha yüksek değerler aldıkları görülmektedir. (BH) serisinin iri agrega gurubu hacimce 0.20 olarak süngertaşı hafif agregası ile değiştirildiğinde elde edilen E-Modülü değeri ile (BHL-1) serisinde hafif agrega hacim oranı 0.36 ve çelik tel hacim oranı 0.0075 olan betonun E-Modülü değeri birbirlerine yaklaşık değerdedir. Bunun yanında (BHL-1) serisinde belirtilen özellikteki betonunun eğilme gerilmesi, (BH) serisi betonuna göre % 73 daha yüksek bir değer almaktadır.



Şekil-4.40 Değişken hafif agrega hacim oranına göre çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda E-Modülü ile eğilme mukavemeti arasındaki ilişkiler

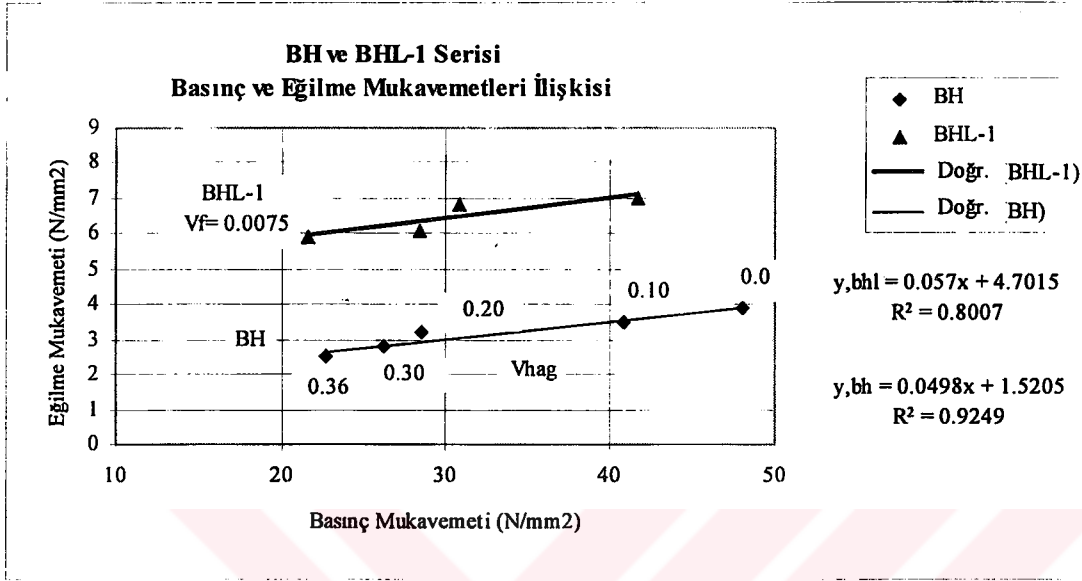
Ayrıca, ilgili şekilden de görüldüğü gibi BH ve BHL-1 serilerinin eğilme gerilmeleri ile E-Modülü davranışları korelasyon yönünden irdelendiğinde elde edilen değerler, BHL-1 serisinde (R^2) 0.977 dolayında, BH serisinde ise 0.92 değerindedir. Bu serilerin birbirlerine benzer bir doğrusal regresyon eğrisi verdikleri de izlenmektedir.

4.4.8 Hafif Betonlarda Basınç Mukavemetiyle Eğilme Mukavemeti Arasındaki İlişkiler

Son olarak aynı şekilde değişken süngertaşı hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş olan (BH) ve (BHL-1) gruplarını oluşturan hafif ve çelik tel donatılı hafif betonların basınç mukavemeti değerleri ile eğilme mukavemeti değerleri arasındaki ilişkiler irdelenmektedir. Bu Betonların söz konusu özellik ilişkileri Şekil-4.41'de gösterilmektedir.

Şekilde gösterilmiş olan değişken hafif agrega hacim oranlarına göre üretilmiş olan hafif ve çelik tel donatılı hafif betonlar, basınç ve eğilme mukavemetleri değerleri açısından karşılaştırıldığında, yine arada benzer bir ilişkinin mevcut olduğu yani, her iki grupta da hafif agrega hacim oranlarına bağlı olarak basınç ve eğilme mukavemetleri değerlerinin azaldığı izlenmektedir. Bununla birlikte çelik tel donatılı betonların eğilme mukavemeti değerlerinin çelik tellerden kaynaklanan özelliklerinden dolayı (BH) serisine göre daha yüksek değerler aldıkları, basınç mukavemetleri değerlerinin ise yine (BH) serisine göre biraz düşük olduğu görülmektedir. Bununla beraber her iki serinin, hafif agrega hacim oranı 0.36 ve çelik tel hacim oranı 0.0075 olan betonunun basınç mukavemetleri birbirlerine yaklaşık

değerlerdedir. Buna karşın eğilme mukavemetleri arasında, çelik tel donatıdan dolayı, büyük farklar görülmektedir.



Şekil-4.41 Değişken hafif agrega hacim oranına göre çelik tel donatılı ve donatısız hafif betonlarda basınç ile eğilme mukavemeti arasındaki ilişkiler

Ayrıca, ilgili şekilde de görüldüğü gibi (BH) ve (BHL-1) serilerinin eğilme gerilmeleri ile basınç gerilmeleri davranışları korelasyon yönünden irdelendiğinde elde edilen değerler, (BHL-1) serisinde (R^2) 0.80 dolayında, (BH) serisinde ise 0.92 değerindedir. Çelik tel donatılı betonların (R^2) değerinin düşük olmasına donatı malzemesinden kaynaklanan iç yapı özellikleri neden olmaktadır. Bu serilerin birbirlerine benzer bir doğrusal regresyon eğrisi verdikleri de söylenebilir.

4.4.9 Üretilen Betonların E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak Belirlenmesi Olanakları

Hafif betonlarda E-Modülünün, birim ağırlık ve basınç mukavemeti cinsinden ifadesi belirli bir yaklaşımla mümkün olabilmektedir. Burada, betonların bu anlamda bir değerlendirmesine geçmeden önce, bu yaklaşımlar hakkında birtakım açıklamalar yapmakta yarar olacaktır.

Beton ve harçlarda malzemenin özellik ve miktarlarından hareketle E-Modülünü ifade etmeye yönelik, birim ağırlıkla ve basınç mukavemeti ile olan ilişkilerin araştırıldığı çalışmalar literatürde yer almaktadır. [5, 9, 100]. Bu tür

çalışmalar genel olarak "danelerle donatılı kompozit malzeme" olarak tanımlayabilen beton üzerinde yürütülmüştür.

Bu konuda, normal betonlardaki ilişki en genel hali ile "l'Hermite Bağıntısı" adı ile de isimlendirilen Bağıntı 4.6 şeklinde verilmektedir.

$$E = k \sqrt{\sigma_c} \quad (\text{kgf/cm}^2) \quad [4.6]$$

$$E = \frac{600000 \cdot R_c}{200 + R_c} \quad [4.7]$$

Bağıntı-4.6'da yeralan (k) değeri, betonlar için 18000-23000 arasında bir değer olarak verilmektedir. Aynı bağıntı, Fransız Betonarme Şartnamesi ve 1970 yılında Avrupa Beton Komitesi tarafından $K = 21000$ değerini alacak şekilde benimsenmiştir. Yapılan karışımların ve malzemenin özeliğine bağlı olarak (k) için farklı yayınlarda daha da değişik değerlere rastlanmaktadır. Örneğin, CEB-FIB hükümlerine göre de bu ilişki küp şeklindeki betonlar için $k = 19000$ ve silindir şeklindeki betonlar için $K = 21000$ dolayındadır.

Bu alandaki ilk çalışmalarda Bağıntı-4.6 ile birlikte "ROS Bağıntısı" da (Bağıntı-4.7) yer almaktadır. Burada, her iki bağıntıda katsayıların değerinin, esas alınan birim sistemine göre değişebileceği hususu dikkate alınmalıdır.

Hafif betonlarda bu ilişki hafif agreganın katılması ile daha da değişmektedir. Esasında aynı mukavemet özelliklerine sahip normal betonlara göre, taşıyıcı hafif betonların E-Modülü değerleri, normal betonunkinin yüzde 50 ile yüzde 80'i mertebesinde kalmaktadır [100].

Bu konuda, Pauw [101] çok sayıda numune üzerinde yaptığı deneylerin sonuçlarına dayanarak, taşıyıcı normal ve hafif betonlarda, basınç mukavemeti ile E-Modülü arasındaki ilişki için aynı bağıntının geçerli olduğunu ileri sürmüştür. Buna göre, birim ağırlığa bağlı olarak, betonlarda E-Modülü ile $[\Delta^{3/2} \sqrt{\sigma_c}]$ faktörü arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur.

$$E = 4000 \cdot \Delta^{3/2} \sqrt{\sigma_c} \quad [\text{kp/cm}^2] \quad [4.8]$$

Weigler [102], tüm hafif betonlar için önerilen ve oldukça genel nitelik taşıyan bu ilişkinin, kullanılan hafif agrega türüne bağlı olarak değişimini incelemiştir. Çalışmalarında, geliştirilmiş kil agregası için Bağıntı-4.9 ve geliştirilmiş şist agregası için Bağıntı-4.10 deney sonuçlarına bağlı olarak elde edildiğini belirtmektedir.

$$E_{ec} = 5900 + 234\sqrt{\Delta^3 \sigma_c} \quad [N/mm^2] \quad [4.9]$$

$$E_{es} = 8530 + 238\sqrt{\Delta^3 \sigma_c} \quad [N/mm^2] \quad [4.10]$$

Taşdemir [5], beton agregasının bir bölümü ponza taşı hafif agregası ile değiştirerek ürettiği taşıyıcı hafif betonların deney sonuçlarına dayanarak, ortalama hafif agregaya çapına bağlı olarak basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı ve E-Modülü ilişkilerini inceleyerek saptamalar yapmış olup, ürettiği tüm karışımlar için Bağıntı-11'i vermektedir;

$$E = 1740 + 580\sqrt{\Delta^3 \sigma_c} \quad (R = 0.393) \quad [N/mm^2] \quad [4.11]$$

Genleştirilmiş kil hafif agregalı, yüksek mukavemetli hafif betonlar üzerinde yaptıkları çalışmaların sonucunda Min Hong Zhang ve Odd E.Gjorv [103], hafif betonlarda basınç mukavemeti ile E-Modülü arasında gözlenmelenen ilişkinin Bağıntı-4.12'ye uygun olduğunu belirtmektedirler.

$$E = 1.19 \cdot R_c^2 \quad (E [GPa], R_c [MPa]) \quad [4.12]$$

Aynı çalışmada araştırmacılar, çeşitli ülkeler ve kurumlara ait bu konudaki ilişki ve bağıntıları da ele alarak karşılaştırmışlardır. Bunlar Norveç Standardı NS3473 (Bağ.-13), Amerikan Beton Enstitüsü ACI Building Code 318-83 (Bağ.-14) ve Slate, Nilson ve Martinez [104] tarafından öne sürülen Bağıntı-14'dür.

$$\text{NS 3475} \quad E = 9500 \cdot R_c^{0.3} \left[\frac{\Delta}{2400} \right]^{1.5} \quad R_c < 85 \text{ Mpa} \quad [4.13]$$

$$\text{ACI 318-83} \quad E = 0.0427 \sqrt{R_c^2 \Delta^3} \quad R_c < 41 \text{ Mpa} \quad [4.14]$$

$$\text{Ref [33H]} \quad E = (3320 \cdot \sqrt{R_c} + 6895) \left(\frac{\Delta}{2320} \right)^{1.5} \quad 21 < R_c < 62 \text{ Mpa} \quad [4.15]$$

Betonun erken çağlardaki özellikleri arasındaki ilişkileri irdeleyen çalışmalarında Oluokun, Burdette ve Deatherage [105], E-Modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişkiyi, 28 günlük betonların E-Modüllerinin basınç mukavemetlerinden hareketle kestirilmesine yönelik olarak önerilen bağıntıları da ele alarak irdelemektedirler. Yine, yüksek mukavemetli betonların taşıyıcılık özellikleri konusundaki çalışmalarında Shah ve Ahmad [106] normal ve yüksek mukavemetli betonlar için sırası ile;

$$E = \Delta^{2.5} [\sqrt{R_c}]^{0.65} \quad [4.16]$$

$$E = \Delta^{2.5} [R_c]^{0.325} \quad [4.17]$$

bağıntılarını vermektedirler.

Malzemenin E-Modülünün, birim ağırlığı ve basınç mukavemetine bağlı olarak araştırılışı, farklı malzeme üzerinde yapılan bir diğer araştırma, alçı bağlayıcılı ve süngertaşı hafif agregalı, cam lifi donatılı ve donatısız hafif betonlarda Ersoy [9] tarafından yapılmıştır. Deneysel olarak sürdürülen çalışmalar sonununda yapılan değerlendirmede, matris hacim oranının 0.40 ve daha büyük olduğu karışımlarda, araştırılan ilişki için lineer regresyon aracılığı ile;

$$E = 2725 + 431.1 \sqrt{\Delta^3 R_c} \quad (r = 0.80) \quad [4.18]$$

bağıntısı elde edilmiştir. Cam lifi donatının özelliklere etkilerinin de araştırılışı bu çalışmada, cam lifi donatının, araştırılan ilişkiyi veren regresyon doğrusunun eğimi üzerinde önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

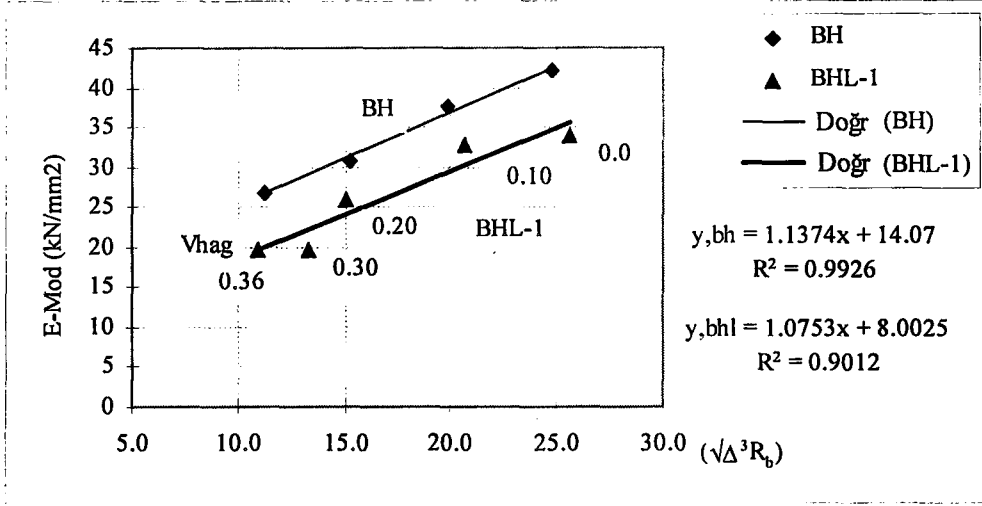
4.4.9.1 Değişken Hafif Agregata Hacim Oranına Bağlı Olarak Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi

"B" gurubu hafif betonlar (BH) ile "D" gurubu çelik tel donatılı hafif beton serilerinde (BHL-1), daha öncede değinildiği gibi, beton içindeki hafif agregata hacim konsantrasyonu belirli oranlarda değiştirilmiştir. Burada üretilen bu betonların E-Modülü ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıkları arasındaki ilişkileri ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından değerlendirilmektedir. Bu ilişkiler aşağıdaki Şekil-4.42'de gösterilmiştir.

Burada doğrusal regresyon aracılığı ile (BH) ve (BHL-1) serilerinin basınç mukavemeti ve birim ağırlıkla, E-Modülü arasındaki ilişkiler irdelenmektedir. İlgili şekilden de görülebileceği gibi bu ilişkilerin korelasyon yönünden irdelenmesinde saptanan (R^2) değerleri BH serisinde 0.99 ve (BHL-1) serisinde ise 0.90 olarak elde edilmiştir. Elde edilen (R^2) değerleriyle, (BH) ve (BHL-1) serilerinin basınç dayanımı ile E-Modülü arasındaki doğrusal ilişkilerin değerlendirmesi yapılırken elde edilen (R^2) değerleri (BH, 0.95, BHL-1, 0.90) kıyaslandığında burada (BH) serisinde elde edilen korelasyon (R^2) değerinin daha yüksek olduğu ve daha iyi bir doğrusal regresyon eğrisi verdiği, (BHL-1) serisi için ise önemli bir değişiklik olmadığı görülmektedir. Dolayısıyla burada birim ağırlıkla basınç mukavemeti ve E-Modülü değerleri arasında bir ilişkinin varlığından söz edilebilmektedir.

Deneysel (BH) serilerinden elde edilen sonuç, Taşdemir'in [5] bulgularıyla da paralellik içindedir. Taşdemir, çalışmasında beton agregasının bir bölümünü süngertaşı hafif agregası ile değiştirerek ürettiği betonların sonuçlarına dayanarak,

basınç mukavemeti, birim hacim ağırlığı ve E-Modülü ilişkisini incelemiş ve ürettiği tüm karışımlar için (R^2) değerini 0.939 olarak tesbit etmiştir.



Şekil-4.42 BH ve BHL-1 serilerinde basınç mukavemeti değerlerinin karekökü ile E-Modülü arasındaki ilişkiler ($V_f = 0.0075$)

Aynı değer (BH) serisi için 0.992 şeklindedir ve değişken sünger taşı agregalı betonların birim hacim ağırlık ve basınç mukavemetlerinin elastiklik modülüne etkisini gösteren değişken ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü ile deneylerle bulunan elastiklik modülleri arasında aşağıda verilen bağıntı bulunmuştur.

$$E = 1.137 + 14.07 (\sqrt{\Delta^3 R_b}) \quad (R^2 = 0.9926) \quad (\text{kN/mm}^2)$$

$$(\text{Taşdemir}) E = 1740 + 580 (\sqrt{\Delta^3 R_b}) \quad (R^2 = 0.939) \quad (\text{N/mm}^2)$$

Aynı özellikler (BHL-1) serisi için irdelendiğinde elde edilen bağıntı;

$$E = 1.073 + 8.00 (\sqrt{\Delta^3 R_b}) \quad (R^2 = 0.9012) \quad (\text{kN/mm}^2)$$

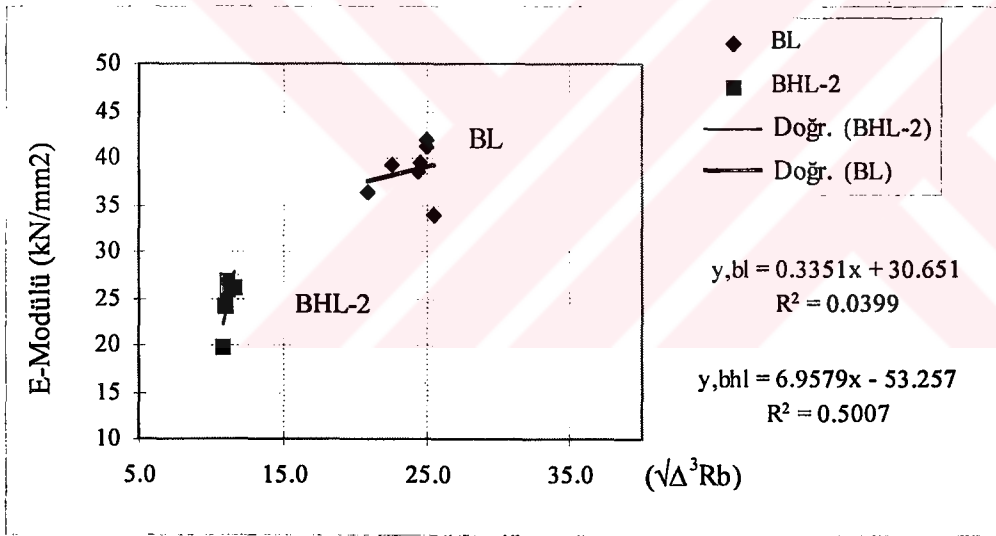
şeklinde elde edilmiştir.

Sonuç olarak bu çalışmada kullanılmış olan hafif agreganın hem türünün hem de birim hacim ağırlığının değişmesinden dolayı elde edilen E-Modülü değerlerinin (BH) serisi için, Pauw'un [101] ve Weigler'in [102] verdiği formüllerden farklı çıkması doğal sayılabilir. Bu seride (E) ile ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) arasındaki iyi bir ilişkinin bulunmuş olması adı geçen araştırmacıların bağıntılarıyla uyum sağlamakta bunun yanında sadece katsayılar değişmektedir.

Söz konusu ilişkinin çelik tellerle donatılı hafif beton serisi (BHL-1) serisi için de tam olarak kurulamadığı, belirli bir güvenlilikle geçerli olabileceği ileri sürülebilir.

4.4.9.2 Değişken Çelik Tel Hacim Oranına Bağlı Olarak Normal ve Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi

Çelik tel donatılı karışımlardaki basınç mukavemeti özellikleri, çelik tel donatılı normal beton (BL) ve çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) karışımlarında olmak üzere iki grupta ele alınıp değerlendirilmiştir. Bu beton serilerinde çelik tel donatı malzemesinin hacim oranı belirli oranlarda değiştirilmiş olup, çelik tel donatılı hafif beton (BHL-2) serisinde ise süngertaşı hafif agregasının hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olarak sabit tutulmuştur. Burada yine bu seri betonların E-Modülü ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıkları arasındaki ilişkileri ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından değerlendirilmektedir. Bu ilişkiler aşağıdaki Şekil-4.43'de gösterilmiştir



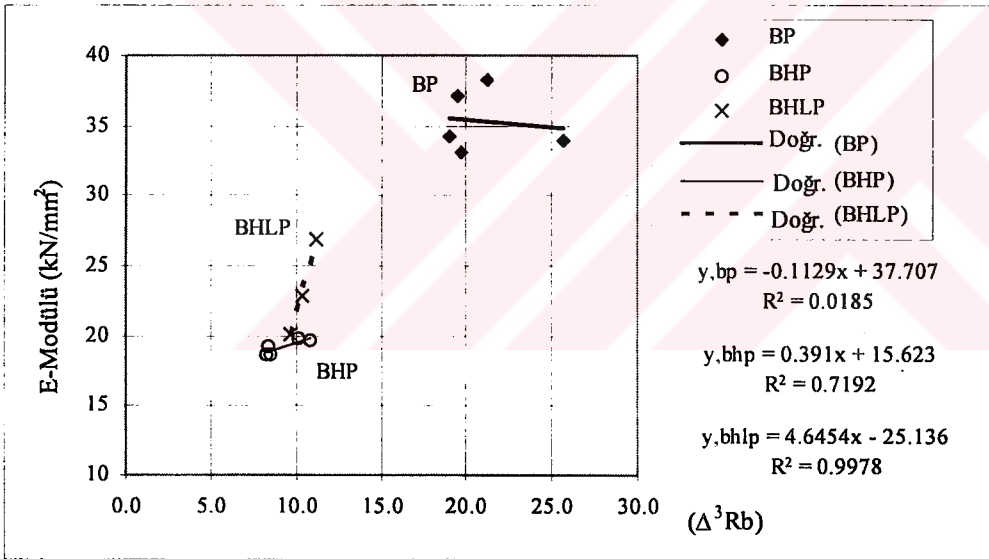
Şekil-4.43 BL ve BHL-2 serilerinde ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü ile E-Modülü arasındaki ilişki

Yukarıdaki şekil incelendiğinde değişken çelik tel hacim oranlarına sahip olan donatılı normal (BL) ve donatılı hafif beton (BHL-2) serilerinin korelasyon değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla normal ve hafif betonlara çelik tel donatı malzemesi katılması birim ağırlık değerlerini az ve E-Modülü değerlerini de daha çok yükseltmesine karşın, basınç mukavemetlerini bir miktar düşürdüğünden, bu betonlarda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından bir ilişkinin bulunmadığı

ortaya çıkmaktadır. Böylece, bu betonların birim ağırlıkları ile E-Modülü değerleri arasında bir ilişkinin olduğu fakat çelik tel hacim oranının değişken olduğu çelik tellerle donatılı normal ve hafif betonlarda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından iyi bir ilişkinin kurulamadığı anlaşılmaktadır.

4.4.9.3 Değişken Lateks Polimer Katkı Oranına Bağlı Olarak Normal ve Hafif Betonlarda E-Modülünün Birim Ağırlık ve Basınç Mukavemetine Bağlı Olarak İrdelenmesi

Polimerli beton serilerinde lateks katkı maddesinin hacim oranı belirli oranlarda değiştirilmiş olup, katkılı hafif beton (BHP) serisinde ise süngertaşı hafif agregasının hacim oranı $V_{\text{hag max}} = 0.36$ olarak, (BHLP) serisinde ise çelik tel hacim oranı $V_f = 0.0075$ olarak sabit tutulmuştur. Burada da aynı şekilde bu seri betonların E-Modülü ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıkları arasındaki ilişkileri ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından değerlendirilmektedir. Bu ilişkiler aşağıdaki Şekil-4.44' de gösterilmiştir



Şekil-4.44 BP ve BHP serilerinde ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü ile E-Modülü arasındaki ilişkiler ($V_f = 0.0075$)

Yukarıdaki şekil incelendiğinde değişken lateks polimer katkı hacim oranlarına sahip olan polimerli normal (BP) ve katkılı hafif beton (BHP) serilerinin, özellikle BP serisinin, korelasyon değerlerinin çok düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla normal ve hafif betonlara lateks katkı maddesi katılması birim ağırlığı, E-Modülünü önemli derecede etkilemediğinden, basınç mukavemeti değerlerini (BP) serisinde düşürdüğünden ve (BHP) serisinde ise lateks hacim oranının 0.20 olduğu

karışımından sonra azalmasına neden olduğundan dolayı bu seri betonlarında ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü açısından bir ilişkinin kurulamadığı ortaya çıkmaktadır. Sonuçta ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeninin çelik tel donatılı beton serilerinde olduğu gibi, lateks polimer katkılı normal ve hafif betonlarda da iyi bir ilişki vermediği anlaşılmaktadır.

Bununla birlikte çelik tel ve süngertaşı hafif agrega hacim oranının sabit olduğu katkılı hafif beton karışımlarında ise E-Modülü ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıklar arasındaki ilişkiler ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeni açısından değerlendirildiğinde elde edilen değerlerin daha olumlu olduğu ve söz konusu ilişkinin bu beton serilerinde daha iyi kurulabileceği görülmektedir. Bu serilerde korelasyon değeri ise;

$$E_{bhlp} = 4.645 + 25.13 (\sqrt{\Delta^3 R_b}) \quad (R^2 = 0.9978) \quad (\text{kN/mm}^2)$$

olarak elde edilmiştir. Sonuç olarak, (BHLP) serisinin, E-Modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak, güvenlikle $E_c = a \cdot \sqrt{\Delta^3 R_b}$ bağıntısı ile formüle edilebileceği görülmekte ve sonuçlar önerilen bağıntılara uygun düşmektedir. Bu çalışmada kullanılmış olan hafif agreganın hem türünün hem de birim hacim ağırlığının değişmesinden dolayı elde edilen E-Modülü değerlerinin Pauw'un ve Weigler'in verdiği formüllerden farklı çıkması doğal sayılabilir. Bu seride (E) ile ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) arasındaki iyi bir ilişkinin bulunmuş olması adı geçen araştırmacıların bağıntılarıyla uyum sağlamakta bunun yanında sadece katsayılar değişmektedir.

4.5 Deney Kapsamındaki Beton Mukavemetlerinin Güvenilirliğinin, Beton Mukavemeti Çekici ve Ultrases Hızı Ölçüm Yöntemiyle İrdelenmesi -SONREB Yöntemi -

Bu başlık altında, üretilen tüm karışımlar üzerinde yapılan basınç deneyleri sonucunda elde edilen mukavemet değerlerinin, tahribatsız yöntemlerle Schmidt sertlik deneyleri ve ultrases ölçümlerinden saptanan değerlerinden hareketle güvenilirlikleri açısından bir karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu değerlendirme literatürde SONREB adı ile belirtilmektedir.

Betonun yerinde muayenesi, bilindiği gibi en yaygın olarak, biri ultrases ölçülmesi diğeri de Schmidt çekici kullanılarak sertliğinin saptanması olmak üzere iki değişik yöntem uygulanarak yapılmaktadır. Bu ölçümlerde elde edilen sayısal sonuçların değerlendirmesi yapılarak betonun mukavemeti yaklaşık olarak bulunmakta veya betonun iç yapısının durumu hakkında bilgi edinilebilmektedir. Burada, betonların biri ultrases metodu olan diğeri beton sertliğini ölçen iki değişik ölçüm yöntemlerinden elde edilen sonuçlardan beton mukavemetinin gerçek değerine en yakın bir şekilde saptanabilmesi ve deneysel yöntemler elde edilmiş olan sonuçlarla bir kıyas yapılması aşamaları değerlendirilmektedir.

Beton içindeki ses hızının belirlenmesi kısaca şu şekildedir. Prizma şeklindeki betonların bir yüzünden, özel ölçüm aletiyle üretilen yüksek frekanslı ses dalgaları gönderilmekte, bunların karşı yüze ulaşması için geçen süre mikrosaniye cinsinden ölçülmektedir. Ses dalgalarının katettiği mesafenin bu süreye bölünmesi ile

(v) gösterilen beton içindeki ultrases hızı elde edilmektedir. Genel olarak bu büyüklük (km/sn) cinsinden verilmektedir.

Postacıoğlu [109] tarafından yapılan iki araştırmanın sonuçlarına göre, beton içindeki ultrases hızının betonun kompasitesine bağlı olduğu ve bununla birlikte aynı yönde değiştiği, Schimdt sertliği ise çimentonun hidrasyonundaki gelişmeyi gösterdiği ve dolayısıyla betonun kohezyonunu belirlediği açıklanmaktadır.

4.5.1 Ultrases Hızı Deneyinin İçeriği

Ses dalgaları beton içinde ilerlerken boşluğa rastlaması halinde bunların yansımalarından dolayı bu boşluğu geçemeyerek etrafı dolaşmaktadırlar. Birçok boşluğun bulunması halinde bu olayın birçok defa tekrarlanması sonunda ses dalgalarının bir yüzden diğer yüze ulaşması için geçen süre belirgin bir ölçüde artmakta veya ses hızı belirgin bir azalma göstermektedir. Bu kısa açıklama hemen ses hızı (v) ile betonun kompasitesi arasında bir ilişki bulunduğunu ortaya koymaktadır. Kompasitenin büyük olması halinde betonun içerdiği boşluk az olacağından ultrases hızı büyük değerler alacaktır. Kompasite büyük değerler aldığı zaman genellikle boşluksuz cisimlerin mukavemetlerinin yüksek olduğu bilinmektedir [109]. Burada betonun mukavemetinin ultrases hızı (v) ile beraber artmakta olduğu derhal anlaşılmaktadır. Kompasitenin küçük olması halinde ise beton içinde fazla miktarda boşluk bulunduğu ortaya çıkmaktadır. Ultrases hızı burada küçük değerler almakta ve mukavemetin bu halde büyük değerler alması kesinlikle beklenememektedir.

Bu konuda yapılmış birçok araştırmada basınç mukavemeti (R) ile ultrases hızı (v) arasında çeşitli bağıntılar kurulmuştur. Bu bağıntılar ve bağıntılarda yer alan katsayılar üretilen betonunların çeşitli özelliklerine, betonun bileşimine, üretiminde kullanılan malzemelerin özelliklerine, bakım koşullarına ve betonun yaşına bağlı olarak oldukça geniş bir alanda değişmektedir.

4.5.2 Schimdt Sertlik Ölçümünün İçeriği

Schimdt ölçüm deneyinde ise, darbeli beton çekici ile beton yüzeyine uygulanan darbe sonucunda geri tepme mesafesinin değeri okunmaktadır. Bu mesafe ne kadar fazla ise beton o kadar sert olmakta ve daha yüksek bir mukavemete sahip bulunmaktadır. Alette, betonun yüzeyine dik olarak çarpan mekanizmasının (S) ile gösterilen geri tepme mesafesi ölçülmek suretiyle betonun mukavemeti hakkında bilgiler edinilmektedir. Bir betonda bağlayıcı madde hamurunun mukavemeti ne kadar büyükse, Schimdt aletinin ucunun betonun yüzeyine çarpması sırasında beton içindeki agregaların etrafa dağılması o kadar kısıtlanmış olacağından Schimdt ucu o aranda fazla miktarda geri sıçramaktadır. Bağlayıcı maddenin mukavemeti ise, çimento hidrasyonunun zamanla gelişmesi sonucunda artmakta devam edecektir. Bununla birlikte çimento hidrasyonunun sertliği etkileyen tek bir faktör olmadığını da belirtmek gerekir.

Bu açıklamalar kısaca özetlenecek olursa (v) yalnız başına ve (S) yalnız başına betonun mukavemetini belirlemeye yetmemektedir. (v)'nin büyük olması kompasitenin büyük olduğunu gösteriyorsa da eğer çimento birçok nedenlerle yeterli düzeyde hidrasyon yapmamış ise, mukavemet yüksek değerler alamaz. Buna karşılık (S)'nin büyük olmasında çimentonun hidrasyon yapma bakımından durumunun iyi olduğunu anlıyorsak da bu durumda betonun kompasitesi düşükse mukavemetin yüksek olması beklenemeyecektir. Şu halde tahribatsız olarak yapılan ölçümlerde bulunan sonuçlardan beton mukavemetinin gerçek değerine yakın bir şekilde bulunması isteniyorsa ultrases hızı ile Schmidt sertlik değerini aynı zamanda göz önünde bulundurmaya gerekmektedir [109]. Başka bir ifadeyle bu iki değişik ölçüm yöntemi birbirlerini tamamlamaktadır.

4.5.3 Üretilen Karışımların Ultrases Hızı ve Schmidt Sertlik Ölçümü Yöntemiyle Mukavemetlerinin Belirlenmesi - SONREB Yöntemi

RILEM (TC 43-CND) [110] tarafından, yukarıda da belirtildiği gibi, ultrases hızı ve geri tepme sayısı ölçümlerine dayalı bir birleşik ve katlı yöntem geliştirilmiştir. Bu iki yöntem birlikte uygulandıklarından biri diğerinin bazı hatalarını azaltıcı ve eksiklerini tamamlayıcı olduğundan sadece birisinin uygulanmasına göre daha az tahmin hatası olacağı söylenebilmektedir. Örneğin, deney anındaki su içeriği geri tepme sayısını azaltırken ultrases hızını arttırmaktadır.

Sadece ses yayılma hızı (v) veya Schmidt geri tepme sayısı (S) ile sertlik ölçümlerinden ibaret basınç dayanımı;

$$R_c = F_v(v) \quad \text{ve} \quad [4.19]$$

$$R_c = F_s(S) \quad [4.20]$$

şeklinde bağıntılar ile tahmin edilebilmektedir. Tahribatsız ölçüm sonuçları, betonun bileşenlerinden ve üretim biçiminden gelen anizotrop ve heterogen yapısı, yaşı saklama koşulları, su içeriği, boyutları, karbonlaşma düzeyi ve donatı durumu gibi faktörlerden önemli düzeyde etkilenmektedirler [110, 111].

Betona ait kohezyon kuvveti ve kompasite ile ilgili büyüklükler bilindikten sonra mukavemetin hesaplanması mümkün olabilmektedir. Bu konuda Feret mukavemet formülünden esinlenerek, beton mukavemetinin (R_t), (S) ve (v) cinsinden aşağıda verilmiş bağıntı şeklinde gösterilebileceği ileri sürülmüştür [109].

$$R_t = \left(\frac{S}{n_1 + n_0 S + n_2 v} \right)^2 \quad [4.21]$$

Bu bağıntıda yer alan n_1 , n_0 , ve n_2 sayıları deneysel sonuçlara dayanılarak saptanılmaktadır.

Üretilen tüm karışımların ultrases hızı ve Schimdt ölçüm değerleri saptanmıştır. Bu karışımlar arasından tipik örnekleri oluşturan betonlar seçilerek bunlar üzerinde yapılan ölçümler neticesinde elde edilen (v) ve (S) değerleriyle, ilgili bağıntıdan hareket edilerek saptanmış olan teorik basınç (R_t) mukavemeti değerleri Tablo-4.1'de verilmiştir. Ayrıca deneysel yolla saptanmış olan basınç mukavemeti (R_b) değerleri de tabloya ilave edilmiştir. Burada, beton serilerini oluşturan örnekler birer birer ele alınmış ve ölçümlerle elde edilen değerler her örnek için gösterilmiştir. Verilmiş olan değerler ortalama değerler değildirler. Bununla birlikte her beton serisi için belirlenen mukavemetlerin değerlendirilmesi, deneysel olarak ve SONREB yöntemiyle elde edilmiş olan değerlerin ortalamalarından hareket edilerek yapılmıştır.

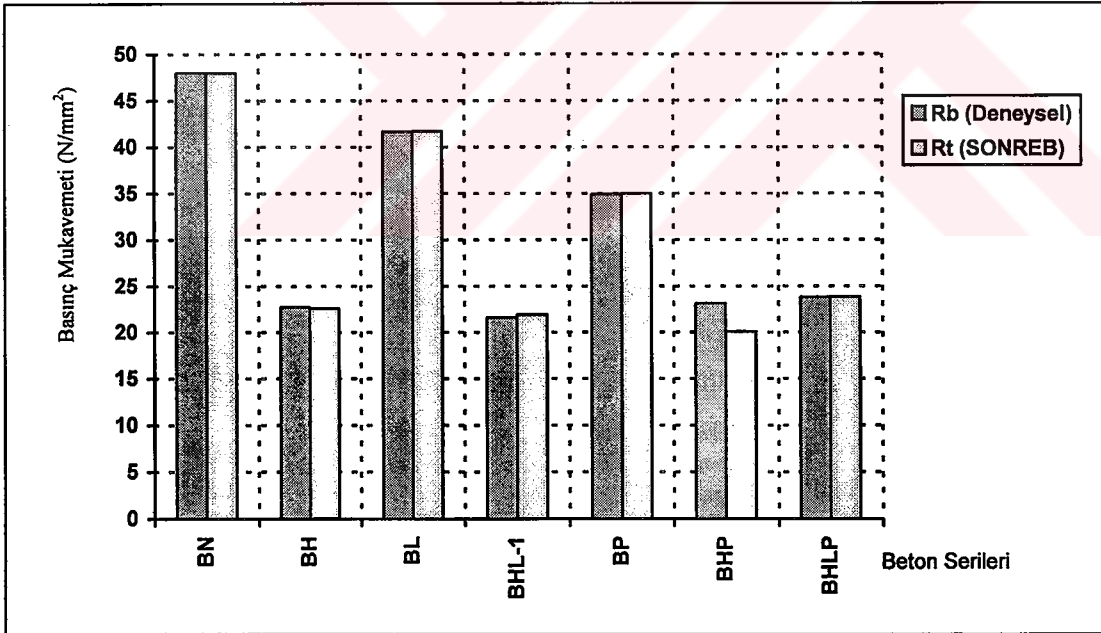
Beton Serisi	Beton No	v (km/sn)	v_{ort} (km/sn)	S (9 okuma)	S_{ort}	R_b (N/mm ²)	$R_{b_{ort}}$ (N/mm ²)	R_t (N/mm ²)	$R_{t_{ort}}$ (N/mm ²)
BN	1	3.72	3.73	29.3	28.6	42.35	48.02	42.50	47.99
	2	3.73		27.7		53.0		49.0	
	3	3.73		28.7		48.7		52.60	
BH	1	3.33	3.34	23.12	25.11	24.8	22.73	24.80	22.60
	2	3.34		25.09		20.5		20.10	
	3	3.34		27.13		22.9		22.90	
BL	1	4.03	4.07	24.0	24.4	40.8	41.67	41.73	41.73
	2	4.09		25.7		40.7		45.60	
	3	4.08		23.4		43.5		38.10	
BHL1	1	3.69	3.83	16.75	16.72	23.5	21.58	21.80	21.91
	2	3.92		14.75		20.8		17.00	
	3	3.88		18.65		20.5		27.00	
BP	1	4.04	4.00	20.05	20.88	35.5	34.90	33.30	34.99
	2	4.00		22.0		34.5		38.70	
	3	3.95		20.15		34.7		33.00	
BHP	1	3.44	3.44	16.33	15.77	22.0	23.13	21.30	20.07
	2	3.44		15.65		24.8		19.80	
	3	3.44		15.34		22.6		19.10	
BHLP	1	3.60	3.65	15.4	16.2	23.4	23.80	22.00	23.84
	2	3.60		16.5		23.6		25.20	
	3	3.73		16.8		24.4		24.30	

Tablo-4.1 Üretilen karışımların ultrases hızı ve Schimdt ölçüm değerlerinden hareketle elde edilen teorik basınç değerleri (R_t) ve bununla ilgili deneysel sonuçlar (R_b)

Yukarıdaki tabloda verilmiş olan SONREB yöntemiyle elde edilmiş basınç mukavemetleri değerleriyle deneysel olarak saptanmış bulunan basınç mukavemeti değerlerinin karşılaştırılması aşağıdaki Şekil-4.45' de birlikte gösterilmektedir.

Aşağıdaki Şekil-4.45'den de görülebileceği gibi deneysel olarak elde edilmiş olan basınç mukavemeti değerlerinin, SONREB yönteminden hareket edilerek saptanmış olan basınç mukavemeti değerleriyle iyi bir uyum içerisinde olduğu izlenmektedir.

Su/bağlayıcı oranı 0.55 olan normal beton (BN) serisini oluşturan örnekler üzerinde yapılan ölçümler sonucu saptanan her iki ortalama değer birbirlerine yakın olduğu görülmektedir. Örnekler bire bir olarak değerlendirildiğinde basınç mukavemeti değerlerindeki farklılık, ortalama değerlere göre biraz daha görünür olmakla birlikte üç örneğin deneysel ($R_b = 48.02 \text{ N/mm}^2$) ve teorik ($R_t = 47.99 \text{ N/mm}^2$) basınç mukavemetleri ortalamaları birbirleriyle irdelendiğinde bu farklılığın azaldığı izlenmektedir. Literatürde [111], betonların basınç mukavemetlerinin SONREB yöntemiyle $\pm \%10$ hata ile tahmin edilebileceği ifade edilmektedir. Buna göre buradaki hata payı çok küçük sınırlarda bulunduğundan normal betonlar (BN) için SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.



Şekil-4.45 Çeşitli beton karışımlarında SONREB yöntemi aracılığı ile bulunan teorik değerlerle (R_t) deneysel olarak saptanmış olan betonların basınç mukavemeti değerlerinin (R_b) karşılaştırılması.

Bu değerlendirmeler su/bağlayıcı oranı 0.55 ve hafif agrega hacim oranı maksimum 0.36 olan hafif karışımlar (BH) için yapıldığında bire bir örneklerin (R_b) ve (R_t) değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, ortalama değerlerinde de ($R_b=22.73$, $R_t=22.60$ N/mm²) aynı ilişkinin bulunduğu izlenmektedir. Aynı şekilde buradaki hata payı çok küçük sınırlarda içerisinde bulunduğundan hafif betonlar için de SONREB yönteminin söz konusu özellikler açısından rahatlıkla uygulanabileceği görülmektedir.

Aynı irdelemeler su/bağlayıcı oranı 0.55 ve çelik tel hacim oranı maksimum 0.0075 olan normal beton karışımları (BL) için yapıldığında bire bir örneklerin (R_b) ve (R_t) değerlerinin birbirlerine göre farklı değerler aldıkları halde ortalama değerlerinde bu farklılığın çok azaldığı ($R_b= 41.67$, $R_t= 41.73$ N/mm²) görülmektedir. Bu verilere göre, buradaki hata payı da çok küçük sınırlarda içerisinde bulunduğundan çelik tel donatılı normal betonlar için de SONREB yöntemi ile basınç mukavemetinin tahmini yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Söz konusu değerlendirmeler su/bağlayıcı oranı 0.55, hafif agrega hacim oranı maksimum 0.36 ve çelik tel donatı hacim oranı 0.0075 olan çelik tel donatılı hafif betonlar (BHL) için yapıldığında bire bir örneklerin (R_b) ve (R_t) değerlerinin birbirlerine çok yakın olduğu, ortalama değerlerinde de aynı ilişkinin görüldüğü ($R_b= 21.58$, $R_t= 21.91$ N/mm²) izlenmektedir. Aynı şekilde buradaki hata payı 0.012 gibi çok küçük sınırlarda içerisinde bulunduğundan çelik tel donatılı hafif betonlar için de bu verilere dayanılarak SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonuç olarak söylenebilir.

Aynı irdelemeler su/bağlayıcı oranı 0.55 ve lateks polimer katkı maddesi hacim oranının 0.10 olduğu polimer katkılı normal beton karışımları (BP) için yapıldığında bire bir örneklerin (R_b) ve (R_t) değerlerinin birbirlerine göre biraz farklı değerler aldıkları halde ortalama değerlerde bu farklılığın çok azaldığı görülmektedir ($R_b= 34.90$, $R_t= 34.99$ N/mm²). Buradaki hata payı ihmal edilebilecek çok küçük sınırlarda içerisinde bulunduğundan lateks polimer katkılı normal betonlar için de SONREB yöntemiyle bu betonların basınç mukavemeti değerleri arasında bir ilişki kurulabileceği rahatlıkla ileri sürülebilmektedir.

Bu değerlendirmeler, su/bağlayıcı oranı 0.55 ve lateks polimer katkı maddesi hacim oranının 0.10 olan polimer katkılı hafif beton karışımları (BHP) için yapıldığında bire bir örneklerin (R_b) ve (R_t) değerlerinin birbirlerine göre farklı değerler aldıkları, ortalama değerlerinde de bu farklılığın izlendiği görülmektedir. Deneysel olarak elde edilmiş olan basınç mukavemeti ortalaması değeri ($R_b= 23.13$), SONREB yöntemiyle elde edilen mukavemet değeri ortalamasına ($R_t= 20.07$ N/mm²) göre % 13 gibi daha yüksek bir değer almaktadır. Buradaki hata payı diğer beton serilerine göre biraz daha belirgin olarak görülmektedir. Literatürdeki hata payı, daha öncede değinildiği gibi, \pm % 10 şeklindedir. Bu verilere göre, lateks polimer katkılı hafif beton serilerinde SONREB yönteminin tam güvenlilikle kullanılamayacağı, hata payının diğer serilere göre bu betonlarda biraz arttığı ortaya çıkmıştır.

Son olarak aynı değerlendirmeler su/bağlayıcı oranı 0.55, lateks polimer katkı maddesi hacim oranının 0.10 ve çelik tel hacim oranının 0.0075 olduğu polimer katkılı çelik tel donatılı hafif beton karışımları (BHLP) için yapıldığında bire bir beton örneklerin değerlerinin birbirlerine göre biraz farklı değerler aldıkları halde ortalama basınç mukavemeti değerlerinde bu farklılığın çok azaldığı görülmektedir ($R_b = 23.80 \text{ N/mm}^2$, $R_t = 23.84 \text{ N/mm}^2$). Buradaki hata payı da ihmal edilebilecek çok küçük sınırlarda içerisinde bulunduğundan lateks polimer katkılı çelik tel donatılı hafif betonlar (BHLP) için de SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmaktadır.

Sonuç olarak, elde edilen verilere göre, tahribatsız olarak ultrases hızı ve Schimdt sertlik değerlerinden hareketle mukavemet tahmin yöntemi olan SONREB yöntemiyle elde edilmiş olan basınç mukavemeti değerlerinin, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemetiyle birbirlerine çok yakın değerler aldıkları, dolayısıyla bu yöntemin normal ve hafif betonlarda mukavemet tahmini için güvenlikle kullanılabilirliği ortaya çıkmaktadır. Sadece polimer katkılı hafif beton (BHP) serilerindeki hata payı (+ % 13) öngörülen hata payının (\pm % 10) bir miktar üzerinde olmaktadır.

Bu genel değerlendirmelerden sonra elde edilen sonuçlar karışımlara giren bileşenlerin beton üzerinde oluşturduğu etkiler bakımından toplu olarak aşağıdaki Tablo-4.2' de gösterilmiştir.

4.6 Deney Sonuçlarının Uygulama Açısından Genel Değerlendirmesi

Doğal süngertaşı hafif agregası kullanılarak düşük birim ağırlığa sahip malzeme üretmek mümkün olmaktadır. Ancak bu durumda mukavemetlerde azalmalar ortaya çıkmaktadır. Hafif agrega katılması sonucu betonların zayıflama gösteren çekme mukavemetlerinde ise çelik teller katılmasıyla tekrar bir iyileşmenin olduğu görülmektedir. Bunun yanında ayrıca çelik tellerle donatılı hafif betonlara belirli bir hacim oranında olmak üzere lateks polimer katkı maddesi katılması da basınç mukavemeti üzerinde olumlu bir etki yaratmaktadır.

Aynı şekilde çelik teller normal betonların çekme gerilmelerinde de oldukça iyi mekanik etkiler oluşturmaktadırlar. Bunun yanında lateks polimer katkı maddesinin, belirli bir hacim oranında ($V_p = 0.40$) betonların çekme gerilmelerinde iyileşmeler sağlamakla birlikte basınç mukavemeti üzerinde olumlu bir iyileşme yapmadığı ortaya çıkmıştır.

Bu sonuçlara göre;

* Betonların süngertaşı hafif agregası ile hafifletilmesinde matris hacim oranının 0.60 - 0.70, hafif agrega hacim oranının, 0.25 - 0.36,

* Çelik tellerle donatılması durumunda tel hacim oranının, narinlik oranı 100 olan teller için, 0.005 - 0.01 sınırları arasında ve,

* Lateks polimer katkı maddesi katılması halinde ise, polimer hacim oranının 0.05 - 0.10 arasında kabul edilmesinin,

üretim ve mekanik özellikler açısından uygun olabileceği önerilebilir.

Aşağıdaki Tablo-4.2'de tüm betonlarda karışıma giren malzemelerin hacim oranlarına göre özelliklerdeki etkileri topluca gösterilmektedir.

Beton Türü	Değişen Özellik	V_{hag}	V_f	V_p
Normal Beton	Birim Ağırlık	-	Artıyor	Azalıyor (az)
	E-Modülü	-	Artıyor	Artıyor (az)
	$R_{basinç}$	-	Azalıyor (az)	Azalıyor
	$R_{i.çatlak}$	-	Artıyor	Etkisiz
	$R_{eğilme}$	-	Artıyor	Artıyor (az)
	R_{yarma}	-	Artıyor	Artıyor
Hafif Beton	Birim Ağırlık	Azalıyor	Artıyor	Azalıyor
	E-Modülü	Azalıyor	Artıyor	Etkisiz
	$R_{basinç}$	Azalıyor	Azalıyor (az)	Artıyor (az)*
	$R_{i.çatlak}$	-	Artıyor	Etkisiz
	$R_{eğilme}$	Azalıyor	Artıyor	Artıyor (az)
	R_{yarma}	Azalıyor	Artıyor	Azalıyor (az)

* buradaki artış çelik tellerle donatılı olması durumunda gerçekleşmektedir.

Tablo-4.2 Karışımlara giren malzeme bileşenlerin artan hacim oranları ve özelliklerinin, betonların sonuç özelliklerine etkilerinin toplu olarak özeti

4.7 Fiyat Açısından Üretilen Karışımların Optimizasyonu

Beton karışımlarının üretimi için kullanılan malzemelerin günümüzün rayiç fiyatlarından hareket ederek maliyetleri belirlenerek, bunu benzer malzemenin piyasa fiyatları ile karşılaştırmak, yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Günümüzde, gelişmiş teknoloji kullanılarak üretilen yapı malzemeleri bileşenlerinin, kütle halindeki tüketimlerine bağlı olarak, üretimlerinin her safhasındaki maliyeti asgari düzeyde tutulmaktadır [9]. Dolayısıyla henüz üretimi yapılmamış olan böyle bir malzemenin maliyet açısından kıyaslanması, bu şartlarda çok zor olabilmektedir. Bununla birlikte çalışmada elde edilen sonuçlara dayanarak üretim ve özellikler açısından uygun olduğu belirlenen karışım oranlarının maliyet açısından da irdelenmesi amacıyla bir optimizasyon denemesi yapılmıştır.

Burada birim ağırlık maksimum 2.000 kg/dm^3 , hafif agrega hacim oranı 0.15 - 0.36 ve çelik tel hacim oranı 0.005 - 0.015 sınırları arasında olarak ve eğilme mukavemeti de minimum 4.0 N/mm^2 şeklinde kabul edilmiştir.

Karışımlara kullanılan malzeme bileşenlerinin birim fiyatları ise şu şekildedir:

Süngertaşı : 2.000 TL/kg, Çimento harcı (su+agrega+çimento): 40.000 TL/kg, Çelik Tel: 180.000 TL/kg ve lateks polimer katkı: 200.000 TL/dm³

Burada belirtilen Mayıs 1997 tarihindeki piyasa rayiç bedelleri esas alınarak ve malzemelerin nakliye tutarları da dikkate alınarak maliyeti minimize etmeyi amaçlayan Simplex Yönteminin uygulanması sonucu, optimum karışımın BHP 55 36 0.0065 0.075 ve fiyatı da yaklaşık 85.000 TL/dm³ olarak elde edilmiştir. Malzeme birim fiyatlarına bağlı olarak değişecek olan bu karışım oranlarının başlık 4.6'da uygunluğu önerilen sınırlar içerisinde kaldığı da görülmektedir.



BÖLÜM-5 SONUÇ

Bu çalışmada, Bölüm.1.5'de belirtilen amaç doğrultusunda, normal betonun iri agrega gurubu süngertaşı hafif agregası ile değiştirilmek suretiyle hafif betonlar üretilmiş ve bu betonların, çelik tellerle donatılarak ve harçlarda aderansı artırıcı özeliği olan stiren bütadyen kopolimer lateks katkı maddesi katılarak mekanik mukavemetlerinin iyileştirilmesi olanakları araştırılmıştır. Ayrıca üretilen bu çelik tel donatılı hafif karışımların, aynı niteliklerde üretilmiş normal betonlara göre bir kıyaslaması yapılmıştır. Bölüm.4'de toplu olarak verilmiş olan sonuçlar her bileşen gurubu için üç başlıkta ayrı ayrı irdelenebilir.

5.1 Süngertaşı Hafif Agregalı Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Süngertaşı hafif agregası kullanılarak üretilen hafif betonların birim ağırlıkları hafif agrega hacim oranına bağlı olarak doğrusal bir şekilde azalmaktadır. Hafif agrega hacim oranının maksimum $V_{hag} = 0.36$ olduğu karışımda birim ağırlık 1730 kg/m^3 şeklinde elde edilmiştir. Dolayısıyla normal betonun iri agrega gurubu tamamen sünger taşı hafif agregası ile değiştirildiğinde birim ağırlık % 39 azalmaktadır.

b- Normal betonun bünyesindeki süngertaşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak E-Modülü değerleri de azalmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum seviyede ($V_{hag \text{ max.}} = 0.36$) olduğunda E-Modülü değeri normal betonunkine göre % 57 oranında azalmaktadır.

c- Normal betonun bünyesindeki süngertaşı taşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak basınç mukavemeti değerleri de azalmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum düzeyde olduğunda basınç mukavemeti değeri normal betonunkine göre % 52 oranında azalmaktadır.

d- Değişken hafif agrega hacim oranına göre hafif betonlarda, E-Modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak irdelenmesi sonucunda, söz konusu özellikler arasında, bu anlamda bir ilişkinin kurulabildiği görülmüştür. Yani, hafif betonlarda basınç mukavemeti ile birim ağırlık ve E-Modülü değerleri arasında iyi bir ilişki mevcuttur.

e- Hafif agrega hacim oranının maksimum düzeyde olduğu hafif beton serisinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı ölçüm değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla hafif betonlar için SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

f- Normal betonların bünyesindeki hafif agrega hacim konsantrasyonu arttıkça ultrases hızları azalmaktadır.

g- Normal betonun bünyesindeki süngertaşı taşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak eğilme mukavemeti değerleri de azalmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum seviyede olduğunda eğilme mukavemeti değeri normal betonunkine göre % 35 oranında azalmaktadır.

h- Normal betonun bünyesindeki süngertaşı taşı hafif agregasının hacim oranı arttıkça buna bağlı olarak yarma mukavemeti değerleri de azalmaktadır. Hafif agrega hacim oranı maksimum seviyede olduğunda yarma mukavemeti değeri normal betonunkine göre % 31 oranında azalmaktadır.

5.2 Çelik Tel Donatılı Normal ve Hafif Betonların Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Normal ve hafif betonlara katılan çelik teller, karışım oranlarına bağlı olarak bu betonların işlenebilirlik özelliklerini etkilemektedirler. Çelik tel hacim oranı arttıkça betonların işlenebilirliği azalmakta, boşluk miktarları ise artmaktadır.

b- Normal ve hafif betonlara katılan çelik teller, bu betonların birim ağırlıklarını etkilemektedir. Çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımlara kadar birim ağırlıklarda bir artış görülürken bu orandan sonra betonların birim ağırlıklarının bir azalma eğilimi içinde oldukları izlenmiştir.

c- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların E-Modülü değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Normal ve hafif betonlarda E-Modülü değeri en yüksek seviyesine çelik tel hacim oranının 0.0075 olduğu karışımda ulaşmıştır. Aynı hacim oranında normal betonlarda E-Modülü değeri kontrol betonuna göre % 24 artış göstermiştir. Hafif betonlarda ise bu artış oran % 37'dir. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesi hafif betonların E-Modüllerini normal betonlara göre daha çok arttırmaktadır.

d- Normal ve hafif betonlara belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların basınç mukavemetlerini etkilemektedir. Çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu normal betonlarda basınç mukavemeti kontrol betonuna göre % 14, hafif betonlarda ise % 0.6 oranında azalmaktadır. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesinin basınç mukavemeti üzerindeki etkisi hafif betonlarda daha az olmaktadır.

e- Normal ve hafif betonlara çelik tel donatı malzemesi katılması birim ağırlığı ve E-Modülü değerlerini yükseltmesine karşın, basınç mukavemetlerini bir miktar düşürdüğünden, bu betonlarda E-Modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak irdelenmesi sonucunda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) faktörü bakımından bu anlamda bir ilişkinin kurulamadığı ortaya çıkmıştır. Bununla birlikte hafif agrega hacim oranının ($V_{\text{hag max}} = 0.36$) ve çelik tel hacim oranının ($V_f = 0.0075$) sabit olduğu çelik tel donatılı hafif betonlarda bu ilişkilerin daha iyi kurulabileceği görülmüştür.

f- Çelik tel hacim oranının sabit olduğu normal ve hafif beton serilerinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı ölçüm değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında iyi bir uyum olduğu görülmüştür. Dolayısıyla çelik tel donatılı normal ve hafif betonlar için SONREB yönteminin rahatlıkla uygulanabileceği sonucu ortaya çıkmıştır.

g- Çelik tel donatılı normal ve hafif betonların bünyesindeki donatı hacim konsantrasyonu arttıkça ultrases hızları belirli bir hacim oranına kadar artmakta, sonra azalmaktadır.

h- Normal ve hafif betonlara belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların ilk çatlak gerilmesi değerlerini önemli derecede etkilemektedir. Çelik tel hacim oranı arttıkça ilk çatlak gerilme değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Bu artış çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu donatılı normal karışımda kontrol betonuna göre % 54, bu oranın $V_f = 0.02$ olduğu donatılı normal karışımda da % 97 artmaktadır. Hafif betonlarda ise çelik tel hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımda ilk çatlak gerilme değeri kontrol betonuna göre % 96 oranında artmaktadır. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesi, ilk çatlak gerilmeleri açısından olumlu etkisini hafif betonlarda daha fazla göstermektedir.

i- Normal ve hafif betonlara belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların eğilme gerilmesi değerlerini de önemli derecede etkilemektedir. Çelik tel hacim oranı arttıkça eğilme gerilmesi değerleri belirli bir hacim oranına kadar, doğrusal olarak artmaktadır. Bu artış çelik tel hacim oranının $V_f = 0.015$ olduğu donatılı normal karışımda eğilme gerilmesi değeri kontrol betonuna göre % 95, hafif betonlarda ise donatı hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımda, % 140 oranında artmaktadır. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesi eğilme gerilmesi açısından hafif betonlarda daha etkin bir rol oynamaktadır.

j- Normal ve hafif betonlara belirli hacim oranlarında katılan çelik tel donatı malzemesi bu betonların yarma gerilmesi değerlerini de önemli derecede etkilemektedir. Çelik tel hacim oranı arttıkça yarma gerilmesi değerleri doğrusal olarak artmaktadır. Bu artış çelik tel hacim oranının $V_f = 0.001$ olduğu donatılı normal karışımda yarma gerilmesi değeri kontrol betonuna göre % 30, hafif betonlarda ise donatı hacim oranının $V_f = 0.01$ olduğu karışımda, % 48 oranında artmaktadır. Dolayısıyla çelik tel donatı malzemesinin yarmada çekme gerilmesi üzerindeki etkinliği hafif betonlarda daha belirgin olarak kendini göstermektedir.

Dolayısıyla çelik tellerin normal ve hafif betonlara kazandırmış olduğu en önemli mekanik özelliklerin, eğilme ve yarma gerilmelerindeki iyileşmeler şeklinde kendini gösterdiği saptanmıştır.

k- Değişken hafif agrega hacim oranına ve sabit çelik tel hacim oranına göre üretilmiş donatılı hafif betonlarda E-Modülü, basınç, eğilme ve yarma mukavemeti değerlerinde azalmalar olmaktadır. Bununla birlikte mukavemetlerdeki bu azalma değerleri, donatısız hafif betonlara göre daha yüksek değerler almaktadırlar. Yine bu seri betonların basınç mukavemeti ve birim ağırlıkla E-Modülü değerleri arasında da

bir ilişkinin olduğu belirlenmiştir. Bu betonlar üzerinde SONREB yöntemi sonucunda elde edilen değerlerle, deneysel olarak belirlenmiş mukavemet değerlerinin karşılaştırılmasına söz konusu tahribatsız deney yönteminin rahatlıkla bu betonlara da uygulanabileceği saptanmıştır.

5.3 Lateks Polimer Katkılı Normal ve Hafif Betonların Mekanik Özellikleri İle İlgili Sonuçlar

a- Normal ve hafif betonlara katılan lateks polimer katkı maddesi, karışım oranlarına bağlı olarak bu betonların birim ağırlıklarını, işlenebilirlik özelliklerini kontrol betonuna göre biraz değiştirmektedir. Polimer katkı hacim oranı arttıkça betonların boşluk miktarları kontrol betonuna göre bir azalma eğilimi göstermektedir.

b- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların E-Modülü değerleri üzerinde etkili olmaktadır. Normal betonlarda E-Modülü değeri en yüksek seviyesine % 13 olarak, lateks katkı hacim oranının 0.10 olduğu karışımda ulaşmıştır. Aynı hacim oranında hafif betonlarda E-Modülü değeri kontrol betonuna göre önemli artış sağlamamaktadır. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi hafif betonların E-Modüllerini normal betonlara göre önemli bir etki oluşturmazken, normal betonlarda % 13 arttırmaktadır.

c- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların basınç mukavemeti değerleri üzerinde de etkili olmaktadır. Normal betonlarda basınç mukavemeti değeri artan lateks katkı hacim oranına göre azalırken, hafif betonlarda basınç mukavemeti değeri lateks hacim oranının 0.10 olduğu karışımda kontrol betonuna göre % 0.2 gibi az bir miktar artış sağlamaktadır. Bu orandan sonra basınç mukavemeti değerleri düşmektedir. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi normal betonların basınç mukavemetlerini kontrol betonlara göre azaltırken, hafif betonlarda bir miktar yükseltmekte, çelik tel donatının sabit olduğu ($V_f = 0.0075$) hafif betonlara katılan aynı orandaki (0.10) lateks polimer katkı maddesi ise bu betonların basınç mukavemetlerini % 10 arttırmaktadır.

d- Normal ve hafif betonlara polimer katkı maddesi katılması birim ağırlığı biraz azaltılmasına, E-Modülü değerlerini bazı karışım oranlarında yükseltmesine karşın, basınç mukavemetlerini bir miktar düşürdüğünden, bu betonların E-Modülünün birim ağırlık ve basınç mukavemetine bağlı olarak özelliklerinin irdelenmesi sonucunda ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeni bakımından bu anlamda bir ilişkinin kurulamadığı görülmüştür. Dolayısıyla ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$) değişkeninin çelik tel donatılı beton serilerinde olduğu gibi, lateks polimer katkılı normal ve hafif betonlarda da iyi bir ilişki vermediği sonucuna ulaşılmıştır.

e- Bununla birlikte çelik tel ve süngertaşı hafif agregası hacim oranının sabit olduğu, polimer katkı hacim oranının değiştiği hafif beton karışımlarında ise E-Modülü ile basınç mukavemeti ve birim ağırlıklar arasındaki ilişkiler ($\sqrt{\Delta^3 R_b}$)

değişkeni açısından değerlendirildiğinde elde edilen değerlerin daha anlamlı olduğu ve söz konusu ilişkinin bu beton serilerinde kurulabileceği sonucuna varılmıştır.

f- Lateks polimer katkı hacim oranının değişken olduğu normal ve hafif beton serilerinde yapılan tahribatsız Schmidt sertlik ve ultrases hızı ölçüm değerleriyle, deneysel olarak elde edilmiş basınç mukavemeti değerleri arasında, özellikle normal betonlarda iyi bir uyum olduğu, katkılı hafif betonlarda ise hata payının daha belirgin olduğu görülmüştür. Dolayısıyla lateks polimer katkılı normal betonlar için SONREB yönteminin güvenle uygulanabileceği, katkılı hafif betonlar içinse öngörülen değere göre % 3'lük bir hata payının ortaya çıktığı saptanmıştır.

g- Lateks polimer katkılı normal ve hafif betonların bünyesindeki polimer katkı hacim oranının 0.10 olduğu karışımlarda ultrases hızları artmakta sonraki karışım oranlarında ise azalmaktadır.

h- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların eğilme mukavemeti değerleri üzerinde de etkili olmaktadır. Normal betonlarda eğilme mukavemeti değeri artan lateks katkı hacim oranına göre artmakta ve hafif betonlarda eğilme mukavemeti değeri lateks hacim oranına göre azalırken, polimer oranının 0.40 olduğu karışımda kontrol betonuna göre bir artış eğilimi göstermektedir. Bu orandan sonra eğilme mukavemeti değerleri düşmektedir. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi normal betonların eğilme mukavemeti değerini 0.10 karışımda % 10 arttırmakta, hafif betonların mukavemetinde ise azalmaya neden olmaktadır. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi normal betonların eğilme mukavemetlerini üzerinde, hafif betonlara göre belirli bir karışım oranında daha etkin olmaktadır.

i- Normal ve hafif betonlara değişken hacim oranlarında katılan lateks polimer katkı maddesi bu betonların yarma mukavemeti değerleri üzerinde de etkili olmaktadır. Normal betonlarda yarma gerilmesi değeri artan lateks katkı hacim oranına göre artarken, hafif betonlarda her lateks hacim oranında azalmalara neden olmaktadır. Lateks polimer katkı hacim oranının 0.40 olduğu normal karışımlarda eğilme gerilmelerindeki artış kontrol betonuna göre % 12 dolayındadır. Dolayısıyla lateks polimer katkı maddesi normal betonların yarma mukavemetlerini kontrol betonlara göre artırırken, hafif betonların mukavemetlerinde azalmalara neden olmaktadır.

j- Çelik tel donatı ve süngertaşı hafif agrega hacim oranının sabit olduğu, polimer katkı hacim oranının değiştiği hafif beton karışımlarında ise E-Modülü, eğilmede ilk çatlak, eğilme ve yarma gerilmeleri değerlerinde kontrol betonuna göre düşüşler olduğu, basınç mukavemeti açısından ise katkı hacim oranının 0.10 olduğu seride % 10 dolayında bir artış olduğu saptanmıştır. Buna göre çelik tel donatılı hafif betonlara lateks polimer katkı maddesi katılması bu betonların, belirli bir hacim oranında, en çok basınç mukavemeti üzerinde etki yapmakta, diğer mukavemet özelliklerinde azalmalara neden olmaktadır.

5.4 İleri Yapılacak Çalışmalar İçin Öneriler

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar Bölüm-3'de sözü edilmiş olan şartlara bağlı olan neticelerdir. Bu sonuçlara dayanarak ileride yapılacak araştırmalar için aşağıda değinilen çalışmaların yapılması tavsiye edilebilir:

1- Deney programı kapsamınca üretilen tüm karışımlarda etkin su/çimento oranı sabit olarak kabul edilmiştir. Bunun gibi değişik su/bağlayıcı oranlarına sahip normal veya hafif betonlarda çelik tellerin ve polimer katkıların özelliklere etkileri incelenebilir.

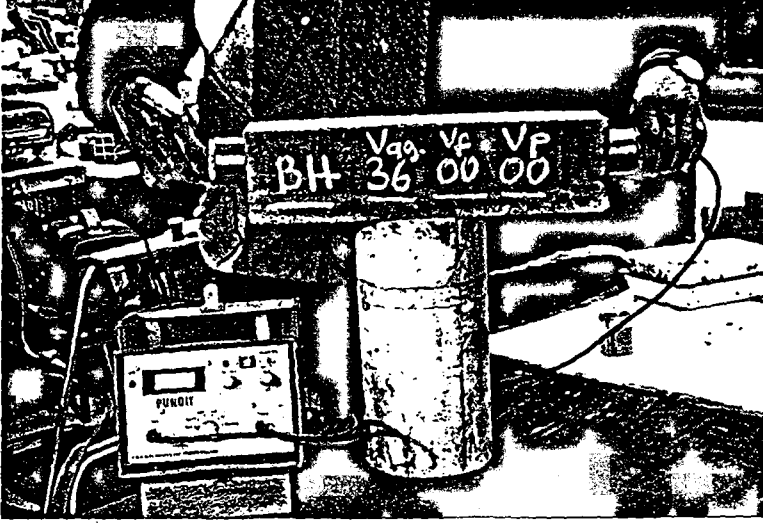
2- Bu çalışmada normal ve hafif betonların üretiminde kullanılan çelik tellerin tipleri sabittir. Kıyaslama amacıyla çeşitli tiplere ve narinlik oranlarına sahip çelik teller üzerinde de benzer araştırmalar yapılabilir.

3- Deneylerde kullanılan polimer tipi, genellikle harçlarda aderansı artırıcı olarak kullanılmaktadır. Değişik özelliklere sahip polimer katkıların da hafif betonların özellikleri üzerinde oluşturabilecekleri etkiler araştırılmalıdır.

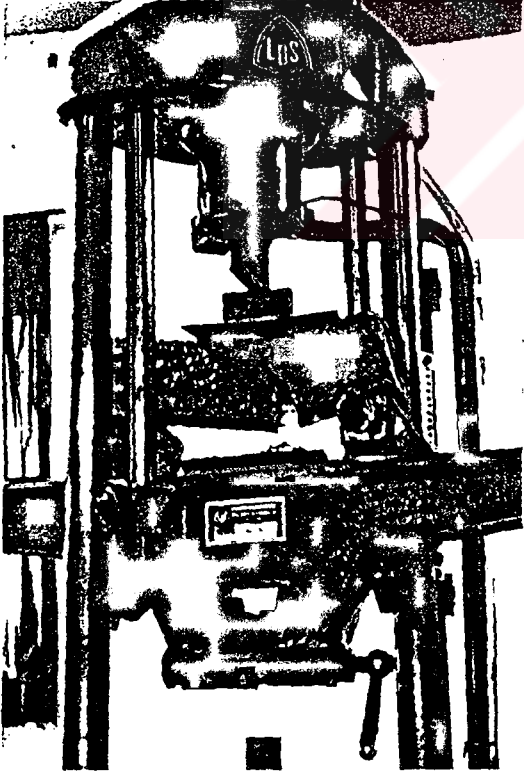
4- Üretilen çelik tel donatılı ve polimer katkılı betonlar üzerinde yapılan mekanik deneylerin dışında kalan, su geçirimsizlik, donda dayanıklılık, yangın etkisi vb. çalışmaların yapılması olayın bütünlüğü açısından tavsiye edilebilir.

5- Deney sonuçları 28 günlük verilere dayanmaktadır. Özelliklerin uzun süreli olarak değerlendirilmesi bu konuda tamamlayıcı olabilir.

RESİMLER



Resim-1 Ultrases Hızı Ölçüm Deney Düzeni



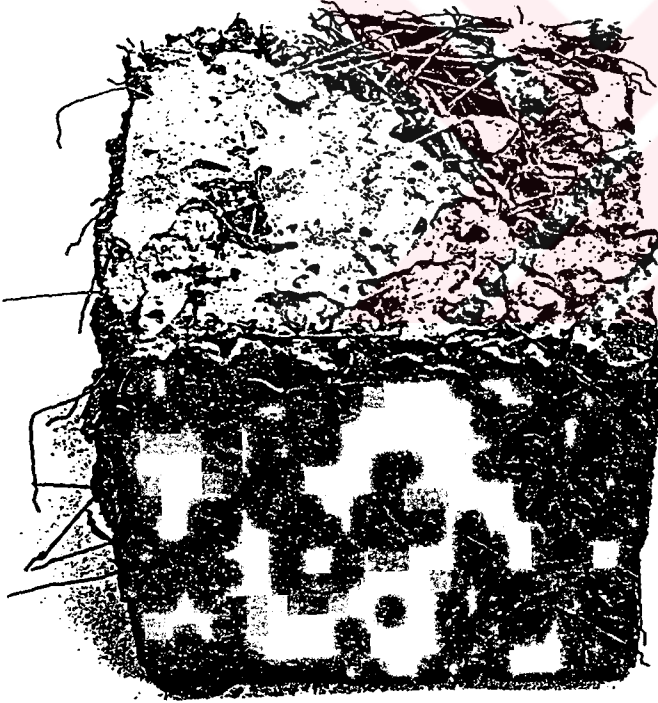
Resim-2 Eğilme Deneyi Düzeni



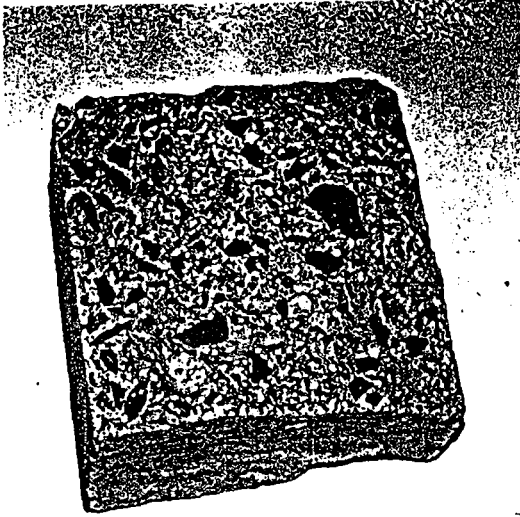
Resim-3 Yarma Deneyi Düzeni



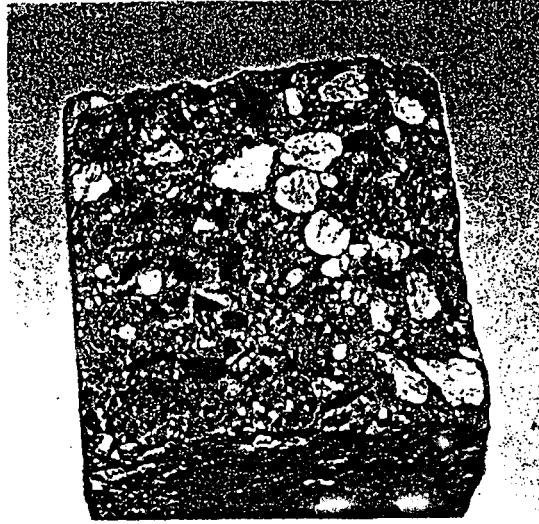
Resim-4 Numune Boyutları



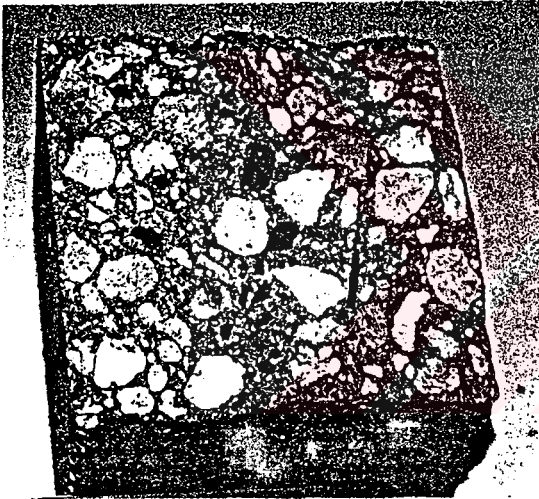
Resim-5-5a Artal Tel Hacim Oranı İle Birlikte Numunelerde Oluşan Boşluklar



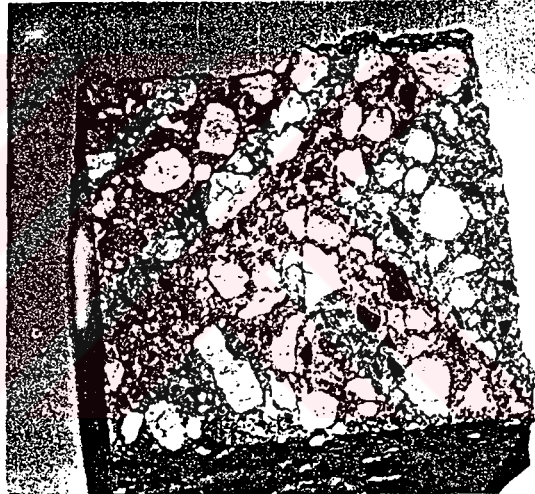
Resim-6 Normal Beton Kesiti.



Resim-7 $V_{hag}=0.10$ olan (BH) Beton Kesiti.



Resim-8 $V_{hag}=0.20$ olan (BH) Beton Kesiti.



Resim-9 $V_{hag}=0.30$ olan (BH) Beton Kesiti.



Resim-10 $V_{hag}=0.36$ olan (BH) Beton Kesiti

LİTERATÜR LİSTESİ

- [1] Ersoy, H.Y., "Hafif Beton". Ders Notları, MSÜ, Yapı Fiziği ve Malzeme Bilim Dalı, 1986.
- [2] Karagüler, M.E., "Isıl İşlem Parametrelerinin Hafif Beton Özelliklerine Etkisi, İTÜ, Doktora Tezi, Temmuz, 1988.
- [3] Erciyas, Y., "Bims ve Bims Betonu Üzerinde Araştırmalar", İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No.: 5-17, Ankara, 1963.
- [4] Topçu, İ.B., "Lastik Agregalı Betonların Dinamik Özellikleri", Endüstriyel Atıksal Sempozyumu, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, Ankara, Kasım 1993.
- [5] Taşdemir, M.A., "Taşıyıcı Hafif Agregalı Betonların Elastik ve Elastik Olmayan Davranışları", İTÜ, Mimarlık Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1976.
- [6] Levy, J.P., "Le Béton Léger, Confection-Propriétés-Emploi", Editions Eyrolles, Paris, 1955.
- [7] İhtiyaroğlu, E., "Tabii Hafif Agregalarla İmal Edilen Hafif Beton Blokların Duvar Elemanı Olarak Özelliklerinin Tayini Üzerinde Araştırmalar", İmar ve İskan Bakanlığı Yayınları, No.: 5-76 Ankara, 1974.
- [8] Ayberk, M., "Betonarme İskelet Yapılarda Hafif Duvar Elemanı Kullanımının Yapı Maliyetine Etkisi Üzerine Bir Yöntem Araştırması ve Perlit Örneği", Yıldız Üniversitesi, Doktora Tezi, İstanbul, 1986.
- [9] Ersoy, H.Y., "Alçı Sünger Taşı Cam Lifi Kompoziti", İTÜ, İnşaat Fakültesi, Doktora Tezi, İstanbul 1985.
- [10] Yıldırım, M.A., "Hafif ve Yarı Hafif Betonlarda Çelik Tel Kullanımının Etkisi", İTÜ, İnşaat Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Şubat 1994.
- [11] Kocataşkın, F., "Yapı Malzemesi Dersleri", İTÜ, Müh.Mim.Fak. Yay. No.: 93, İTÜ Matbaası, İstanbul, 1973.
- [12] TS 3234 Bimsbeton Yapım Kuralları, Karışım Hesabı ve Deney Metodu
- [13] Kleinlogel, A., "L'influence des Divers Elements Physicochimiques sur les Bétons", DUNOD, Paris, 1960.
- [14] Camcioğlu, V., "Hafif Betonlar", Yapı Malzemesi Genel Müdürlüğü 2.12.5, Ankara, 1963.
- [15] Postacioğlu, B., "Beton, Bağlayıcı Maddeler, Agregata", Teknik Kitaplar Yayınevi, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1987.
- [16] RILEM, Fibre Concrete Materials, A Report Prepared by RILEM Technical Committee 19.FRC, International Symposium on Testing and Testing Methods. Sheffield, England, April 1978.
- [17] ACI Commite 544, State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete, ACI Journal, November 1973.

- [18] Yavuz, O., "Kompozit Malzeme Sınıfları ve Kompozitlerin Yapıda Kullanım Olanakları", MSÜ, Yüksek Lisans Çalışması, İstanbul, 1987.
- [19] TS 10513 Çelik Teller, Beton Takviyesinde Kullanılan.
- [20] TS 10514 Beton-Çelik Tel Takviyeli- Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları
- [21] Akman, S., "Yapı Malzemeleri", İTÜ, İnşaat Fakültesi, İstanbul, 1990.
- [22] Baysal, B., "Polimer Kimyası", ODTÜ, Fen ve Edebiyat Fak., Yay., No.: 33, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1981
- [23] Doğu, E., "Polimer Katkılı Çimento Betonları", İTÜ Mimarlık Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, Ocak 1993.
- [24] Mikhailov, K.V., Paturoev, V.V., " Polymer Concretes and Their Structural Uses", A.A. Balkema/Rotterdam/Brookfield, 1992.
- [25] Eriç, M., "Yapı Fiziği ve Malzemesi" Literatür Yayınevi, İstanbul, 1994.
- [26] Al-Awawdeh, M., "Yarı Hafif Betonun İnelastik Davranışının İncelenmesi", İTÜ, İnşaat Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi. İstanbul, Mart 1994.
- [27] Öztütüncü, G.H., "Ortalama Hafif Agregaya Boyutunun Yarı Hafif Betonların Dona Dayanıklılığı Üzerindeki Etkileri", İTÜ, İnşaat Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 1992.
- [28] Craig, R.J., " Lightweight Reinforced Fibre Concrete Behaviour and Uses", New Jersey Institute of Technologj, USA, RILEM Technical Committee 49-TFR, Vol.2, July 1986.
- [29] Al-Kayyalı, O.A., Ritchie, A.G., "The Effects of Fiber Reinforcements on Lightweight Aggregate Concrete", Fiber Reinforced Cement and Concrete, RILEM Symposium Proceedings, Constructions Press Ltd., 1975.
- [30] Cimilli, T., "Polimer Katkı Maddelerinin Cam Lifleriyle Pekiştirilmiş Çimento Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine Etkisi", Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, 1979.
- [31] Ohama, Y., "Principle of Latex Modification an Some Typical Properties of Latex-Modifed Mortars and Concretes", ACI Materials Journal, V.6, 1987.
- [32] Lavelle, J.A., "Acrylic Latex-Modifed Portland Cement", ACI Materials Journal, V.1, 1988.
- [33] Öztürün, T., "Uçucu Küllü Lateks Harçlarının Mekanik Özellikleri", TMMOB, Endüstriyel Atıkların İnşaat Sektöründe Kullanılması Sempozyumu, Ankara, Kasım 1995.
- [34] ACI SP-116, "Polymers in Concrete: Advances and Applications", ACI Commitee 548, Detroit, 1989.
- [35] Sükan, T., Ermutlu, E., "Doğal Hafif Agregalarla Hafif Beton Araştırması", TÜBİTAK, Proje No.: MAG-31, Ankara, 1966.

- [36] Zhang M., Gjorv, O., "Characteristics of Lightweight Aggregates for High-Strength Concrete", *ACI Materials Journal*, March-April, 1991.
- [37] Hashin, Z., "Elastic Moduli of Heterogeneous Materials", *Journal of Applied Mechanics*, Vol. 29, No: 1, 1962.
- [38] Hansen, Tc., "Strength, Elasticity and Creep as Related to the Internal Structure of Concrete", *Chemistry of Cement, Proceedings of the Fourth International Symposium Monograph 43, V.2, Washington, 1960.*
- [39] Hirsch, T.J., "Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix and Aggregate", *ACI Journal*, Vol. 59, Feb. 1962.
- [40] Dougill, J.W., "Discussion of Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix and Aggregate by Hirsch", *ACI Journal, Proceedings*, 59, 1962.
- [41] Counto, U.J., "Effect of the Elastic Modulus of the Aggregate on the Elastic Modulus, Creep and Creep Recovery of Concrete", *Magazin of Concrete Research*, Vol. 16, No : 48, 1964.
- [42] Nilsen, A.U., Monterio, P.J.M., Gjorv, O.E., "Estimation of the Elastic Moduli of Lightweight Aggregate", *Norwegian Inst. of Technology, Trondheim, Norway, 1995.*
- [43] ACI Committee 213, "Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete", Paris, 1970.
- [44] Arda, A., "Hafif Betonlarda Agregasyonunun Mekanik Özelliklere Etkisi", *İTÜ, İnşaat Fakültesi, Yüksek Lisans Tezi, Şubat 1994.*
- [45] Dartsch, B., "Einfluß des Zuschlaggrößenkorns auf die Zusammensetzung und die Druckfestigkeit des Betons", *Beton 21/1977.*
- [46] Zhang M., Gjorv, O., "Mechanical Properties of Lightweight Concrete", *ACI Materials Journal*, May-June 1991.
- [47] Grübl, P., "Mix Design of Lightweight Aggregate Concrete for Structural Purpose", *The International Journal of Lightweight Concrete*, Vol.1, No.:2, 1979.
- [48] Sasse, H.R., "The Calculation of the Concrete Strength from Technical data of Components Matrix and Aggregate", *Ibac mitteilungen*, 1974.
- [49] Daniel, J.I., Shah. S.P., "Thin Section Fibre Reinforced Concrete and Ferrocement", *SP-124, ACI, Detroit, 1990.*
- [50] Uyan, M., "Lifli Betonların Genel Özellikleri ve Gelişimi", *Malzeme Seminerleri 1984, İTÜ, İnşaat Fakültesi, 1984.*
- [51] Soroushian, P., Shah, Z., Won, J.P., "Optimizasyon of Wastepaper Fiber-Cement Composites", *ACI Materials Journal*, No.: 92-M10, January-February 1995.
- [52] Naaman A.E., Najm, H., "Bond-Slip Mechanisms of Steel Fibers in Concrete", *ACI Materials Journal*, No.: 88-M17, March-April 1991.
- [53] Williams, G., "The Effects of Steel Fibers on the Compressive Strength of Concrete", *Fiber Reinforced Concrete, SP-44, ACI, Detroit, 1992.*

- [54] Gököz, Ü., "Ön Yorulmanın Yalın ve İnce Tellerle Donatılı Betonların Özelliklerine Etkisi", İTÜ, Müh.Mim.Fak., Doktora Tezi, İstanbul, 1978.
- [55] Gunasekaran, M., Ichikawa, Y., "The Strength and Behavior of Steel Fiber Reinforced Lightweight Concrete Made with Regulated Set Cement and Sintered Fly Ash Aggregates", International Symposium on Fiber Reinforced Concrete 1973, ACI Publication SP 44, Second Printing 1977.
- [56] Purkiss, J.A., "Steel Fibre Reinforced Concrete at Elevated Temperatures", The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, Vol.6, No.:3, August 1984.
- [57] Wecharatana, M., Shah, S.P., "A Model for Predicting Fracture Resistance of Fiber Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.13, 1983.
- [58] Roux, J., Cheminai, J., Rivallain, G., Mourand, C., "Béton Projeté par Voie Sèche avec Incorporation de Fibres", Tunnels et Ouvrages Souterrains, SNCF, No.:92, Mars-Avril 1989.
- [59] Dramix Çelik Tel Takviyeli Beton İle Endüstriyel Döşemeler. Bekaert, 1989.
- [60] Soroushian, P., Bayasi, Z., "Fiber-Type Effect on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, No.:88-M16, March-April 1991.
- [61] Ersoy, H.Y., "Kompozit Malzeme", MSÜ, Mimarlık Fakültesi, Lisansüstü Ders Notları, İstanbul 1996.
- [62] CIGB ICOLD , Fiber Reinforced Concrete -Le Béton Armé de Fibres", Bulletin 40a, Paris, 1988.
- [63] ACI Committee 544 , "Design Considerations for Fiber Reinforced Concrete", ACI Structural Journal, Committee Report ACI 544.4R, Sept.-Oct. 1988, Title No.: 85-S52.
- [64] Saroushian, P., Bayasi, Z., "Fiber-Type Effect on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, March-April 1991.
- [65] Craig, R.J., "Structural Application of Reinforced Fibrous Concrete", Concrete International, December 1984.
- [66] Paillère, A.M., Serrano, J.J., "Use of Metal Fibres in Lightweight Aggregate Concrete", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées. Paris.
- [67] Swamy, R.N., Mangat, P.S., "The Interfacial Bond Stress in Steel Fiber Cement Composites", Cement and Concrete Research, Vol.6, 1976.
- [68] Tanigawa, Y., Hatanaka, S., "Stress-Strain Relation of Steel Fiber Reinforced Concrete Under Repeated Compressive Load", Cement and Concrete Research, Vol.13, 1983.
- [69] Balaguru, P., Foden, A., "Properties of Fiber Reinforced Structural Lightweight Concrete", ACI Structural Journal, Vol. 93, No.:1, Jan-Feb., 1996.
- [70] Ling, T., Jiang, J., "Mechanical Properties of Concrete Reinforced by Glass Fiber, Steel Fiber or Mixed Glass-steel Fibers", Chongqing Communication Inst., China Journal of Highway and Transport, Vol.7, No.:1, 1994.

- [71] Chen. L., Mendess, S., Morgan. D.R., "Specimen Geomery ond Toughness of Steel-Fiber-Reinforced Concrete"., Univ. of British Columbia, Journal of Materials in Civil Engineering, Nov. 1994.
- [72] Ramakrishann, V., "Materials and Properties of Fiber Reinforced Concrete", Civil Engineering (London), April 1988.
- [73] Romuladi, J.P., Mandel, J.A., "Tensile Strength of Concrete Effected by Uniformly Distributed on Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement" Journal of the ACI, V.61, No.: 6, June 1966.
- [74] Güngör, G., Nilüfer, Y., "Strenght of Steel-Fibre Reinforced Polymer Concrete: Effect of Impregnation Technique"., Middle East Technical Univ., Vol. 30, No.:2, Ankara, 1987.
- [75] Mizukoshi, M., Shimauchi, H., Kaguma, H., Matsui, S., "Properties of Flexural Fatigue of Steel Fiber Reinforced Concrete"., Transaction of the Japan Concrete Institute, Vol. 16, 1994.
- [76] DRAMIX, "The Properties of Dramix steel fibre Concrete", Bekaert, Belgium,1993.
- [77] Aveston, J., Cooper., G.A., Kelly, A., "The Properties of Fibre Composites", Paper1, Conference Proceedings National Physical Laboratory, 1971.
- [78] Romualdi, J.P., "The Static Cracking Stress and Fatigue Strength of Concrete Reinforced with Short Pieces of Thin Steel Wire", International Conference on the Structure of Concrete, Cement and Concrete Association, 1965.
- [79] Shah, S.P., Rangan, B.V., "Effects of Reinforcement on Ductility of Concrete", ASCE Journal of the Structural Division, Proceedings, 1970.
- [80] Harris, B., Vorlow, J., Ellis, D., "The Fracture Behaviour of Reinforced Concrete", Cement and Concrete Research, Vol.2, No.:4, 1972.
- [81] Moyson, D., Nemegeer., D., Vandewalle, M., "The Design of Steel Fibre Reinforced Concrete Tunnel Linings", March 1994.
- [82] Erkoç, A., "Cam Lifleri İle Donatılı Alçının Çarpma Mukavemeti", İTÜ, İnşaat Fakültesi, Bitirme Ödevi, 1983.
- [83] Solovjov, G.K., Tramboveytsky, V.P., Kruger, D., ""Furan Resin Polymer Concrete in the Commonwealth of Independent States (CIS)", ACI Material Journal, No.: 91-M14, March-April 1994.
- [84] Walters, D.G., "Comparison of Latex-Modified Cement Mortars", ACI Materials Journal, V.4, 1990.
- [85] Manson, A., "Overview of Current Research on Polymer Concrete: Materials and Future Needs", Applications of Polymer Concrete Puplications, SP 69, ACI,
- [86] Allen, G.H., "Glassfibre Reinforced cement : Strenght and Stiffness", CIRIA Report 55, Construction Industry Research and Information Assaciation, England, 1975.
- [87] Nutt, W.O., "Polymer Concrete Comes of Age", Polymer und Beton, IPPIC'84, Warlingham, September 1984.

- [88] BEKAME Yapı Elemanları Sanayii ve Tic.A.Ş., Teknik Bülten .İstanbul, 1992.
- [89] Bizden, A., "Hafif Agregalı İle Yapılan Taşıyıcı Hafif Betonların Karışım Hesabı Metodlarının Analizi", ODTÜ, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara.
- [90] TS 10515 Beton-Çelik Tel Takviyeli- Eğilme Mukavemeti Deney Metodu.
- [91] TS 3289 Hafif Agregalı Yalıtım Betonu Deney Numunelerinde Basınç Dayanımı Metodu
- [92] TS 691 Betonda Yarma Çekme Dayanımı Saptama Deneyi
- [93] Neville, A.M., "Properties of Concrete", Pitman Publishing, 1975.
- [94] Kemerli, K.M., "Kimyasal Katkılı Betonların Özellikleri Üzerine Bir Araştırma", MSÜ, Fen Bilimleri Ens., Y.Lisans Tezi, İstanbul, 1996.
- [95] Irvin, B.D., "Application of Styrene-Butadiene Latex Modified Portland Cement Concrete Overlays in Parking Structure Repair and Rehabilitation", ACI, SP 116-1, 1988.
- [96] Lydon, F.D., Baledron, R.V., "Some Observation on Elastic Properties of Plain Concrete", Cement and Concrete Research, Vol. 16, 1968.
- [97] ACI Commitee, 1993.
- [98] Atan, Y., Uyan, M., "Cam Lifleriyle Pekiştirilmiş Çimentolu ve Alçılı Malzemelerin Tek ve İki Eksenli Yükleme Halindeki Davranışları", TÜBİTAK Mühendislik Araştırma Gurubu Proje No412, İstanbul, 1978.
- [99] Kılıçarslan, Z., "Cam Lifleriyle Donatılı Alçının Özellikleri", İTÜ, İF MMLS Bitirme Ödevi, 1982
- [100] Ersoy, H.Y., Kurugöl, S., "Alçı Hamuru ve Alçı Harçlarının Elastik Özelliklerini Etkileyen Faktörler", II.Ulusal Alçı Kongresi, İstanbul, Mayıs 1997.
- [101] Pauw, A., "Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density", ACI Journal, Proceedings, Vol.57, 1960.
- [102] Weigler, K., "Stahleichtbeton, Herstellung, Eigenschaften, Ausführung", Bauverlag GmbH., Wiesbaden und Berlin, 1972.
- [103] Zhang, M.H., Gjorv, O.E., ""Mechanical Properties of HighStrength Lighteigh Concrete"", ACI Materials Journal, Vol.83, No.:3, May-June 1991.
- [104] Slate, F.O., Nilson, A.H., Martinez, S., "Mechanical Properties of High Strenght Lightweight Concrete", ACI Journal, Vol.83, No.:4, 1986.
- [105] Oluokun, F.A., Burdette, E.G., Deatherage, J.H., "Elastic Modulus, Poisson's Ratio and Compressive Strenght Relationships at Early Ages", ACI Materials Journal, Vol.88/1, 1991.
- [106] Shah, S.P., Ahmad, S.H., "Structural Properties of High Strength Concrete and its Implications for Precast Prestressed Concrete", Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol.:30, No.:6, 1985.

- [107] Soylu Endüstriyel Mineraller A.Ş. Teknik Bülten.
- [108] Nuh Çimento Sanayii A.Ş. Teknik Bülten
- [109] Postacioğlu, B., "Betonun Yerinde Yapılan Muayene Sonuçlarının Değerlendirilmesi", Malzeme Semineri 1982, İTÜ, İnşaat Fakóltesi, 1982.
- [110] Güner, A., Akkan, S., Ergönül, S., "Yuvarlak Doğal Agregalı Betonlarda SONREB Yöntemi Uygulaması", I. Ulusal Beton Kongresi, Prof.Bekir Postacioğlu Anısına, TMMOB, İnşaat Mühendisleri Odası, İstanbul, Mayıs 1989.
- [111] Akman, M.S., "The Application of SONREB Method on damaged Concrete"., Materieux et Constructions, Vol. 17, No: 99

ÖZGEÇMİŞ

Tez yazarı 1958 yılında doğdu. İlk ve orta öğretimden sonra 1979 yılında Mimar Sinan Üniversitesi Güzel Sanatlar Fakültesi Fotoğraf Anasanat Dalı'nı kazandı. Aynı bölümden 1984 yılında mezun oldu. Yine aynı Üniversitenin Mimarlık Fakültesi İç Mimarlık Anasanat Dalı'na 1986 yılında girerek, buradan 1990 yılında mezun oldu. 1979 - 1990 yılları arasında MSÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Fiziği ve Malzeme Laboratuvarlarında görev yaptı. MSÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Mimarlık Anabilim Dalı, Yapı Fiziği ve Malzemesi Lisansüstü çalışmasını 1992 yılında tamamladı. 1993 yılında MSÜ Meslek Yüksek Okulu, Mimari Restorasyon Programı'nın öğretim kadrosuna Uzman olarak katıldı. Halen aynı okulda bu görevine devam etmektedir.

Handwritten signature in Arabic script

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında MSÜ.Mim.Fak.Yapı Fiziği ve Malzeme Bilim Dalı'ndaki değerli hocalarımdan sürekli ilgi ve teşvik görmüş bulunmaktayım. Özellikle tezimi yöneten ve çalışmalarımın her aşamasında teşvik ve yardımlarını esirgemeyen Hocam Sayın Prof.Dr.Halit Yaşa ERSOY'a teşekkürlerimi sunarım.

Deneyisel çalışmalarım kapsamınca gerekli malzemelerin sağlanması hususunda değerli yardımlarını gördüğüm Sayın Mehmet YERLİKAYA'ya, Sayın Turgut ÇELİK'e, Sayın Ahmet EREN'e ve Sayın Kerem KEMERLİ'ye teşekkürlerimi bir borç bilirim. Bunun yanında gerek malzeme gerek döküman konusunda kendisinden yardım görmüş bulunduğum Merhum Sayın Öğr.Gör.Dr.Aka BALDAŞ'ı da rahmetle anıyorum.

Ayrıca deneyisel çalışmalarım sırasında ve tezin yazılması aşamasında yardımlarda bulunan arkadaşlarım Çiğdem YENİDAĞ'a, Zühre DEĞİRMENCİ'ye, Hasan ÇAMCI'ya ve Hüsrev UCA'ya da teşekkür ederim.

