

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

**Yüksek Lisans Tezi**

**FARKLI BETON TÜRÜ VE LİF ORANLARI  
KULLANILARAK OLUŞTURULMUŞ NUMUNELER  
İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE  
MODÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Rıdvan ŞAMAN**

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

**Yozgat 2018**



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

**Yüksek Lisans Tezi**

**FARKLI BETON TÜRÜ VE LİF ORANLARI  
KULLANILARAK OLUŞTURULMUŞ NUMUNELER  
İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE  
MODÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI**

**Rıdvan ŞAMAN**

**Tez Danışmanı  
Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV  
Dr. Öğr. Üy. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ (II. Danışman)**

**Yozgat 2018**

T.C.  
BOZOK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

TEZ ONAYI

Enstitümüzün İnşaat Anabilim Dalı 70110711014 numaralı öğrencisi Rıdvan ŞAMAN 'in hazırladığı “Farklı beton türü ve lif oranları kullanılarak oluşturulmuş numuneler için dinamik ve statik elastisite modülünün karşılaştırılması” başlıklı Doktora/Yüksek Lisans tezi ile ilgili Tez Savunma Sınavı, Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliği uyarınca 28/02/2018 Çarşamba günü saat 10:00’da yapılmış, tezin onayına oy birliği / ~~oy çokluğu~~ ile karar verilmiştir.

Başkan : Prof. Dr. Fatih ALTUN



Üye : Prof. Dr. Fuat KÖKSAL

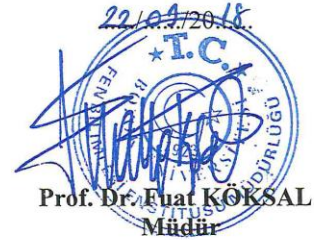


Üye : Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV (Danışman)



**ONAY:**

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulu'nun ...<sup>22</sup>.../...<sup>03</sup>.../20<sup>18</sup>. tarih ve ...<sup>11</sup>... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

22.03.2018  
\*T.C.\*  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ  
  
Prof. Dr. Fuat KÖKSAL  
Müdür



# İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET .....	iii
ABSTRACT .....	v
TEŞEKKÜR .....	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
KISALTMALAR LİSTESİ.....	xi
SEMBOL LİSTESİ.....	xii
1. GİRİŞ .....	1
2. MATERYAL VE YÖNTEM.....	6
2.1. Materyal .....	6
2.1.1. Beton ve Bileşenleri .....	6
2.1.2. Çimento .....	6
2.2. Mineral Katkılar .....	8
2.2.1. Uçucu Küller .....	9
2.2.2. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürüfu.....	10
2.2.3. Filler Tozu.....	10
2.3. Kimyasal Katkılar .....	11
2.4. Agrega .....	12
2.4.1. Agregaların Sınıflandırılması.....	12
2.4.2. Agregaların Granülometrisi ve Elek Analizi .....	13
2.4.3. Agregaların Su Emme Kapasitesi .....	13
2.5. Su.....	14

2.6. Çelik Lif .....	14
2.7. Çelik Lifli Betonlar .....	17
2.8. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar .....	18
2.9. Betonun Basınç Dayanımı.....	18
2.9.1. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler .....	18
2.9.2. Deney Numune Boyutları ve Hazırlanması .....	19
2.9.3. Numunelerin Hazırlanması .....	19
2.9.4. Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması.....	19
2.9.5. Betonun Basınç Dayanımı Hesaplanması .....	20
2.9.6. Betonun Gerilme-Şekil Değişirmelişikisi.....	20
2.10. Betonun Elastisite Modülü.....	22
2.10.1. Gerilme-Şekil Değişirme Eğrisi Yardımıyla Elastisite Modülünün Belirlenmesi .....	22
2.10.2. Betonun Basınç Dayanımı Değeri ile Elastisite Modülünün Hesaplanması .....	26
2.11. Rezonans Frekansı Metodu ile Elastisite Modülünün Hesaplanması .....	27
2.11.1. Ultrases Metodu .....	29
<b>3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....</b>	<b>32</b>
3.1. Kullanılan Malzemeler.....	32
3.1.1. Çimento .....	32
3.1.2. Agrega.....	33
3.1.3. Mineral Katkılar .....	34
3.1.4. Kimyasal Katkılar .....	35
3.1.5. Karışım Suyu.....	36
3.1.6. Deneylerde Kullanılan Çelik Lif.....	37
3.2. Deney Süreci .....	38
3.2.1. Karışımların Hazırlanması .....	38

3.2.2. Karışımların İşlenebilirlik Deneyleri .....	42
3.2.3. Kontrol Basınç Dayanımının Belirlenmesi .....	43
3.3. Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi.....	45
3.3.1. Ultra Ses Dalgaları ile Elastisite Modülü Tayini .....	45
3.4. Beton Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Tayini.....	49
3.4.1. Numunelerin Başlıklanması .....	49
3.4.2. Numunelere Şekil Değiştirme Ölçerlerin Bağlanması.....	51
3.4.3. Beton Presinde Numunelerin Statik Elastisite Modülünün Bulunması ...	53
<b>4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA.....</b>	<b>57</b>
<b>5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....</b>	<b>64</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>65</b>
<b>EKLER .....</b>	<b>71</b>
EK 1. Çimento Çeşitleri .....	71
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>72</b>



# FARKLI BETON TÜRÜ VE LİF ORANLARI KULLANILARAK OLUŞTURULMUŞ NUMUNELER İÇİN DİNAMİK VE STATİK ELASTİSİTE MODÜLÜNÜN KARŞILAŞTIRILMASI

Rıdvan ŞAMAN

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

2018; Sayfa: 71

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV  
Dr. Öğr. Üy. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ (II. Danışman)

## ÖZET

Günümüz yapı teknolojisinde, en çok kullanılan yapı malzemelerinden birisi betondur. Özellikle ülkemizde yapı sektöründe oldukça yaygın kullanım alanına sahiptir. Betonun homojen olmayan yapısı nedeniyle dayanımının ve kalitesinin yerinde kontrol edilmesi oldukça zordur. Bu nedenle, betonun mekanik özelliklerinin kontrol altında tutulabilmesi için tahribatsız yöntemler geliştirilmiştir. Ancak bu yöntemler de kullanılabilirliğinin yanında yanıltıcı sonuçlar verebilmektedir. Bu yanıltıcı sonuçları azaltabilmek için tahribatlı ve gerçeğe yakın sonuçlar veren yöntemlerle desteklenmesi ve böylece tahribatsız yöntemlerin doğruluğunun artırılması gerekmektedir.

Yapı standartları ve literatür de betonun elastisite modülüyle ilgili hesap yöntemleri genellikle normal dayanımlı beton karışımlarını kapsamaktadır. Bu tez çalışmasında farklı lif oranlarındaki Normal Beton (NB) ve Kendinden Yerleşen Betonların (KYB) basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleriyle ilgili araştırma sonuçları verilmiştir.

Yapılan bu çalışmada hacimsel olarak %0,5 ve %1 lif oranlarında 15 tane NB ve 17 tane KYB olmak üzere toplam 32 numune üzerinde deneyler yapılmış ve bu numunelerin Dinamik ( $E_d$ ) ve Statik Elastisite ( $E_c$ ) modülleri belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar farklı ülkelerin konuyla ilgili standartları tarafından ortaya konulan bağıntılarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki en iyi ilişkiyi CEB-FIB 90 (İsviçre) standardının verdiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, Statik Elastisite modülünün, karot numune ile belirlenemediği durumlarda, Ultra ses cihazı kullanılarak belirlenebileceğini ve Ultra ses cihazıyla belirlenen Dinamik Elastisite Modülünün yapı analizi hesaplarında kabul edilebilir bir doğrulukla Statik Elastisite Modülü yerine kullanılabileceğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Elastisite modülü, Kendinden yerleşen beton, Ultrasonik test cihazı, Statik elastisite modülü, Dinamik elastisite modülü.



# **COMPARISON OF DYNAMIC AND STATIC ELASTIC MODULUS FOR SAMPLE CREATED BY USING DIFFERENT CONCRETE TYPES AND FIBER RATIO**

**Rıdvan ŞAMAN**

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

**2018; Page: 71**

**Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Ziyafeddin BABAYEV  
Asst. Prof. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ (Second Supervisor)**

## **ABSTRACT**

One of the most used building materials is concrete in today's construction technology. Especially in our country, it has a very common usage area in the construction area. Due to the non-homogeneous form of concrete, it is very difficult to control its strength and quality in place. For this reason, non-destructive methods have been developed in order to control the mechanical properties of concrete. However, these methods are misleading as well as usable. In order to reduce these misleading results, it is necessary to support them with destructive and near-realistic methods, thus enhancing the authenticity of non-destructive methods.

In building standards and literature, the calculation methods of elastic modulus of concrete usually include normal strength concrete mixtures. In this thesis, the results of the researches about the compressive strength and elastic modulus of Normal Compacting Concrete (NB) and Self-Compacting Concretes (SCC) with different fiber ratios are given.

In this study, experiments were carried out on a total of 32 specimens, 15 specimens of NC and 17 specimens of SCC with a volume ratio of 0.5% and 1% fiber, and the Dynamic ( $E_d$ ) and Static Elastic ( $E_c$ ) Modules of these specimens were determined. The results are compared with those related to the relevant standards of different countries. The best relationship between the results was seen by the CEB-FIB 90 (Switzerland) standard.

The obtained results show that the static modulus of elasticity can be determined using Ultrasonic Pulse Velocity Tester in situations where it cannot be determined by the core sample and the dynamic modulus of elasticity determined by the Ultrasonic Pulse Velocity Tester can be used as a static modulus of elasticity with an acceptable accuracy in the structural analysis calculations.

**Keywords:** Modulus of elasticity, Self-Compacting Concretes, Ultrasonic Pulse Velocity Tester, Static modulus of elasticity, Dynamic modulus of elasticity.



## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans Eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyip bilgi ve deneyimleri ile her konuda destek olan değerli II. danışman hocam Dr. Öğr. Üy. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ ve danışman hocam Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV'e en içten teşekkürlerimi sunmak isterim.

Çalışma sürecindeki katkıları için Harran Üniversitesin İnşaat Mühendisliği bölümüne ve Prof. Dr. Paki TURGUT hocama ve Bozok Üniversitesi İnşaat mühendisliği bölümü mezunu arkadaşşıma ve İnşaat Mühendisi Maşıde PELİT ÖZBEK'e teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince kendisine ayırdığım sınırlı zamanı anlayışla karşılayan sevgili eşim İlkay ŞAMAN'a ve değerli oğluma, tüm eğitimim boyunca her zaman büyük desteklerini eksik etmeyen kardeşlerime ve ağabeylerime, verdiği öğütlerle bugünlere gelmemde katkısı olan Babama, tüm sevgisi ve şefkati ile bizleri büyüten Anneme çok teşekkür ederim.

**MART 2018**

## TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Tablo 3.1:</b> Çimento ve Uçucu Kül Kimyasal Kompozisyonları .....	32
<b>Tablo 3.2:</b> Kum ve Çakılların Su Emme Miktarları ve DYK Özgöl Ağırlıkları.....	33
<b>Tablo 3.3:</b> Beton Karışımlarında Kullanılan Suyun Kimyasal Analizi [71].....	37
<b>Tablo 3.4:</b> Çelik Liflerinin Özellikleri.....	37
<b>Tablo 3.5:</b> 1 m <sup>3</sup> Betonda Bulunan Gerçek Malzeme Miktarları .....	38
<b>Tablo 3.6:</b> Küp Numunelerin Basınç Dayanımı Test Sonuçları .....	45
<b>Tablo 3.7:</b> Ultrases Geçiş Hızları ve Dinamik Elastisite Modülü.....	48
<b>Tablo 3.8:</b> Kırılma Yükleri ve Statik Elastisite Modülü.....	56
<b>Tablo 4.1:</b> Beton Türü ve Lif Oranına Bağlı Numunelerin Ortalama Dinamik-Statik Elastisite Modülleri .....	57
<b>Tablo 4.2:</b> NB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması.....	58
<b>Tablo 4.2:</b> (Devam) NB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması .....	58
<b>Tablo 4.3:</b> KYB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması .....	60
<b>Tablo 4.3:</b> (Devam) KYB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması.....	60

## ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1: Pürüzsüz ve Düz Yüzeyle Lifler .....	15
Şekil 2.2.a: Yüzeyinde (Çentikler) Girintiler Açılmış Lifler.....	15
Şekil 2.2.b: Uzunluğu Boyunca (Kıvrımlı) Dalgalı Lifler.....	16
Şekil 2.2.c: Ay Biçimi Dalgalı Lifler .....	16
Şekil 2.3.a: İki Ucu Kancalı Olan Lifler.....	16
Şekil 2.3.b: Tek Ucu Kancalı Olan Lifler.....	16
Şekil 2.4: Beton Numuneye Basınç Yükü Uygulanması .....	20
Şekil 2.5: Basınç Dayanımı ile Birim Kısalma İlişkisi .....	21
Şekil 2.6: Gerilme – Şekil Değiştirme Eğrisinin Gerilme Hızıyla Değişimi [22] .....	23
Şekil 2.7: (a-b) Beton İçin Tanımlanan Elastisite Modülleri [56] .....	25
Şekil 2.8: Kiriş yöntemiyle Elastisite modülünün hesaplanması.....	26
Şekil 2.9: Rezonans Frekansı Metodu Deney Düzenegi.....	28
Şekil 3.1: Laboratuvarında Çimentoların Depolanması.....	32
Şekil 3.2: Numunelerinin Ürettilmesinde Kullanılan Agreganın Granülometrik Eğrisi....	33
Şekil 3.3: Laboratuvarında Agregaların Depolanması.....	34
Şekil 3.4: Uçucu Külün Temini ve Plastik Bidonlarda Depolanması.....	34
Şekil 3.5: Deney Numunelerinin Ürettilmesinde Kullanılan Kimyasal Katkılar.....	35
Şekil 3.6: Karışım Suyunun Darasının Alınması.....	36
Şekil 3.7: Beton Üretiminde Kullanılan Çelik Lif.....	37
Şekil 3.8: Deney İçin Hazırlanmış Küp ve Silindir Numuneler .....	39
Şekil 3.9: Beton Karışımının Hazırlanması .....	40
Şekil 3.10: Deney Numunelerinin Kür Havuzunda Bekletilmesi.....	41
Şekil 3.11: Numunelerin Telis Bezi ile Muhafaza Edilmesi.....	41
Şekil 3.12: (a) KYB Yayılma Deneyi, (b) NB Slump Deneyi.....	42
Şekil 3.13: Basınç Dayanımı (a) Test Cihazı ve (b) Küp Numuneleri .....	44

<b>Şekil 3.14:</b>	Ultras ses Geçiş Hızları Deneyi .....	47
<b>Şekil 3.15:</b>	Beton Numunelerin Ağırlık Ölçümü .....	49
<b>Şekil 3.16:</b>	Numunenin Başlıklama Kalıbına Oturtulması .....	50
<b>Şekil 3.17:</b>	Başlıklanma İşlemi Tamamlanmış Numuneler .....	51
<b>Şekil 3.18:</b>	Şekil Değiştirme Ölçerlerin (LVDT) Okuma Değerleri Alması .....	52
<b>Şekil 3.19:</b>	Data Logger Tarafından Verilerin Bilgisayara Aktarılması .....	52
<b>Şekil 3.20:</b>	Statik Elastisite Modülünün Bulunmasında Kullanılan Basınç Presi ve Deney Düzeneği .....	53
<b>Şekil 3.21:</b>	19 No'lu %0,5 Lifli KYB-A Örnek Numunenin Elde Edilmiş Gerilim-Şekil Değiştirme Eğrisi.....	54
<b>Şekil 4.1:</b>	Beton Türü ve Lif Oranına Bağlı Olarak Statik-Dinamik Elastisite Modülü Sonuçları.....	57
<b>Şekil 4.2:</b>	NB'dan Üretilmiş Numunelerin Statik ve Dinamik Elastisite Modüllerinin Normal Betonlar İçin Çeşitli Komiteler Tarafından Önerilen Elastisite Modülü denklemleri ile Karşılaştırılması .....	59
<b>Şekil 4.3:</b>	KYB'dan Üretilmiş Numunelerin Karışımlarının Statik-Dinamik Elastisite Modüllerinin Geleneksel Betonlar İçin Çeşitli Komiteler Tarafından Önerilen Elastisite Modülleri ile Karşılaştırılması .....	61
<b>Şekil 4.4:</b>	(a) NB'da Lif Oranının Değişmesiyle Elastisite Modülünün Değişmesi (b) KYB'da Lif Oranının Değişmesiyle Elastisite Modülünün Değişmesi.....	62



## KISALTMALAR LİSTESİ

<b>ACI</b>	: Amerikan Beton
<b>ASTM</b>	: American Society of Testing Materials
<b>BSI</b>	: İngiliz Standart Enstitüsü
<b>CEB</b>	: Avrupa Beton Komitesi
<b>Dramix</b>	
<b>RC 65/60</b>	: Uzunluğu 60mm, Narinliği 65 mm Olan Çelik Lif
<b>DYK</b>	: Doygun Yüzey Kuruşu
<b>EN</b>	: European Standart
<b>GYFC</b>	: Granüle Yüksek Fırın Cürufu
<b>HA</b>	: Hiper Akışkanlaştırıcı
<b>KYB</b>	: Kendiliğın Yerleşen Beton
<b>NB</b>	: Normal Beton
<b>PÇ</b>	: Portland Çimento
<b>S/C</b>	: Su/Çimento Oranı
<b>TS</b>	: Türk Standartları
<b>UK</b>	: Uçucu Kül
<b>YFC</b>	: Yüksek Fırın Cürufu

## SEMBOL LİSTESİ

- $C$  : Çimento Ağırlığı  
 $d$  : Çap  
 $E$  : Elastisite Modülü  
 $f$  : Frekans  
 $f_c$  : Basınç Dayanımı  
 $f_{cc}$  : Çimento Norm Dayanımı  
 $g$  : Yerçekimi İvmesi  
 $h$  : Hava Miktarı  
 $K_B$ : Bolomey Katsayısı  
 $K_F$ : Feret Katsayısı  
 $L$  : Uzunluk  
 $R$  : Maksimum Basınç Dayanımı  
 $t$  : Zaman  
 $U$  : Kum Miktarı  
 $V$  : Agrega Miktarı  
 $V$  : Ultrases Hızı  
 $W$  : Su Ağırlığı  
 $\Delta$  : Birim Ağırlık  
 $\delta$  : Özgül Ağırlık  
 $\varepsilon$  : Şekil Değiştirme  
 $\sigma$  : Gerilme  
 $\nu$  : Poisson Oranı

## 1. GİRİŞ

Beton, çimento, agrega, su ve gerektiğinde katkı maddelerini harmanlayarak elde edilmiş ve oranları dikkatle ayarlanmış bir karışımı, istenilen şekil ve boyutta kalıplar içine boşluksuz olarak yerleştirmek ve uygun bakım koşulları altında sertleştirmek yolu ile elde edilen kompozit bir malzemedir [1].

Betonun diğer taşıyıcı malzemelere oranla elde edilmesi, yapısı, kullanışı, kontrolü vb. özelliklerine kolay ulaşılabilmesi bu malzemeyi daha çok tercih sebebi yapmaktadır.

Günümüz teknolojisi ile elde edilen betonlar ve özellikleri olan dayanım, rijitlik, tokluk ve süneklilikleri sayesinde yüksek katlı binalar, uzun açıklıklı köprüler, yer altı yapıları ve betondan üretilen alt ve üst yapıların inşa edilmesine imkân sağlamaktadır [2]. Betonun zayıf olan teknik özelliklerinin geliştirilmesi ve güçlendirilmesi için içerişine çeşitli malzemeler katılabilir. [3]. Bu nedenle her gün yeni bir malzemenin keşfedildiği bir dünyada sayısız yeni çalışmaların ve tezlerin varlığı betonu güçlendirerek daha etkin ve işlevselleştirebilir.

Mevcut literatür incelendiğinde “Çelik Fiber Takviyeli Beton”, “Kendiliğinden Yerleşen Beton” (KYB) ve “Normal Beton” (NB) karışımların davranışını anlamaya yönelik yeni bulgular araştırılmaktadır.

Bu tez çalışmasının amacı, yapıların mevcut durumlarını tespit etmek ve güçlendirme çalışmalarında karot alınmasına izin verilmediği durumlarda statik ve dinamik hesapları yapabilmek amacıyla kullanılması zorunlu olan statik elastisite modülü yerine yapıya zarar vermeden ultra ses yöntemiyle bulunan dinamik elastisite modülünün kullanılabilirliği araştırılmıştır. Ayrıca laboratuvar ortamında hazırlanmış farklı oranlardaki çelik lif takviyeli NB ve KYB’nun çeşitli komiteler tarafından hazırlanmış standartlara göre statik ve dinamik elastisite modüllerinin karşılaştırılması ve yeni bulguların elde edilmesine yönelik çalışmalar da yapılmıştır.

“Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı – Bir Optimum Tasarım” başlıklı bir araştırma da çelik lif içeren betonların basınç dayanımlarını,

elastisite modüllerini, yarmada çekme dayanımlarını, kırılma enerjilerini, net eğilme dayanımlarını ve karakteristik boyları çelik lif içermeyen betonla karşılaştırması yapılmıştır. Kırılma enerjisindeki ve mekanik özelliklerdeki artışların çelik lif tipine ve miktarına bağlı olduğu belirlenmiştir. Çelik lif tipine bağlı olarak kırılma enerjisinde ve net eğilme dayanımında artışlar olmuştur. En yüksek süneklik Dramix RC 65/60 liflerinin kullanıldığı numuneden ve en yüksek kırılma enerjileri ve net eğilme dayanımları da narinlik oranı yüksek olan liflerin kullanıldığı numunelerden elde edildiği tespit edilmiştir. Bununla birlikte en az süneklik ise düz kısa kesilmiş liflerin kullanıldığı betonlardan elde edildiğini ve karma çelik lif içeren numunelerden elde edilen kırılma enerjisi değerleri ise orta seviyede olduğu belirlenmiştir [4]. Beton içerisinde dağılmış olan çelik lifler betonda çatlak oluşumunu önemli ölçüde azalttığı, betonun şekil değiştirme kapasitesini, tokluğunu artırdığı ve süneklik düzeyi yüksek betonlar elde etmeye imkân verdiği söylenebilir. Çelik teller kendi çekme mukavemetlerine ulaşıncaya kadar betonda basınç ve çekme yüklerinden dolayı meydana gelecek olan çok sayıdaki kılcal çatlak oluşumunu önlemektedir [5].

Gao vd. yaptıkları çalışmada yüksek dayanımlı hafif beton karışımlarına çelik lif ilave edilmesinin betonun mekanik özellikleri üzerindeki etkisini araştırmıştır. Bu amaçla en büyük dane çapı 15 mm olan hafif agregası (genleştirilmiş kil) kullanılmıştır. Hafif betona 20, 25 ve 30 mm uzunluğunda dikdörtgen en kesitli çelik lifler karıştırılarak ve naftalin kökenli akışkanlaştırıcı katkı katılarak üretilmiştir. Deneysel sonuçlarda betona çelik lif ilave edilmesinin basınç dayanımını yaklaşık %20, çekme dayanımını %80 ve eğilme dayanımını ise %90 oranında artırdığı tespit edilmiştir [6].

Boratoğlu ve Yeğinobalı, yaptıkları çalışmada hafif agregası ile yüksek mukavemetli hafif beton imal etmişlerdir. Birim ağırlığı  $1900 \text{ kg/m}^3$  olan hafif betona lif ilave etmişler ve bunun hafif beton üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Sonuç olarak çelik lif kullanılmayan betonların basınç altında çok şiddetli bir biçimde kırıldığını, lifli betonlarda ise bu kırılmanın azaldığını belirtmişlerdir [7]. Bir diğer çalışmada çelik lif katkısının betonarme kolon kiriş düğüm noktasında sünekliği artırdığı sonucuna ulaşılmıştır [8].

1980'li yıllarda betonun durabilitesini iyileştirmek için yapılan çalışmalarda Japon bilim adamları tarafından Tokyo Üniversitesi'nde kendiliğinden yerleşen beton (KYB) geliştirilmiştir [9]. KYB'lar kendi ağırlıkları altında, yüksek akıcı kıvamda hareket ederek herhangi bir vibratör ihtiyacı duymadan dolduruldukları kalıpta boşluk bırakmadan dolabilen ve segregasyon oluşturmayan betonlardır [10]. Akıcı kıvamda olduklarından her türlü kalıba yerleşebilen ve sık donatıların arasından akarken segregasyon oluşturmadan, daha az işçilik sayesinde gürültü kirliliğini azaltan ve ekonomikliği sağlayan aynı zamanda durabiliteyi yükselten ve kararlı bir teknik sahip betonlardır [11].

Yazıcı çalışmasında kimyasal esasları aynı olan altı değişik ticari firmaya ait akışkanlaştırıcıların betondaki performansları incelenmiştir. Üretilen betonlar üzerinde taze beton deneyleri ve basınç dayanımı deneyi yapılmıştır. Elde edilen veriler şartnamelerle karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak akışkanlaştırıcılar aynı esaslı olmasına rağmen aynı agrega, aynı dozaj ve aynı çimento ile farklı işlenebilme ve dayanım açısından farklı sonuçlar elde edilmiştir. Bunun haricinde akışkanlaştırıcı katkılı betonlarda üretimden sonraki saatlerde işlenebilme problemleri ile karşılaşılacağı ileri sürülmüştür [12].

Uyan, M. ve Yıldırım, H. süper akışkanlaştırıcıların taze betonun işlenebilmesi ile sertleşmiş betonun eğilme ve basınç mukavemeti üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Farklı firmalardan temin edilen naftalin kökenli 3 adet katkıyı iki ayrı dozajlı betonda denemişlerdir. Kullanılan katkıların etkisiyle eğilme ve basınç mukavemetlerinde ilk yaşlarda sağlanan artışların ileriki artış oranlarına göre daha büyük olduğunu ileri sürmüştür. Kullanılan katkıların aynı esaslı olmalarına rağmen istenilen mukavemet artışını ve işlenebilme yönünden aynı etkinliği farklı katkı yüzdelерinde vermeleri çalışmadan çıkan en önemli sonuç olduğu ileri sürülmüştür [13].

Rıza Dinçer ve İsmail H. Çağatay, çalışmalarında bağlayıcı özellikteki çimento yerine ağırlıkça %0, %5, %10, %20, %30 ve %40 oranlarında uçucu kül ile hazırlanmış karışımların mekanik özelliklerini belirlemek için 7., 14., 28., 90., 180. ve 365 günlük beton numuneler üretilmiştir. Bu çalışma sonucunda çimento yerine uçucu kül kullanılması, ağırlıkça %20 oranına kadar uçucu kül kullanılması betonun

mekanik özelliklerine etkisinin çok iyi olduğunu ve bu oran %30'a kadar kullanılabilir olduğunu ifade etmişlerdir [14].

Özturan, T. yaptığı çalışmada soma termik santralinde elde edilen uçucu külün beton üretiminde ağırlıkça %25 ile %50 oranlarında çimento ile ikame edilmesi durumlarında taze betonun işlenebilmesinde iyileştirici etki yapmadığını, ancak mukavemet özellikleri açısından bilhassa uzun vadede olumlu sonuçlar verebileceğini göstermiştir [15]. Afşin-Elbistan uçucu külü içeren betonların dayanım, boşluk oranı, aşınma özellikleri incelenmiştir. Çalışmada üç farklı çimento dozajı, üç farklı uçucu kül ikame oranı ve üç farklı su/çimento oranıyla toplam otuz altı farklı beton karışımı üretilmiş olup, bu karışımların dayanım, boşluk oranı ve aşınma değerleri ölçülmüştür. Bu ölçüm sonucunda elde edilen bilgilere dayanarak mevcut uçucu külün Çimentoya oran olarak %10-%20 oranında ikame edebileceği kanaati oluşturmuştur [16].

Betonarme elemanların tasarımı için betonun mekanik özelliklerinin bilinmesi gerekir. Bu özelliklerden elastisite modülü en önemlisidir. Elastisite modülü beton davranışı için özellikle eğilme etkisindeki yapı elemanlarında beton basınç dayanımı kadar etkilidir. Betonun basınç dayanımı, hızlı ve kolay bir şekilde elde edilebilirken, elastisite modülü ise oldukça zor ve daha fazla işlemlerle uğraşarak bu derece kolay elde edilememektedir. Yapılan birçok araştırmada, yüksek dayanımlı betonların mekanik davranışını etkileyen parametreler ve elastisite modülünün belirlenmesi önemine dikkat çekilmektedir [17]. Betonun elastisite modülünün deneysel olarak tespiti diğer dayanım özelliklerine göre daha zordur. Betonu oluşturan çimento hamuru, agregaların rijitliği, taze betonun sıkıştırılma işlemi ve elastisite modülü tespitinde kullanılan yöntem elastisite modülü ile yakından ilişkilidir. Ulusal standartların çoğunda deneysel yöntemle elde edilen beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak elastisite modülü hesaplanmaktadır. Fakat bu standartlar ülkemizde de benzer şekilde sadece mineral ve özel kimyasal katkı içermeyen normal ağırlıktaki betonlar için verilmiştir [18]. Elastisite modülü, betonarme elemanın uzama ve şekil değiştirme tayininde kullanılabilen ve daha çok teorik bağıntı ve yöntemlerle hesaplanmaktadır. Beton dayanımına bağlı olarak elde edilmiş olan bazı deneysel bağıntılarla hesaplanan elastisite modülü için Türk Standartları

Enstitüsü (TSE), Amerikan Beton Enstitüsü (ACI), İngiliz Standart Enstitüsü (BSI), ve Avrupa Beton Komitesi (CEB) tarafından önerilmiş ve geleneksel betonlar için benzer sonuçlar veren bağıntılar kullanılmaktadır [19]. Bağıntılar yardımıyla elde edilmiş elastisite modülleri yönetmenliklere göre değişiklik gösterir. Halbuki elastisite modülü için tek bir değer verilmesi yerine bir aralık verilebilirse, deney sonuçlarıyla uyumlu ve güvenli bir tarafta kalan değerlerin bulunacağı sonucuna ulaşılır [20].

Betonlarda, gerilme-şekil değiştirme eğrisi doğrusal olmadığı için, iki tür elastik modülü tanımlanmaktadır. Bunlar dinamik ve statik elastik modüldür [21].

Genel de iki dakika süren bir deneyle gerilme-şekil değiştirme eğrisi elde edilir. Bu eğrinin başlangıcına çizilen teğet eğimini dinamik elastisite modülü kabul etmek mümkündür. Ultrases veya rezonans frekans deneyi ile dinamik elastisite modülü bulunur. Bu iki yöntemle de çok kısa bir zaman aralığında betona uygulanan küçük gerilmeler altındaki şekil değiştirmeler dikkate alınır [22].

Küçük gerilmeler altında elde edilmiş dinamik elastisite modülü, yaklaşık olarak gerilme-şekil değiştirme eğrisinin başlangıç teğet modülüne eşittir ve statik elastisite modülünden bir miktar yüksektir. Dinamik ve statik modüller arasındaki farklılık betonun homojen olmayan yapısına önemli ölçüde bağlıdır [23]. Dinamik elastisite modülü, statik elastisite modülüne göre kısa süreli yüklemeler ve düşük miktardaki yüklemelerde belirlenir. Bundan dolayı dinamik elastisite modülü saf elastik özellikte etki gösterir [24]. Elastik modülünün tespiti için farklı test metotları kullanılmakta ve bunlar birtakım karışıklıklara yol açmaktadır. Her ne kadar bazı mühendisler statik elastisite modülünü kullansa da dinamik elastisite modülü yüksek değerler vermesine rağmen daha güvenilir ve üretkendir. Aynı zamanda ölçme açısından da kolaydır [25].

## 2. MATERYAL VE YÖNTEM

### 2.1. Materyal

#### 2.1.1. Beton ve Bileşenleri

TS EN 206 standardında beton; İnce agrega, iri agrega, çimento ve suyun, mineral ve kimyasal katkı da ilave edilerek ya da edilmeden oluşturulan karışımın, çimento hidratasyonu sonucu gerekli özelliklerini kazanan malzemedir [26].

#### 2.1.2. Çimento

Killi kalkerlerin özel yüksek sıcaklıktaki fırınlarda pişirilip ezilmesiyle elde edilir. Belirli oranlarda su katılınca çabucak kuruyup sertleşirler. Bu özellikleri sayesinde pek çok alanda yararlanılan, kum ve benzeri malzemeler katılarak yapı işlerinde harç olarak kullanılan bağlayıcı malzemedir.

##### 2.1.2.1. Çimento Çeşitleri

Çimento belirli standartlara dayanılarak üretilmektedir. Genel çimentolar TS EN 197-1’de “CEM Çimentosu” olarak adlandırılır. Standartlara göre CEM Çimentoları, 27 alt çeşidi kapsayan 5 ana tiptir [27]. Ek-1’de Çimento Çeşitleri verilmiştir.

**CEM I:** Bu grupta klinkerin sadece kalsiyum sülfat ve minör bileşen olarak ağırlıkça en fazla %0-5 arası mineral katkı ile öğütülmesi sonucunda Portland Çimentosu elde edilir.

**CEM II:** Bu grupta ağırlıkça %6-35 arasında mineral katkı miktarı vardır. Ve bu gruptaki çimentolar katkı türüne göre Portland Cürüflü ve Portland Puzolanlı gibi isimler de kullanılmaktadır.

**CEM III:** Bu grupta ağırlıkça katkı miktarı %36-95 arasındadır. Yüksek Fırın Cürüflü Çimentolar bu grupta bulunur.

**CEM IV:** Bu grupta Puzolanik Çimentolar vardır. Katkı madde miktarı puzolan ve uçucu kül katkıları ile birlikte %11-55 arasında değişmektedir. Bu grupta kalker veya cüruf katkı maddesi olarak kullanılmaz.



**CEM V:** Bu grupta Kompoze Çimentolar vardır. Katkı madde miktarı cüruf (%18-0), puzolan ve uçucu kül (%18-50) belirlenen oran sınırlar içinde değiştirilerek beraber katılır, miktarları klinker oranı %20-64 arasında kalacak şekilde hazırlanır.

Yukarda belirtilen çimento çeşitleri dışın da klinker üretimi sırasında veya sonradan ilave edilen mineral katkıları sayesinde özel kullanım amaçlı olarak üretilmiş, TS EN 197-1 standardının kapsadığı 5 çeşit çimento daha bulunmaktadır. Bunlar:

**Sülfata Dirençli Çimentolar:** Trakalsiyum alüminat miktarı belirlenmiş (En çok %5) olarak meydana getirilen klinkerin kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesiyle elde edilir.

**Beyaz Portland Çimentosu:** Özel nitelikli kil ile kireçtaşının beraber pişirilmesiyle elde edilen beyaza yakın klinkerin bir miktar kalsiyum sülfat ile birlikte öğütülmesi ile elde edilir.

**Harç Çimentosu:** Dayanım gelişmesi için içinde Portland Çimentosu Klinkeri bulduran ince öğütülmüş hidrolik bağlayıcıdır. İlave bir bileşene gerek duyulmadan agrega ve su karıştırılarak duvar, sıva, kaplama vb. işlerde kullanıma uygun harç yapımında kullanılır.

**Yüksek Fırın Cüruf Katkılı ve Düşük Erken Dayanımlı Çimentolar:** Hidratasyon ısı sınırlandırılmış, yüksek fırın cürufu katkı olan ve erken dayanımı düşük çimentolardır.

**Çok Düşük Hidratasyon Isılı Özel Çimentolar:** Su ile karıştırıldığında hidratasyon tepkimeleri ve kimyasal reaksiyonlar sonucu priz alarak, sertleşen bir hamur oluşturan, sertleşme sonrası suyun altında bile dayanımı ve kararlılığını koruyup geliştiren, genel çimentoların hidratasyon reaksiyonlarına sahip çimentolardır.

Ayrıca her bir çimentonun 32,5, 42,5 ve 52,5 gibi dayanım sınıfları bulunabilir. Bu Çimentolardan CEM I orijinal Portland çimentosunu tanımlarken ve en az %95 Klinkerden oluşurken, diğerleri çeşitli katkılarıyla üretilmiş çimentoları oluşturmaktadır. Bu çimentoların kullanım yerleri bileşenlerine ve kimyasal yapısına göre farklılık göstermektedir [28].

## 2.2. Mineral Katkılar

TS EN 206 standardında betonun bazı özelliklerini iyileştirmek veya betona özel nitelikler kazandırmak için kullanılan ince öğütülmüş malzeme olarak tarif etmektedir. Bu standartta; inert kabul edilebilir mineral katkıları (Tip I) ve Puzolanik veya gizli hidrolik (çimento benzeri etki gösteren) mineral katkıları (Tip II) olmak üzere inorganik iki tip mineral katkıları tarif edilmiştir.

Puzolanik malzemeler betonda en yaygın kullanılan mineral katkılarıdır. Puzolanik malzemeler kendi başlarına bağlayıcılığı yoktur. Ancak ince öğütülmeleri halinde ve rutubetli bir ortamda kalsiyum hidroksitle reaksiyona girip bağlayıcı özelliğe sahip bileşenler meydana getiren silisli veya silisli alüminli malzemelerdir. Bims çeşitli volkanik küller ve tüfler doğal puzolanlardır. Termik santrallerin atıklarından olan ve elektro filtrelerde toplanarak daha sonra santral dışına atılan uçucu küller, demir üretiminde bir atık madde olan yüksek fırın cürufu ve silikon metal ve alaşım endüstrisi atığı olan silis dumanı ise yapay puzolanlara örnek olarak gösterilebilir. Puzolanların çeşitli beton özelliklerine etkileri aşağıdaki özetlenmiştir.

- Karışım suyu ihtiyacında artma söz konusudur. Fakat bazı uçucu küller azalmaya sebep olabilir.
- Ayırışma ve terleme azalırken işlenebilirlik artar.
- Donma ve çözülme direnci erken yaşlarda azalır.
- Erken yaşlarda dayanım kazanma hızı azalır. Ancak ileri yaşlardaki dayanımlar yüksektir.
- Alkali –agrega reaksiyonu riski azalır.
- Hidratasyon ısısı azalır.
- Rötne ve sülfat direnci genellikle artar.

Puzolanların etkinliği kimyasal, mineralojik kompozisyonlarına, inceliklerine, birlikte kullanıldıkları çimentonun özelliklerine vb. bağlı olarak değişebilir. Örneğin, uçucu küllerin özellikleri elde edildikleri kömürün cinsine ve içerdiği safsızlıklara, termik santraldaki yakma sıcaklığına, kül toplama sistemlerine vb. birçok parametreye bağlıdır. Bu özelliklerdeki farklılıklar da kullanıldıkları betona olan etkilerinde değişikliklere yol açar [29].

### 2.2.1. Uçucu Küller

Pulvarize kömürün yanmasıyla meydana gelen külün bir bölümü ocak tabanında toplanırken bir bölümü de gazlarla birlikte bacadan dışarıya atılır. Bunlar “uçucu kül” veya “pulvarize yakıt külü” olarak adlandırılır. Beton üretiminde en çok kullanılan uçucu küller, elektrostatik veya mekanik olarak çöktürme işlemi ile toplanır. Uçucu küller F ve C tipi olarak adlandırılırlar. F tipi puzolanik özeliğe sahiptir. C tipi küller ise puzolanik özeliği yanında belirli oranda bağlayıcılık özeliğine de sahiptir [30]

TÇMB Temmuz 2009 verilerine göre dünyada yaklaşık 600 milyon ton uçucu kül oluşmaktadır. Türkiye’de 11 termik santral halen faaliyet göstermektedir. Bunlar; Afşin-Elbistan, Orhaneli, Çayırhan, Kangal, Kemerköy, Çatalağzı, Seyitömer, Tunçbilek, Yeniköy ve Yatağan santralleridir.

Uçucu kül C tipi ve F tipi olmak üzere ikiye ayrılır. Uçucu külün ana bileşenleri olarak,  $\text{SiO}_2$  (%35-60),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (%10-30),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (%4-20)  $\text{CaO}$  (%1-35) sayılabilir. F tipi Uçucu kül’de S+A+F toplamının en az %70 olması gerekmektedir. C tipi Uçucu kül’de ise en az %50 olmalıdır. C tipi Uçucu kül’de genel olarak %20’nin üzerinde  $\text{CaO}$  bulunmaktadır [29].

UK’nin şekil, incelik, tane boyut dağılımı ve yoğunluğu taze betonun özelliklerini, dayanım gelişimini ve sertleşmiş betonun dayanım ve dayanıklılığını etkiler. Tanelerin küresel olup – olmaması işlenebilirliği etkiler.

UK işlenebilirlik, dayanım ve dayanıklılık özelliklerinin değerlendirileceği deneme karışımlarından sonra kabul edilmelidir. Mineral katkıların kullanımı sertleşmiş çimento hamurunun yapısının modifikasyonuna yol açar ve özellikle ara yüzey bölgesinde değişikliklere sebep olabilir. Normal dayanımlı betonlar için UK ve yüksek fırın cürufu (YFC) gibi mineral katkıları çimento ile yer değiştirmeli olarak kullanılabilir. Bu durumda genellikle uzun dönemli dayanım artarken başlangıç dayanımı ve dayanım kazanma hızı azalabilir [31].

### 2.2.2. Öğütülmüş Yüksek Fırın Cürufu

Ham demir üretiminde atık malzeme olarak YFC elde edilir. YFC yüksek fırınlarda hafif olmasından dolayı, ham demirin üstünde birikir. Demir filizi gangı, kok ve kireçtaşının yanması sonucu artık malzeme olarak YFC meydana gelir. 1400-1600 °C YFC'nin oluşum sıcaklığıdır. YFC yavaş soğutulduğu takdirde kristal bir yapıya sahip olur. Bazalta benzeyen bu hali mekanik özelliklere sahip olup beton için agrega olarak kullanılabilir. Emil Largens 1862 yılında yaptığı çalışmada yüksek fırın cürufunun suyla granülasyonu sonucu oluşan malzemenin kireçle karıştırılması sonucu bağlayıcı özellik kazandığını gözlemlemiştir. Yüksek fırın cürufu hızlı soğutma işlemi uygulanır ise camsı yapıdaki cüruf elde edilir. Bu tarz oluşan cüruflar granüle yüksek fırın cürufu (GYFC) olarak adlandırılır.

Yüksek fırın cürufunun ani soğutulma işlemi için granülasyon ve peletleme yöntemi olmak üzere iki yöntem uygulanmaktadır. Granülasyon yönteminde soğutma işlemi için çok miktarda ( $100 \text{ m}^3/\text{ton}$  cüruf) su kullanılmaktadır. Bu işlem sonucunda cüruf yaklaşık olarak %30 su içerir. Bu filtreli havuzlar veya kurutucu değirmenlerde cüruftan uzaklaştırılır. Elde edilen GYFC özellikleri yönünden en iyi yöntem olmakla birlikte çok pahalı bir yöntem olmasından kullanımını sınırlamaktadır.

Öte yandan, Peletleme yönteminde soğutma işlemi için kullanılan su miktarı 1 ton cüruf için yaklaşık  $1 \text{ m}^3$ 'tür. Yarı-kuru proseste erimiş haldeki cüruf önce suyla soğutulur daha sonra dönen (dakikada 300 tur) bir tambur vasıtasıyla havaya fırlatılır. Bu işlem sonucunda cüruf içindeki su miktarı ise %10'un altındadır [32]. Kanada'da geliştirilmiş olan peletleme yöntemi daha yaygın kullanım alanı bulmuştur [32].

### 2.2.3. Filler Tozu

İnce kalker, magnezit tozu, dolomit veya granit tozu, tasarımda ihtiyaç duyulan 0,125 mm'den küçük ince malzeme miktarını sağlamak için kullanılan mineral tozudur. Dolomit alkali karbonat reaksiyonuna sebep olabileceği için riskli olabilir. Kullanılması durumunda tasarım için miktarı çok iyi ayarlanmalıdır [33]. Mineral filler, boşluk doldurucu özelliklere sahip olduklarından stabiliteyi etkiledikleri gibi ince agrega oranını artırarak karışım özelliklerini etkilerler.

### **2.3. Kimyasal Katkılar**

Betonun ham maddeleri olan çimento, agrega ve su dışındaki, ilave olarak katılan, laboratuvar şartlarında hazırlanmış betona istenilen yönde etki ederek, özelliğini geliştiren yapı malzemesidir. Taze betonun hazırlanması esnasında ya da sonrasında katılabilir. Standartlar dâhilinde hazırlanmış bazı kimyasal beton katkıları aşağıda sıralanmıştır.

#### **2.1.3.1. TS EN 934-2 Göre Kimyasal Beton Katkılar;**

##### **a. Su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı:**

Beton kıvamını değiştirmeden karışım su miktarını azaltan veya su miktarı değiştirmeden çökme/yayılmayı artıran veya her iki durumu birlikte sağlayan kimyasal katkılardır.

##### **b. Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı katkı:**

Beton kıvamını değiştirmeden karışım su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi yüksek yüksek oranda artıran ve her iki durumu birlikte sağlayan kimyasal katkılardır.

##### **c. Su tutucu katkı:**

Betonda terleme miktarını azaltarak su kaybını azaltan kimyasal katkılardır.

##### **d. Hava sürükleyici katkı:**

Taze betonun karıştırma esnasında kontrollü miktarda düzgün dağılmış, küçük ve sertleşme sonrasında da kalıcı hava kabarcığı sürükleyen kimyasal katkılardır.

##### **e. Priz hızlandırıcı katkı:**

Düşük hava sıcaklıklarında ya da acele harç ve beton işlerinde katılaşmayı hızlandırmak için (prizin) başlama süresini kısaltan katkılardır.

##### **f. Priz geciktirici katkı:**

Beton karışımının plastik halden katı hale geçiş (Prizin başlangıç süresi) süresini uzatan katkılardır.

**g. Sertleşmeyi hızlandırıcı katkı:**

Betonun priz süresini etkileyerek veya etkilemeksizin erken dayanım kazanma hızını artıran katkılardır.

**h. Su geçirimsizlik katkısı:**

Sertleşmiş betonda ki kılcal su emmeyi azaltan katkılardır.

**i. Priz geciktirici/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı:**

**j. Priz geciktirici/yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı:**

**k. Priz hızlandırıcı/su azaltıcı/akışkanlaştırıcı katkı:**

**2.4. Agregalar**

Çakıl, kırma taş, kum gibi doğadan elde edilen çeşitli büyüklükteki ve özellikteki taneli malzemelere agrega denir.

**2.4.1. Agregaların Sınıflandırılması**

*Agregalar İnce ve iri agrega olmak üzere olarak ikiye ayrılır;*

Doğadan elde edilen agregalar herhangi bir işleme tabi tutulmadan elek yardımı ile taneleri istenilen büyüklükte ayrıştırılarak elde edildikleri gibi iri taş parçalarının konkasör denilen taş kırma makinaları ile ufaltılarak temin etmek mümkündür. Ham maddesi bazalt, kalker, kuvarsit vb. olan iri taş parçalarının konkasörde kırılması sonucu elde edilen agreganın irisine kırma taş, incesine de kırma kum denir.

Literatürde ise kabaca 4,75 mm'den küçük olan ince daneli malzemeye ince agrega veya kum denilir. Öte taraftan 4,75 mm ile en büyük boyutu ( $D_{maks}=40$  mm) arasındaki taneli malzemeye iri agrega denilir. Beton karışımında kullanılan bu agregalar doğadan (Deniz kıyıları, Akarsu yatakları, Çöller) doğrudan elde edilebildikleri gibi taş ocaklarında taş blokların kırılıp ufaltıldıktan sonra eleme işlemleri sonucunda da temin edilebilirler. Bu şekilde üretilen malzeme kırma taştır. Kırma taş tesislerinin artığı olan ince taneli malzeme ise kırma kum (taş unu) denilir. Bu tür malzemeler beton üretim aşamasında ince agregalar olarak kum ile birlikte kullanılır [34].

*Agregalar özgül ağırlıklarına göre ağır, normal ve hafif olmak üzere üçe ayrılırlar;*

Hafif Ağırlıklı Agregası, Normal Agregası ve Ağır Agregası: Özgöl ağırlığı 2,4'ten küçük olanlar hafif, 2,4-2,8 arasında olan agregalar normal ağırlıklı ve 2,8'den büyük olanlar ise ağır agregası olarak isimlendirilirler [35,36].

#### 2.4.2. Agregaların Granülometrisi ve Elek Analizi

Granülometri eğrisi; karışım oluşturacak agreganın tane çaplarının, karışıma hangi oranlarda katıldığını gösteren eğridir. TS 706'daki elek kare açıklıkları en küçükten-büyükçe doğru; 0,25 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm ve 31,50 mm'dir.

Agregası karışımında boşluk oranının en az diğer bir ifadeyle doluluk oranı en fazla olması istenir. Böylelikle boşlukları dolduracak olan çimento hamuru azaltılarak betonda sağlam bir taşıyıcı iskelet oluşturulur. Şüphesiz bu husus beton karışımında ekonomikle ilişkilidir. Bu hususları meydana getiren granülometri eğrilerine referans eğrisi denilir [34].

#### 2.4.3. Agregaların Su Emme Kapasitesi

Agreganın tamamen kuru durumdaki en yüksek emdiği su miktarı olup yüzdelik olarak ifade edilmektedir.

Su emme yüzdesi olarak hesaplanıp (2.1) denklem bağıntısı ile bulunmaktadır

$$\text{Su Emme Kapasitesi, \%} = (W_{\text{dyk}} - W_k) / W_k \times 100 \quad (2.1)$$

Burada; Agreganın doymuş yüzey kuru durumdaki ağırlığı ( $W_{\text{dyk}}$ ), Agreganın tamamen kuru durumdaki ağırlığıdır ( $W_k$ ).

Agreganın su emme kapasitesi, malzemenin karışım hesapları için önemlidir. Ayrıca betonun dayanıklılığı içinde agreganın su emme kapasitesi büyük önem taşımaktadır. Su emme kapasitesi yüksek olan agregalarda gözenekler içerisine su kolaylıkla girebilmekte ve soğuk havalarda gözeneklere dolan su donarak genleşebilmekte ve çatlamalara yol açmaktadır [37].

## 2.5. Su

Betona katılan karışım suyunun özelliği,  $S/Ç$  oranı kadar önemlidir. Suyun içeriğindeki maddeler betonun birçok özelliğini etkileyebilir.

Betona katılan karışım suyundan istenilen en temel nitelik içilebilir olmasıdır. Çünkü Karışım suyunda bulunabilecek askıda ve eriyik haldeki çeşitli maddeler betonun direncini, priz süresini, işlenebilme yeteneğini ve donatının korozyonuna dahi yol açmaktadır [38].

Şehir suları kalite olarak, hepsi birbirinin tamamen benzeri değildir. Ancak içerdikleri yabancı maddelerin miktarı, betona zarar verebilecek kadar fazla değildir [39].

## 2.6. Çelik Lif

Çelik lifler içine katıldığı beton mukavemetini, tokluğunu, yangın dayanım direncini, çatlama ve aşınma kuvveti gibi özellikleri artırmak için inşaat sektöründe hasır demir benzeri uygulamalar yerine kullanılan çelik özellikli malzemedir.

Çelik lifler, çoğunlukla düşük karbonlu çelik C1008'den üretilirler. Önemli özellikleri, yüksek ve üniform çekme gerilmesine karşılık düşük uzama gösterirler. Çekme gerilmeleri ortalama olarak 1200 MPa'nın üzerinde olup elastik limitleri %0,2'nin altındadır [40].

Betona katılan çelik teller genellikle daire kesitlidir, bunun yanı sıra dikdörtgen kesitli çelik teller de kullanılmaktadır. Çelik tellerin boyları 30–60 mm, çapları ise 0,5–1,0 mm. Arasında, çekme dayanımlarını ise 345 N/mm<sup>2</sup>–2000 N/mm<sup>2</sup> arasında değişmektedir [41]. Kancalı uçlu üretilen çelik tellerin sıyrılma dayanımları düz olanlara oranla daha yüksek olmaktadır [42].

Çelik liflerin beton içerisine katılma oranı hacimsel olarak %0,5-2,5 arasında olabilmektedir. Yapılan araştırmalar neticesinde optimum faydanın bu oranın %1-2 olması halinde sağlandığı sonucuna varılmıştır [43].

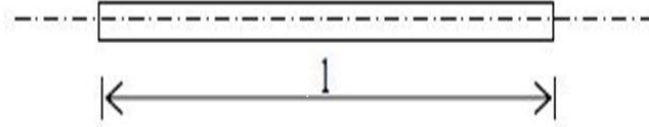
Çelik lifler içine katılacağı betonda ne kadarlık bir ölçüde kullanılacağı, lif boyunun geometrisine ve lifli betonun kenetlenme dağılımına bağlıdır. Bundan dolayı



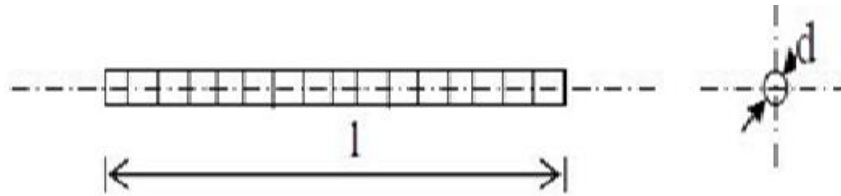
uygulama yerine, şekline ve durumuna göre birçok farklı geometrik özellikte ve sınıfta çelik lif üretilmekte ve kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar beton üzerindeki; eğilme dayanımında, basınç gerilmeleri altında ve enerji yutma kapasitelerinde en büyük iyileştirmeyi düz ve ucu hafif kıvrımlı liflerin sağladığını göstermiştir [40, 44].

**TS 10513'e göre çelik tipleri ve sınıfları aşağıda verilmektedir [45];**

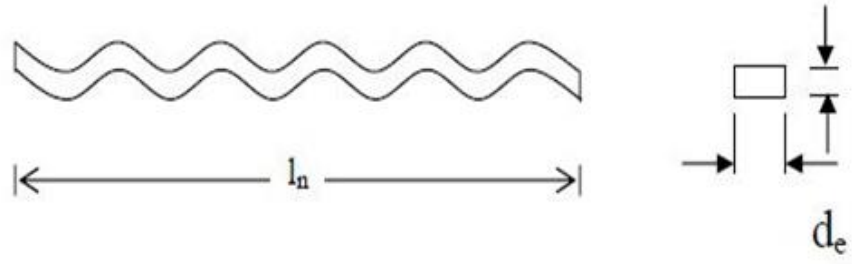
- A Sınıfı: Pürüzsüz ve düz yüzeyli olan lifler (teller) (Şekil 2.1)
- B Sınıfı: Bütün uzunluğu boyunca deforme geçirmiş lifler
  - ♦ Tip 1: Yüzeyinde (çentikler) girintiler açılmış lifler (Şekil 2.2.a)
  - ♦ Tip 2: Uzunluğu boyunca (kıvrımlı) dalgalı lifler (Şekil 2.2.b)
  - ♦ Tip 3: Ay biçimi dalgalı lifler (Şekil 2.2.c)
- C Sınıfı: Son ucu veya uçları kancalı lifler
  - ♦ Tip 1: İki ucu kancalı olan lifler (Şekil 2.3.a)
  - ♦ Tip 2: Tek ucu kancalı olan lifler (Şekil 2.3.b)



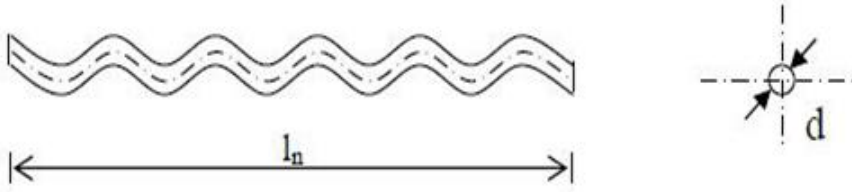
**Şekil 2.1.** Pürüzsüz ve Düz Yüzeyli Lifler



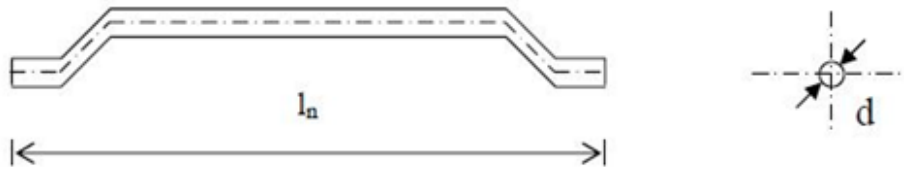
**Şekil 2.2.a.** Yüzeyinde (Çentikler) Girintiler Açılmış Lifler



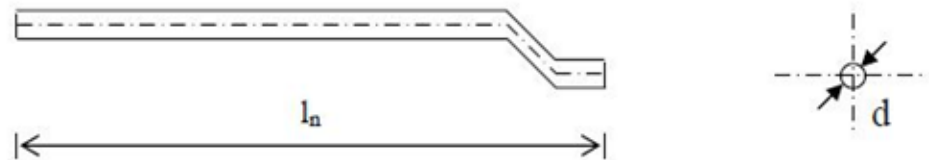
**Şekil 2.2.b.** Uzunluğu Boyunca (Kıvrımlı) Dalgalı Lifler



**Şekil 2.2.c.** Ay Biçimi Dalgalı Lifler



**Şekil 2.3.a.** İki Ucu Kancalı Olan Lifler



**Şekil 2.3.b.** Tek Ucu Kancalı Olan Lifler

## 2.7. Çelik Lifli Betonlar

Çelik lifli beton; içerisinde aralıklarla dağıtılmış küçük teller bulunan ince veya ince ile kaba agrega ve çimento kullanılarak üretilmiş kompozit bir malzemedir. Çelik lifler puzolanlar ve normal betona ilave edilen katkı maddeleri ile de ortak olarak kullanılabilir [46].

Çelik lif katkılı hafif betonla ilgili yapılan bir çalışmada, farklı geometrilere sahip çelik liflerle hazırlanmış numuneler, ağırlık düşürme deney düzeneği ile betonun darbe etkilerine karşı dayanıklılığı ölçülmüştür. Bu çalışmada kullanılan uçucu kül kökenli hafif agreganın çapları 0,418-0,76 mm ve boyları da 25-30 mm'dir. Çalışma sonucunda hafif betonların darbe etkisine karşı dayanıklılığı kullanılan liflerin geometrisine, lifin kısa veya uzun olmasına ve lif narinliğine bağlı olduğu elde edilmiştir [47]. Çelik lifli betonlar üretilmeden önce, yapının hangi bölgelerinde kullanılacağı, hangi tesirler altında kalacağı önceden belirlenmeli ve betonun maruz kalacağı etkilere göre tasarım kriterleri (lif tipi seçimi, lif geometrisi, uzunluk/çap oranı, çimento miktarı, agrega vb.) belirlenmelidir [48].

Liflerle beton arasındaki aderansın ve betonun lifli betonların mukavemetleri üzerinde önemli ölçüde bir etkisi olduğundan betonun özelliklerini iyileştirmek amacıyla birtakım sınırlamalar ve öneriler getirilmiştir [48, 49].

- Çimento miktarı en az  $250 \text{ kg/m}^3$  olmalıdır.
- Karışımdaki ince agrega miktarı toplam agrega miktarının en az %45 – 55'i olmalıdır.
- En büyük tane çapı doğal agrega için 28 mm, kırma agrega için 32 mm olmalıdır.
- Betonun işlenebilirliğini artırmak için akışkanlaştırıcı katkıları kullanılabilir.
- Karışımın yoğunluğunu ve kompozitesini artırmak için uçucu kül veya silis dumanı kullanılmasında fayda vardır.

## **2.8. Kendiliğinden Yerleşen Betonlar**

Kendiliğinden Yerleşen Betonlar (KYB); İçerisine betonun ana bileşenleri dışında kimyasal katkı tarzı katkıları ilave edilerek özel reçetelerle hazırlanmış vibratör ihtiyacı olmadan işlenebilirliği yüksek olan akıcı kıvamdaki betonlardır.

Sık donatılar arasından geçerek ayrışma oluşturmayan KYB'ler kendi ağırlıklarının etkisi ile boşlukları en aza indirerek yerleşme sağlarlar. Düşük S/Ç oranlarında üretilebildikleri için geçirimsizlikleri yüksek, dolayısı ile zaman içinde dış etkilere karşı dayanıklılığı (durabilitesi) yüksek olan ve kararlı bir yapıya sahip betonlardır. KYB kullanımında herhangi bir vibrasyon işlemi gerektirmediğinden gürültü kirliliği engellenir ve daha az işçilikle tamamlanır [50]. KYB'nin en yaygın kullanımı sık donatıların kullanıldığı ve vibrasyon işleminin yapılamayacağı elemanlarda görülmektedir. Betonarme yapıların onarım ve güçlendirme işlerinde ve yüksek perdelerin üretiminde KYB kullanılmasına başlanmıştır. Son yıllarda yeni bir kullanım alanı olarak da prefabrik sektöründe öne çıkmıştır [51].

## **2.9. Betonun Basınç Dayanımı**

Betonun Basınç dayanımı; betonun aksenal yük tesiri altında kırılmamak için gösterdiği en yüksek mekanik dayanım direncidir. Betonda en çok araştırılan konu betonun basınç dayanımıdır. Beton için önemli olan, basınç dayanımı ve basınç altındaki gerilme-deformasyon ilişkisidir.

Betonun basınç dayanımı zamanla değişen bir fonksiyon olup son mukavemetini yıllar sonra almaktadır [52].

### **2.9.1. Betonun Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörler**

Beton dayanımına etki eden faktörlerin tespiti, mukavemeti yüksek veya istenilen özelliklerde bir beton elde etmek için bilinmesi gereken etkenlerdir. Bunların başlıcaları;

- Su/Çimento oranı
- Karışım suyunun özellikleri
- En büyük agrega çapı
- Agreganın dane çapı
- Agreganın yüzey dokusu ve üzerindeki zararlı maddeler

- Agregada gradasyonu
- Çimento özellikleri
- Kullanılan kimyasal ve mineral katkıların özellikleri ve miktarı
- Betonun kalıba yerleştirilmesi, taşınması ve sıkıştırılması
- Betonun hazırlandığı ve kür edildiği ortam şartları
- Betonun yaşı vb.

### **2.9.2. Deney Numune Boyutları ve Hazırlanması**

Türkiye, ABD ve birçok ülkede kullanılan numune şekilleri silindir ve küp numunelerdir. Silindir numune boyutları genelde çapı 15 cm, yüksekliği 30 cm ve boy/çap oranı 2'dir. Küp numuneler ise yaygın olarak bir kenarı 15 cm'dir.

### **2.9.3. Numunelerin Hazırlanması**

Kalıplar plastik veya dökme demir gibi su emmeyen malzemeden imal edilmiş, şekil değiştirmeyen iç yüzeyleri düzgün ve pürüzsüzdür. Beton dökümünden önce iç yüzeyleri ince bir yağ tabakası fırça ile sürülür. Bu şekilde beton kalıp içine yapışmaz.

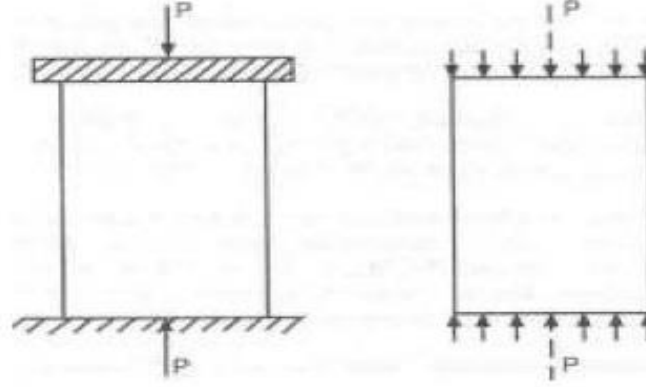
Betonun kalıp içine yerleştirme şekli betonun kıvamına göre değişir. Kıvamı 7,5 cm'den fazla olan betonlar 15×30 cm'lik silindir kap numunesine 3 tabaka halinde her tabaka 25 defa şişlenerek sıkıştırılır. Sıkıştırmadan sonra üst yüzeyi mala yardımı ile düzeltilir. Kıvamı 2,5 cm'den az olanlar iki tabaka halinde ve her tabaka vibratörlenerek sıkıştırılır sonra da üstü düzeltilir. Kıvamı 7,5-2,5 cm arasında olan betonlar şiş ya da vibratörle sıkıştırılır. Küp numunelerde iki tabaka halinde ve 25'er defa şişlenerek sıkıştırılır. Sıkıştırmadan sonra yüzeyi düzeltilir.

### **2.9.4. Silindir Şekilli Numunelere Başlık Yapılması**

Silindir beton yüzeyleri düzgün olmadığı zaman üniform basınç yükü vermek zordur. Bu zorluk hatalı sonuçlar verebilmektedir. Bu yüzden başlıklama yapılarak yüzey düzgünlüğü sağlanır. Başlıklama da kullanılan malzeme kükürt-grafit dozu veya çimento-alçı tarzı bir karışım olabilir. Başlık Kalınlığı ortalama 3-8 mm'dir ve dayanımı da betonun dayanımından az olmamalıdır.

### 2.9.5. Betonun Basınç Dayanımı Hesaplanması

Betonun basınç dayanımı, taze betondan alınan numunelerin test edilmesi sonucunda tespit edilmektedir. Küp veya silindir şeklinde alınan numuneler 28 günlük kür sonrası kırılmakta ve test edilen betonun standarda göre hesabı yapılır. Kırma işlemi deney presi denilen alet vasıtasıyla üniform basınç yükü altında kırılır. Şekil 2.4'te gösterilmiştir.



Şekil 2.4. Beton Numuneye Basınç Yükü Uygulanması

Basınç dayanımı (2.2) denklemi ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (2.2)$$

Bağlantıda; Basınç Dayanımı ( $\sigma$ ), Numuneyi Kırarak En Büyük Yük ( $P$ ), Numunenin Kesit Alanı ( $A$ ) olarak ifade edilmektedir.

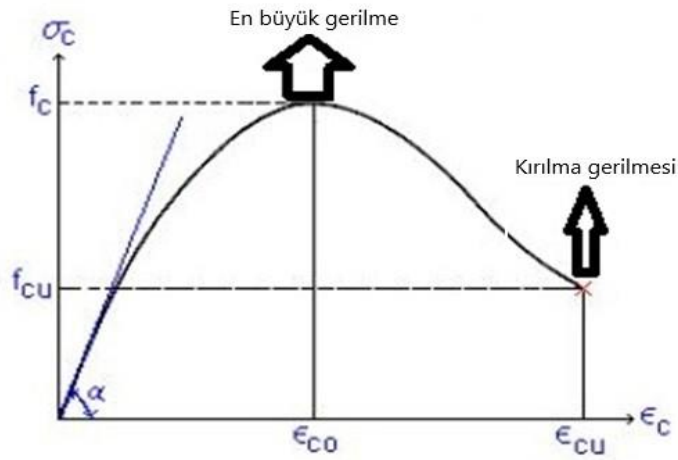
### 2.9.6. Betonun Gerilme-Şekil Değiştirme İlişkisi

Betonun gerilme-şekil değiştirme ilişkisinin bilinirliği tasarım ve hesap aşamasında yol göstericidir. Aynı zamanda yapıların inşasında yapım ve kullanıma yönelik bilgi verir.

Betonun basınç kuvvetleri altında karakteristik davranışını ifade eden en iyi ilişki gerilme-şekil değiştirme diyagramıdır. Kısa süreli yükleme ile elde edilen diyagram,

deney tekniği olarak iki farklı metot ile bulunur. Bunlardan biri, deneyde gerilmenin sabit bir hızla artırılması, diğeri ise Şekil değiştirme hızı sabit tutulacak Şekilde kuvvetin artırılması ile deneyin yurütulmesidir. Deney hızının artırılması betonun dayanımını belirgin bir ölçüde artırırken Şekil değiştirmeyi de belirgin ölçüde azaltır. Fakat Şekil deđiŐtirmede ki azalmalar ile dayanımdaki artışlar sınırlı kalmaktadır [21].

Basınç dayanımı ile birim uzama ilişkisi arasında düzgün olmayan grafiksel bağıntı vardır. Maksimum gerilmeye karşılık gelen birim uzama ( $\epsilon_{co}$ ) aŐıldığında artan Şekil değiştirme altında gerilmeler azalır. Kırılma anındaki birim kısalmaya ( $\epsilon_{cu}$ ) karşı olan gerilme, maksimum gerilmeden daha düŐüktür. Basınç dayanımı ile birim uzama ilişkisinde en büyük gerilmeden sonrası da önemlidir. Bu davranıŐ sayesinde betonarme bir elemanda maksimum gerilmeye ulaŐan bir lif, artan birim kısalma ile gerilmeleri baŐka liflere aktarabilir [53]. Bu durum Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** Basınç Dayanımı ile Birim Kısalma İlişkisi

Şekil 2.5'te gösterilen grafikte; en büyük gerilmeye karşılık gelen birim kısalma ( $\epsilon_{co}$ ), kırılma anındaki birim kısalma ( $\epsilon_{cu}$ ), en büyük gerilme ( $f_c$ ), kırılma gerilmesi ( $f_{cu}$ ) ve elastisite modülü ( $E_c = \tan \alpha$ ) ile belirtilmiştir.

## 2.10. Betonun Elastisite Modülü

Bir malzemeye uygulanan düşük gerilmeler altında meydana gelen şekil değişiminin, gerilmeyi oluşturan yükün kaldırıldıktan sonra malzemenin eski şekline gelme özelliğini ifade eden bir değerdir. Kısacası birim gerilme ile birim şekil değiştirme arasındaki orandır. Birimi  $N/mm^2$  veya Mpa'dır.

Betonda elastisite modülünün bilinmesi beton, ön gerilmeli beton ve betonarme yapılarının birim şekil değiştirme hesaplarının yapılmasını sağlar. Elastisite modülünün bilinmesiyle, birim şekil değiştirmeleri ölçerek gerilmeleri hesaplayabiliriz. Basınç mukavemeti ile elastisite modülü arasında bazı ilişkiler vardır. Bu ilişkiler sayesinde betona zarar vermeden beton mukavemeti yaklaşık olarak tespit edilir. Betonun bünyesinde çimento hamuru gibi viskoz bir karışımın bulunması bu malzemenin birim şekil değiştirmesinin asıl katı malzemelerin birim şekil değiştirmelerinden farklı olmasını sağlar [54].

Elastisite modülünü etkileyen etkenler arasında, betonun basınç dayanımını ve  $\sigma-\varepsilon$  ilişkisini etkileyen bütün değişkenler vardır. Bu değişkenlerden dolayı elastik ve doğrusal olmayan beton gibi bir malzemenin zamana bağlı birim şekil değiştirmesi, elastisite modülünü doğru ve kesin olarak tanımlanmasını olanaksızlaştırır. Bugün, bazı ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerde elastisite modülü, beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak gösterilmektedir [55].

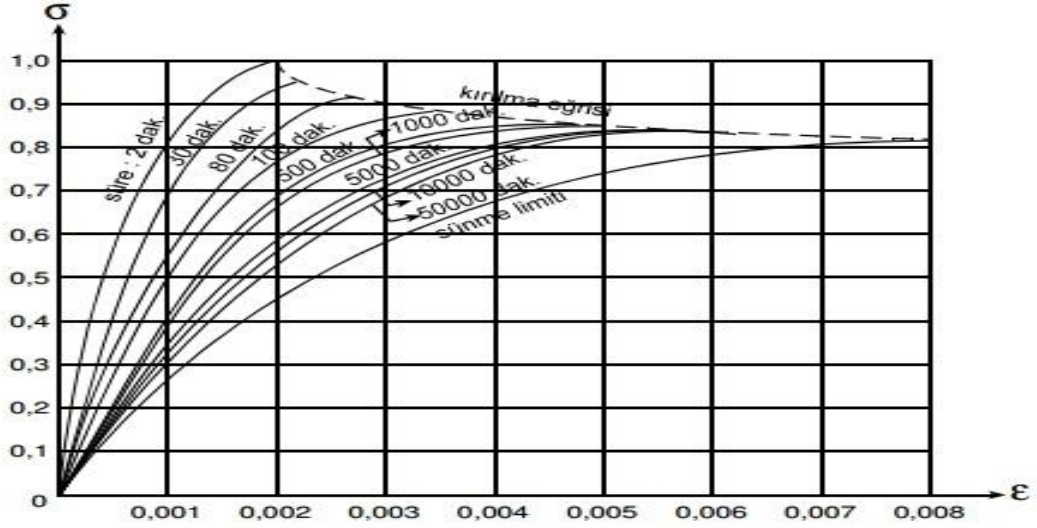
### 2.10.1. Gerilme-Şekil Değiştirme Eğrisi Yardımıyla Elastisite Modülünün Belirlenmesi

Betonun dayanımının yaklaşık üçte birine erişmeyen düşük gerilmelerde kısa yüklemeler altında betonun davranışı doğrusal elastik kabul edilebilir. Gerilme-Şekil değiştirme diyagramındaki bu doğrusal kısım için elastisite modülleri tanımlanmaktadır. Bunlardan başlıcalarını; Başlangıç Modülü, Teğet Modülü ve Sekant Modülü olarak sıralayabiliriz. Şekil 2.7'de (a-b) beton için tanımlanan başlıca elastisite modülleri gösterilmiştir.

Başlangıç Modülü: Gerilme-Şekil değiştirme diyagramının başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimidir. Bu modül Dinamik Modül olarak da isimlendirilir. Genelde



$0,2f_c$  gerilmesine karşılık gelen gerilme dikkate alınarak belirlenir. Betonun düşük gerilmeler altındaki hesaplarda dikkate alınır [56].



**Şekil 2.6.** Gerilme – Şekil Değiştirme Eğrisinin Gerilme Hızıyla Değişimi [22]

Yükleme hızı Şekil 2.6’da olduğu gibi belirli bir değerin üstünde arttırılacak olursa, elde edilecek gerilme-şekil değiştirme eğrileri başlangıçta aynı doğruya teğet kalırlar. Bu durum Elastisite’nin bir en büyük değere sahip olması veya belirli bir değeri geçmemesi demektir. Elastisite’nin bu maksimum değerine Dinamik Elastisite Modülü denir.

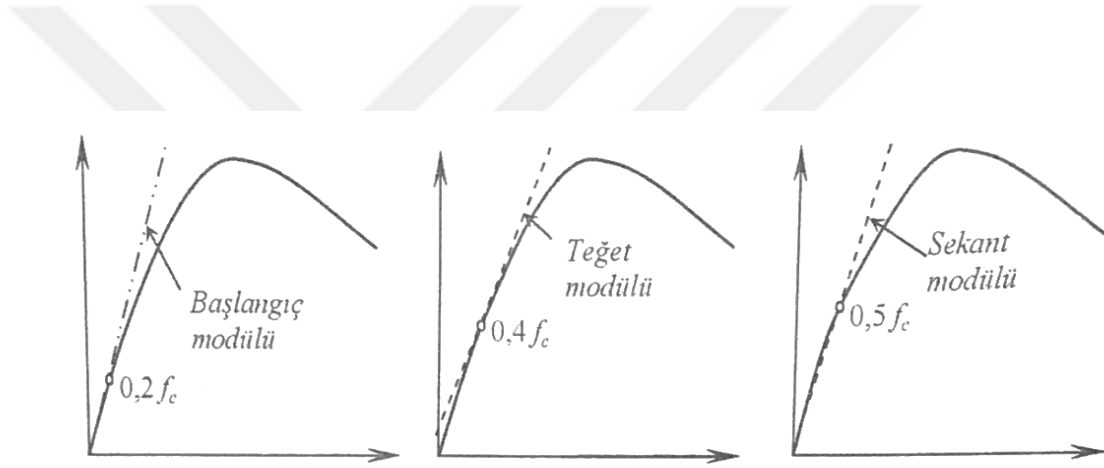
Betonu etkileyen gerilmelerin küçük olması halinde, özellikle  $R/3$ ’den küçük olduğu zaman başlangıçtaki teğetin gerilme-şekil değiştirme eğrisiyle çakıştığını pratik bakımdan kabul etmek mümkündür. Bu kabulde beton için “Hooke Kanunu” uygulanır. ( $\epsilon$ ) şekil değiştirme, ( $\sigma$ ) gerilme ve  $R$  malzemenin en büyük basınç dayanımı olmak üzere  $\sigma$ ,  $R/3$ ’den küçük olmak şartıyla;

$$\epsilon = \frac{\sigma}{E} \quad (2.3)$$

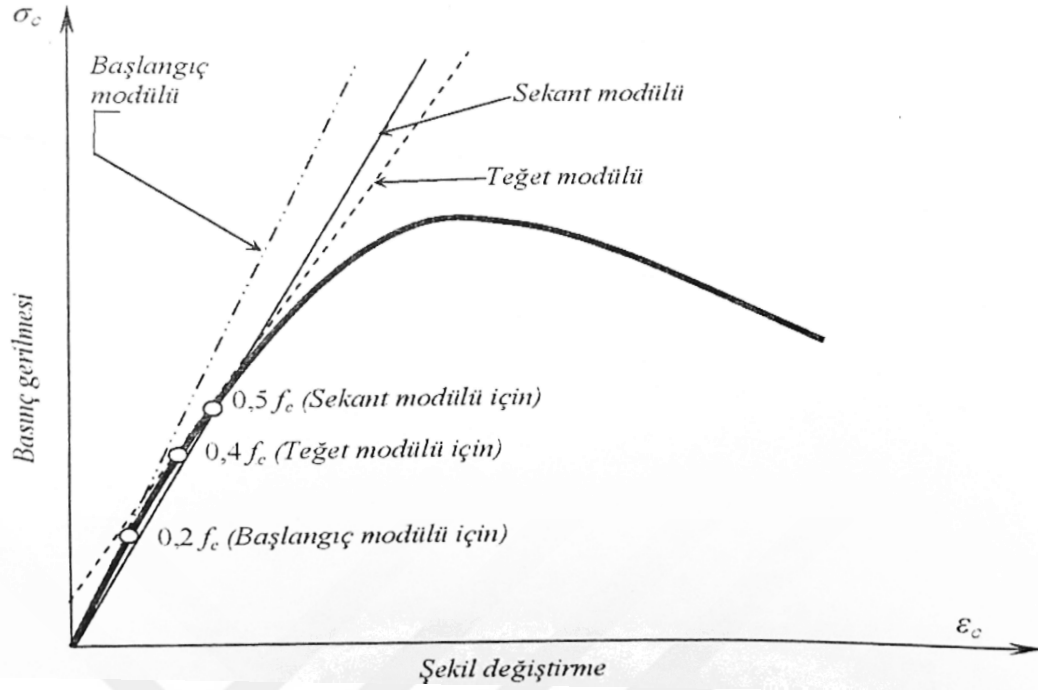
İfadesini kullanılarak şekil değiştirme hesaplanabilir [22].

Teğet Modülü: Gerilme-Şekil değiştirme diyagramının herhangi bir noktasına çizilen teğetin eğimidir. Genelde  $0,4f_c$  gerilmesine karşılık gelen gerilme dikkate alınarak çizilir.

Sekant Modülü: Gerilme – Şekil değiştirme diyagramının başlangıç noktası ile herhangi bir gerilmeye karşılık gelen noktaya çizilen doğrunun eğimidir. Genelde  $0,5f_c$  gerilmesine karşılık gelen gerilme dikkate alınarak çizilir. Beton dayanımına yakın yüksek gerilmelere maruz kaldığında bu modülün kullanılması daha uygundur [56]. Numunelerin deneysel olarak gerilme-şekil değiştirme ilişkilerinden belirlendiğinden sekant modülü statik modül olarak da adlandırılır [57].



(a)

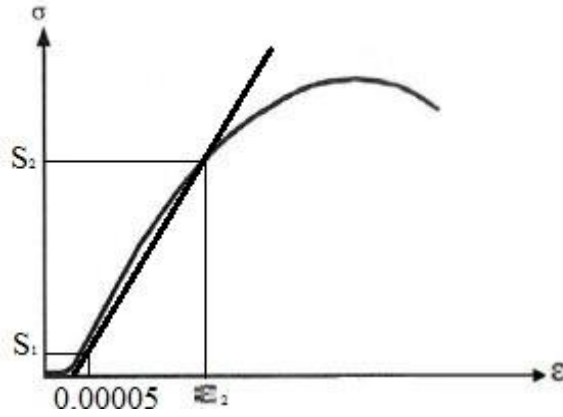


(b)

**Şekil 2.7.** (a-b) Beton İçin Tanımlanan Elastisite Modülleri [56]

Yukarda bahsedilen başlıca elastisite modülleri dışında kiriş yöntem ile hesaplanabilen elastisite modülde vardır. Elastisite modülü tayininde, deneylerde bazen  $\sigma$ - $\epsilon$  eğrisi Şekil 2.8’de olduğu gibi başlangıçta gerilme değeri sıfır veya sıfıra yakın iken şekil değiştirme bir miktar yer almakta ve gerilme artarken şekil değiştirme de normal olarak artmaktadır. Bu durum yükleme daha başlamadan mikro çatlakların kendi yükü altında oturmaya başladığını ve bunun da şekil değiştirme eğrisine yansıdığını gösterir. Başlangıç değerinin sıfır olmamasına rağmen öyle almak elastisite modülü tayininde yaklaşımımızı hatalı kılabilir. Başlangıç noktasından sonraki değer daha gerçekçi olur.

Kiriş yöntemle elastisite modülü hesaplanmasında Sekant modülde olduğu gibi gerilme-şekil değiştirme eğrisi üzerinde bir nokta belirlenir. Bu nokta en büyük gerilmeye denk gelen değerin %40’ına karşılık gelen gerilmedir. Ancak bu noktaya çizilecek olan kiriş, sekant modülündeki gibi başlangıç noktası alınmayacak onun yerine 0,00005 birim deformasyon değerine karşılık gelen bir noktaya çizilecektir [58].



**Şekil 2.8.** Kiriş yöntemiyle Elastisite modülünün hesaplanması

### 2.10.2. Betonun Basınç Dayanımı Değeri ile Elastisite Modülünün Hesaplanması

Betonun elastisite modülü genel olarak gerilme-şekil değiştirme diyagramından elde edilir. Betonun basınç dayanımı kolaylıkla belirlenir fakat gerilme-şekil değiştirme eğrisinin belirlenmesi zor ve uzun süren deneysel çalışmalar gerektirmektedir. Bundan dolayı kolay ve pratik bir yol olması açısından elastisite modülünün beton basınç dayanımından elde edildiği bağıntılar kullanılmaktadır. Farklı ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerinde, elastisite modülünün beton basınç dayanımı ile elde edildiği bağıntılar bulunmaktadır [59].

Bazı ülkelerin komiteleri tarafından hazırlanan standartlar ve literatür araştırmasında elastisite modülü tahmini için, betonun basınç dayanımı  $f_c$  (MPa) ve elastisite modülü  $E_c$  (GPa) olmak üzere (2.4), (2.5), (2.6), (2.7) ve (2.8) bağıntıları önerilmiştir. Numunelerin öncelikle birim ağırlıkları TS EN 12390-7'ye belirlenmiş ve daha sonra ise ultrasonik ses cihazı ile ultrases dalga hızları belirlenerek dinamik elastisite modülü değerleri hesaplanmıştır [60,61].

Normal dayanımlı betonların Statik elastisite modülü denklemleri;

TS 500 Standardı tarafından önerilen (2.4) bağıntısı ile [62],

$$E_c = 3,25. (f_c)^{1/2} + 14 \quad (2.4)$$

Amerikan Beton enstitüsü tarafından (ACI 318-95) önerilen (2.5) bağıntısı ile [63],

$$E_c = 4,73. (f_c)^{1/2} \quad (2.5)$$

Yüksek dayanımlı betonlar için bazı ülkeler tarafından teklif edilen bağıntılar ise  $f_c$  (MPa) ve elastisite modülü  $E_c$  (GPa) olmak üzere (2.6), (2.7) ve (2.8) no'lu denklemlerde verilmiştir.

CEB-FIB 90 standardının önerdiği (2.6) bağıntısı ile [64],

$$E_c = 10. (f_c + 8)^{1/3} \quad (2.6)$$

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 363) tarafından önerilen (2.7) bağıntısı ile [65],

$$E_c = 3,32. (f_c)^{1/2} + 6,9 \quad (2.7)$$

ve Norveç standardı (NS 3473) tarafından önerilen (2.8) bağıntısı ile [66],

$$E_c = 9,5. (f_c)^{0,3} \quad (2.8)$$

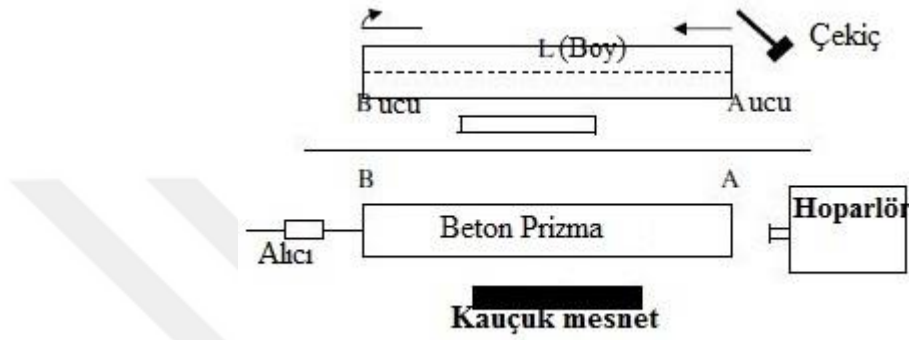
standartları ile belirlenmiştir.

### **2.11. Rezonans Frekansı Metodu ile Elastisite Modülünün Hesaplanması**

Dinamik elastisite modülü ( $E_d$ ) beton performansını ilgilendiren önemli bir parametredir. Belirli şekil ve büyüklükteki numuneler üzerinde laboratuvarında geliştirilmiş rezonans metodu ile dinamik elastisite modülü bulunabilir [67].

Rezonans frekansı metodu ile elastisite modülü bulunurken beton numunesi çok küçük gerilmeler ile karşılaşılır. Bu küçük gerilmeler altında oluşan birim şekil değiştirmenin, gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğet doğrultusu boyunca oluştuğu kabul edilebilir. Bu son derece küçük gerilmeler altında betonun bünyesinde bir değişiklik oluşturmaz.

Kare kesitli beton prizma numunesi yalıtımlı kauçuk bir mesnet üzerine yerleştirilir. Numune uzunluğu ( $L$ ) kesit boyutunun 5 mislinden daha büyüktür (Şekil 2.9). Prizma numunesinin A ucuna çekiçle vurularak meydana getirilen gerilmenin oluşturduğu birim şekil değiştirme dalga halinde bir ( $V$ ) hız ile numunenin B ucuna varır.



**Şekil 2.9.** Rezonans Frekansı Metodu Deney Düzenegi

B ucundan yansıyarak geri dönen şekil değiştirme dalgası A'ya ulaşır. Tekrar B noktasına giderek iki uç arasında hareketine devam eder. Dalga A'ya ulaştığında A ucuna ikinci bir darbe yapılırsa ve iki etkinin bir araya gelmesi sonucu B'de şekil değiştirme miktarında artış olur. A ucuna belirli aralıklarla uygulanan darbeler sonucu B ucunda titreşim en yüksek hale gelir. Böylece Prizma rezonans hale gelmiş olur. B ucundaki etki en yüksek olduğunda A noktasına yapılan ve birbirini izleyen iki darbe arasındaki zaman ( $t_1$ ), prizmanın uzunluğu ( $L$ ) ise şu denklemi yazmak mümkün olur:

$$t_1 = 2L/V \quad (2.9)$$

A noktasına yapılan titreşimin frekansı ( $f$ ) ise ( $t_1$ ) ile ( $f$ ) arasında şu bağıntı vardır;

$$t_1 \times f = 1 \quad (2.10)$$

Genel uygulama da ölçümler Şekil 2.9'a göre yapılır. Titreşimi başlatmak için beton prizmasının A ucundan bir hoparlör hava payı bırakılarak yüksek frekanslı titreşim verilir ve aradaki hava tabakası aracılığıyla titreşim betona iletilir. Numuneye gönderilen titreşim B ucundaki alıcı ile numunenin titreşimi belirlenir. Frekans değiştirilerek B ucunda en yüksek titreşim genliğinin oluşması sağlanır. Böyle bir durumda frekans ( $f_1$ ) ise şekil değiştirme dalgasının malzeme içindeki hızı;

$$V = 2Lf_1 \quad (2.11)$$

Burada geçiş hızı (V) ile (E) betonun elastisite modülü arasında

$$E = V^2 X \frac{\Delta}{g} \quad (2.12)$$

Bağıntısı vardır. Bu formülde  $\Delta$  malzemenin birim ağırlığını, g yerçekimi ivmesini göstermektedir. V km/sn,  $\Delta$  kg/lt cinsinden yerine konulunca E kgf/cm<sup>2</sup> cinsinden aşağıdaki formülden hesaplanır [68].

$$E = 10^5 V^2 \frac{\Delta}{g} \quad (2.13)$$

### 2.11.1. Ultrases Metodu

Normal bir insan kulağının duyabileceği titreşim frekansı 16-16000 Hertz (Hertz saniyede titreşim adedi) arasındadır. Frekansın 16000 Hertzi geçmesi durumunda ultrases denilen ve kulakla duyulmayan ses dalgaları meydana gelir. Ultrases dalgaları katı, sıvı ve gaz haldeki cisimler içinde belirli bir V hızıyla yayılırlar. Ultrases dalgalarının kaynak çapı ( $d$ ) olan bir disk şeklindeki elemandır. Bu kaynaktan çıkan, ultrases dalgalarının ( $f$ ) frekansında oluşturduğu enerjinin %90'ı yarı açısı  $\theta$  olan bir konik içinde bulunur. Bu açı aşağıdaki formülden hesaplanır.

$$\sin \theta = \frac{1,22V}{d \times f} \quad (2.14)$$

$\theta$ 'nın küçük olması ile var olan enerjinin toplanması ve dağılmaması sağlanır. Bunun da sağlanabilmesi için frekans büyük olmalıdır.

Ultrases demetinde; boyuna dalgalar, enine dalgalar ve cismin yüzeyini takip eden dalgalar olmak üzere üç çeşit dalga bulunmaktadır. Boyuna dalgalar sesin ilerleme doğrultusundadır. Enine dalgalar ise sesin yayılma doğrultusuna dik düzlem içindedir. Boyuna ses dalgalarının yayılma hızları ise enine dalgaların yayılma hızlarından belirli bir ölçüde daha büyüktür [22].

### 2.11.2. Cisim İçindeki Ses Hızının Tayini

Uzun zamandır kullanılan Ultrases hızı, malzemeye zarar vermeden ses dalgalarının hızını ölçen bir metottur. Bu testte ses dalgalarının hızı belirli bir uzunluktaki mesafenin kat etme süresi ölçülerek hesaplanır [57]. Uzunlamasına dalga hızı belirlemeye yönelik olan metotlar betonun ultrases tespit metodu için en uygundur. Çünkü bu test metodu basit olduğu gibi maliyet açısından da ekonomiktir. Bu testin performansı için birçok ülkenin standartları vardır [69].

Beton numunesinin bir ucuna ultrases üreten bir verici prob diğer ucuna ise ses dalgalarını toplayan bir alıcı prob yerleştirilir. Alıcı tarafından toplanan ses dalgaları ile bu sesin malzeme içinden geçerken ki zaman bulunur. Deney sonunda  $L$  uzunluğundaki malzeme içinden geçen sesin geçme süresi  $t_1$  olarak tespit edilirse sesin malzeme içindeki hızı (2.15) bağıntısı ile hesaplanır [22].

$$V = \frac{L}{t_1} \quad (2.15)$$

Ses hızı (2.15) bağıntısı ile hesaplandıktan sonra prizmatik numunenin  $E$  ise (2.16) bağıntısıyla hesaplanır.

$$E = 10^5 \times k \times V^2 \times \frac{\Delta}{g} \quad (2.16)$$



Bu formülde  $V$  ultrases hızı,  $\Delta$  betonun birim ağırlığını ve  $g$  yerçekimi ivmesini göstermektedir.  $V$  km/sn ve  $\Delta$  kg/dm<sup>3</sup> cinsinden olmak üzere dinamik elastisite modülü ( $E$ ) kgf/cm<sup>2</sup> boyutundan bulunur. Bağlıdaki  $k$  katsayısı, ses hızı prizma şeklindeki bir beton numunesinden elde edilirse 1'e eşittir. Beton numunesi prizmadan farklı ve küp şekline yakın ise  $k$  (2.17) bağıntısıyla bulunur [21].

$$k = \frac{(1+\nu) \times (1-2\nu)}{(1-\nu)} \quad (2.17)$$

Bağıntıdaki  $\nu$  betonun Poisson oranını göstermektedir.

Bu metot uygulanırken alıcı ve verici problar beton numunesine temas ettirilirken arada boşluk bırakılmamalıdır. Hava boşluğu olursa ultrases yansır ve doğru bir sonuç alınmaz. Bundan dolayı problar ile numune arasında boşluk olmaması için temas yüzeylerine jel veya gres yağı sürülür.

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

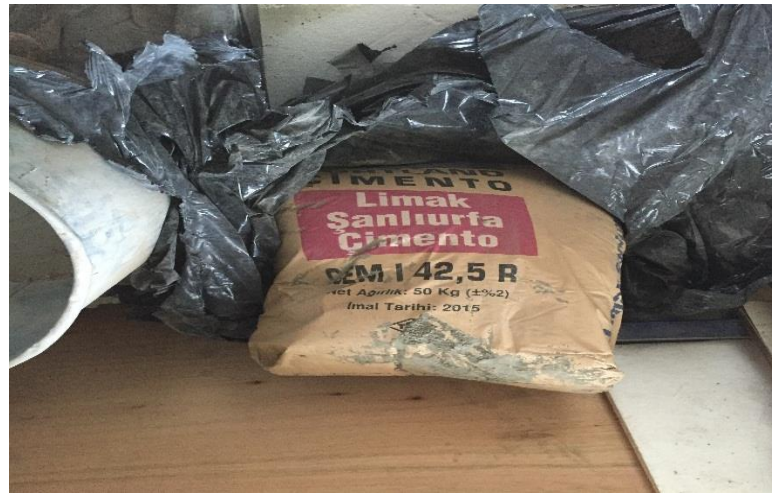
#### 3.1. Kullanılan Malzemeler

##### 3.1.1. Çimento

Tez kapsamında yapılan tüm deneysel çalışmalarda LİMAK Şanlıurfa Çimento tarafından üretilen standart CEM I 42.5 R tipli Portland çimentosu (PÇ) kullanılmıştır. Portland çimentosu klinkerinin bir miktar alçı taşı ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilir. ASTM Tip I çimentosunun özelliklerini kapsayan CEM I 42.5 R tipli Portland çimentosunun özgül ağırlığı  $3,18 \text{ gr/cm}^3$  olup, Blaine özgül yüzeyi  $3183 \text{ cm}^2/\text{gr}$ 'dir. Çimentoya ait kimyasal özellikler Tablo 3.1.'de sunulmuştur. Çimento torbaları rutubet ve neme karşı siyah poşetler içinde laboratuvarında istiflenmiştir. İstiflenmesi Şekil 3.1.'de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1.** Çimento ve Uçucu Kül Kimyasal Kompozisyonları

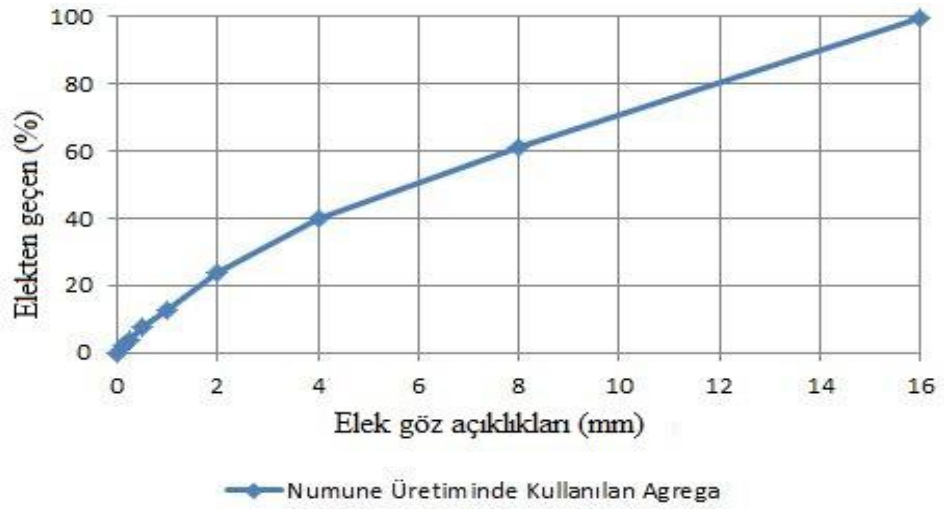
Kimyasal Kompozisyon	Çimento	Uçucu Kül
CaO (%)	62,56	1,64
SiO <sub>2</sub> (%)	19,70	55,89
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	5,39	23,06
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	2,64	6,66
MgO (%)	1,42	2,57
SO <sub>3</sub> (%)	3,25	0,30
K <sub>2</sub> O (%)	0,84	0,99
Na <sub>2</sub> O (%)	0,26	3,37
Kızdırma Kaybı (%)	3,55	2,36
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	27,73	85,61



**Şekil 3.1.** Laboratuvarında Çimentoların Depolanması

### 3.1.2. Agregalar

Karışımlarda Gürbağ Prefabrik şirketinde prefabrik elemanların üretiminde kullanılan kırma bazalt agregalar kullanılmıştır. Üretilecek betonlarda homojenliği sağlamak amacıyla agregalar ince ve çakıl olmak üzere iki guruba ayrılmıştır. Beton karışımlarında %48 kum ve %52 çakıl karıştırılmıştır. Agregalar laboratuvarında çuvallar içinde Şekil 3.3'teki gibi depolanmıştır.



**Şekil 3.2.** Numunelerinin Üretilmesinde Kullanılan Agreganın Granülometrik Eğrisi

İnce agregaların dane çapı 0-4 mm ve çakıl agregaların dane çapı 16 mm'dir. Agregaların granülometrik eğrisi Şekil 3.2'de fiziksel özellikleri Tablo 3.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.2.** Kum ve Çakılların Su Emme Miktarları ve DYK Özgül Ağırlıkları

Agrega Cinsi	Su emme miktarı (%)	DYK özgül ağırlığı (gr/cm <sup>3</sup> )
Kırma bazalt kum	1,8	2,84
Kırma bazalt çakıl	2,0	2,83



**Şekil 3.3.** Laboratuvarda Agregaların Depolanması

### 3.1.3. Mineral Katkılar

Bu çalışmada kullanılmak üzere F sınıfı uçucu kül olarak, taş kömürü yakılarak enerji elde edilmekte olan Afşin-Elbistan Termik Santralinden temin edilmiş ve Şekil 3.4'te gösterildiği üzere 25 kg'lık plastik bidonlarda depolanmıştır. Afşin-Elbistan Termik Santrali uçucu külünün özgül ağırlığı  $2,28 \text{ gr/cm}^3$ , Blaine özgül yüzeyi ise  $2910 \text{ cm}^2/\text{gr}$  olup, uçucu küle ait kimyasal özellikler Tablo 3.1.'de verilmektedir.



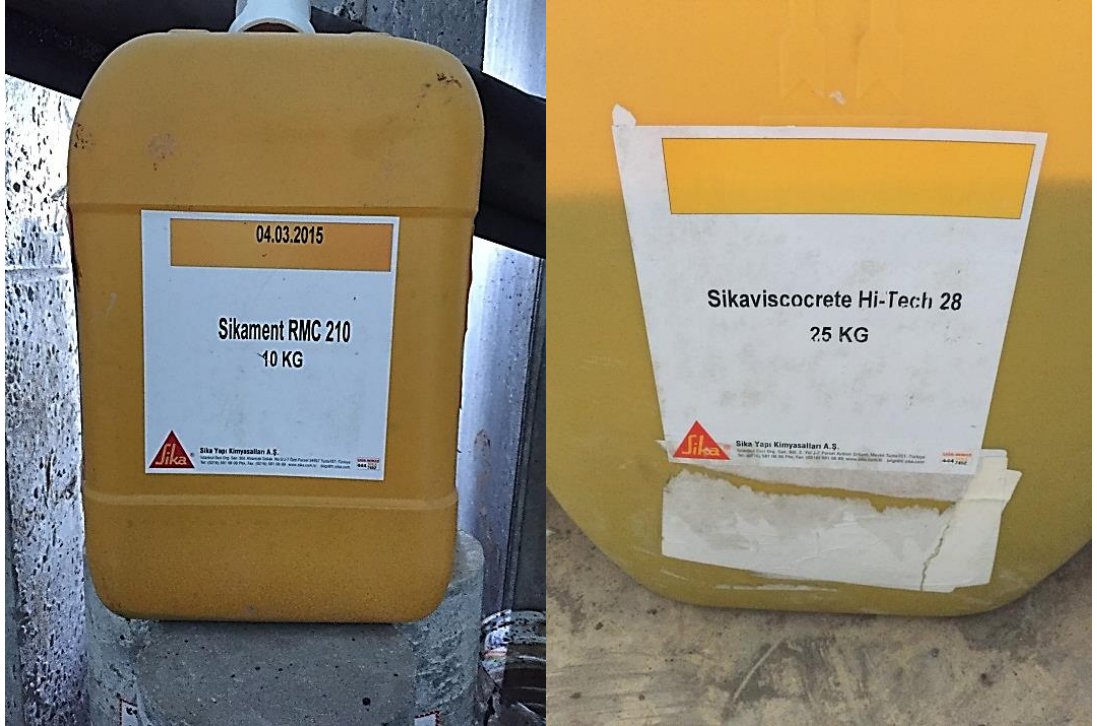
**Şekil 3.4.** Uçucu Külün Temini ve Plastik Bidonlarda Depolanması

Uçucu Kül için TS EN 450-1 standardından faydalanılmıştır [70].

#### 3.1.4. Kimyasal Katkılar

Bu çalışmada TS EN 934-2 standardına uygun Kimyasal katkıları kullanılmıştır. TS EN 934-2 göre, Taze ve/veya sertleşmiş beton özelliklerini değiştirmek için, karıştırma işlemi sırasında betona, çimento dozajının %5'ini geçmemek üzere eklenen kimyasal maddelerdir.

Deneyleerde, Normal Betonların üretiminde (NM) SİKA Yapı Kimyasalları firmasının ürettiği “Sikament RMC 210” isimli TS EN 934-2 standardına uygun yeni nesil yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı kullanılmıştır. Yüksek oranda su azaltıcı/süper akışkanlaştırıcı betonda kıvamı değiştirmeden su miktarının yüksek oranda azalmasını sağlayan veya su miktarı değişmeden çökmeyi yüksek oranda artıran veya her iki etkiyi birlikte oluşturan kimyasal katkıdır. Kullanılan süper akışkanlaştırıcı özgül ağırlığı yaklaşık 1,17-1,21 kg/dm<sup>3</sup> 20 °C olan sıvı halde bir katkıdır.



Şekil 3.5. Dene Numunelerinin Üretilmesinde Kullanılan Kimyasal Katkılar

Kendiliğinden Yerleşen Beton (KYB) karışımlarının işlenebilirliğini arttırmak için SİKA Yapı Kimyasalları tarafından üretilmekte olan yüksek oranda su azaltıcı polikarboksilik esaslı “Sikaviscocrete Hi-Tech 28” hiper akışkanlaştırıcı (HA) katkı kullanılmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan hiper akışkanlaştırıcı özgül ağırlığı yaklaşık 1,055-1,095 kg/lt 20 °C olan sıvı halde bir katkıdır (Şekil 3.5).

### 3.1.5. Karışım Suyu

Deneysel çalışmalarda Harran Üniversitesi Osmanbey Kampüsü şebeke suyu kullanılmıştır (Şekil 3.6). Karışımlarda kullanılan su üniversitede içme suyu olarak da kullanılmaktadır. Suyun bazı kimyasal özellikleri Tablo 3.3’te gösterilmiştir [71].



**Şekil 3.6.** Karışım Suyunun Darasının Alınması

**Tablo 3.3.** Beton Karışımlarında Kullanılan Suyun Kimyasal Analizi [71]

	Birim	Ortalama
pH	-	7,51
Ca <sup>+2</sup>	mg/L	51,81
Mg <sup>+2</sup>	mg/L	1,74
Na <sup>+</sup>	mg/L	5,56
K <sup>+</sup>	mg/L	0,83
NO <sub>3</sub>	mg/L	15,04
Cl <sup>-</sup>	mg/L	14,88
SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	mg/L	15,35

### 3.1.6. DeneYlerde Kullanılan Çelik Lif

Lifli betonlarda pilye şeklinde iki ucu bükülü çelik lifler kullanılmıştır. Bu liflerin en önemli özellikleri çekme sırasında kopmadan direnç göstermeleridir. DeneYlerde kullanılan çelik lif Atlas Firmasından (Beton Fiber) temin edilen TS EN 14889-1 standardına uygun [72], çelik tipi 1, C sınıfı, soğukta çekilmiş, çelik lif kullanılmıştır. DeneYlerde kullanılan çelik liflerin teknik özellikleri Tablo 3.4'te verilmiştir. Kullanılan çelik liflerden bir miktarının fotoğrafı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



**Şekil 3.7.** Beton Üretiminde Kullanılan Çelik Lif

**Tablo 3.4.** Çelik Liflerinin Özellikleri

Lif Adı	Boy (mm)	Çap (mm)	Narinlik Boy/Çap	Çekme Dayanımı(Mpa)	Elastisite Modülü(Mpa)	Özgül Ağırlık(gr/cm <sup>3</sup> )	Kg'daki Lif Sayısı(Adet)
BF1050	50	1	50	1200	200000	7,85	5000

## 3.2. Deney Süreci

### 3.2.1. Karışımların Hazırlanması

Deneysel çalışmalar kapsamında farklı beton tipinin ve çelik lif oranının  $E_s$  ve  $E_d$  modülüne etkisi araştırılmıştır. Bu amaçla 150×300 mm boyutlarında NB ve KYB silindir numuneler üretilmiştir. Bütün beton bileşimlerinde çimento dozajı 400 kg/m<sup>3</sup> olarak sabit tutulmuştur. NB ve KYB beton karışım özellikleri birbirinden farklı olduğundan çalışmada ayrı, ayrı bahsedilecektir. Karışım hesabı yapılırken optimum fayda sağlamaya çalışılmıştır. Lif oranları farklı oranda hazırlanan karışımlardan işlenebilirliği optimum olan %1 ve %0,5 lif oranında sağladığına karar kılınmıştır.

NB'a hacimsel olarak %0,5 ve %1 oranında çelik lif karıştırılmıştır. İşlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla çimento miktarının ağırlıkça %2'si oranında süper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak etkin su/çimento oranı 0,48 olarak belirlenmiştir. Karışıma katılacak lif miktarları 0 (kontrol), 39,25 ve 78,5 kg/m<sup>3</sup> olarak belirlenmiştir. Numunelerin farklı zamanlarda dökülmesini belirtmek için A ve B olmak üzere iki seri ismi verilmiştir. İlk seride üretilen deney numuneleri A harfiyle, ikinci seride üretilen numuneler B harfiyle kodlanmıştır. A ve B numunelerin karışım oranları aynı sadece farklı zaman aralıklarında hazırlandığından ayrı bir tablo halinde verilmemiştir. Karışım oranları Tablo 3.5'te verilmiştir.

**Tablo 3.5.** 1 m<sup>3</sup> Betonda Bulunan Gerçek Malzeme Miktarları

Beton Türü	Çimento (kg)	Su (kg)	Katkı (kg)	Lif Miktarı (kg)	Uçucu Kül (kg)	Kum (kg)	Çakıl (kg)
NB-Kontrol	400	192	8	0	0	892	966
NB-%0,5Lifli	400	192	8	39,25	0	885	959
NB-%1 Lifli	400	192	8	78,50	0	878	951
KYB-Kontrol	400	197	10,44	0	180	771	836
KYB-%0,5Lifli	400	215	14,50	39,25	180	736	798
KYB-%1Lifli	400	220	14,50	78,50	180	722	782





**Şekil 3.8.** Deney İçin Hazırlanmış Küp ve Silindir Numuneler

KYB hacimsel olarak %0,5 ve %1 oranında çelik lif karıştırılmıştır. İşlenebilmeyi kolaylaştırmak amacıyla çimento miktarının ağırlıkça %2,5~3,0'ü oranında hiper akışkanlaştırıcı katkı kullanılarak etkin uçucu kül/çimento oranı 0,45 ve su/çimento oranı yaklaşık 0,55 olarak belirlenmiştir. Karışıma katılacak lif miktarları 0 (kontrol), 39,25 ve 78,5 kg/m<sup>3</sup> olarak seçilmiştir. Bu çalışmada (NB-A-B ve KYB-A-B)

kontrol karışımı olarak seçilmiştir. Bu durumda Tablo 3.5’te detayları verilen ve Şekil 3.8’de gösterilen silindir ve küp numuneler hazırlanmıştır.

Küp numuneler betonların basınç dayanımlarını belirlemek için hazırlanmıştır. Silindir numuneler ise tez konusu olan Elastisite modülü belirlemek için 150×300 mm boyutlarında toplam 32 adet hazırlanmıştır.

Üretilen tüm karışımlar, 56 litre kapasiteli mikser kullanılarak hazırlanmıştır. Çimento, uçucu kül ve kum önce kuru olarak 100 devir/dakika hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Ardından su ve süper akışkanlaştırıcı eklenip 150 devir/dakika hızda 1 dakika karıştırılmıştır. Daha sonra karıştırma işlemi 300 devir/dakika hızda 2 dakika daha devam etmiştir. Son olarak çelik lifleri matrise eklenip ve karıştırma işlemi mikserde 150 devir/dakika hızda 3 dakika devam etmiştir. Beton karışımlarının üretim aşamaları Şekil 3.9’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.9.** Beton Karışımının Hazırlanması

Tüm numuneler kür havuzunda +4 °C 28 gün bekletilerek (Şekil 3.10) kür edilmiştir. Numuneler deney tarihine kadar Şekil 3.11.'de gösterildiği şekilde muhafaza edilmiştir.



**Şekil 3.10.** Deney Numunelerinin Kür Havuzunda Bekletilmesi



**Şekil 3.11.** Numunelerin Telis Bezi ile Muhafaza Edilmesi

### 3.2.2. Karışımların İşlenebilirlik Deneyleri

#### 3.2.2.1. Çökme ve Yayılma Deneyi

Yapılan bu deneyde alet olarak 100×100 cm ebatlarında düz metal bir tabla ve çökme (slump) konisi kullanılmıştır. Çökme hunisi geniş ağzı metal tabla üzerindeki önceden işaretlenmiş nokta üzerine gelecek şekilde yerleştirilmiş ve içerisine ağzına kadar dolacak şekilde KYB doldurulmuştur. Doldurma işlemi tamamlandıktan sonra yüzeyi bir mala ile düzeltilmiştir. Slump hunisi (Şekil 3.12-a) de gösterildiği gibi sarsılmadan yavaşça çekildiğinde KYB tabla üzerinde yayılmaya başlamıştır. Tabla üzerinde yayılan KYB'nun birbirine dik iki çapı ölçülmüş ve bu değerlerin aritmetik ortalaması alınmıştır. KYB'de kıvam için yeterli olarak kabul edilebilir bir değer olan ortalama 70 cm'lik bir yayılma değerine ulaşılmıştır.

Taze NB kıvam sınıfını belirlemek için Slump konisi kullanılarak çökme deneyi yapılmıştır. Bu deneyde NB Slump konisi içine 3 seferde doldurulup, her seferde 25 defa şişlenerek beton koni içerisine iyice yerleştirilmiştir. Bu işlemden sonra Slump konisi hafif bir burğu yaptırılarak 5 saniye içerisinde geri çekilmiştir. Slump konisi bir miktar çöken betonun yanına konularak betonda oluşan çökme miktarı ölçülmüştür. Beton ne kadar akışkan ise Slump değeri o kadar fazla olacaktır. Karışım oranlarının belirlendiği deneylerde (Şekil 3.12-b) de gösterildiği gibi lifli betonlarda bile 15~16 cm gibi yeterli bir çökme değeri sağlanmıştır.



(a)

(b)

Şekil 3.12. (a) KYB Yayılma Deneyi, (b) NB Slump Deneyi

### **3.2.3. Kontrol Basınç Dayanımının Belirlenmesi**

Üretilen her karışım numunelerinin 28. günde basınç dayanımları ölçülmüştür. Basınç dayanım deneyleri 3000 kN kapasiteli test cihazında ASTM C39 standardında uygun olarak yapılmış olup, karışımların basınç yük kontrolleri için boyutları 150×150×150 mm olan küp numuneleri (Şekil 3.13b), önce numune yüzeyleri temizlenerek Şekil 3.13a'da görüldüğü gibi basınç testi uygulanmıştır. Bütün karışımlarının 28 günlük basınç mukavemeti deney sonuçları Tablo 3.6.'da özetlenmiştir.





(a)



(b)

**Şekil 3.13.** Basınç Dayanımı (a) Test Cihazı ve (b) Küp Numuneleri

**Tablo 3.6.** Küp Numunelerin Basınç Dayanımı Test Sonuçları

Numune		Basınç Day. (Mpa)	Numune		Basınç Day. (Mpa)	Numune		Basınç Day. (Mpa)
No	Adı	28 Gün	No	Adı	28 Gün	No	Adı	28 Gün
1	NB-A Kontrol	38,9	13	NB-A %1 Lifli	44,5	25	KYB-A %0,5 Lifli	55,0
2	NB-A Kontrol	36,4	14	NB-A %1 Lifli	43,4	26	KYB-A %0,5 Lifli	53,3
3	NB-B Kontrol	34,9	15	NB-A %1 Lifli	40,4	27	KYB-A %0,5 Lifli	49,8
4	NB-B Kontrol	38,1	16	NB-B %1 Lifli	46,7	28	KYB-B %0,5 Lifli	48,1
5	NB-A %0,5Lifli	42,9	17	NB-B %1 Lifli	48,1	29	KYB-B %0,5 Lifli	44,9
6	NB-A %0,5 Lifli	35,0	18	NB-B %1 Lifli	45,0	30	KYB-B %0,5 Lifli	46,3
7	NB-A %0,5 Lifli	38,5	19	NB-B %1 Lifli	43,4	31	KYB-A %1 Lifli	50,6
8	NB-B %0,5 Lifli	44,0	20	KYB-A Kontrol	46,6	32	KYB-A %1 Lifli	51,0
9	NB-B %0,5 Lifli	44,8	21	KYB-B Kontrol	51,4	33	KYB-B %1 Lifli	47,9
10	NB-B %0,5 Lifli	42,2	22	KYB-B Kontrol	50,5	34	KYB-B %1 Lifli	45,9
11	NB-B %0,5 Lifli	42,8	23	KYB-B Kontrol	47,0	35	KYB-B %1 Lifli	49,7
12	NB-B %0,5 Lifli	43,8	24	KYB-A %0,5 Lifli	53,9			

### 3.3. Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi

Dinamik ( $E_d$ ) ve Statik ( $E_c$ ) Elastisite modülleri 150×300 mm Silindir numuneler üzerinde yapılan deneysel çalışma ile elde edilmiştir. Optimum sonuçlar elde etmek için olabildiğince numune sayısı fazla tutulmuştur. Statik elastisite modülüne uygun olup dinamik elastisite için yüzey pürüzlülüğü veya sıkışma şartları gibi istenilen şartları sağlamayan ya da tam tersi durumda ki numuneler elenerek 32 numune üzerinde deneysel çalışma yapılmıştır. Deneye tabi tutulan numunelerden elde edilen sonuçların ortalama değer alınarak hesaplar tamamlanmıştır.

#### 3.3.1. Ultra Ses Dalgaları ile Elastisite Modülü Tayini

Ses Dalgaları hava ortamında yayıldıkları gibi elastik bir ortam vasıtasıyla da iletilebilirler. Ses dalgalarının hızı elastik ortamın özelliğine bağlıdır. Dolayısıyla ortamın kütlesi ve yayılma hızı biliniyorsa, yayıldığı ortamın elastik özelliği tahmin edilebilir [73].

Ultra ses dalgalarının yayılma hızı ultrasonik darbe test cihazı ile bulunur. Ultrasonik darbe hız yönteminde test cihazı ile numune içerisinde oluşturulan darbenin diğer ucu ulaşmasında geçen zaman ve mesafe faktörlerinin bilinmesi ile ultra ses dalga hızları elde edilmiştir. Ultrasonik test cihazı tarafından numunelere verilen darbelerle uzunlamasına en hızlı yayılan basınç dalgaları oluşturulmuştur. Bu basınç dalgaları ile sonsuz, homojen, izotropik, elastik bir ortam içinde dalga hız denklemi (3.1)

bağıntısı ile ifade edilmiştir [73]. Bu bağıntıdaki  $V$  Ultrasonik Dalga Hızını (mm/sn),  $K$  Denklem 3.2’de verilen katsayı,  $E_d$  Dinamik Elastisite Modülünü ( $N/mm^2$ ) ve  $D$  Numunenin Birim Hacim Ağırlığını ( $gr/mm^3$ ) ifade etmektedir.

$$E_d = \frac{V^2 D}{K} \quad (3.1)$$

$$K = (1 - u) \times g / (1 + u) \times (1 - 2u) \quad (3.2)$$

Denklem 3.2’deki  $K$  bağıntısında  $g$  yerçekimini ( $mm/sn^2$ ) ve  $u$  betonun poisson oranını belirtmektedir. Ultrasonik ses dalgaları metodu ile (3.1) ve (3.2) bağıntıları kullanılarak Dinamik Elastisite modülleri hesaplanmış ve Tablo 3.7’de verilmiştir. Betonun Poisson oranı standartlarda verilen ve 0,20 olarak alınmıştır.

### **3.3.1.1. Ultrases Geçiş Hızlarının Belirlenmesi**

Numuneler üzerinde TICO markalı cihaz ile Ultrases geçiş hızları belirlenmiştir. Ultrasonik test cihazına önce silindir numunenin boyu (300 mm) olarak tanımı yapılmıştır. Ses dalgasını yayan verici prop ile diğer alıcı ucuna gres yağı sürülmüştür. Bu şekilde ses dalgalarının hava ile iletişimi kesilerek direk numune ile proplar arası tam temas sağlanarak hata payı azaltılmıştır. Şekil 3.14’teki gibi kayıtlar alınmıştır. Numunelerin üzerine konulduğu zemin ile arasına kauçuk tarzı yalıtım malzemesi konulmuş ve her ölçüm en az 3 kez tekrarlanarak hassas ölçüm değerleri alınmaya çalışılmıştır. Ultra ses geçiş hızları Tablo 3.7’de verilmiştir.





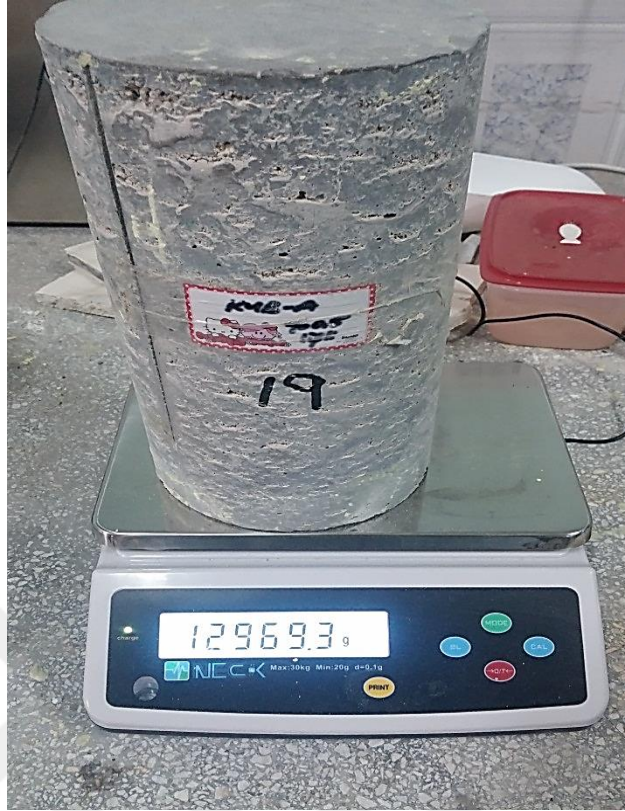
Şekil 3.14. Ultrases Geçiş Hızları Deneyi

**Tablo 3.7.** Ultrases Geçiş Hızları ve Dinamik Elastisite Modülü

Numune No	Numune İsmi	Lif Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (D) (gr/mm <sup>3</sup> )	Ses Dalga Hızı(V) (m/s)	Dinamik Elastisite Modülü (E <sub>d</sub> )(Gpa)
5	NB-B	LİFSİZ	0,00248	3820	33,23
25	NB-B	LİFSİZ	0,00244	3400	25, 85
18	NB-B	LİFSİZ	0,00241	3760	31, 31
24	NB-B	0,5	0,00250	3910	35, 08
7	NB-B	0,5	0,00249	3710	31, 41
29	NB-B	0,5	0,00248	3930	35, 19
4	NB-A	0,5	0,00246	3560	28, 55
3	NB-A	0,5	0,00245	3630	29, 65
32	NB-A	0,5	0,00245	3630	29, 59
2	NB-B	1	0,00252	3920	35, 51
27	NB-B	1	0,00244	3870	33, 55
22	NB-B	1	0,00244	3870	33, 52
23	NB-A	1	0,00252	3740	32, 33
13	NB-A	1	0,00248	3670	30, 68
11	NB-A	1	0,00245	3720	31, 05
28	KYB-A	LİFSİZ	0,00233	4240	38, 48
20	KYB-A	LİFSİZ	0,00233	4300	39, 47
30	KYB-A	LİFSİZ	0,00232	4020	34, 38
6	KYB-B	LİFSİZ	0,00242	4100	37, 28
14	KYB-B	LİFSİZ	0,00240	3930	33, 95
33	KYB-B	0,5	0,00248	3960	35, 64
31	KYB-B	0,5	0,00239	4210	38, 86
21	KYB-B	0,5	0,00238	4200	38, 50
19	KYB-A	0,5	0,00245	4300	41, 50
12	KYB-A	0,5	0,00240	4240	39, 59
17	KYB-A	0,5	0,00240	4255	39, 80
10	KYB-A	1	0,00244	4080	37, 24
26	KYB-A	1	0,00243	4240	40, 00
8	KYB-A	1	0,00233	3920	32, 91
1	KYB-B	1	0,00244	4020	36, 19
15	KYB-B	1	0,00244	3880	33, 69
16	KYB-B	1	0,00241	3780	31, 60

### 3.3.1.2. Numunelerin Ağırlıklarının Ölçülmesi

Silindir numuneler Şekil 3.15'te görüldüğü gibi hassas elektronik terazi ile ağırlıkları tartılmıştır. Tablo 3.7'de birim hacim ağırlık değerleri verilmiş ve bulunan birim hacim ağırlık değerleri (3.1) bağıntısında kullanılmıştır.



**Şekil 3.15.** Beton Numunelerin Ağırlık Ölçümü

### **3.4. Beton Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Tayini**

Beton basınç dayanımı ile statik elastisite modülü tespiti için silindir (150×300 mm) numuneler kullanılmıştır. Deneyle testi yapılmadan önce beton yüzeyinin üzerindeki pürüzleri düzeltmek için başlıklama yapılmıştır.

#### **3.4.1. Numunelerin Başlıklanması**

Silindir numuneler basınç uygulayan beton presi düzlemin de aksel sapmaları gidermek ve basınç yükünün homojen dağılımını sağlamak amacıyla başlıklama yapılmıştır. Başlıklama cihazında %70 kükürt ve %30 grafit tozundan oluşan bir karışım ile numuneler kalıp kullanılarak başlıklanmıştır. Bütün numune yüzeyini kapsayacak şekilde ortalama 5 mm kalınlığında bir tabaka oluşturulmuştur.

Eritme potasında yüksek sıcaklıkta eriyik hale getirilen karışım başlıklama kalıbına dökülerek numune Şekil 3.16'da ki gibi oturtulmuştur. Bir süre bekledikten sonra

karışım kalıp içerisinde soğutulmuş ve böylece başlıklama işlemi tamamlanmıştır. Şekil 3.17’de başlıklanma işlemi tamamlanmış numuneler görülmektedir.



**Şekil 3.16.** Numunenin Başlıklama Kalıbına Oturtulması



**Şekil 3.17.** Başlıklanma İşlemi Tamamlanmış Numuneler

### **3.4.2. Numunelere Şekil Değişirme Ölçerlerin Bağlanması**

Beton presi tarafından silindir numuneler üzerine aksenal basınç kuvveti uygulandığı zaman bağlandığı yüzeyde meydana gelen şekil değişirme miktarını (boy kısalmasını) ölçen Şekil (3.18) gösterilen, şekil değişirme ölçerler (Linear Variable Differential Transformers, LVDT) bağlanmıştır. Şekil değişirme ölçerlerin (LVDT) okuduğu şekil değişirme değerleri bilgi toplama ünitesi (Data Logger) tarafından bilgisayara aktarılmıştır (Şekil 3.19).



**Şekil 3.18.** Şekil Değiştirme Ölçerlerin (LVDT) Okuma Değerleri Alması



**Şekil 3.19.** Data Logger Tarafından Verilerin Bilgisayara Aktarılması

### 3.4.3. Beton Presinde Numunelerin Statik Elastisite Modülünün Bulunması

Tahribatlı test yönteminde tek eksenli basınç deneyi yapılmıştır. Bu deney için Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Yapı Laboratuvarında bulunan 3000 kN kapasiteye sahip tek eksenli basınç presi kullanılmıştır. Statik Elastisite Modülünün bulunması için yapılan deneylerde yükleme hızı 0,35 Mpa/sn olacak şekilde sabit tutulmuştur (Şekil 3.20).



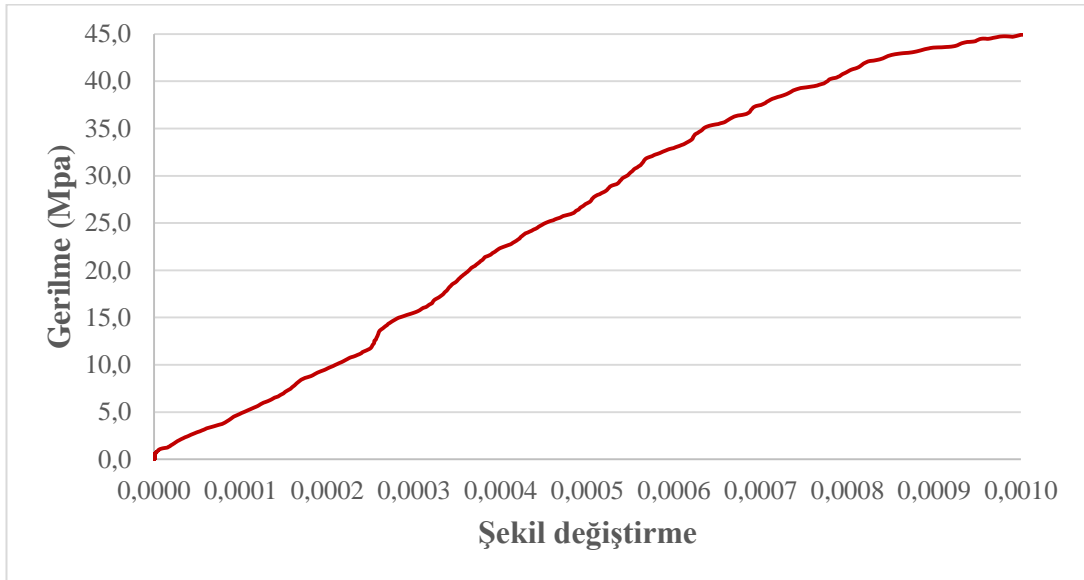
**Şekil 3.20.** Statik Elastisite Modülünün Bulunmasında Kullanılan Basınç Presi ve Deney Düzeneği

Beton Presinin kontrol panelinden, numunelerin boyutu 150×300 mm olacak şekilde girilmiş ve numunelere isimler verilmiştir. Numune de oluşan şekil değiştirmeler ve gerilmeler anlık olarak ölçülmüş ve bilgisayara kaydedilmiştir. Deney sırasında çevre sıcaklığı ve nem mümkün olduğunca sabit tutulmuştur. Şekil değiştirmeyi ölçen donanım numuneye bağlanmıştır. Numune deney cihazının taşıyıcı bloğunun üzerine yerleştirilmiştir ve numunenin cihazın üst taşıyıcı bloğuna dik olarak yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Basınç presi vasıtasıyla numune üzerine en az iki kere ölçüm alınmadan yükleme yapılmıştır. Daha sonra yapılan yüklemenin ortalamasından temel hesaplar elde edilmiştir. İlk yüklemde şekil değiştirmeyi ölçen

cihazların doğru ölçüm yapıp yapmadıkları gözlenmiş ve esas yükleme için düzeltmeler yapılmıştır. Darbe oluşturmadan sürekli bir yükleme yapılmaya ve yüklemenin sabit bir hızla 10,60 kN/sn yapılmasına özen gösterilmiştir. Yük kesintiye uğramadan boyuna şekil değiştirmenin 0,00005 ve en büyük basınç dayanımının %40'ına eşit yük uygulanana kadar veriler kaydedilmiştir. Yükleme kesintiye uğramış veya veri kaydedilmesinde problem yaşanmış olan numuneler dikkate alınmamıştır. Boyuna şekil değiştirme ölçülen yer değiştirmenin, boyuna şekil değiştirmeyi ölçen LVDT'nin etkili boyuna bölünmesiyle bulunur [74].

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00005)} \quad (3.3)$$

Denklem (3.3) bağıntısında Kiriş Elastite Modülünü  $E$  (Mpa), En büyük basınç dayanımının %40'ına karşılık gelen gerilme  $S_2$ , 0,00005 boyuna şekil değiştirmeye karşılık gelen gerilme  $S_1$  ve  $S_2$  gerilmesinin oluşturduğu boyuna şekil değiştirme  $\varepsilon_2$  ile belirtilmiştir.



**Şekil 3.21.** 19 No'lu %0,5 Lifli KYB-A Örnek Numunenin Elde Edilmiş Gerilim-Şekil Değiştirme Eğrisi



Şekil 3.21’de Elde edilmiş gerilme-şekil değiştirme eğrisine bir örnek verilmiştir. Denklem 3.3’e göre hesabı aşağıdaki gibi yapılmıştır;

$$S=44,7 \text{ N/mm}^2 \text{ (En büyük basınç dayanımı)}$$

$$S_2= 44,7 \times 0,40 =17,88 \text{ (Basınç dayanımının \%40’na karşılık gelen gerilme)}$$

$$\varepsilon_2 = 0,000338 \text{ (} S_2 \text{ gerilmesinin oluşturduğu boyuna şekil değiştirme)}$$

$$\varepsilon_1 = 0,00005$$

$$S_1 = 2,88 \text{ (} 0,00005 \text{ boyuna şekil değiştirme karşılık gelen gerilme)}$$

$$E = \frac{(S_2 - S_1)}{(\varepsilon_2 - 0,00005)}$$

$$E = 52083 \text{ Mpa}$$

**Tablo 3.8.** Kırılma Yükleri ve Statik Elastisite Modülü

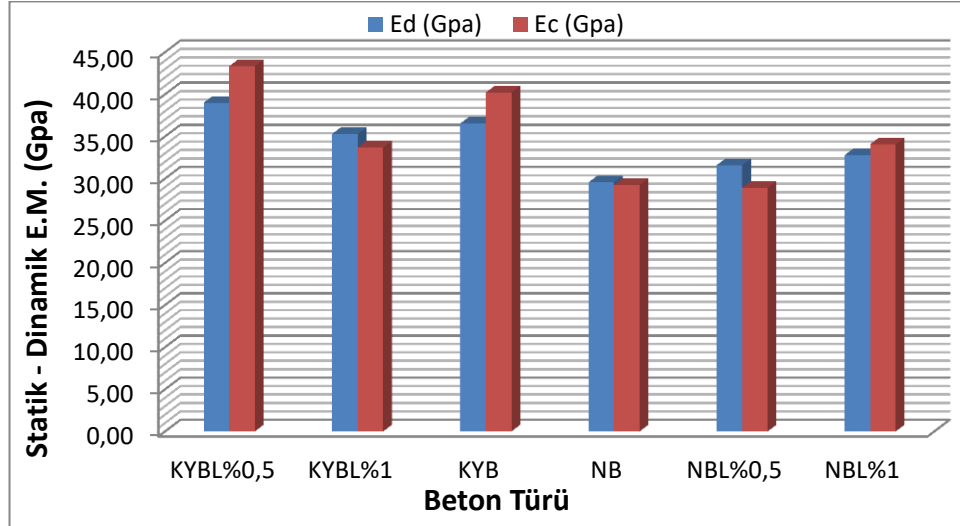
Numune No	Numune İsmi	Lif Oranı (%)	Birim Hacim Ağırlık (D) (gr/mm <sup>3</sup> )	Basınç Dayanımı (Mpa)	Statik Elastisite Modülü (E <sub>c</sub> )(Gpa)
5	NB-B	LİFSİZ	0,00248	25,70	31,78
25	NB-B	LİFSİZ	0,00244	31,7	26,71
24	NB-B	0,5	0,00250	40,20	35,23
7	NB-B	0,5	0,00249	37,6	33,67
29	NB-B	0,5	0,00248	39,70	32,35
4	NB-A	0,5	0,00246	26,10	23,33
3	NB-A	0,5	0,00245	26,30	22,79
32	NB-A	0,5	0,00245	28,40	26,13
2	NB-B	1	0,00252	41,20	35,10
22	NB-B	1	0,00244	41,50	31,09
11	NB-A	1	0,00245	37,70	35,06
28	KYB-A	LİFSİZ	0,00233	40,88	32,67
20	KYB-A	LİFSİZ	0,00233	36,62	61,11
30	KYB-A	LİFSİZ	0,00232	35,60	52,24
6	KYB-B	LİFSİZ	0,00242	34,70	39,77
14	KYB-B	LİFSİZ	0,00240	36,62	32,57
33	KYB-B	0,5	0,00248	29,80	24,98
31	KYB-B	0,5	0,00239	40,01	38,55
21	KYB-B	0,5	0,00238	38,40	44,72
19	KYB-A	0,5	0,00245	44,70	52,08
12	KYB-A	0,5	0,00240	45,30	44,03
17	KYB-A	0,5	0,00240	45,20	55,67
26	KYB-A	1	0,00243	52,40	39,19
8	KYB-A	1	0,00233	38,20	48,83
1	KYB-B	1	0,00244	43,80	25,86
15	KYB-B	1	0,00244	43,40	22,81

#### 4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

**Tablo 4.1.** Beton Türü ve Lif Oranına Bağlı Numunelerin Ortalama Dinamik-Statik Elastisite Modülleri

Beton Türü	Lif Oranı	Dinamik Elastisite Modülü ( $E_d$ )(Gpa)	Statik Elastisite Modülü ( $E_c$ )(Gpa)
KYB	%0,5	38,98	43,33
KYB	%1	35,27	33,67
KYB	Lifsiz	36,53	40,21
NB	Lifsiz	29,54	29,24
NB	%0,5	31,57	28,91
NB	%1	32,77	34,07

Beton türü ve lif oranının bağlı olarak statik-dinamik elastisite modülünün değişimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Grafiğin incelenmesinden NB’da lif oranına bağlı olarak elde edilen sonuçların %1 ile %5,74 oranlarında farklılıklar gösterdiği belirlenmiştir. Benzer şekilde KYB’de lif oranına bağlı olarak Statik-Dinamik elastisite modüllerinin arasındaki fark değişiminin %4,75 ile %10 arasında değiştiği görülmüştür. Bu sonuçlardan Statik Elastisite modülünün belirlenemediği durumlarda Statik Elastisite Modülü yerine Dinamik Elastisite Modülünün kabul edilebilecek bir doğrulukla kullanılabileceği anlaşılmıştır.



**Şekil 4.1.** Beton Türü ve Lif Oranına Bağlı Olarak Statik-Dinamik Elastisite Modülü Sonuçları

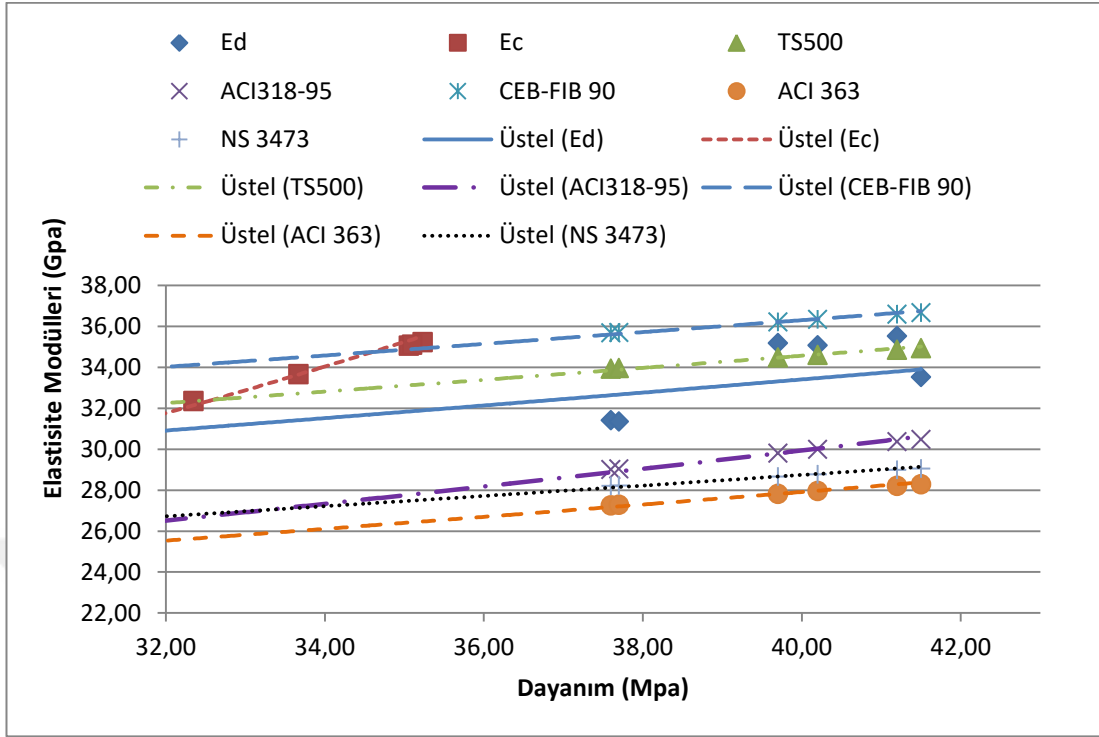
**Tablo 4.2.** NB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması

BETON TÜRÜ-NO	LİF ORANI (%)	$E_d$	$E_c$	TS500	ETS500/ $E_c$	ACI318-95	EACI318-95/ $E_c$
NB-5B	0	33,23	31,78	30,48	0,96	23,98	0,75
NB-4A	0,5	28,55	23,33	30,60	1,31	24,16	1,04
NB-3A	0,5	29,66	22,79	30,67	1,35	24,26	1,06
NB-32A	0,5	29,59	26,13	31,32	1,20	25,21	0,96
NB-25B	0	25,85	26,71	32,30	1,21	26,63	1,00
NB-7B	0,5	31,41	33,67	33,93	1,01	29,00	0,86
NB-11	1	31,35	35,06	33,96	0,97	29,04	0,83
NB-29B	0,5	35,19	32,35	34,48	1,07	29,80	0,92
NB-24B	0,5	35,08	35,23	34,61	0,98	29,99	0,85
NB-2B	1	35,52	35,10	34,86	0,99	30,36	0,86
NB-22	1	33,52	31,09	34,94	1,12	30,47	0,98

**Tablo 4.2.** (Devam) NB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağlıntılar ile Karşılaştırılması

BETON TÜRÜ-NO	LİF ORANI (%)	CEB-FIB90	ECEB-FIB90/ $E_c$	ACI363	EACI363/ $E_c$	NS 3473	ENS3473/ $E_c$
NB-5B	0	32,26	1,02	23,73	0,75	25,16	0,79
NB-4A	0,5	32,39	1,39	23,86	1,02	25,28	1,08
NB-3A	0,5	32,45	1,42	23,93	1,05	25,33	1,11
NB-32A	0,5	33,10	1,27	24,59	0,94	25,93	0,99
NB-25B	0	34,07	1,28	25,59	0,96	26,79	1,00
NB-7B	0,5	35,68	1,06	27,26	0,81	28,20	0,84
NB-11	1	35,71	1,02	27,28	0,78	28,22	0,81
NB-29B	0,5	36,22	1,12	27,82	0,86	28,67	0,89
NB-24B	0,5	36,35	1,03	27,95	0,79	28,77	0,82
NB-2B	1	36,60	1,04	28,21	0,80	28,99	0,83
NB-22	1	36,67	1,18	28,29	0,91	29,05	0,93

Şekil 4.2, Tablo 4.2’de sunulan veriler kullanılarak oluşturulmuştur. Basınç dayanım değerleri esas alınarak NB karışımlarından üretilmiş numunelerin statik ve dinamik elastisite modüllerinin aynı dayanım sınıfında geleneksel betonlar için farklı komiteler tarafından oluşturulan elastisite modülü denklemleri ile karşılaştırılması yapılmıştır.



**Şekil 4.2.** NB'dan Üretilmiş Numunelerin Statik ve Dinamik Elastisite Modüllerinin Normal Betonlar İçin Çeşitli Komiteler Tarafından Önerilen Elastisite Modülü denklemleri ile Karşılaştırılması

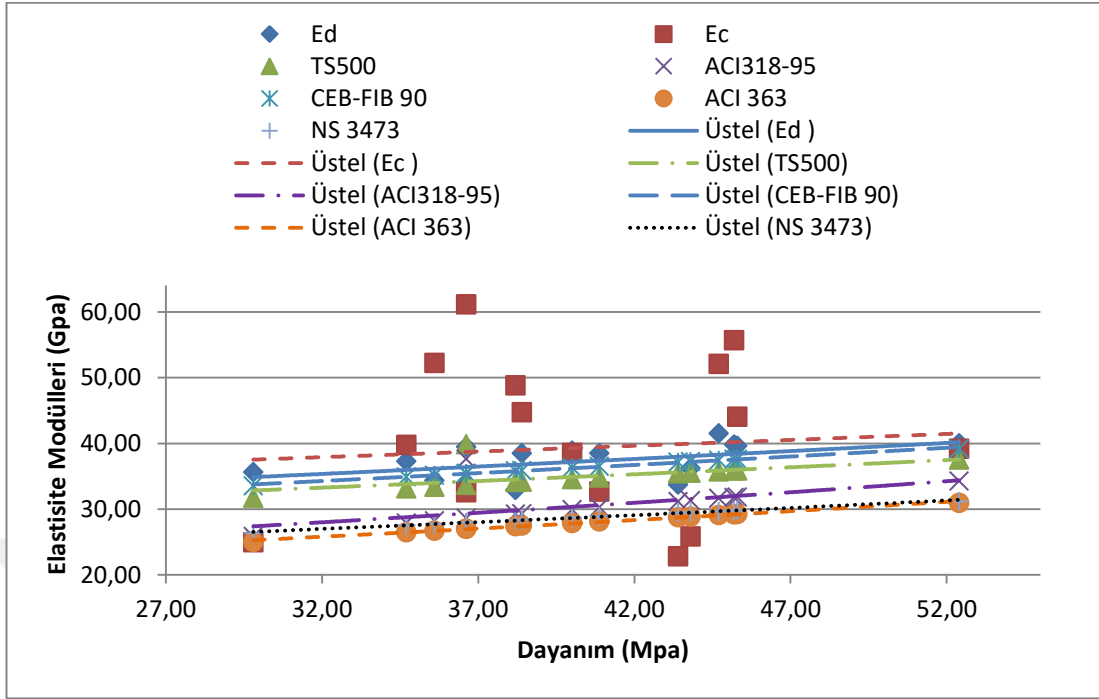
Grafiğin değerlendirilmesinden statik elastisite modülüne ait eğilim değerlerinin diğer komiteler tarafından oluşturulan değerlerden büyük olduğu gözlemlenmiştir. CEB-FIB 90 (İsviçre standardının önerdiği denklem) yardımıyla elde edilen elastisite modülü değerinin deneyle elde edilen statik elastisite modülüne en yakın değerler verdiği anlaşılmıştır. Ultra ses dalgaları ile elde edilen dinamik elastisite modülü değerlerinin TS500 ile ACI318-95 (Amerikan) standardı değerleri arasında yer aldığı belirlenmiştir. NS3473 (Norveç) standardı ile ACI 363 (Amerikan Beton Enstitüsü) tarafından üretilen standardın verdiği elastisite modülleri değerlerinin, deneysel olarak belirlenen elastisite modülü değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.

**Tablo 4.3.** KYB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağıntılar ile Karşılaştırılması

BETON TÜRÜ-AD	LİF ORANI	$E_d$	$E_c$	TS500	ETS500/ $E_c$	ACI318-95	EACI318-95/ $E_c$
KYB-33B	0,5	35,64	24,98	31,74	1,27	25,82	1,03
KYB-6B	0	37,28	39,77	33,14	0,83	27,86	0,70
KYB-30A	0	34,38	52,24	33,39	0,64	28,22	0,54
KYB-20A	0	39,47	61,11	39,84	0,65	37,60	0,62
KYB-14B	0	33,95	32,57	33,67	1,03	28,62	0,88
KYB-8A	1	32,91	48,83	34,09	0,70	29,23	0,60
KYB-21B	0,5	38,50	44,72	34,14	0,76	29,31	0,66
KYB-31B	0,5	38,87	38,55	34,56	0,90	29,92	0,78
KYB-28A	0	38,49	32,67	34,78	1,06	30,25	0,93
KYB-15B	1	33,70	22,81	35,41	1,55	31,16	1,37
KYB-1B	1	36,19	25,86	35,51	1,37	31,30	1,21
KYB-19A	0,5	41,50	52,08	35,73	0,69	31,62	0,61
KYB-17A	0,5	39,80	55,67	35,85	0,64	31,80	0,57
KYB-12A	0,5	39,60	44,03	35,87	0,81	31,84	0,72
KYB-26A	1	40,00	39,19	37,53	0,96	34,24	0,87

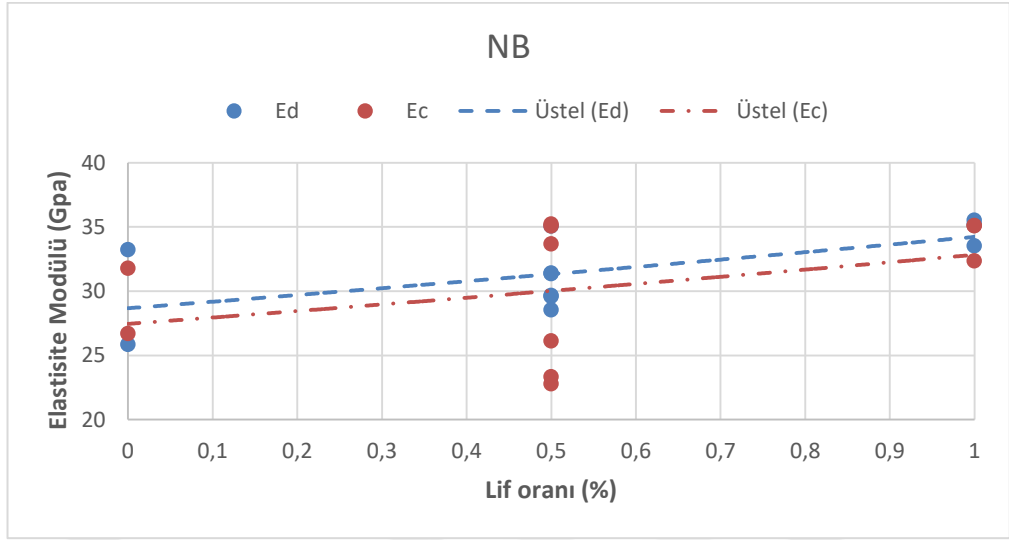
**Tablo 4.3.** (Devam) KYB Deney Numunelerinin Statik ve Dinamik Elastisite Modülleri Sonuçları ve Statik Elastisite Modülü Değerlerinin İlgili Standartların Önerdiği Bağıntılar ile Karşılaştırılması

BETON TÜRÜ-AD	LİF ORANI (%)	CEB-FIB90	ECEB-FIB90/ $E_c$	ACI363	EACI363/ $E_c$	NS 3473	ENS3473/ $E_c$
KYB-33B	0,5	33,52	1,34	25,02	1,00	26,30	1,05
KYB-6B	0	34,91	0,88	26,46	0,67	27,53	0,69
KYB-30A	0	35,15	0,67	26,71	0,51	27,74	0,53
KYB-20A	0	35,42	0,58	26,99	0,44	27,98	0,46
KYB-14B	0	35,42	1,09	26,99	0,83	27,98	0,86
KYB-8A	1	35,84	0,73	27,42	0,56	28,34	0,58
KYB-21B	0,5	35,89	0,80	27,47	0,61	28,38	0,63
KYB-31B	0,5	36,30	0,94	27,90	0,72	28,73	0,75
KYB-28A	0	36,52	1,12	28,13	0,86	28,92	0,89
KYB-15B	1	37,13	1,63	28,77	1,26	29,44	1,29
KYB-1B	1	37,23	1,44	28,87	1,12	29,52	1,14
KYB-19A	0,5	37,44	0,72	29,10	0,56	29,70	0,57
KYB-17A	0,5	37,56	0,67	29,22	0,52	29,80	0,54
KYB-12A	0,5	37,58	0,85	29,25	0,66	29,82	0,68
KYB-26A	1	39,18	1,00	30,93	0,79	31,15	0,79

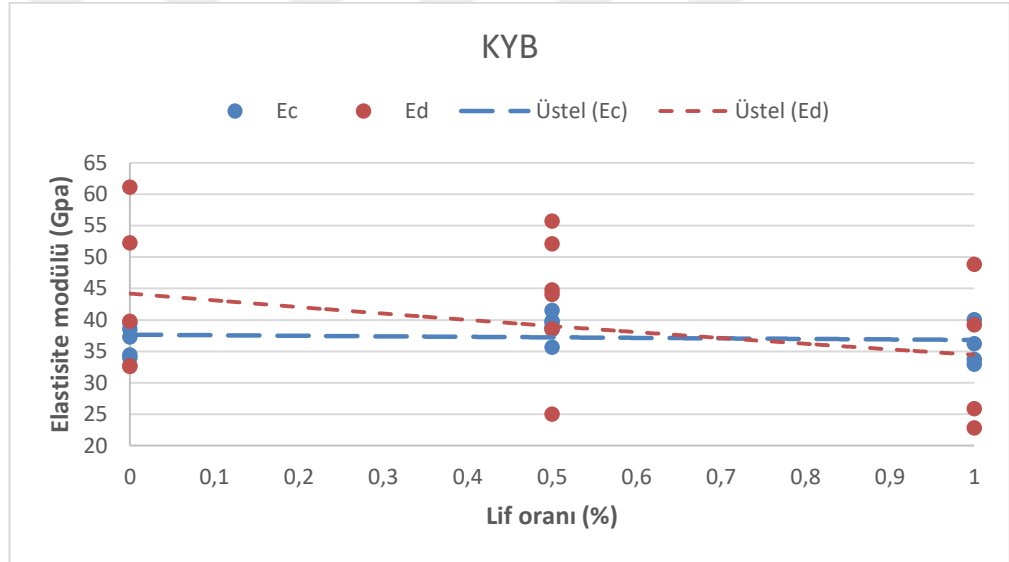


**Şekil 4.3.** KYB'dan Üretilmiş Numunelerin Karışımlarının Statik-Dinamik Elastisite Modüllerinin Geleneksel Betonlar İçin Çeşitli Komiteler Tarafından Önerilen Elastisite Modülleri ile Karşılaştırılması

Şekil 4.3. Bu grafikte, Tablo 4.3.'de gösterilen verilerden oluşturulmuştur. KYB'lerin farklı lif oranları için belirlenen statik ve dinamik elastisite modüllerinin geleneksel betonlar için farklı komiteler tarafından oluşturulmuş denklemlerden üretilen elastisite modülleri arasında kıyaslama yapılmıştır. Grafiğin incelenmesinden statik elastisite modülünün diğer bütün elastisite modülü değerlerinden daha büyük değerler aldığı anlaşılmaktadır. Dinamik elastisite modülü değerlerinin statik elastisite modülü değerlerine oldukça yakın değerler aldığı görülmüştür. Statik ve dinamik elastisite modüllerine en yakın sonuç CEB-FIB90 (İsviçre) komitesinin önerdiği denklem yardımıyla elde edilen elastisite modülleri belirlenmiştir. TS500 ve diğer komitelerin verdiği denklemlerden elde edilen Elastisite modüllerinin deneysel olarak bulunan elastisite modülü değerlerinden daha düşük olduğu görülmektedir.



(a)



(b)

**Şekil 4.4.** (a) NB’da Lif Oranının Değişmesiyle Elastisite Modülünün Değişmesi  
(b) KYB’da Lif Oranının Değişmesiyle Elastisite Modülün Değişmesi

NB ve KYB’da lif oranının değişiminin statik ve dinamik elastisite modüllerine etkisi Şekil 4.4’te gösterilmiştir. Lif oranının artması KYB’da çok küçükte olsa Elastisite Modülünde bir azalmaya sebep olurken, NB’da bir artmaya neden olmuştur. Literatürde daha önce yapılan çalışmalarda da lif oranının beton karışımı içerisindeki oranının artmasını Elastisite Modülünü çok değiştirmedeği bazen olumlu yönde artırırken, bazende azalttığı vurgulanmıştır. Shah ve diğ. ve Fanella ve



Naaman; yaptığı çalışma da çelik tellerin betonun gerilme şekil-şekil değiştirme eğrisinin artan kısmını çok az etkilediğini, hatta hacimce %4 çelik tel içeren betonların bile elastisite modüllerinin normal betonlara kıyasla fazla değişmediğini ifade etmiştir [75, 76]. Diğer bir çalışmada Ezeldin ve Lowe; çelik tellerin betona 30 kg/m<sup>3</sup>, 45 kg/m<sup>3</sup> ve 60 kg/m<sup>3</sup> miktarlarda katılmasıyla elde edilen betonların,elastisite modülünü çok az arttırdığını ifade etmiştir [77].



## 5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında, Lifsiz ve farklı lif oranlarına sahip NB ve KYB numuneler üretilmiştir. Bu numuneler üzerinde statik elastisite modülü ( $E_c$ ) ve dinamik elastisite modülleri ( $E_d$ ) belirlenmiştir.

Ultrason test cihazıyla elde edilen dinamik elastisite modülünün NB'da yaklaşık olarak %1–%6 arasında KYB'da ise %5–%10 arasında bir farkla statik elastisite modülüne yakın değerler verdiği belirlenmiştir. Bu sonuç karot alınarak deneyle statik elastisite modülünün belirlenemediği durumlarda ultrason cihazıyla belirlenen dinamik elastisite modülünün hesaplarda kabul edilebilir bir doğrulukla kullanılabileceğini göstermiştir.

Beton karışımında lif oranının değişmesinin elastisite modülünde önemli bir değişiklik oluşturmadığı ve lifin beton içindeki rastgele dağılımına göre bazen küçük miktarda artma veya azalmaya sebep olduğu anlaşılmıştır. Bu sonucun ilgili literatürle uyumlu olduğu görülmüştür.

Bu çalışmayı oluşturan numunelerin basınç dayanımıyla elastisite modülleri arasındaki ilişkiyi en iyi CEB-FIB 90 (İsviçre) standardının verdiği belirlenmiştir.

## KAYNAKLAR

- [1] Kocataşkın, F.,1991. Betonun Dünyü Bugünü Yarını, 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, Kardeşler Matbaası, (TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası) Sf. 23-42.
- [2] Köksal, F., 2004. Çelik Tel Donatılı Betonların Mekanik Davranışı ve Optimum Tasarımı, Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- [3] Topçu, İ. B., Boğa, A. R., 2005, “Uçucu Kül ve Çelik Liflerin Beton ve Beton Borularda Kullanımı”, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Dergisi, Cilt XVIII, Sayı 2, 1-14.
- [4] Ekincioglu, Ö., 2003. Karma Lif İçeren Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı – Bir Optimum Tasarım, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İTÜ.
- [5] Groth, P., Ghasemlou, F., 1996, Toughness Characteristics of Steel Fibre Reinforced Concrete with Energetically Modified Cement. Luea University of Tecnology, Division of Structural Engineering, Internal Report 96, pp. 23.
- [6] Gao, J., Sun, W., Morino, K., Mechanical Properties of steel fiber reinforced, high strength lightweight concrete. Cement and Concrete Composites, 19, 307-313, 1997.
- [7] Boratav, S.S., ve Yeğınobalı, A., Lif takviyeli yüksek dayanımlı hafif beton. İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler, III. Teknik Kongre, Bildiriler Kitabı, O.D.T.Ü., 255-256, Ankara 1997.
- [8] Gençoğlu, M., Eren, İ., 1999, İki Yönlü Tekrarlı Yüklemler Altındaki Betonarme Kenar Kolon-Kiriş Birleşimlerinde Kullanılan Çelik Tel Takviyeli Betonun Etkili Bölgesinin Araştırılması, Çelik Tel Donatılı Beton Sempozyumu, Sabancı Center, İstanbul.
- [9] Okamura, H., Ouchi, M., Self-Compacting Concrete., Journal of Advanced Concrete Technology Vol.1, No.1, 5-15, April 2003.
- [10] Okamura, H., Self-Compacting High-Performance Concrete., Concrete International Vol.19, No.5, July 1997, pp.50-54.
- [11] Grünewald, S., Walraven, J. C., Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self compacting concrete., CEMENT AND CONCRETE RESEARCH 31(12): 1793-1798 DEC 2001.
- [12] Yazıcı, Ş. “Değişik Akışkanlaştırıcıların Betondaki performansları” Fen ve Mühendislik Dergisi, 4: 2, 41 – 52 (2002).

- [13] Uyan, M., Yıldırım, H., “Yüksek Dayanımlı Beton Üretiminde Süperakışkanlaştırıcı Katkıların Etkinliği” TMMOB. İMO. 2. Ulusal Beton Kongresi, Yüksek Dayanımlı Beton, İstanbul, 262 – 279 (1991).
- [14] Dinçer, R., Çağatay, İ. H., “Uçucu Kül Katkılı Betonların Mekanik Özellikleri” Ç.Ü Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 2: 1019-1011 (2004).
- [15] Özturan, T., “Yüksek Mukavemetli Beton Üretiminde Mineral Katkı Maddelerin Etkinliği”, 2. Ulusal Beton Kongresi, TMMOB, İstanbul (1991).
- [16] Paksoy B., G., 2003 Afşin-Elbistan uçucu külü içeren betonların bazı özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, ÇÜ.
- [17] Demir, F., 2005. Normal Ve Yüksek Dayanımlı Betonların Elastisite Modüllerinin Belirlenmesi İçin Bir Bulanık Yaklaşım, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, Kocaeli, 1353.
- [18] Türk, K., Karataş, M., Tuğrul, P., Benli, A., 2010. Farklı Tip ve Miktarda Puzolan İçeren Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanımı ve Elastisite Modülü Arasındaki İlişki, Pamukkale Üniversitesi, Mühendislik Bilimleri Dergisi, 16(3), 247-253.
- [19] Emiroğlu, M., Yıldız S., Özgan, E., 2009. Lastik Agregalı Betonlarda Elastisite Modülünün Deneysel ve Teorik Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 24(3), 469-476.
- [20] Demir, F., 2007. Elastisite Modülünün Görelî Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılmasına Etkisi, Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi.
- [21] Postacıoğlu, B., 1987. Beton Cilt 2, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul.
- [22] Postacıoğlu, B., 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri Cilt 1, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [23] Shih, T.S., Lee, G.C., Chang, K.C., 1989. On Static Modulus of Elasticity of Normal-Weight Concrete, ASCE Journal of Structural Engineering, Vol.115, No.9.
- [24] Nagy, A., 1997. Determination of E-Modulus of Young Concrete with Nondestructive Method, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering, Vol.9 No.1.
- [25] Lydon, F.D., Iacouou, M., 1995. Some Factors Affecting The Dynamic Modulus of Elasticity of High Strength Concrete, Cement and Concrete Research, Vol.25 No.6.
- [26] TS EN 206, 2014. “Beton – Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”.
- [27] TS EN 197-1, 2012. Genel Çimentolar – Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri.

- [28] Topçu İ.B., Bilir T., Baylavlı H., 2008. “Kendiliğinden Yerleşen Betonun Özellikleri” Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Müh. Mim. Fak. Dergisi C.XXI, S.1.
- [29] Özkul M. H., Taşdemir M., Tokyay M., Uyan M. 2004. Her Yönüyle Beton, İstanbul.
- [30] Tohumcu, İ., Bingöl, A.F., 2013, Silis dumanı ve uçucu kül katkıli kendiliğinden yerleşen beton özellikleri ve basınç dayanımları, Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik bilimleri dergisi, 15(2), 31-44.
- [31] Baradan B., Yazıcı H., Aydın S., 2012. “Beton” DEÜ Mühendislik Fakültesi Yayınları No:334.
- [32] Tokyay M., Erdoğan K., 2011. TÇMB Cürufklar ve Cürufllu Çimentolar, Ankara.
- [33] Aykan G., Onur Tezel O., Gürol G., Yüceer Z., 2003. “Kendiliğinden Yerleşen Beton Deney Metodları Ve Uygulama Örnekleri” İstanbul.
- [34] Arıoğlu, E., Arıoğlu, N., Yılmaz, A.O., 2006. Beton Agregaları, Çözümlü Problemler ve Bilgi Föyleri, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [35] Erdoğan, T.Y., 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler Agregalar, Türkiye Hazır Beton Birliği Yayını, İstanbul.
- [36] Popovics, S., 1979. Concrete-Making Materials, Hemisphere Publishing Corporation, Washington.
- [37] Erdoğan, T.Y., 2003. Beton, O.D.T.Ü. Geliştirme Vakfı Yayıncılık, Ankara.
- [38] Açar, E., Öztaş, G. ve Süttaş, İ., 1998, Beton Yollar, İ.T.Ü İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul.
- [39] Erdoğan, T.Y., 2004. Sorular ve Yanıtlarıyla Beton Malzemeleri, Çimentolar, Agregalar, Su. Türkiye Hazır Beton Birliği, Ankara, 277s.
- [40] Topçu, İ. B., 2006, “Beton Teknolojisi”, Uğur Ofset A.Ş., Eskişehir.
- [41] Taşdemir, M.A., Bayramov F., Yüksek Performanslı Çimento Esaslı Kompozitlerin Mekanik Davranışı, İTÜ dergisi/d Cilt 1, Sayı 2, 125-144, Aralık, 2002.
- [42] Banthia, N., Trottier, J-F., Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers Part II: Toughness Characterization, ACI Materials Journal, 92 (2),146-154, 1995.
- [43] Gül, R., Düzgün, O. A., 2005. Betonlarda çelik lif kullanılmasının etkisi. DSİ Teknik Bülten, Sayı:100, 9-17.

- [44] Bayasi, Z. and Soroushian P., 1991, "Fiber Type Effects on the Performance of Steel Fiber Reinforced Concrete", ACI Materials Journal, Volume 88, Pages 129-134.
- [45] TS 10513, Çelik Teller-Beton Takviyesinde Kullanılan, TSE, Ankara,1992, 7 S.
- [46] Aslan, A., ve Aydın, A.C., 1999, Lifli betonların genel özellikleri. Hazır Beton Dergisi, Yıl 6, Sayı 36, s 67-75.
- [47] Swamy, R. N., and Jojagha, A. H., Impact resistance of steel fibre reinforced lightweight concrete. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, v.4, 4, 209–220, 1982.
- [48] Uğurlu, A.,1994, Çelik Liflerle Güçlendirilmiş Beton. T.C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, DSİ Bölge Müdürlüğü, Teknik Araştırma ve Kalite Kontrol Dairesi Başkanlığı, Ankara, MLZ – 878, s175.
- [49] Türk Standartları Enstitüsü, Beton – Çelik Tel Takviyeli – Çelik Telleri Betona Karıştırma ve Kontrol Kuralları, TS 10514, Ankara, 1992.
- [50] Grünwald, S., Walraven, J. C., Parameter-study on the influence of steel fibersand coarse aggregate content on the fresh properties of selfcompacting concrete., Cement and Concrete Research 31 (12): 1793-1798 Dec.2001.
- [51] Özkul, M. H., Sağlam, A. R., Parlak, N., Dogan, A., Mutlu, M., Manzak, O., 2002. The Usage of Self-Compacting Concrete in Precast Industry, 17th Int. Congress of the Precast Concrete Industry, BIBM, Istanbul.
- [52] Postacıoğlu, B., 1969. Yapı Malzemesi Dersleri, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [53] Ersoy U 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı Cilt-1 Evrim Yayınevi, 643 s, Ankara.
- [54] Tangüner, R., uçucu küllü düşük ve yüksek Mukavemetli betonların elastiklik modülünün incelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü 2007.
- [55] Özden A. Varlık, Betonun basınç ve çekme dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler üzerine bir araştırma, Namık Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2010.
- [56] Doğangün A. 2010, Betonarme Yapıların Hesap Ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, 77 s, İstanbul.
- [57] Neville, A. M., 1996. Properties of Concrete, J. Wiley, New York.
- [58] Karadağ A., Farklı Kökenli Agregalar İçeren Yüksek Mukavemetli Betonların Elastik Özelliklerinin İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2008.

- [59] Demir, F., Tekeli, H., Korkmaz, A., 2007. The Effects of Elastic Modulus On The Relative Story Displacement Limitations, Journal of Engineering and Natural Sciences, V.25, Issue 2, s.190-199.
- [60] TS EN 12390-7, Beton-Sertleşmiş beton deneyleri-Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, TSE, Nisan 2002.
- [61] M. Uysal, K. Yılmaz. Mineral Katkı Kullanımının Kendiliğinden Yerleşen Betonun Elastisite Modülüne Etkisinin İncelenmesi, 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11), 16-18 May 2011, Elâzığ, Turkey.
- [62] TS 500, Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, TSE, Şubat 2002.
- [63] ACI 318-95, Building Code Requirements for Structural Concrete, American Concrete Institute, Jan 1996.
- [64] CEB-FIB Model Code, Bullation D'Information, CEB, Laussane, Switzerland, 1990.
- [65] ACI Committee 363, State-of-the-art report on high-strength concrete, ACI 363R-92, p. 55, Farmington Hills, M.I., 1997.
- [66] Norwegian council for building standardization, Concrete Structures Design Rules NS 3473 E, Stockholm, 1992.
- [67] Qixian, L., Bungey, J.H., 1996. Using Compression Wave Ultrasonic Transducers to Measure The Velocity of Surface Waves and Hence Determine Dynamic Modulus of Elasticity for Concrete, Construction and Building, Vol.10 No.4.
- [68] Postacıoğlu, B., 1966. Yapı Malzemesi Esasları, Cilt 1, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.
- [69] Komlos, K., Popovics, S., Nürnbergerova, T., Babal, B., Popovics, J.S., 1996. Ultrasonic Pulse Velocity Test of Concrete Properties as Specified in Various Standards, Cement and Concrete Composites, 18, 357-364
- [70] TS EN 450-1, 2013. "Uçucu Kül-Betonda kullanılan, Tarif, özellikler ve uygunluk kriteri".
- [71] Yenigün, İ., 2009. Harran Ovası Derin Akiferinin Bazı Su Kalitesi Parametrelerinin Belirlenmesi, Harran Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 102s.
- [72] TS EN 14889-1, Lifler – Betonda kullanım için, TSE, – Bölüm 1: Çelik lifler – Tarifler, özellikler ve uygunluk.
- [73] Malhotra V.M., Carino N.J., 1991. CRC Handbook On Nondestructive Testing Of Concrete, Chapter 7, CRC Press, Florida.

- [74] ASTM C 469-02 Standard Test Method for static modulus of elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression.
- [75] Shah, P., Stroeven, P., Dalhuisen, D., Stekelenburg P. V., Complete Stress-Strain Curves for Steel Fiber Reinforced Concrete in Uniaxial Tension and Compression, Testing And Test Methods of Fibre Cement Composites, pp.399-408, The Construction Press, Lancaster, England, 1978.
- [76] Fanella, D.A., Naaman, A.E., Stress-Strain Properties of Fiber Reinforced Concrete in Compression, ACI Materials Journal, 82(4), 475-483, 1985.
- [77] Ezeldin, A.S., Lowe, S.R., Mechanical Properties of Steel Fiber Reinforced Rapid-Set Materials, ACI Materials Journal, 88(4), 384-389, 1991.





## EKLER

### EK 1. Çimento Çeşitleri

#### Çimento Çeşitleri

Ana Tipler	Genel Çimento Tipleri		Bileşim (kütüğe%) % olarak												
			Ana Bileşenler										Minör ilave Bileşenler		
			K	S	D <sup>2)</sup>	P	Q	V	W	T	L	LL			
CEM I	Portland Çimentosu	CEM I	95-100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0-5
CEM II	Portland-Curufu Çimento	CEM II/A-S	80-94	6-20											0-5
		CEM II/B-S	65-79	21-35											0-5
	Portland-Silis Dumanlı Çimento	CEM II/A-D	90-94	-	6-10										0-5
	Portland-Puzolanlı Çimento	CEM II/A-P	80-94			6-20									0-5
		CEM II/B-P	65-79			21-35									0-5
		CEM II/A-Q	80-94				6-20								0-5
		CEM II/B-Q	65-79				21-35								0-5
	Portland- Uçucu Köllü Çimento	CEM II/A-V	80-94					6-20							0-5
		CEM II/B-V	65-79					21-35							0-5
		CEM II/A-W	80-94						6-20						0-5
		CEM II/B-W	65-79						21-35						0-5
	Portland-Pişmiş Şistli Çimento	CEM II/A-T	80-94							6-20					0-5
		CEM II/B-T	65-79							21-35					0-5
	Portland-Kompoze Çimento <sup>3)</sup>	CEM II/A-M	80-94						6-20						0-5
CEM II/B-M		65-79						21-35						0-5	
CEM III	Yüksek Fırıncı Çimento	CEM III/A	35-64	36-65	0-5									0-5	
		CEM III/B	20-34		66-80									0-5	
		CEM III/C	5-19		81-95									0-5	
CEM IV	Puzolanik Çimento <sup>3)</sup>	CEM IV/A	65-89		-	11-35								0-5	
		CEM IV/B	45-64		-	36-55								0-5	
CEM V	Puzolanik Çimento <sup>3)</sup>	CEM V/A	40-64		18-30	-		18-30						0-5	
		CEM V/B	20-38		31-50	-		31-50						0-5	

1) Çizelgedeki değerler ana ve minör ilave bileşenlerin toplamı ile ilgilidir.  
2) Silis dumanının oranı %10'a sınırlandırılmıştır.  
3) Portland kompoze çimento CEM II/A-M ve CEM II/B-M'de, Puzolanik Çimento CEM IV/A ve CEM IV/B'de, Kompoze Çimento CEM V/A ve CEM V/B'de klinkerin yanındaki diğer ana bileşenler ana bileşenler çimentoaya ait işaretler çimentoaya ait işaretle beyan edilmelidir.  
K: Klinker, S: Yüksek Fırıncı, D: Silis dumanı, P: Doğal puzolan, Q: Doğal kalsine edilmiş puzolan, V: Silisli uçucu köllü, W: Kalkerli uçucu köllü, T: Pişmiş Şist, L: Toplam organik karbon içeriği kütüğe %0.50 aşmayan kalker, LL: Toplam organik karbon içeriği kütüğe %0.20 aşmayan kalker.

Kaynak: TS EN 197-1 Mart 2002

#### Çimentoların Karakteristik Değerlerle Verilen Mekanik ve Fiziksel Özellikleri

Dayanım Sınıfı	Basınç Dayanımı (Mpa)				Priz başlama süresi (dakika)	Genleşme (mm)
	Erken Dayanım		Standart Dayanım			
	2 günlük	7 günlük	28 günlük			
32.5 N	-	≥16.0	≥32.5	≤52.5	≥75	
32.5 R	≥10.0					
42.5 N	≥10.0		≥42.5	≤62.5	≥60	≤10
42.5 R	≥20.0					
52.5 N	≥20.0		≥52.5		≥45	
52.5 R	≥30.0					

Kaynak: TS EN 197-1 Mart 2002, ICS 91.100.10

## ÖZGEÇMİŞ

1986 yılında Siverek/ŞANLIURFA’da doğdu. İlk ve orta öğrenimini Siverek’te tamamladıktan sonra 2007 yılında Bozok Üniversitesi Mühendislik–Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2011 yılında mezun oldu.2012 yılında Bozok Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başladı. Doç. Dr. Ziyafeddin BABAYEV ve Dr. Öğr. Üy. Recep Kadir PEKGÖKGÖZ danışmanlığında “Farklı Beton Türü Ve Lif Oranları Kullanılarak Oluşturulmuş Numuneler İçin Dinamik Ve Statik Elastisite Modülünün Karşılaştırılması” başlıklı yüksek lisans tezini hazırlamaktadır.2011-2012 yılları arasında Yozgat Belediyesinde çalıştı. Aralık 2012-2014 yılları arasında Sırımtaş Baraj şantiyesi ve çeşitli firmalarda kontrollük ve şeflik yaptı. 2014 yılından itibaren kendi firmasında taahhüt işleri ve kentsel dönüşüm işleri yapmaktadır.

İletişim Bilgileri;

Camikebir Mah. 30. Sok. No:1/2

Siverek/ŞANLIURFA

Tlf: 0 544 408 83 53

E-mail: muh.ridvanseman@hotmail.com