

**T.C.
NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**BETONUN BASINÇ VE ÇEKME DAYANIMI İLE ELASTİSİTE
MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA**

A.Varlık ÖZDEN

İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM

TEKİRDAĞ-2010

Her hakkı saklıdır

Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM danışmanlığında, İnş.Müh. A. Varlık ÖZDEN tarafından hazırlanan bu çalışma 26./5/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından. İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak oyçokluğu / oybirliği ile kabul edilmiştir.

Juri Başkanı : *Prof. Dr. Sabit OYMAZ* İmza : *[Signature]*
Üye : *Yrd. Doç. Dr. Zekeriya AYDIN* İmza : *[Signature]*
Üye : *Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM* İmza : *[Signature]*
Üye : İmza :
Üye : İmza :

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Doç. Dr. Fatih KONUKÇU
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

BETONUN BASINÇ VE ÇEKME DAYANIMI İLE ELASTİSİTE MODÜLÜ ARASINDAKİ İLİŞKİLER ÜZERİNE BİR ARAŞTIRMA

A.Varlık ÖZDEN

Namık Kemal Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. M. Şükrü Yıldırım

Betonarme yapılarda, yapı güvenliği için en önemli unsurlardan birisinin betonun kalitesi olduğu bilinmektedir. Beton kalitesi denildiğinde, akla gelen ilk husus betonun basınç dayanımı ve buna bağlı olarak, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi özellikler gelmektedir.

Beton gevrek bir malzeme olduğu için, Elastisite Modülünün belirlenmesinde farklı yöntemler kullanılmaktadır. Uygulamada betonun basınç dayanımı değerinden yararlanılarak da betonun Elastisite Modülü belirlenebilmektedir. Ancak, uygulamadaki standartlara göre belirli bir beton basınç dayanımı için hesaplanan elastisite modülü değerinde az da olsa farklılıklar görülebilmektedir. Ayrıca, betonun çekme dayanımı ile Elastisite Modülü arasında da bir ilişkinin olması doğaldır.

Yapılan bu çalışmada, betonun basınç ve çekme dayanımı ile Elastisite Modülü arasındaki ilişkiler deneysel olarak irdelenmiştir. Bu deneyler sonucunda görülmüştür ki; betonun basınç dayanımı arttıkça elastisite modülünün arttığı, betonun çekme dayanımının artması ile C 20 beton sınıfına kadar elastisite modülünde artış olduğu bu sınıf betonundan sonra ise yaklaşık olarak aynı kaldığı görülmektedir.

Anahtar Kelimeler: elastisite modülü, eğilmede çekme, basınç dayanımı, çekme dayanımı.

ABSTRACT

MSc. Thesis

A RESEARCH ON THE RELATIONSHIP BETWEEN COMPRESSIVE AND TENSILE STRENGTH OF CONCRETE WITH MODULUS OF ELASTICITY

Ahmet Varlık ÖZDEN

Namık Kemal University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Main Science Division of Civil Engineering

Supervisor : Assist. Prof. Dr. M. Şükrü YILDIRIM

On reinforced concrete structures, it's known that the quality of concrete is one of the most important factor for structural safety. For quality of concrete, compressive strength, depending on features such as tensile strength and modulus of elasticity, comes to mind first.

Because of the fact that concrete is a brittle material, different methods are used in determining the modulus of elasticity. In practice, modulus of elasticity for concrete can be determined by utilizing the value of concrete compressive strength. However, modulus of elasticity values calculated for a concrete compressive strength differences can be rarely seen according to the standards specified in the application. In addition, having a relationship between the tensile strength and modulus of elasticity is also natural.

In this study, experimental relationship between the compressive strength and tensile strength of concrete with the modulus of elasticity is discussed. As a result of these experiments, it is observed that modulus of elasticity increases, when the compressive strength increases; modulus of elasticity increases up to C 20 concrete class, after this class it is nearly the same, when the tensile strength increases.

Keywords: modulus of elasticity, bending tension, compressive strength, tensile strength.

ÖNSÖZ

Çalışmam esnasında bana yol gösteren zorlandığımda bir ışık olan Tez Danışmanım Sayın Yard. Doç. Dr. M. Şükrü YILDIRIM' a saygılarımı sunar teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca yüksek lisans tezimin hazırlanması aşamasında benimle değerli fikirlerini paylaşan, manevi desteğini esirgemeyen ve çalışmamın sonuçlanmasında itici bir güç olan hayat arkadaşım ve en yakın dostum eşim Çiğdem AKKAYA ÖZDEN'e, yorulduğum anlarda tüm şirinliliği ile yorgunluğumu unutturan bir tanecik tatlı kızım Çiğdem Zeynep ÖZDEN' e, maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen annem Sabiha ÖZDEN, babam Nizamettin ÖZDEN'e ve tüm sevdiklerime de saygılarımı sunar teşekkürü bir borç bilirim.

A. Varlık ÖZDEN

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

KISALTMALAR

ACI	: Amerikan Beton Enstitüsü (American Concrete Insitute)
ASTM	:American Society for Testing and Materials (Amerika Malzeme Tecrübeleri Kurumu)
C	: Beton Sınıfı
CEB	: Avrupa Beton Komitesi (Committee Euro – International du Beton)
TS	: Türk Standartları

SİMGELER

A	: Alan	(mm ²)
Ç	: Çimento	(kg/m ³)
D	: Silindir Numune Çapı	(mm)
E	: Elastisite Modülü	(N/mm ²)
E _{cj}	: J Günlük Elastisite Modülü	(N/mm ²)
f _c	: Beton Basınç Dayanımı	(N/mm ²)
f _{cc}	: Çimento Norm Dayanımı	(N/mm ²)
f _{cj}	: J Günlük Beton Basınç Dayanımı	(N/mm ²)
f _{ctk}	: Beton Karakteristik Çekme Dayanımı	(N/mm ²)
I	: Atalet Momenti	(mm ⁴)
K _B	: Bolomey Katsayısı	
K _F	: Feret Katsayısı	
K _G	: Graf Katsayısı	
K ₁	: Amprik Katsayı	
K ₂	: Amprik Katsayı	
L	: Silindir Numune Boyu	(mm)
M	: Eğilme Momenti	(N/mm ²)
P	: Yük	(N)
S	: Su	(kg/m ³)
y	: Sehim Miktarı	(mm)
w	: Betonun Ağırlığı	(kg/m ³)
ε	: Şekil Değişirme	(mm/mm)
ε _{co}	: Maksimum Birim Kısalma	(mm/mm)

ϵ_{cu}	: Kırılma Birim Kısalma	(mm/mm)
σ_{ϕ}	: Çekme Dayanımı	(N/mm ²)
σ_e	: Eğilme Dayanımı	(N/mm ²)

İÇİNDEKİLER	Sayfa No
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ	iii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	iv
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ	x
1. GİRİŞ	1
1.1 Araştırma Probleminin Tanıtılması	1
1.2 Çalışmanın Amacı	3
1.3. Yöntem	3
2.KAYNAK ÖZETLERİ	4
2.1Beton	4
2.2Betonun Basınç Dayanımı ve Beton Basınç Dayanımı Etkileyen Faktörler	5
2.2.1 Agrega özelliklerinin betona etkisi	5
2.2.2 Çimento özelliklerinin betona etkisi	10
2.2.3 Karma suyu ve beton ilişkisi	11
2.2.4 Su - çimento oranı ile beton dayanımı ilişkisi	12
2.2.5 Betonda kompasite ile dayanım arasındaki ilişkiler	13
2.3 Beton Basınç Dayanımının Deney Yöntemi ile Tespit Edilmesi	13
2.4 Beton Basınç Dayanım Formülleri	14
2.4.1 Abrams formülü	14
2.4.2 Graf formülü	14
2.4.3.Bolomey formülü	14
2.4.4.Feret formülü	15
2.5 Betonun Gerilme - Deformasyon Özellikleri	15
2.5.1.Betonun çekme Dayanımı	18
2.5.2 Betonun çekmede gerilme - şekil değiştirme davranışı	18
2.6 Betonun Elastisite Modülü	26
3.MATERYAL VE YÖNTEM	29
3.1 Materyal	29
3.1.1 Beton numunesi deney kalıpları	29
3.1.2 Agregalar	29
3.1.2.1 Kum	29

3.1.2.2 Kırmataş I	30
3.1.2.3 Kırmataş II	30
3.1.2.4 Kırmataş Tozu	30
3.1.3 Çimento	33
3.1.4 Karışım suyu	34
3.2 Yöntem	34
3.2.1 Beton numunelerinin hazırlanması	34
3.2.1.2 Beton basınç deneyi	35
3.2.1.3 Betonun eğilmede çekme deneyi	36
4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	38
4.1 Beton Numunelerine Uygulanan Deneylere Ait Sonuçlar	38
4.1.1 Beton basınç deneyleri sonuçları	38
4.2 Beton Çekme Deneyi Sonuçları	46
5. SONUÇLAR	56
6.KAYNAKLAR	58
7.ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa No

Şekil 2.1. Maksimum Tane Büyüklüğü 8,0 mm Olan Karışık Agreganın Granülometri Eğrileri	8
Şekil 2.2. Maksimum Tane Büyüklüğü 16 mm Olan Karışık Agreganın Granülometri Eğrileri	8
Şekil 2.3. Maksimum Tane Büyüklüğü 31,5 mm Olan Karışık Agreganın Granülometri Eğrileri	9
Şekil 2.4. Maksimum Tane Büyüklüğü 63 mm Olan Karışık Agreganın Granülometri Eğrileri	9
Şekil 2.5. 28 Günlük Beton Silindir Basınç Mukavemetinin C/W Oranı ile Değişimi	12
Şekil 2.6. 28 Günlük Beton Silindir Basınç Mukavemetinin W/C Oranı ile Değişimi	13
Şekil 2.7. Basınç Dayanımı ile Birim Uzama İlişkisi	15
Şekil 2.8. Tekrarlı Yük Altında Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi	16
Şekil 2.9. Gerilme Şekil Değiştirme Eğrileri	17
Şekil 2.10. Silindir Çekme Deneyi ve Gerilme Diyagramı	18
Şekil 2.11. Doğrudan Çekme Dayanımı ile Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki	19
Şekil 2.12. Silindir Yarma Deneyi	21
Şekil 2.13. Silindir Yarma Deneyi ve Gerilme Diyagramı	21
Şekil 2.14. Tek Nokta Yüklemeli Eğilme Deneyi	23
Şekil 2.15. İki noktadan Yüklemeli Eğilme Deneyi	23
Şekil 2.16. Birim Uzama ve Gerilme Diyagramı	24
Şekil 2.17. Çekme Dayanım Yöntemleri Arasındaki İlişki	24
Şekil 2.18. Beton İçin Farklı Elastisite Modülleri	27
Şekil 2.19. Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	28
Şekil 3.1. Basınç Deneyi Uygulaması	36
Şekil 3.2. Çekme Deneyi Uygulaması	37
Şekil 3.3. Çekme Deneyi Düzenegi	37

Şekil 4.1. C 14 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	40
Şekil 4.2. C 16 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	41
Şekil 4.3. C 18 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	41
Şekil 4.4. C 20 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	42
Şekil 4.5. C 25 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	43
Şekil 4.6. C 30 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	44
Şekil 4.7. C 35 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi	45
Şekil 4.8. Deney Numuneleri ile TS 500 Beton Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması	51
Şekil 4.9. Deneysel Numuneler ile TS500'e Göre Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	52
Şekil 4.10. Deneysel Numuneler ile TS 500'e Göre Çekme Dayanımına Göre Eğilmede Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması	53
Şekil 4.11. Deneysel Numuneler ile Hesaplanan Eğilme Dayanımına Göre Elastisite Modülü	54
Şekil 4.12. Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması	55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa No

Çizelge 2.1. Agregaların Tane Boyutlarına Göre Sınıflandırılması	6
Çizelge 2.2. Beton Karma Suyu İçin Kimyasal Sınırlar	11
Çizelge 2.3. Şüpheli Sularda Kabul Kriterleri	11
Çizelge 3.1. Karışımın Granülometri Dağılımının Referansa Göre Değerlendirilmesi	30
Çizelge 3.2. Agregaların Karışımının Granülometrik Analizi	31
Çizelge 3.3. Kullanılan Agreganın Özellikleri	31
Çizelge 3.4. İri Agregaların Şekli	31
Çizelge 3.5. Çok İnce Malzemenin Muhtevası	32
Çizelge 3.6. Kullanılan Malzemeye Ait Fiziksel özellikler	32
Çizelge 3.7. Kullanılan Agreganın Kimyasal Özellikleri	32
Çizelge 3.8. Kullanılan Agreganın Kimyasal Özellikleri	33
Çizelge 3.9. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri	33
Çizelge 3.10. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri	34
Çizelge 4.1. Beton Bileşimine Giren Malzeme Miktarları ile Birim Ağırlık ve Kompozite Değerleri	38
Çizelge 4.2. Beton Deney Numunesi Sonuçları	39
Çizelge 4.3. Deney Numunelerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri	39
Çizelge 4.4. C 14 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	40
Çizelge 4.5. C 16 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	40
Çizelge 4.6. C 18 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	41
Çizelge 4.7. C 20 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	42
Çizelge 4.8. C 25 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	43
Çizelge 4.9. C 30 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	44
Çizelge 4.10. C 35 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı	45

Çizelge 4.11. Deneyle Tespit Edilen Elastisite Modüllerinin TS 500 ile Karşılaştırılması	46
Çizelge 4.12. Numunelerin Çekme Dayanımı Deney Sonuçları	47
Çizelge 4.13. Eğilmede Çekme Deneyi Sonuçlarının Toplu Olarak TS 500 ile Karşılaştırılması	47
Çizelge 4.14. Eğilmede Çekme Deneyi Sehim ve Kırılma Yükleri	48
Çizelge 4.15. Eğilmede Çekme Deneyi ile Elastisite Modülü Hesaplama Çizelgesi	49
Çizelge 4.16. Tüm Sonuçların Genel Olarak Birlikte Değerlendirilmesi	50

1. GİRİŞ

1.1 Araştırma Probleminin Tanıtılması

Beton günümüzde en çok kullanılan yapı malzemesidir. Betonun teşkil eden en önemli malzemelerin başında çimento ve agreganın yer aldığı söylenebilir. Çimento, su ile kimyasal reaksiyona girerek agrega tanelerini bağlar. Agreganın betonun yaklaşık %75'ini meydana getirir. Tane boyutuna bağlı olarak agrega iri ve ince diye isimlendirilir. İri veya kaba agrega çoğu zaman taş ocaklarından kırma suretiyle elde edilebildiği gibi doğada tabii olarak da bulunabilir. Agregalarda dikkat edilecek en önemli husus, zararlı maddelerden arındırılmış olmasıdır. Ayrıca agreganın standartların öngördüğü diğer kriterleri de sağlaması gerekir. Betonun teşkil eden diğer bir önemli bir madde de sudur. Suyun zararlı madde ihtiva etmemesi ve uygun kalitede olması şarttır. Genellikle içilebilen su betonun üretimi için yeterli sayılmaktadır.

Beton üretiminde çimento, agrega ve sudan başka karışıma gerektiğinde bazı katkı maddeleri de karıştırılabilir. Bunlar, su ilavesinden önce veya sonra konabilir. Katkı maddeleri ile betonun işlenebilme özelliği, dayanıklılığı, arttırabildiği gibi sertleşmeyi geciktirebilir veya çabuklaştırabilir. Bunun yanı sıra ısı genleşme ve geçirgenliği de beton katkı maddeleri ile kontrol edilebilir.

Betonun kalitesi özellikleri ile değerlendirilir. Betonun özellikleri taze ve sertleşmiş özellikler olarak iki ana başlık altında incelenebilir.

Taze Betonda Olması Beklenen Özellikler:

1. Taze beton kolaylıkla karılabilir, taşınabilir, yerleştirilebilir, sıkıştırılabilir ve yüzeyi düzeltilebilir olmalıdır. Bu işlemler sırasında agregalarla çimento harcı arasında ayrışma olmamalıdır.

2. Yerine yerleştirilen taze betonun içerisindeki suyun yukarıya çıkma eğilimi mümkün olduğu kadar az olmalıdır. Betonun homojen yapısı korunmalıdır.

3. Malzemenin karıştırılmasından hemen sonra plastik durumuna sahip bir betonda plastikliğin kaybolmasına kadar geçen sürenin uzunluğu (priz süresi) gerekenden daha uzun olmamalıdır.

Sertleşmiş Betonda Olması Beklenen Özellikler Şöyle Sıralanabilir:

1. Standartlarca hedeflenmiş olan 7, 14 ve 28 günlük gibi herhangi bir yaş için minimum dayanımından daha az bir dayanım göstermemelidir.
2. Çevresindeki suyun ve diğer betona zararlı olabilecek sıvıların beton içerisine kolayca girerek olumsuz etki oluşturmaması için yeterince geçirimsiz olmalıdır.
3. Betonun zaman içerisinde yer aldığı ortamdan maruz kalabileceği etkenler karşısında dayanıklılığı olan durabilite yönünden yeterli özelliklere sahip olmalıdır.

Beton günümüzde en çok tercih edilen yapı malzemesi olup avantajlar şu şekilde sıralanabilir:

1. Taze betonun plastik özelliği nedeni ile istenilen şekil ve boyutta beton elemanlar kolaylıkla üretilebilir.
2. Prefabrik olarak üretilebilmekte ve yapıya sertleşmiş beton elemanları olarak getirilip kullanılabilir.
3. Beton yerleştirme yöntemlerinde çeşitlilik ve kolaylık bulunmaktadır. Örneğin plastik kıvamdaki beton pompa yardımı ile normalde erişilmesi güç yerlere yerleştirilebilmektedir.
4. Sertleşmiş beton oldukça yüksek basınç dayanımına sahiptir.
5. Sertleşmiş betonun durabilitesinin diğer yapı malzemelerine oranla daha yüksek olması ve buna bağlı olarak bakım işlem ve masrafları azdır.
6. Beton çelik donatılarla çok iyi bir aderans sağlar.
7. Diğer yapı malzemelerine göre nispeten daha ekonomiktir.

Beton tek başına basınç mukavemeti yüksek ancak, çekme dayanımı düşük bir malzemedir. Betonarme yapıların inşaatında, betonun bu sakıncalı özelliği yapı elemanı içerisine uygun konumda yerleştirilen demir çubuklar aracılığı ile iyileştirilir.

Betonun tanımlanması diğer bir deyişle sınıflandırılmasındaki esas kriter basınç dayanımı değeri olmaktadır. Basınç dayanımı yüksek olan betonun diğer özellikleri de aynı şekilde olumlu olarak etkilendiği bilinmektedir.

1.2 Çalışmanın Amacı:

Yapılan bu çalışmanın amacı; Bugüne kadar basınç dayanımı ile betonun elastisite modülü arasında kurulan bağlantının bir benzeri çekme dayanımı ile kurulmaya çalışılmıştır.

Yapılan bu çalışmada, beton basınç, çekme ve elastisite modülü arasındaki ilişkiler deneysel olarak irdelenmektedir. Bilindiği üzere elastisite modülü Hooke kanunun geçerli olduğu bölgede $E = \sigma / \varepsilon$ olarak tanımlanmaktadır. Bu tanımdan da görüldüğü gibi elastisite modülünün, basınç dayanımı ile ilişkili bir kavram olduğu görülmektedir. Ancak, literatürde mevcut bilinen tanım ve kavramlara ilave olarak, betonun basınç ve çekme dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ilişkiler, yapılan deney ve bu deneylere ait bulgulara dayalı olarak analiz edilmiş ve betonun çekme dayanımı kullanılarak elastisite modülünün hesaplanmasına çalışılmıştır.

1.3 Yöntem

Bu çalışmada çeşitli sınıflara ait beton numuneleri üretilerek beton basınç ve çekme deneyi yapılarak basınç dayanımı ve çekme dayanımı tespit edilmiş ve deformasyon miktarlarının ölçülmesi vasıtası ile elastisite modülünün belirlenmesine çalışılmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

Küçükmehtemoğlu (1994) “Çimento Hamuru Konsantrasyonunun Betonun Dona Dayanıklılığına Etkisi” adlı çalışmasında 250 kg/m^3 altında beton mukavemeti ve durabilitesinin düşük olduğu, bu dozajın altında çimento hamurunun agrega arasındaki boşlukları doldurmaya yeterli olmadığı, dozajın 250 kg/m^3 den 475 kg/m^3 e yükselmesi ile basınç dayanımında artış olduğu eğilme dayanımında ise azalma olduğunu belirtmektedir.

Şengül (2000) “Agrega Türünün Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi” adlı çalışmasında, en yüksek ve en düşük beton sınıfı arasındaki basınç dayanımları arasında dört kat kadar bir fark varken, elastisite modülleri arasındaki fark iki kat bile olmadığı belirtilmektedir. Bu durum elastisite modülünün, su çimento oranının azalması ile oluşan içyapı değişikliklerine basınç dayanımı kadar duyarlı olmadığını belirtmektedir.

Türkel (2002) “Beton Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler” adlı çalışmasında, betonlarda su çimento oranının azalması ile elastisite modülünün arttığını belirtmektedir.

Özbek (2002) “Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi” adlı çalışmasında, beton karıştırma zamanının artması ile basınç dayanımının arttığı ancak karıştırmanın belli bir süre sonra işlenebilirliği azalttığını ve betona uygulanan kür yöntemlerinin betonun dayanımını direkt olarak etkilediğini belirtmektedir.

Felekoğlu ve Türkel (2004) “Yükleme Hızı Değişimi Aynı Beton Sınıf Numunelerinin Davranışı” adlı çalışmasında, yükleme hızı değişimi ile aynı dayanım sınıfındaki örneklerin farklı gerilme-şekil değiştirme davranışı gösterdiklerini, buna paralel olarak elastisite modüllerinde yüklem hızından etkilendiğini ve yüklem hızı arttıkça elastisite modülünün arttığını belirtmektedir.

Çakır (1995) “Yüksek Mukavemetli Betonların Kırılma Parametreleri” adlı çalışmasında, beton basınç mukavemeti arttıkça karakteristik boy belirgin biçimde azalmaktadır. Yani yüksek mukavemetli betonların mukavemeti arttıkça gevrekliğinin arttığını belirtmektedir.

2.1 Beton

Beton klasik anlamda; kum, agrega, çimento ve su ve gerektiğinde katkı maddelerinin karıştırılması ile elde edilen bir yapı malzemesidir. Sözü edilen malzemeler belli oranda karıştırıldığında, kalıplarda istenilen biçimi alabilecek plastik bir malzeme elde edilir. Betonun diğer yapı malzemelerine üstün kılan en önemli özelliklerden biri istenilen biçimin verilebilmesini sağlayan plastik kıvamıdır (Ersoy 1985).

2.2 Betonun Basınç Dayanımı ve Beton Basınç Dayanımı Etkileyen Faktörler

Betonun basınç dayanımı, eksenel basınç yükü altında betonun kırılmamak için göstereceği direnç olarak tanımlanmaktadır. Betonun mekanik dayanımları arasında en büyük olanı basınç dayanımıdır. Bu konuda şöyle söylenebilir; betonun basınç dayanımı bileşimin belli bir durumu için bileşimin bir fonksiyonudur. Ayrıca betonun basınç dayanımının zamanında bir fonksiyonu olduğunu ve son mukavemetini uzun bir zaman sonunda aldığını unutmamak gerekir (Akman 1997-1998), (Postacıoğlu 1969). Betonu oluşturan malzemelerin özellikleri ve karışım oranları betonun basınç dayanımını etkiler. Bu nedenle betonu oluşturan malzemelerin karakteristiklerinin bilinmesi gerekmektedir.

2.2.1 Agrega özelliklerinin betona etkisi

Agrega, beton yapımında çimento ve su karışımından oluşan bağlayıcı madde yardımı ile bir araya getirilen organik olmayan kuru çakıl, kırmataş gibi doğal kaynaklı veya yüksek fırın cürufu, genişletilmiş perlit, genişletilmiş kil gibi yapay kaynaklı olan malzemelerdir. Agreganın beton yapımında ekonomik ve teknik yönlerden çok önemli bir konumu bulunmaktadır. Beton hacminin yaklaşık dörtte üçü agrega tarafından oluşturulmaktadır. Agrega maliyeti çimentoya göre oldukça düşük olduğundan, agrega betonda kullanılan ve nispeten ucuz olan bir dolgu malzemesi olarak kabul edilmektedir.

İçinde agrega bulunan beton veya harç, sadece çimento hamurundan oluşan ve içerisinde agrega bulunmayan bir sisteme göre daha az hacim değişikliği (büzülme) göstermektedir. Bir başka deyişle, çimento hamurunun zamanla kuruyarak büzülmesi ve çatlaması agrega tarafından önemli bir ölçüde önlenmiş olmaktadır.

Çizelge 2.1. Agregaların Tane Boyutuna Göre Sınıflandırılması

Elek boyutu (mm)	Malzeme Cinsi
63-31,5	Balast
31,5-4	İri Agreg
4- 60 mikron	İnce Agreg
60 mikron - 2 mikron	Silt
2 mikron ve altı	Kil

Betonda kullanılan agrega özellikleri beton yapımında malzemelerin karışım oranlarını, taze betonun işlenebilmesini, pompalanabilmesini, terlemesini ve beton yüzeyinin masterlanıp düzeltilebilmesini önemli ölçüde etkileyebilmektedir (Erdoğan 1995).

Agreganın dayanımı, beton basınç dayanımını birçok halde doğrudan etkiler. Agreganın dayanımını arttıkça betonun da dayanımı artar. Gözenekli, hafif agregalar ile yapılan betonlarda dayanım düşer. Yüksek dayanımlı betonlarda agreganın yoğun ve yüksek dayanımlı olması istenir. Agreganın beton dayanımındaki etkisi en büyük tane boyu, tane ve yüzey şekilleri, granülometrisi ve içerdiği zararlı maddeler ile doğrudan etkilidir (Postacıoğlu 1986). Beton agregalarını tane boyutlarına göre sınıflandırılması Çizelge 2.1’de gösterilmiştir (TS 706 1989).

Bir agrega yığını içinde çeşitli büyüklükte daneler bulunabilir. Granülometri, çeşitli büyüklükteki tanelerin agrega içindeki oranlarının belirtilmesidir. Agreganın granülometrisi betonun, yerleşmesine, sıkılanmasına ve sertleşmiş betonun mukavemetine etkileyen bir faktör olduğu için önemlidir.

Agregaların granülometrisi bir tablo halinde gösterilebildiği gibi grafik halinde de gösterilebilir. Bu grafiklere granülometri eğrileri denir. Grafikte yatay eksen tane boyutunu veya elek göz açıklığını, dikey eksen ise elek altına geçen malzeme oranlarını veya yüzdeliklerini gösterir.

Granülometri eğrilerinin şu özellikleri vardır;

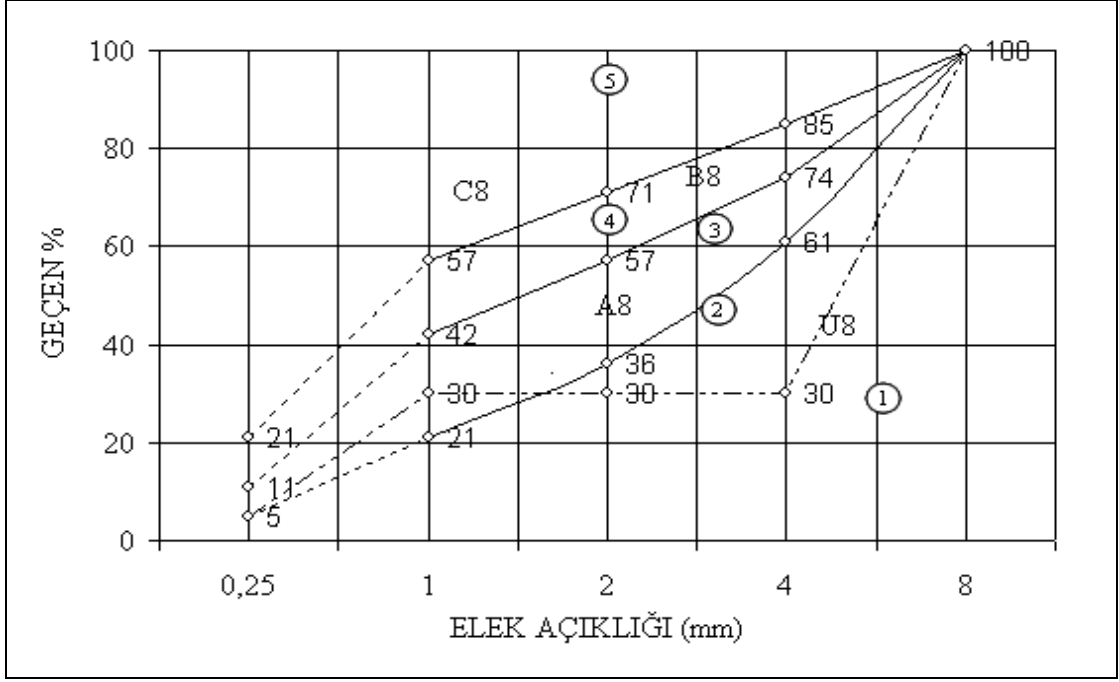
1. Bunlar devamlı yükselen eğrilerdir. Yatay kısımları olsa bile ters eğimli kısımları olmaz.

2. İki göz açıklığının granülometrik % geçen değerleri arasındaki fark, bu elekler arasında kalan malzeme oranını verir.

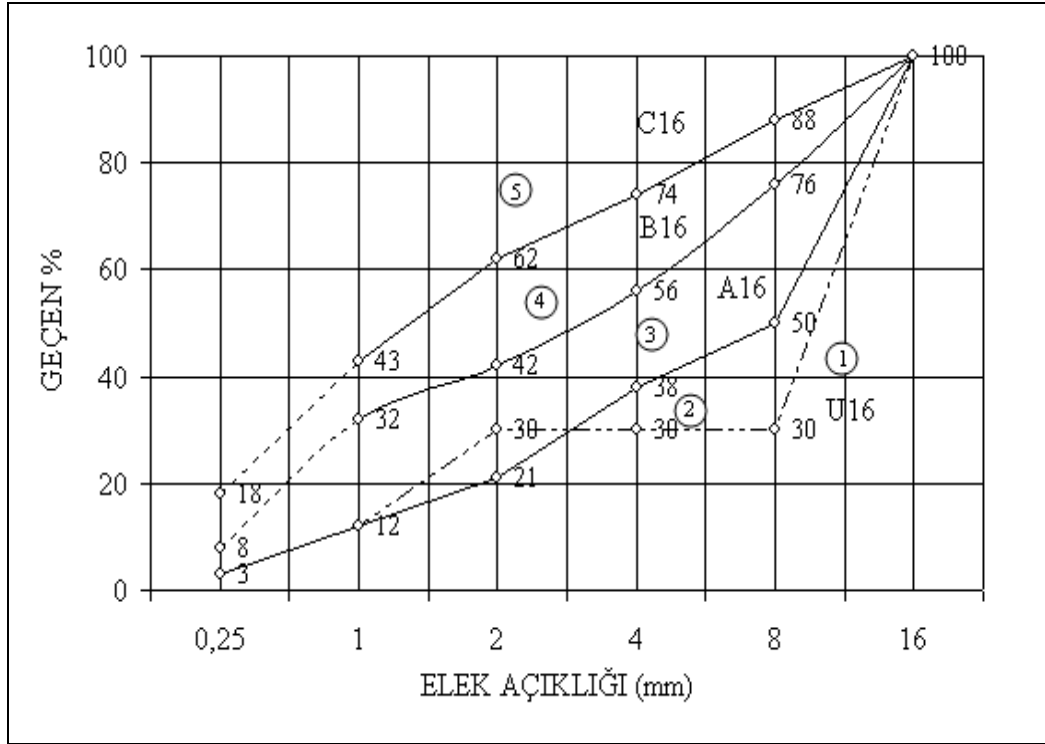
3. Granülometri eğrileri üst kısma ne kadar yakınsa agrega o kadar fazla miktarda ince tane içeriyor demektir. Benzer şekilde fazla miktarda iri tane içeren agregaların granülometri eğrileri alt kenara yakın olur.

Bir agrega içinde belirli tane sınıflarından hiç bulunmaması halinde agrega granülometrisi süreksiz olur. Bu süreksizlik granülometri eğrisinde, eksik tane kısımlarına karşı gelen kısımların yatay olması şeklinde görülür. Bu tür granülometrilere kesikli granülometri denir (Cimilli 1986). Agrega yığınındaki taneler çeşitli boyutlardadır. Granülometrik bileşim, agrega numunesinde boyutları belirli sınırlar arasında bulunan tanelerin ne miktarda agrega içinde bulunduğunu ortaya koyar. Bu da granülometri deneyi yapılarak bulunur. Agrega granülometrisinin üretilen beton üzerinde büyük etkisi vardır. Granülometri betonun kompasitesini, yoğurma suyu miktarını, dayanım ve dayanıklılığını önemli ölçüde etkiler.

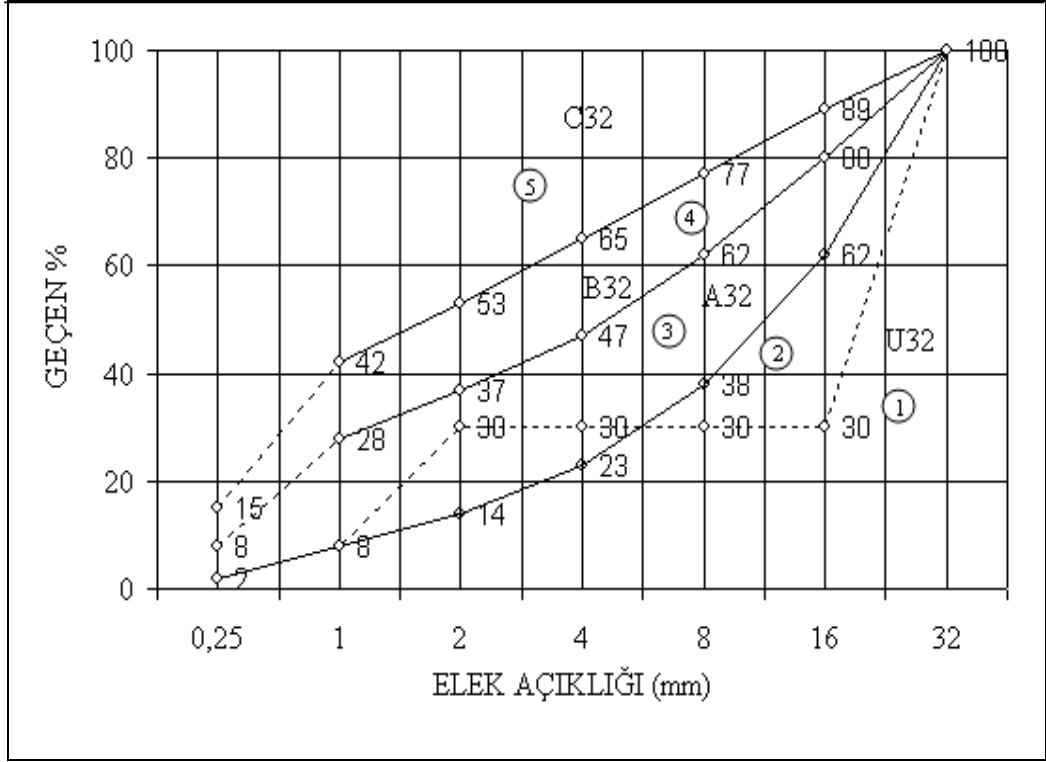
Agrega tane boyutunun ayarlanmasında; çimento kumun boşluklarını, kum ise çakılın boşluklarını dolduracak şekilde olmalıdır. Agrega dayanımını dolaylı şekilde etkilerken, işlenebilirlik üzerinde de etkili olmaktadır. Bir agrega içindeki tanelerin büyüklüklerine göre kısımlara nasıl dağıldığı, her kısımda ne oranda malzeme bulunduğu deneysel olarak belirli miktardaki agrega çeşitli eleklerden elenerek belirlenir. Betonu oluşturacak agreganın tane dağılımı, en büyük tane büyüklüğüne bağlı olarak TS 706' da belirtildiği gibi, Şekil 2.1, Şekil 2.2, Şekil 3.2, Şekil 3.4' te gösterilen 3 ve 4 numaralı bölgelerde bulunacak şekilde seçilmelidir. 3 numaralı bölgeye düşecek tane dağılımları, uygun bölge olduğu için, tercih edilmelidir. Bunun mümkün olmaması halinde 4 numaralı bölge kullanılabilir. Zorunlu durumlarda 2 numaralı bölgeye düşen kesikli tane dağılımları da kullanılabilir (TS 802 2001).



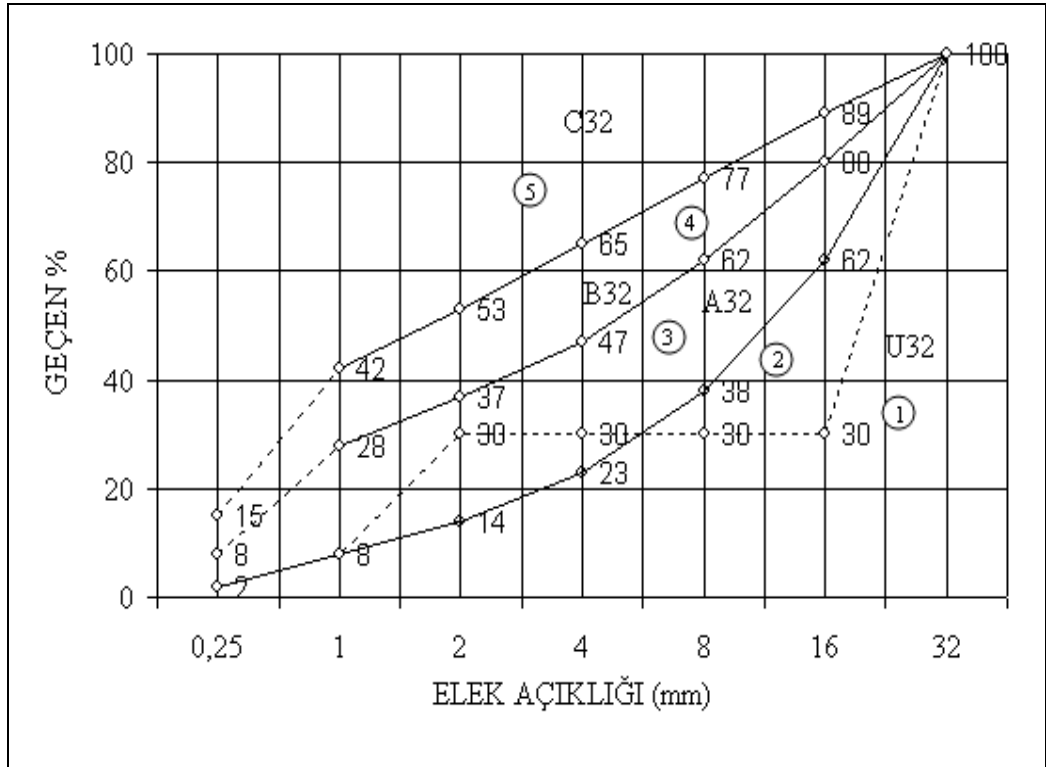
Şekil 2.1. Maksimum Tane Büyüklüğü 8,0 mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri



Şekil 2.2. Maksimum Tane Büyüklüğü 16 mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri



Şekil 2.3. Maksimum Tane Büyüklüğü 31,5 mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri



Şekil 2.4. Maksimum Tane Büyüklüğü 63 mm Olan Karışık Agrega Granülometri Eğrileri

2.2.2 Çimento özelliklerinin betona etkileri

Çimento su ve agrega ile betonu oluşturan temel malzemelerden birisidir. Çimento su ile birleştiği takdirde ismine çimento hamuru denilen yumuşak, plastik bir karışım ortaya çıkmaktadır. Çimento ve suyun birleştiği andan itibaren kimyasal reaksiyonlar başlamaktadır ve bu reaksiyonların devam etmesi sonucunda önceleri yumuşak, plastik durumdaki çimento hamuru giderek daha sert ve dayanımı artan bir yapıya kavuşmaktadır. Çimento hamuru, beton yapmak için bir araya getirilmiş binlerce irili ufaklı agrega tanelerinin yüzeyini kaplayarak ve taneler arasındaki boşlukları doldurarak bağlayıcılık görevi yapmaktadır.

Çimento hamurunun başlangıçta plastik durumda bir özellik göstermesi nedeniyle, taze betonun da başlangıçtaki durumu plastiklik göstermektedir. Bu özellik nedeniyledir ki taze betonu karıştırmak ve istenilen şekildeki bir kalıba yerleştirmek yani, betona şekil verebilmek mümkün olmaktadır. Çimento hamurunun zamanla sertleşme özelliği nedeniyle, betonda da, zamanla sertleşme ve dayanım kazanma meydana gelmekte, istenilen şekildeki sert bir suni taş elde edilebilmektedir (Erdoğan 1995).

Çimento özelliklerinin betonun mukavemeti üzerine etkisi hidrasyon olayının hızlı veya yavaş bir şekilde oluşması ile açıklanabilir. Hidrasyon olayının hızlı bir şekilde gelişmesi halinde çimentonun mukavemeti kısa zamanda büyük değerler alır.

Çimentonun inceliğinin artması; özgül alanın artması veya 4900 gözlü elek üstündeki kalıntının artması demektir. Çimentonun inceliği arttıkça mukavemet kazanması da hızlanır ve böylelikle çimentoların 7, 28 ve 90 günlük mukavemetlerinde büyük artışlar elde edilir. İnceliğin artması çimentoların en son mukavemetlerinde önemli bir artış getirmez (Gündoğdu 1997).

Çimento dozajının artması ile çimento hamurunun hacmi arttırılmış olur. Bu şekilde betonda herhangi bir zorlama altında çimento hamurunda meydana gelen gerilmelerin küçük değerler alması sağlanır. Bu durum betonun daha büyük bir gerilme altında dayanımını kaybetmesine neden olur. Kısaca betonun dayanımı çimento miktarı ile artar. Çimento dayanımının yüksek olması ile çimento hamuru parçalanmadan daha büyük gerilmelere maruz kalabilir ki, bu da betonun dayanımını arttırır (Postacıoğlu 1987).

2.2.3 Karma suyu ve beton ilişkisi

Betona eklenecek karışım suyu karışım oranları tasarımında tespit edildiği kadar olmalıdır. Betonda gereğinden fazla karışım suyu dayanımını azaltacağı gibi karışım da yeteri kadar suyun olmaması halinde çimentonun hidrasyonunu tam olarak yapamayacağı, agrega tanelerinin yüzeyleri tam olarak ıslanmayacağından, agrega tanesi ile çimento arasındaki aderansın zayıf olacağı ve betonun yeterli işlenebilirlikte olmayacağı söylenebilir (Postacıoğlu 1986). Beton Karma Suyu İçin Kimyasal Sınırlar Çizelge 2.2' de verilmiştir.

Betonda kullanılacak su, ilgili standartlara uygun olmalıdır. Karma suyu asit özelliği taşımamalı ($\text{pH} \geq 7$ olmalı); zararlı etkisi olacak oranda karbonik asit, mangan bileşikleri, amonyum tuzları, serbest klor, madensel yağlar, organik maddeler, ve endüstri atıklar içermemelidir. Litresinde en çok çözülmüş olarak 15 g ve yüzer olarak 2 g madeni tuz, en çok 2 g SO_3 bulunabilir. Yüksek alüminli çimento ile yapılan betonlarda deniz suyu kullanılamaz (TS 500 2001).

Çizelge 2.2. Beton Karma Suyu İçin Kimyasal Sınırlar (TS 11222 2001)

Kimyasal Maddeler (karma suyundaki konsantrasyon, ppm)	En Çok (ppm)
Klorür, Cl öngermeli betonda	500
Klorür, Cl diğer donatılı betonlarda	1000
Sülfat, SO_4	3000
Alkaliler, ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$)	600
Toplam katı madde	50000
PH	≥ 7

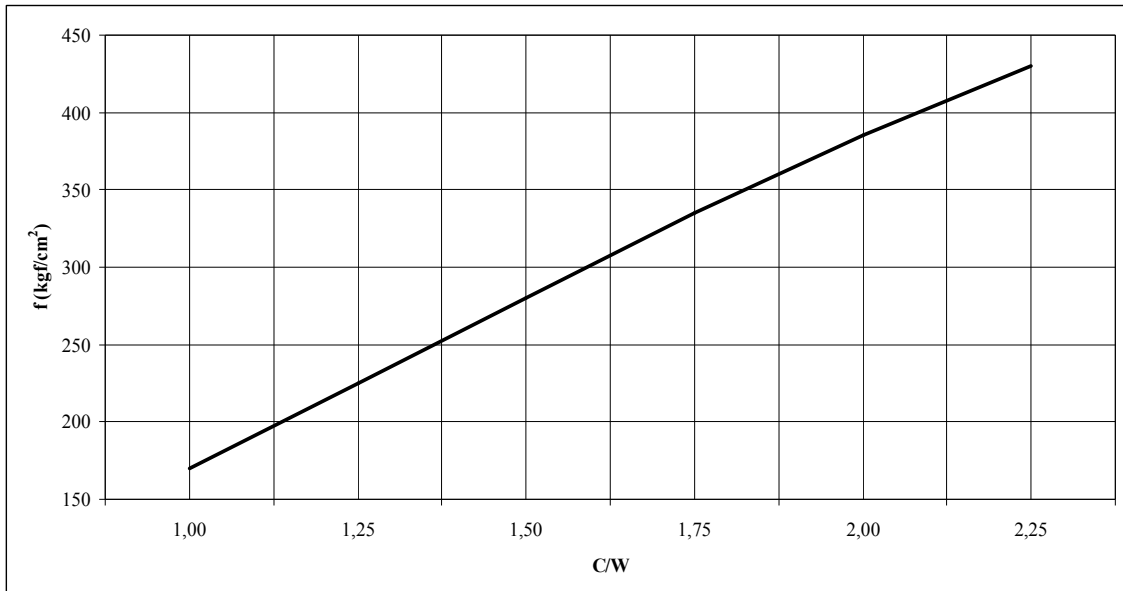
Çizelge 2.3. Şüpheli Sularda Kabul Kriterleri (TS 11222 2001)

Özellikler, (kontrol betonuna kıyasla)	Sınırlar
Basınç Dayanımı (7 günde kontrol betonunun % si)	Enaz %90
Priz Başlangıcı	En geç 30 dakika
Priz Sonu	En erken 30 dakika En geç 90 dakika

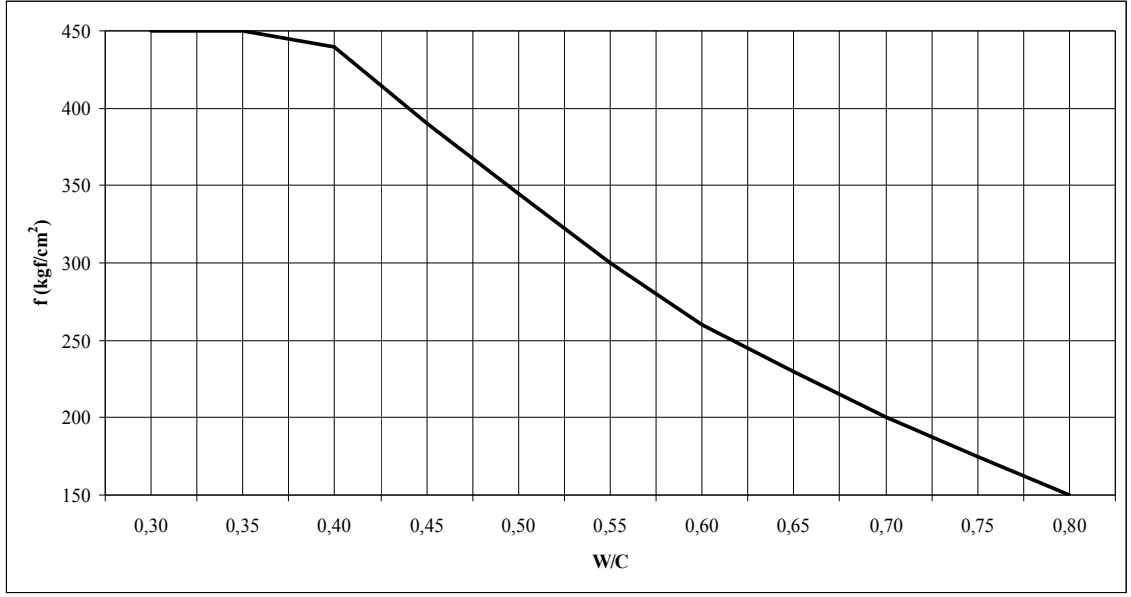
2.2.4 Su/Çimento oranı ile beton dayanımı ilişkisi

Beton üretiminde karışıma giren karma suyu miktarı optimum değerden daha fazla arttırıldıkça basınç dayanımı azalmaktadır. Yani W/C oranı betonun basınç dayanımında önemli bir kriterdir. Azaldıkça dayanım artar. Ayrıca basınç dayanımı, çimento karakteristik ve miktarı ile arttığı bilinmektedir. Bu iki faktör bir arada değerlendirildiğinde, betonun dayanımını özellikle basınç dayanımını etkileyen en önemli faktör olan su/çimento oranı elde edilir. Oranında W ve C aynı bir beton karışımında ağırlık cinsinden sırasıyla su ve çimento miktarlarını göstermektedir. Bir betonda W/C oranı ne kadar küçük ise dayanımı da o kadar yüksek değer alır (Postacıoğlu 1987).

Betonun vibrasyonla iyi sıkıştığı kabul edilirse çimento hamurundaki kapiler boşluk hacmi W/C oranı ile hidrasyon derecesine bağlı olarak değişmektedir. Betonda W/C oranı ne kadar düşük olursa çimento daneleri arasındaki mesafe o kadar küçük olacak ve hidrasyon sonunda gelişen kristaller bu boşlukları doldurarak geçirimsizliği düşüreceklerdir (Collepari ve Gököz 1989) . TS 802 Beton karışım hesap esaslarında verilen değerlere göre 28 günlük beton silindir dayanımlarının W/C ve C/W oranlarına bağlı olarak değişimleri Şekil 2.5' te ve Şekil 2.6'da gösterilmiştir (TS 802 2001).



Şekil 2.5. 28 Günlük Beton Silindir Basınç Mukavemetinin C/W Oranı ile Değişimi



Şekil 2.6. 28 Günlük Beton Silindir Basınç Mukavemetinin W/C Oranı ile Değişimi

2.2.5 Betonda kompasite ile dayanım arasındaki ilişkiler

Beton kompasitesi, 1 m³ betonun içerisinde katı cisimlerin kapladıkları gerçek hacimlerin tamamı anlaşılmaktadır. Kompasitenin küçük olması, betondaki boşlukların büyük olması demektir. Boşlukların, yani porozitenin, büyük olmasının dayanımı azalttığı gerçeği ise yapı malzemesinin en önemli kanunlarından biridir (Postacıoğlu 1987).

Agrega konsantrasyonun, betonun dayanımını ve elastisite modülü üzerine etkileri vardır. Agreg konsantrasyonunun artmasıyla basınç dayanımı artmaktadır. Elastisite modülü, agreganın ve bağlayıcı olan çimento hamurunun elastisite modüllerinin ve bu bileşenlerin beton içindeki hacim oranlarının bir fonksiyonudur. Kırma taş veya çakıl gibi agregalarla üretilmiş betonlarda, agreg konsantrasyonunun artışı, betonların elastisite modüllerini arttırmaktadır (Yıldırım 1995).

2.3 Beton Basınç Dayanımının Deney Yöntemi ile Tespit Edilmesi

Deney yönteminin uygulanmasında beton standartlarında belirtilen boyutlara sahip standart silindir veya küp numuneler kullanılmaktadır. Bu numuneler beton taze iken silindir veya küp şekilli kalıplara, beton standartlarının belirttiği tarzda, yerleştirilmekte ve bir gün sonra kalıplardan çıkarılmaktadır. Kalıplardan çıkartılan sertleşmiş beton numuneleri, deney tarihine kadar (betonun yaşı 28. güne gelinceye kadar) beton standartlarının belirtildiği kür

ortamında saklandıktan sonra, deney presi olarak adlandırılan alet vasıtası ile üniform basınç yükü altında kırılmaya tabi tutulmaktadır (TS 3323 1979), (TS 3314 1980).

2.4 Beton Basınç Dayanım Formülleri

Betonun birleşimi belli iken elde edilecek basınç dayanımının hesaplanması doğal olarak çok yararlıdır. Ne var ki, bu alanda yapılan çalışmalar matematiksel kesinlik taşıyan bağıntıların elde edilemeyeceğini de kanıtlamış durumdadır. Deneylerle oluşturulan bağıntılar dayanımın hesaplanmasında değil fakat tahmin edilmesinde yararlı olmaktadır. Özellikle beton deneme amacı ile bir kere üretilmiş ve dayanımı saptanmışsa, bu formüllerdeki katsayılar daha kesin bir biçimde belirlenmekte ve ikinci üretimde formüllerden yararlanılarak gerekli düzeltmeler yapılmakta ve istenilen dayanım elde edilebilmektedir.

2.4.1 Abrams formülü

Beton teknolojisinin kurucularında olan Abrams tarafından bulunan dayanım formülü;

$$f_c = K_1 / K_2^{s/c} \quad (2.1)$$

şeklinde verilmiştir. Burada, K_1 ve K_2 amprik sayılardır ve (W/C) su/çimento oranını gösterir. Bu formül 1919 yılında Duff Abrams tarafından kanıtlanmıştır (Neville 1996).

2.4.2 Graf formülü

Graf formülü çimentonun mekanik dayanımının etkisini açık bir şekilde hesaba katan bir formüldür. Bu formül;

$$f_c = f_{cc} / K_G (C/E)^2 \quad (2.2)$$

Şeklinde verilmiştir. Bu formülde f_{cc} çimentonun norm N/mm^2 olarak dayanımıdır. K_G değeri ise 4 ile 10 arasında değişen bir değerdir ve betonun yaşından bağımsız katsayılarıdır (Akman 1990).

2.4.3 Bolomey formülü

Bolomey formülünün gelişmiş şekli, hava boşluğunun dayanıma etkisini vurgulanak açısından ilginçtir. Bu formülde, bağıntı ağırlıklar cinsindedir ve lineerdir.

$$f_c = K_B (C / E+h) \cdot k' \quad (2.3)$$

Burada k' katsayısı bir ikincil katsayıdır, 0,3 - 0,5 arasında değişir. K_B değeri de beton yaşına, çimento tür ve dozajına bağlı bir katsayılar olup 7 ile 35 N/mm^2 arasında değer alabilir (Nagy 1997).

2.4.4 Feret formülü

Dayanımı etkileyen faktörün çimento hamuru içindeki çimento miktarı olduğunu ifade etmiştir. Bağıntı ikinci derecedir.

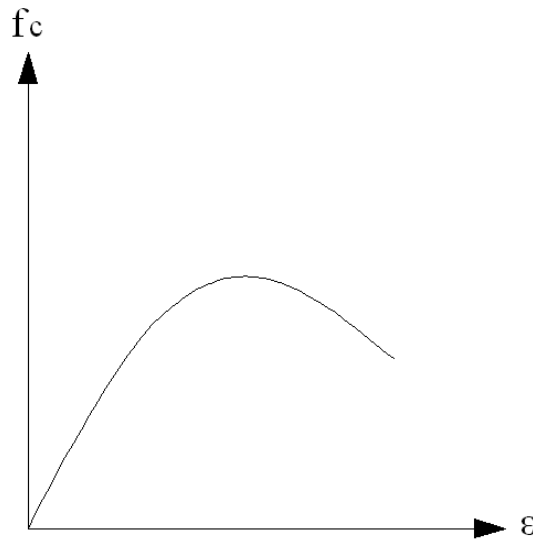
$$f_c = K_F (c / c+e+h)^2 \quad (2.4)$$

Burada K_F bir katsayıdır. Beton yaşına, çimento türüne, çimento miktarına, göre 80 ile 300 N/mm² arasında değişir. f_c ise N/mm² cinsinden betonun basınç dayanımıdır (Shih , Lee ve Chang 1989).

2.5 Betonun Gerilme-Deformasyon Özellikleri

Betonun çekme dayanımı basınç dayanımına göre çok küçük olduğundan σ_c / σ_b (~1/9 - 1/12), genellikle hesaplarda dikkate alınmaz. Beton için önemli olan, basınç dayanımı dolayısı ile basınç altındaki gerilme-deformasyon ilişkisidir. Betonun basınç altındaki davranışlarını belirleyen gerilme ve deformasyon ($\sigma - \epsilon$) eğrileri, 15x30cm'lik standart silindirlerin aksenal basınç altında denenmesinden elde edilir.

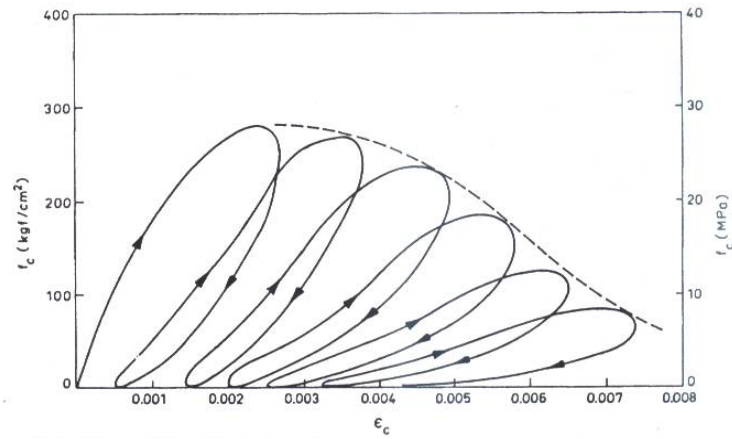
Şekil 2.7' de gösterilen eğrinin ilginç özelliği maksimum gerilme ve dayanıma karşılık olan birim uzama ϵ_{co} aşıldığında artan deformasyon altında gerilmelerin azalmasıdır. Kırılma anındaki birim kısalmaya (ϵ_{cu}) karşı olan gerilme, maksimum gerilmeden daha düşüktür. Betonun $\sigma-\epsilon$ eğrisinin kuyruk kısmı ihmal edilemeyecek kadar önemlidir. Bu davranış sayesinde betonarme bir elemanda maksimum gerilmeye ulaşan bir lif, artan birim kısalma ile gerilmeleri başka liflere aktarabilir (Ersoy 1985).



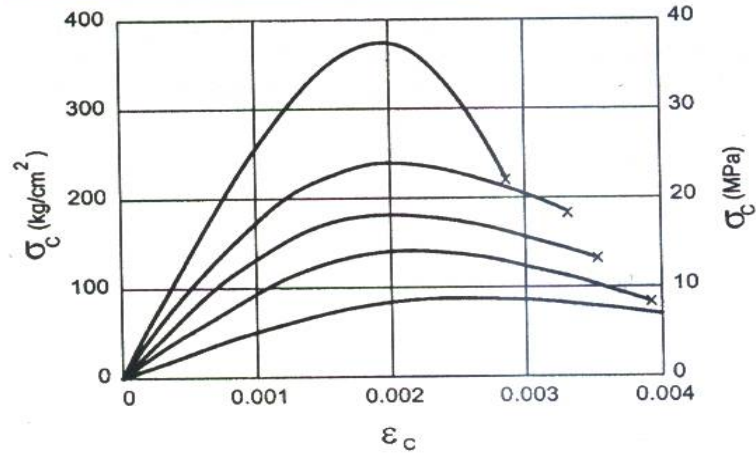
Şekil 2.7. Basınç Dayanımı ile Birim Uzama İlişkisi

Betonun hızlı, yavaş ve sürekli basınç yüklemeleri altındaki farklı deformasyonları, çimento hamurunun jel bünyesi ile açıklanmaktadır. Özellikle sürekli yükler altında gösterdiği sünme çimento hamurunun önemli bir özelliğidir. Betonların içindeki iki bileşenlerden biri olan agrega, genellikle daha rijit olduğundan deformasyonların esas kaynağı çimento hamuru olarak kabul edilir. Betonların çeşitli yükleme hızları altında gösterdikleri deformasyonların karakterleri çimento hamurundaki gibi olur (Kocataşkın 1976).

Betonun tekrarlanan yükler altındaki gerilme-şekil değiştirme davranışını belirlemek için; Sinka, Gerstle, Tulin, Karsan ve Jirsa tarafından deneyler yapılmıştır. Tekrarlanan yükler altında beton davranışını belirleyen gerilme-şekil değiştirme eğrileri Şekil 2.8’ de verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi tekrarlı yükleme altında elde edilen σ - ϵ eğrilerinin zarfını teşkil eden eğrinin, devamlı yükleme sonucu elde edilen σ - ϵ eğrisi ile çakıştığı görülmektedir. Yine şekilden görüldüğü gibi tekrarlanan yükler altında gerilme eğrilerinin eğimi, tekrarlama sayısına bağlı olarak azalmaktadır. Bu da tekrarlanan yükler altında malzemenin rijitliğinin (Elastisite Modülünün) azaldığını gösterir. Bu olaya betonun yumuşaması denir (Saylan 1993).



Şekil 2.8. Tekrarlı Yük Altında Gerilme Şekil Değiştirme Eğrisi (Ersoy 1985)



Şekil 2.9. Gerilme Şekil Değişirme Eğrileri (Ersoy 1985)

Betonun σ - ϵ özellikleri beton dayanımı ile değişmektedir. Dayanımının σ - ϵ eğrisi üzerindeki etkilerini göstermek amacı ile Şekil 2.9'da çeşitli beton dayanımları için σ - ϵ eğrileri gösterilmiştir. Şekildeki eğrilerden şu sonuçlar çıkarılabilir.

1. Eğrilerin başlangıç eğim açısının tanjantı, elastisite modülü olarak tanımlanabilir ki beton kalitesi yükseldikçe artmaktadır.
2. Yüksek dayanımlı betonların tepe noktaları daha belirgindir.
3. Düşük dayanımlı betonlar, yüksek dayanımlı olanlara oranla daha fazla sünekliliğe (düktilite) sahiptirler. Başka bir deyişle, düşük dayanımlı betonlarda kırılma anındaki birim kısaltmalar, diğerlerine oranla daha büyüktür.
4. Maksimum gerilmeye karşılık olan birim kısaltma, ϵ_{co} , beton dayanımlarından bağımsız olarak yaklaşık 0,002 mertebesinde dir.

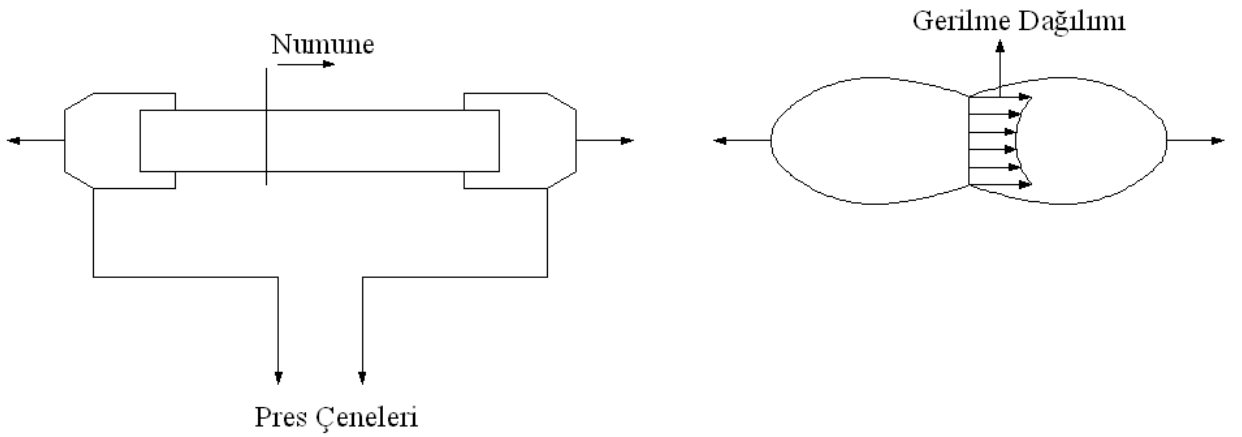
2.5.1 Betonun çekme dayanımı

Betonun çekme dayanımı, betonda çekme etkisi oluşturacak kuvvetlerin neden olacağı şekil değiştirmelere ve kırılmaya karşı, betonun gösterebileceği direnme kabiliyeti olarak tanımlanmaktadır. Genel olarak yapıdaki betona doğrudan çekme dayanımı uygulanmamaktadır. Ancak, beton elemanların üzerine gelen basınç ve/veya eğilme kuvvetleri betonun içerisinde dolaylı olarak çekme kuvvetlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Betonda büzülme olması durumunda yer alacak şekil değiştirmelerin agrega taneleri ve betondaki donatı tarafından engellenerek serbestçe yer almaması nedeniyle de betonun içerisinde çekme kuvvetleri oluşmaktadır.

Basit bir kirişin üzerindeki eğilme yükleri, kiriş kesitinde kesme kuvveti ve eğilme momenti oluşturmaktadır. Eğilme momenti, kirişteki tarafsız eksenin üstünde kalan bölgede basınç gerilmesi, altında kalan bölgede ise çekme gerilmesi meydana getirmektedir. Buna göre tarafsız eksenin hemen alt kısımlarında hem çekme hem de kayma gerilmeleri oluşmaktadır. Kayma gerilmelerine diyagonal olan düzleme (eğik düzleme) dik olarak çekme kuvveti oluşmaktadır. Çekme kuvveti, eğik düzlem üzerinde eğik çatlak olarak adlandırılan çatlakların yer almasına neden olmaktadır. Beton, çekme mukavemeti basınç mukavemetinin yaklaşık 1/9 ile 1/12 oranında değişen değerinde daha az bir sonuç vermektedir. Bu oran betonun yaşına, kalitesine göre değişmektedir.

2.5.2 Betonun çekmede gerilme-şekil değiştirme davranışı

Betonun çekme dayanımının ideal olarak, aksenal çekme altında deneye maruz bırakılacak elemandan elde edilmesi gerekir. Geçmiş yıllarda bu konuda yapılan deneyler başarısızlıkla sonuçlanmıştır. Şekil 2.10'daki önce uzunluğu boyunca kesiti sabit olan prizma veya silindirler denenmek istenmiş ancak pres çenelerin sebep olduğu yöresel gerilmeler nedeni ile çenenin kavradığı yerlerden kırılmıştır (Ersoy 1985).



Şekil 2.10. Silindir Çekme Deneyi ve Gerilme Diyagramı

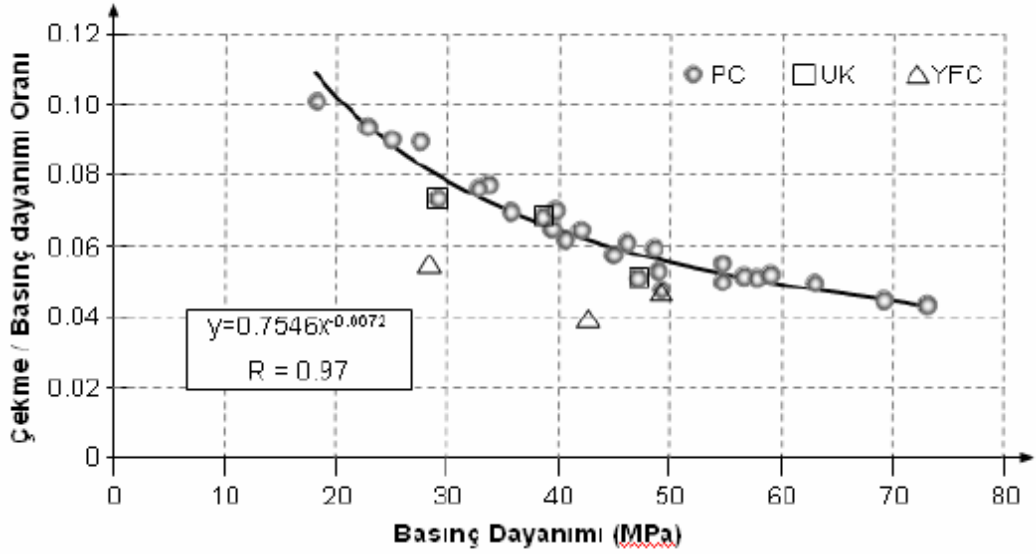
Özel başlık düzeni takılan beton numunelerinin uçlarındaki metal çubuklar, normal demir çubukların çekme deneyinde olduğu gibi, deney makinesinin çeneleri tarafından sıkıca kavranacak tarzda deney makinesine yerleştirilmektedir. Deney makinesi çalıştırıldığında, makinenin çeneleri birbirinden uzaklaşmakta ve böylece çubuklara ve metal başlıklara sıkıca

bağlanmış olan beton numuneye doğrudan çekme yükleri uygulanmış olmaktadır. Yük uygulaması, beton numune kırılıncaya kadar devam etmektedir (Erdoğan 2003).

Betonun çekme dayanımı (σ_c) kırılma oluşturacak olan yükün (P 'nin), numune boyutunun ortasındaki numune kesit alanına A 'ya bölünerek hesaplanmaktadır. Hesaplamalar kgf/cm^2 veya (N/mm^2) MPa birimleriyle ifade edilmektedir.

$$\sigma_c = P/A \quad (2.5)$$

Doğrudan çekme yükleri etkisiyle bulunabilen çekme dayanımı, betonun sahip olduğu hakiki çekme dayanımıdır. Ancak, tekrar hatırlatmak gerekir ise, herhangi bir düzenleme ile dahi, betona doğrudan çekme yükleri uygulayabilmek hem zahmetli hem de zordur. O nedenle betonun çekme dayanımının bulunabilmesi için doğrudan çekme deney yöntemi nadiren kullanılmaktadır (Erdoğan 2003).



Şekil 2.11. Doğrudan Çekme Dayanımı ile Basınç Dayanımı Arasındaki İlişki (Ün 2007)

İlk olarak 1953 yılında Brezilyalı Carnerio ve Barcellas tarafından önerilen bu deney yönteminde, genellikle silindir beton örnekleri kullanılmaktadır, ayrıca küp örnekler de kullanılabilir. Basınç dayanımı ile çekme dayanımı arasındaki ilişki Şekil 2.11'deki gibidir (Ün 2007).

Çekme dayanımının dolaylı olarak saptanmasında kullanılan diğer bir deney türü de Silindir Yarma Deneyi veya Brezilya Deneyi olarak adlandırılan deneydir. Son yirmi yıldır

silindir yarma deneyi, kiriş deneyinden daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Bunun nedeni, deney sonuçlarında görülen sapma ve dağılımın daha az olmasıdır.

Deneilerin uygulanmasında, numune deney presinin üzerine, numune eksenine presin alt tablasına paralel olacak tarzda yatırılmaktadır. Numunenin yan yüzünün alt ve üst kısımlarına 25 mm eninde ve yaklaşık 3 mm kalınlığında kontrplak çiteler yerleştirilmektedir. Deneyin presi vasıtasıyla uygulanan basınç yükü numune kırılmaya kadar devam ettirilmekte ve kırılma yükü (P) ölçülmektedir. Böyle bir yükleme altında, silindir numunenin ortadan yarılarak iki parçaya ayrılması şeklinde gerçekleşmektedir.

Silindir şekilli beton numuneye bu şekilde basınç yükünün uygulanması durumunda Şekil 2.10 ve 2.11'den görüldüğü üzere beton, yük ekseninde kısılmaya ve yük eksenine dik olan yatay ekseninde ise uzamaya maruz kalmaktadır. Betonun içerisinde, basınç gerilmeleri ve bu basınç gerilmeleri nedeni ile ortaya çıkmış olan çekme gerilmeleri bulunmaktadır. Bu şekilde bir deneye tabi tutulacak numune içerisinde herhangi bir parçacığın üzerine düşecek olan basınç ve çekme gerilmeleri;

$$\text{Basınç Gerilmesi} = 2P/\pi * L * D (D^2/r(D-r) - 1) \quad (2.6)$$

$$\text{Çekme Gerilmesi} = 2P/\pi * L * D \quad (2.7)$$

Bu formülde yer alan simgeler;

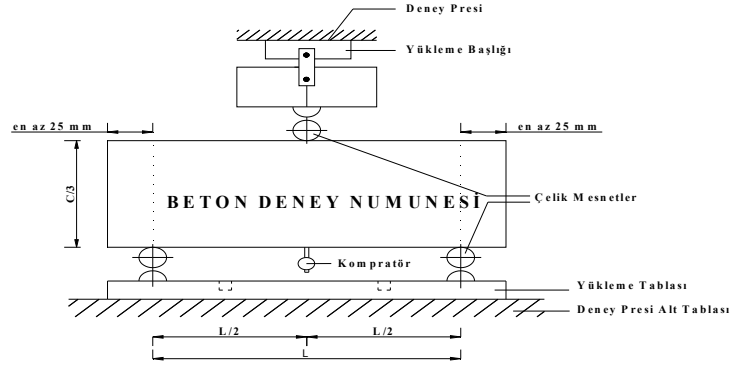
P: Kırılmaya neden olan basınç yükü,

L: Silindir numunenin boyu,

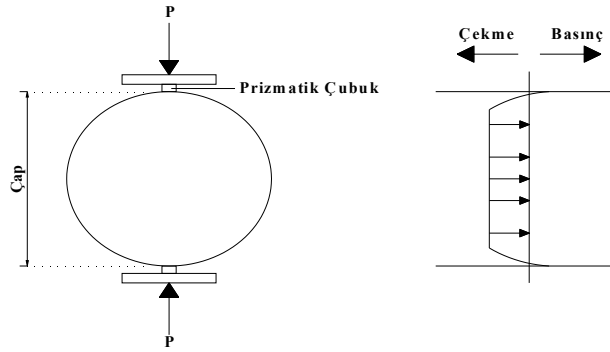
D: Silindir numunenin çapı,

r: Deney numunesi içerisinde herhangi bir parçacığın pres üst başlığa uzaklığıdır.

Beton içerisinde oluşan basınç gerilmesinin değeri çekme gerilmesininkinden daha yüksektir. Beton kesitinin ortasında, yani D/2 noktasında, betonda oluşan basınç gerilmesi, çekme gerilmesinden 3 kat daha fazladır. Ancak, betonun çekme yüklerine karşı gösterebileceği direnç olmadığından betondaki kırılma, çekme yükleri nedeni ile yer almış olmaktadır (TS 3129 1978), (TS 3068 1978), (ASTM C 31 1994).



Şekil 2.12. Silindir Yarma Deneyi



Şekil 2.13. Silindir Yarma Deneyi ve Gerilme Diyagramı

Betonun çekme dayanımının tespitinde diğeri bir deney yöntemi ise kiriş numunelerinin üzerinde yapılan eğilme dayanımları belirleme yöntemidir. Genellikle kare kesitli 15 cm x 15 x 60 cm ebatlarında deney numuneleri kullanılır. Bu yöntemde donatısız kirişlerin tek veya simetrik iki noktasal yük altında denenmeleri esastır.

Beton kiriş numunelerde kırılmaya neden olan yük deney presinin göstergesinde okunduktan sonra eğilme dayanımının hesaplanabilmesi için kullanılan formül;

$$\sigma_e = M \cdot C / I \quad (2.8)$$

Burada;

σ_e : Eğilme dayanımı,	(N/mm ²)
M: Maksimum moment,	(N.mm)
C: Tarafsız eksen ile kiriş yüksekliğinin en uç noktası arasındaki uzaklık	(mm)
d: Kiriş kesitinin yüksekliği,	(mm)
b: Kiriş kesitinin eni,	(mm)
I: Atalet momentini ifade etmektedir.	(mm ⁴)

Beton kiriş numunelerinin Şekil 2.14'deki gibi orta noktadan yüklenmeleri durumunda oluşacak maksimum moment değeri ile Şekil 2.15'deki gibi mesnetlerden L/3 uzaklıktaki yüklenmeleri durumunda oluşacak maksimum moment değeri farklı olmaktadır. O nedenle, bir beton kiriş numunesinin orta noktadan veya mesnetlerden L/3 uzaklıktaki iki noktadan yüklenmesi sonucunda hesaplanan gerilme dayanımı farklı değerler olmaktadır (TS 3284 1979).

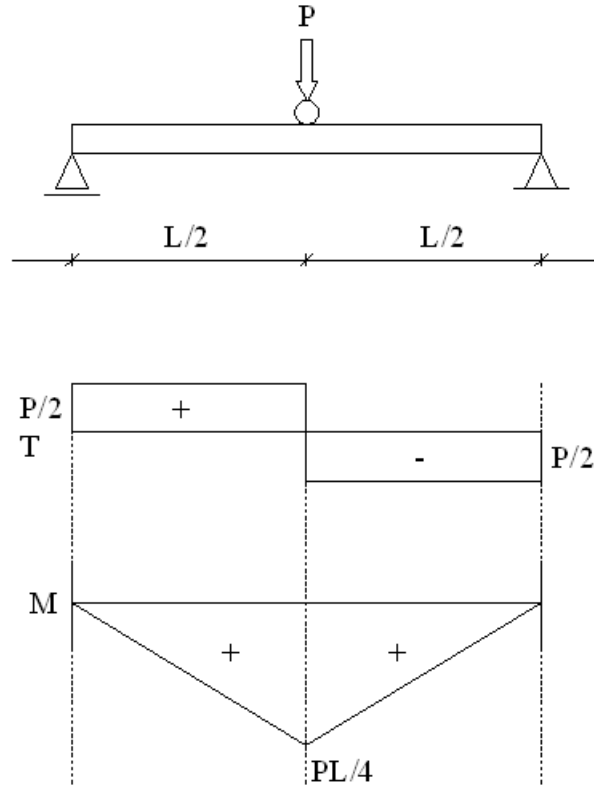
Orta noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ($\sigma_e = M_c/I$) formülüne göre eğilmede çekme dayanımı; (Bozkurt 2004)

$$\sigma_e = 3PL/2bd^2 \quad (2.9)$$

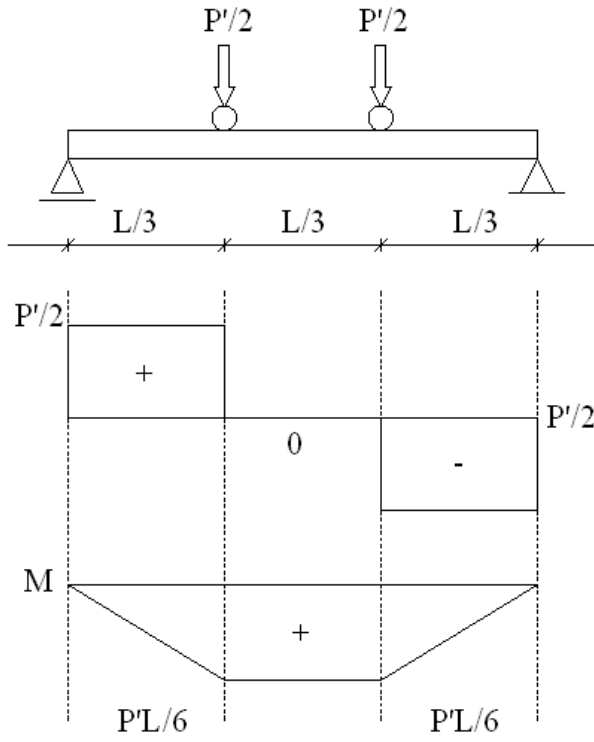
Mesnetlerden L/3 uzaklıktaki birim iki noktadan yüklenen dikdörtgen kesitli beton kiriş numunelerde ise eğilme dayanımının hesaplanması için;

$$\sigma = PL/ bd^2 \quad (2.10)$$

Eğilmeye maruz kalan beton kirişte yer alan kırılmaya, betonun tarafsız eksenin altında oluşan çekme gerilmeleri neden olmaktadır. Bunun nedeni ise, betonun oldukça düşük çekme dayanımına sahip olmasıdır. O bakımdan, beton kirişlerde elde edilen eğilme dayanımı değeri, aslında betonun çekme dayanımı için bir kriter olduğu görülmektedir (TS 3284 1979), (TS 3285 1979), (TS 3068 1978) , (ASTM C 31 1994).

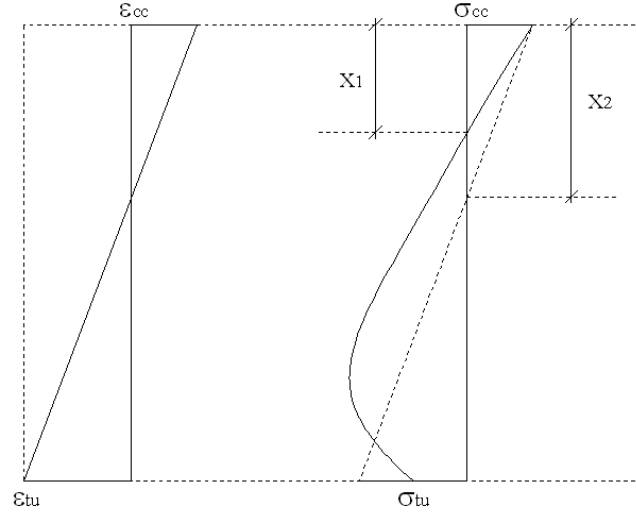


Şekil 2.14. Tek Noktadan Yüklemeli Eğilme Deneyi



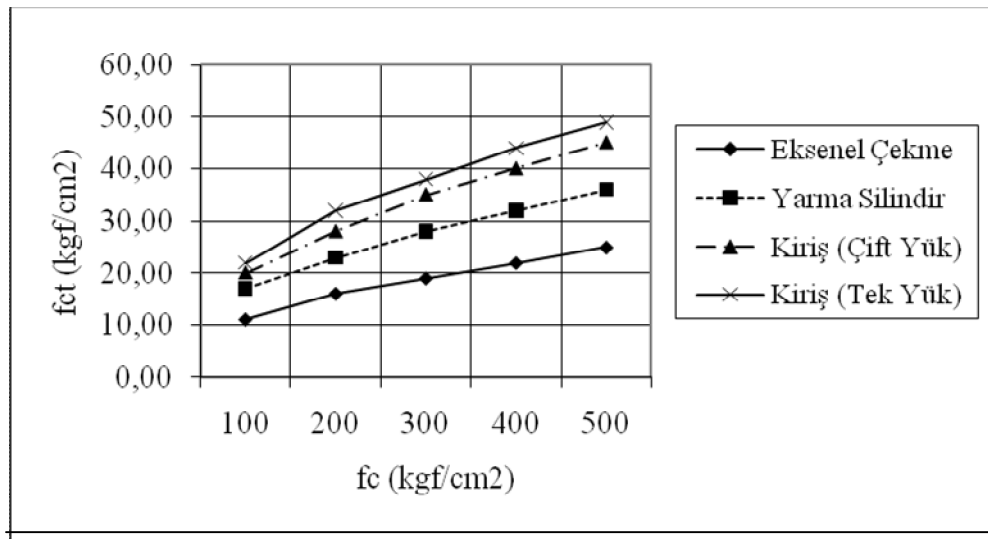
Şekil 2.15. İki Noktadan Yüklemeli Eğilme Deneyi

Kırılma durumuna, en dış lifin maksimum gerilmeye ulaşması ile değil, kırılma birim kışalmasına ulaşması ile gelinmektedir. Yukarıda anlatılan gerçek gerilme dağılımı Şekil 2.16' da sürekli çizgi ile gösterilmiştir (Ersoy 1985).



Şekil 2.16. Birim Uzama ve Gerilme Diyagramı

Çeşitli tür deneylerden elde edilen çekme dayanımlarının basınç dayanımına göre değişimi de Şekil 2.17'de gösterilmiştir.



Şekil 2.17. Çekme Dayanım Yöntemleri Arasındaki İlişki (Ersoy 1985)

Şekil 2.17’de çift nokta yük altındaki kirişin ortalama dayanımının, tek yük altındakinden daha düşük olduğu görülmektedir. Bunun nedeni, tek nokta yüklü kirişte maksimum momentin tek bir kesiti etkilemesi, çift nokta yüklü kirişte ise, belirli bir kiriş uzunluğunun maksimum momente maruz olmasıdır. Bu durumda tek nokta yüklü kirişte kırılmanın belirli bir kesitte meydana gelmesi gerekirken çift nokta yüklü kirişte kırılma, iki noktasal yük arasında herhangi bir kesitte olabilir (Ersoy 1985).

Doğrudan çekme deneyinde, numune kesit alanının tümü çekme gerilmesi etkisindedir. Numune içerisinde yüksek çekme gerilmesi oluştuğundan, kesit alanının tümü üzerinde aynı ölçüde etkili olmaktadır. Betondaki çatlak betonun kesit alanındaki yapısal olarak en zayıf noktadan başlamaktadır. Betonun tüm kesit alanı içerisinde yapısal olarak zayıf noktalarından bulunabilme olasılığı oldukça yüksektir. Öte yandan eğilme yükleri altındaki bir beton kirişin kesit alanı ele alınacak olur ise, çekme gerilmeleri kesit alanın tarafsız eksen altındaki bölgesinde etkili olmaktadır. Yüksek miktardaki çekme gerilmeleri ise, kirişin en alt kısımlarında yer almaktadır. Beton kirişin kesit alanında oluşacak çatlak, kiriş kesit alanının en alt bölgesinde bulunabilecek, yapısal olarak en zayıf noktada başlamaktadır. Daha üst bölgelerde yapısal zayıflıklar olsa dahi, bu bölgede etki yapan gerilme çok yüksek değildir. Çok yüksek değerlerdeki çekme gerilmesinin etkili olduğu bölge ise, doğrudan çekmeye maruz kalan kesit alanı gibi büyük bir alana sahip değildir. Böyle bir bölgede yapısal olarak zayıf noktaların bulunabilme olasılığı daha düşüktür. O nedenle, doğrudan çekme yüklerine maruz kalan betonlarda çatlak oluşturacak çekme gerilmesinin büyüklüğü, eğilme yüklerine maruz kalan betonlarda çatlak oluşturacak çekme gerilmesinin büyüklüğünden daha düşüktür.

Yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen beton çekme dayanımları da, doğrudan çekme yükleri altında elde edilen değerlerden daha yüksektir. Bunun nedeni şu şekilde açıklanmaktadır; Yarmada çekme deneyinde meydana gelen kırılma, beton kesitinin orta bölgesinde oluşan üniform dağılımlı çekme gerilmelerinden kaynaklanmaktadır. Çekme gerilmeleri numune çapının tüm yüksekliği boyunca etkili değildir. Burada da nispeten daha küçük bir bölgede yapısal zayıflıkların bulunma olasılığı daha küçüktür (TS 3129 1978), (ASTM C 31 1994).

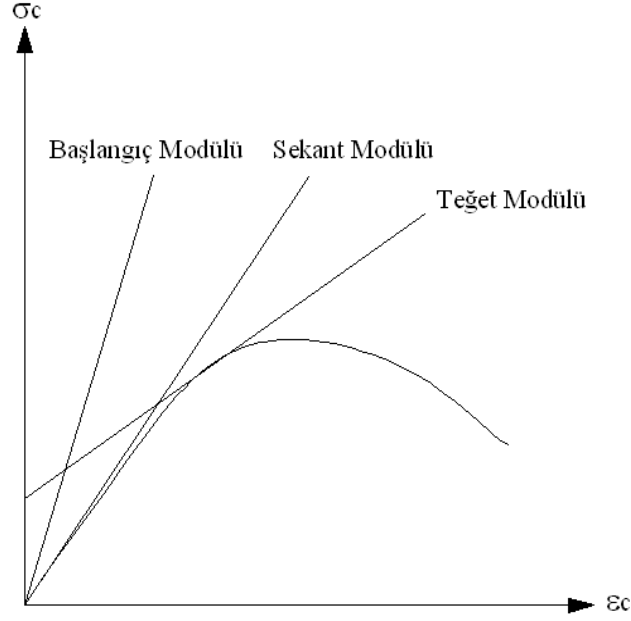
2.6 Betonun Elastisite Modülü

Beton için en çok kullanılan elastik sabit elastisite modülüdür. Elastisite modülü gerilmenin buna karşılık gelen deformasyona karşılık gelen oranı olarak tarif edilir (Popovics 1992). Betonarme ve öngermeli betonların tasarımı açısından bakıldığında, elastisite modülü betonun davranışını basınç dayanımı kadar etkileyebilir (Baalbaki ve diğ. 1992). Betonun elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki ilişki yaklaşık olarak bilinmekle birlikte, bu ilişkinin kesinliği hakkında tam bir fikir birliği yoktur. Çünkü betonun elastisite modülü hem agrega ve çimento hamurunun elastisite modüllerinden, hem de bu malzemelerin hacim konsantrasyonlarından etkilenir (Hirsch 1962).

Elastisite modülünün bilinmesinden faydalanarak deformasyonları ölçmek sureti ile gerilmeleri hesaplayabilir. Betonlarda elastisite modülü ile basınç dayanımları arasında bağıntılar olması doğaldır. Bu bağıntılar malzemeyi tahrip etmeden betonun yaklaşık olarak dayanımının bulunmasını sağlayabilir (Postacıoğlu 1981).

Başlangıç elastisite modülü σ - ϵ eğrisinin başlangıç noktasına çizilen teğetin eğimini $\tan\alpha$ değeri olarak tanımlanabilir. Bu bazı yayınlarda dinamik modül olarak da adlandırılmıştır. Beton çok düşük gerilmelere maruz ise, başlangıç modülü kullanılarak gerçekçi sonuçlar alınabilir.

Teğet modülü σ - ϵ eğrisine herhangi bir noktadan çizilen teğetin eğimidir. Pratikte bu teğet, yaklaşık olarak $0,4 f_c$ gerilmesi temel alınarak çizilir. Sekant modülü, orijinden, eğriye herhangi bir gerilmeye tekabül eden noktaya çizilen sekantın eğimi olarak tanımlanır. Betonun, emniyet gerilmelerine yakın gerilmelere maruz olduğu durumlarda bu modül iyi sonuç verir. Genelde sekant modülü $0,5 f_c$ gerilmesine göre hesaplanır.



Şekil 2.18. Beton İçin Farklı Elastisite Modülleri

Şekil 2.18’de görüldüğü üzere eğrinin eğimi (Elastisite Modülü) yükleme hızına göre değişmektedir. Bunun nedeni betonun zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzeme oluşudur. Yapılan deneyler, kalıcı yükler altında betondaki deformasyonun büyük ölçüde arttığını, dolayısı ile elastisite modülünün azaldığını göstermiştir. Zamana bağlı elastisite modülünün değeri, kalıcı yükün mertebesine ve zamana bağlıdır. Elastisite modülünün zamanla ilk değerinin yarısına veya üçte birine kadar azalması doğaldır.

Betonun basınç dayanımını ve σ - ϵ ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü etkiler. Bu nedenle beton gibi elastik ve doğrusal olmayan ve zamana bağlı deformasyon gösteren bir malzemenin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak tanımlamak olanaksızdır. Bugün, çeşitli ülkelerde yürürlükte olan yönetmeliklerde elastisite modülü, beton basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak ifade edilmektedir.

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI 318-83);

$$E_{cj} = w^{1,5} 0,14 \sqrt{f_{cj}} \quad (2.11)$$

Normal ağırlıktaki beton için ($w = 2270 \text{ kg/ m}^3$)

Avrupa Beton Komitesi (CEB-78);

$$E_{cj} = 44150 (f_{cj} + 80)^{1/3} \quad (2.12)$$

Türk Standartları Enstitüsü (TS 500);

$$E_{cj} = 10270 \sqrt{f_{cj}} + 140000 \quad (2.13)$$

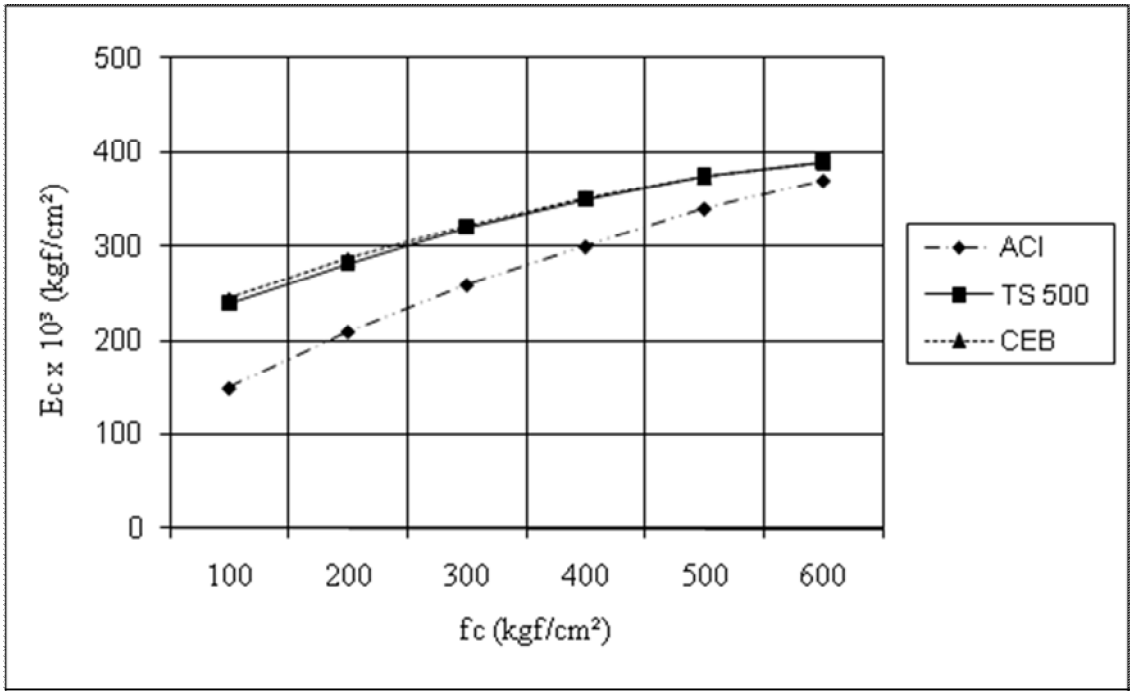
Burada;

w : Betonun ağırlığı (kg/ m³),

E_{cj}: j günlük betonun elastisite modülü (kgf/cm²),

f_{cj}: j günlük betonun silindir basınç dayanımı (kgf/cm²) olarak verilmektedir.

Genelde betonun elastisite modülü denince 28 günlük betonun ani yükleme altındaki elastisite modülü anlaşılır. E_{c28} Şekil 2.18’de verilen denklemlerden elde edilen elastisite modüllerinin, beton basınç dayanımına göre değişimi gösterilmiştir. Şekil 2.19’den görüleceği üzere CEB ve TS 500 denklemlerinden elde edilen sonuçlar arasındaki fark çok azdır. Bunun nedeni TS 500 denkleminin CEB önerilerinden yararlanılarak elde edilmiş olmasıdır. Buna karşılık ACI denkleminin elde edilen elastisite modülleri, CEB ve TS 500’e oranla daha küçük değerler vermektedir (Ersoy 1985).



Şekil 2.19. Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması (Ersoy 1985)

3. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmada betonun basınç, çekme dayanımı ile elastisite modülü arasında ilişkinin analiz edilmesi ve elde edilen bulguların irdelenmesi amaçlanmıştır. Bu amaçla beton deney numuneleri üretilmiştir. Çimento, agrega ve su ile oluşturulan beton deney numuneleri standart deney kaplarında 28 gün uygun kür şartlarında saklandıktan sonra basınç ve çekme deneylerine tabii tutularak, belirli yük aralıklarında birim boy değişimleri kompratör vasıtası ile ölçülerek tespit edilecek ve elastisite modülünün hesabı yapılacaktır.

3.1 Materyal

Deney numuneleri üzerinde yapılan beton basınç ve çekme deneylerinde kullanılan malzemelerin özellikleri hazırlanan çeşitli beton sınıflarına ait numunelerine uygulanan deneylerle açıklanmıştır. Deneylerde beton numunelerde katkı malzemesi kullanılmamıştır. Beton numunelerine 28 günlük basınç dayanımı deneyi ile eğilmede çekme deneyleri uygulanmıştır.

3.1.1 Beton numunesi deney kalıpları

Deney numunelerinin hazırlanmasından sonra beton basınç deneyi için 150x150x150 mm'lik standart küp kalıplar, eğilmede çekme dayanımı için 150x150x600 mm'lik standart çelik kalıplar kullanılmış, hazırlanan ve kalıplara yerleştirilen betonlar uygun şekilde sıkıştırılmıştır.

3.1.2 Agregalar

Beton üretiminde kullanılan; kum, kırmataş I, kırmataş II ve kırmataş tozu Çanakkale ili Ezine ilçesindeki ocaklardan temin edilmiştir. Deney numunelerinde kullanılan agregaların özellikleri, agrega numuneleri üzerinde yapılan deneylerle belirlenmiştir. Beton üretiminde kullanılan agregaların standartların öngördüğü referanslara göre değerlendirilmeleri Çizelge 3.1'de, granülometrik analizi TS 3530'a göre yapılmış ve Çizelge 3.2'de gösterilmiştir.

3.1.2.1 Kum

Beton üretiminde kullanılan kumun maksimum dane çapı 4 mm'dir. Kum üzerindeki deneyler TS 3526'ya ve TS 3529'a göre, özgül ağırlık ve birim ağırlık deneyleri üretici firma tarafından TSE laboratuvarına yaptırılmıştır. Deneylere ait sonuçlar (3.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8)'de gösterilmiştir.

3.1.2.2 Kırmataş I

Kullanılan kırmataşın maksimum dane çapı 12 mm'dir kuma uygulanan özgül ağırlık ve birim ağırlık deneyleri üretici firma tarafından TSE laboratuvarına yaptırılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Çizelge (3.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8)'de gösterilmiştir.

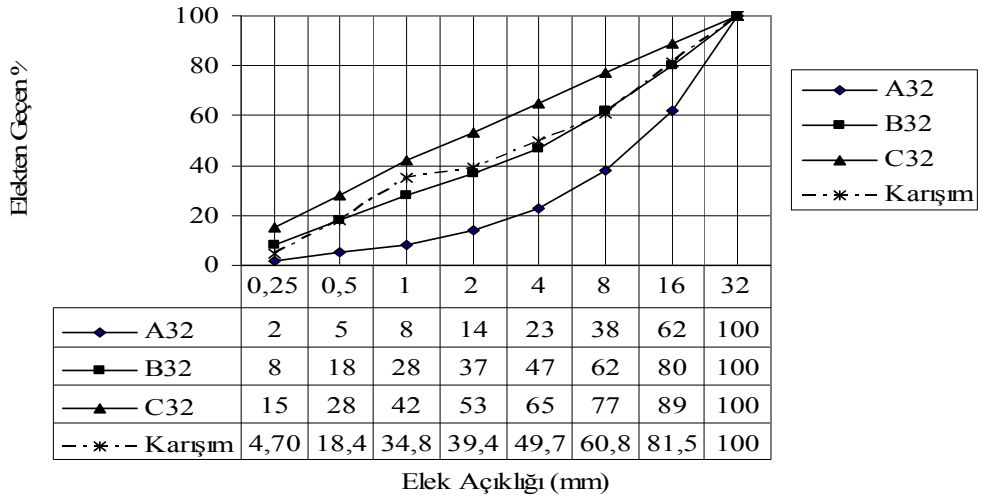
3.1.2.3 Kırmataş II

Kullanılan kırmataşın maksimum dane çapı 16 mm'dir. Aynı şekilde özgül ağırlık ve birim ağırlık deneyleri üretici firma tarafından TSE laboratuvarına yaptırılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Çizelge (3.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8)'de gösterilmiştir.

3.1.2.4 Kırmataş tozu

Kırmataş tozunun maksimum dane çapı 2 mm'dir. Kırmataş tozu içinde özgül ağırlık ve birim ağırlık deneyleri üretici firma tarafından TSE laboratuvarına yaptırılmıştır. Deneylere ait sonuçlar Çizelge (3.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8)'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.1. Karışımın Granülometri Dağılımının Referansa Göre Değerlendirilmesi



Çizelge 3.2. Agrega Karışımının Granülometrik Analizi

	Elekten Geçen Malzeme								İncelik Modülü
	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Elek Çapı	32	16	8	4	2	1	0,5	0,25	
Kum (%27)	100	100	100	99	98	94	45	5,9	1,58
Kırmataş I (%25)	100	100	63	22	3	2	1	1	5,08
Kırmataş II (%30)	100	69	1	0	0	0	0	0	6,3
Kırmataş tozu (%18)	100	100	100	100	67	50	33	16,1	2,34
Karışım	100	82	61	50	39	35	18	4,7	4,10

Çizelge 3.3. Kullanılan Agreganın Özellikleri

Agrega Cinsi	Özgül Ağırlık (g/cm ³)	Birim Ağırlık (g/cm ³)
Kum	2,64	1,41
Kırmataş I	2,74	1,48
Kırmataş II	2,72	1,40
Kırmataş tozu	2,67	1,38

Çizelge 3.4. İri Agregaların Şekli (Yassılık İndeksi)
(Üretici Firmanın TSE Laboratuar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

Agrega Sınıfı	Bulunan	
	$F1 = (M2/M1) * 100$ (%)	Yassılık İndeks Sınıfı
Kumtaşı-1	9,95	F1 ₁₅
Kumtaşı-2	9,43	F1 ₁₅

M1 = Her tane büyüklüğü fraksiyonundaki tanelerin toplam kütlesi (g)

M2= Her tane büyüklüğü fraksiyonunun çubuklar arası açıklığı D/2 olan çubuklu eleklerden geçen toplam kütlesi (g)'dir.

Çizelge 3.5. Çok İnce Malzemenin Muhtevası
(Üretici Firmanın TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

Agrega Sınıfı	Bulunan	
	0,063 mm göz açıklıklı elekten geçen kütlece yüzde	Kategori
Kumtozu	11,51	f ₁₆
Kumtaşı-1	0,37	f _{1,5}
Kumtaşı-2	0,29	f _{1,5}

Çizelge 3.6. Kullanılan Malzemeye Ait Fiziksel Özellikler
(Üretici Firmanın TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

İri Agregaların Parçalanma Direnci (EN1097-2)	Bulunan Değer	
	Los Angeles Katsayısı	Los Angeles Kategorisi
	18,7	LA20
İri Agregaların Aşınmaya Karşı Direnci (EN1097-1)	Bulunan	
	Mikro-Deval Katsayısı	Mikro-Deval Kategorisi
	M _{DE}	M _{DE}
Darbe Direnç Değeri (EN1097-2)	Bulunan	
	Darbe Direnç Değeri (%)	Darbe Direnç Kategorisi
	---	SZ-
Yüzey Aşınmasına Karşı Direnç (EN1097-8)	Bulunan	
	Agrega Aşınma Değeri	Kategori
	---	AAV-

Çizelge 3.7. Kullanılan Agreganın Kimyasal Özellikleri
(Üretici Firmanın TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

Klorürler	Agrega Sınıfı	Bulunan Değer
		Kumtozu
	Kumtaşı-1	%0,0014
	Kumtaşı-2	%0,0014

Çizelge 3.8. Kullanılan Agreganın Kimyasal Özellikleri
(Üretici Firmanın TSE Laboratuar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

Asitte Çözülebilir Sülfat	Bulunan Değer	
	Kütlece Yüzde	Asitte Çözünebilir Sülfat Muhtevası Kategorisi
	0,0017%	AS _{0,2}

3.1.3 Çimento

Basınç ve çekme deneyi numunelerinin hazırlanmasında Nuh çimento fabrikasının ürettiği PÇ 42,5 dökme çimentosu kullanılmıştır. Üretici firmanın kalite kontrol laboratuvarlarında yapılan deney sonuçlarına göre çimentonun fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 3.9. ve 3.10' da verilmiştir.

Çizelge 3.9. Kullanılan Çimentonun Fiziksel Özellikleri
(Üretici Firmanın TSE Laboratuar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

	Bulunan değer	Standart
Priz Başlangıcı	162 (dk)	min 60
Priz Sonu	195 (dk)	–
Özgül Ağırlık	3,13 (g/cm ³)	–
Hacim Genleşmesi	1 (cm)	max 10
Özgül Yüzey	3490 (cm ² /g)	–
Litre Ağırlığı	1005 (g/l)	–
2 Günlük Dayanım	28 (MPa)	min 20
28 Günlük Dayanım	60 (MPa)	min/max42,5-62,5

Çizelge 3.10. Kullanılan Çimentonun Kimyasal Özellikleri
(Üretici Firmanın TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığına İncelettiği Numune Sonuçları)

	Bulunan değer (%)	Standart (%)
SO ₃	2,59	maks 4
MgO	1,11	–
Kızdırma Kaybı	2,3	maks 5
Çözünmeyen Kalıntı	0,66	maks 5
Cl-	0,01 >	maks 1
Toplam Alkali Na ₂ O+0,628K ₂ O	0,64	–
Serbest Kireç		–

3.1.4 Karışım suyu

Beton deney numunelerinin üretildiği Çanakkale ilinin içilebilir nitelikte şehir şebekesi suyu kullanılmıştır.

3.2 Yöntem

Agregalara ait kimyasal ve fiziksel özellikleri ile kullanılan çimentonun fiziksel ve kimyasal özelliklerinin tespiti amacı ile yapılan deneyler üretici firmalar tarafından TSE Laboratuvar Dairesi Başkanlığı laboratuvarına yaptırılmıştır.

Granülometrisi sabit tutulan basınç ve çekme deneyi için beton numuneleri hazırlanarak, eğilmede çekme deneyi ve beton basınç deneylerine tabii tutulacaktır. Bu deneyler esnasında komprator aracılığı ile birim boy değişimleri tespit edilmesi sureti ile elastisite modülleri, basınç ve çekme deneylerinden elde edilen sonuçlara göre hesaplanmıştır.

3.2.1 Beton numunelerinin hazırlanması

Deney numunesi olarak hazırlanan C 14 ve C 35 beton sınıflarına ait numunelerindeki agregaların türü ve granülometrisi ile karışımın granülometrisi sabit alınmıştır. Beton katkı malzemeleri kullanılmamıştır. C 14, C 16, C 18, C 20, C 25, C 30 ve C 35 olmak üzere 7 beton sınıfına ait; 3 grup ve her gruba ait; 4 adet numune, 1'er adet şahit numune olmak üzere numune serileri oluşturulmuştur. Düşey eksenli cebri karıştırıcılı 50 dm³ Eirich marka betonyerin içerisine sırası ile çimento ve agrega, daha sonra karma suyu ilave edilerek beton numuneleri hazırlanmıştır.

Beton numunelerinin karışım hesabı için öncelikle granülometri eğrisi dikkate alınarak karışım oranı ve incelik modülü hesaplandı. İncelik modülü formülünden yola çıkılarak üretilecek beton numuneleri için karışım suyu tahmini yapıldı. Graf formülü ile çimento miktarı saptandı. Daha sonra birim hacim denklemi eşitliğinden faydalanılarak agrega miktarı belirlendi. Ayrıca bu hesaplamalar TS 802'ye göre de değerlendirildi.

Beton için belirlenen teorik değerlere göre beton numuneleri hazırlandı. Üretilen beton numunelerinin gerçek bileşimlerini bulmak için, slump test çökme konisi deneyi ve gerçek birim hacim ağırlık tayininden oluşan taze beton deneyleri yapıldı. Her 10 mm çökme için su miktarı 2 kg/m^3 arttırıldı veya azaltıldı.

Birim ağırlık deneyi için $200 \times 200 \times 200$ mm boyutlarındaki kalıba üretilen beton doldurularak vibrasyon ile sıkıştırılmış, müteakiben tartılarak hazırlanan her bir sınıf betona ait gerçek birim ağırlık bulunmuştur.

Tüm beton sınıflarına ait 3 grup ve her gruba ait üçer adet $150 \times 150 \times 150$ mm boyutlarındaki küp numunelerinin basınç dayanım deneyleri, tüm beton sınıflarına ait 3 grup ve her gruba ait üçer adet $150 \times 150 \times 600$ mm boyutlarındaki prizmatik numuneler eğilmede çekme deneyleri için üretilmiştir. Hazırlanan numuneler kalıplarında dökümden bir gün sonra çıkarılarak 20 ± 2 °C deki kür havuzunda 28 gün süre ile küre tabi tutulmuştur.

3.2.1.1 Beton basınç deneyi

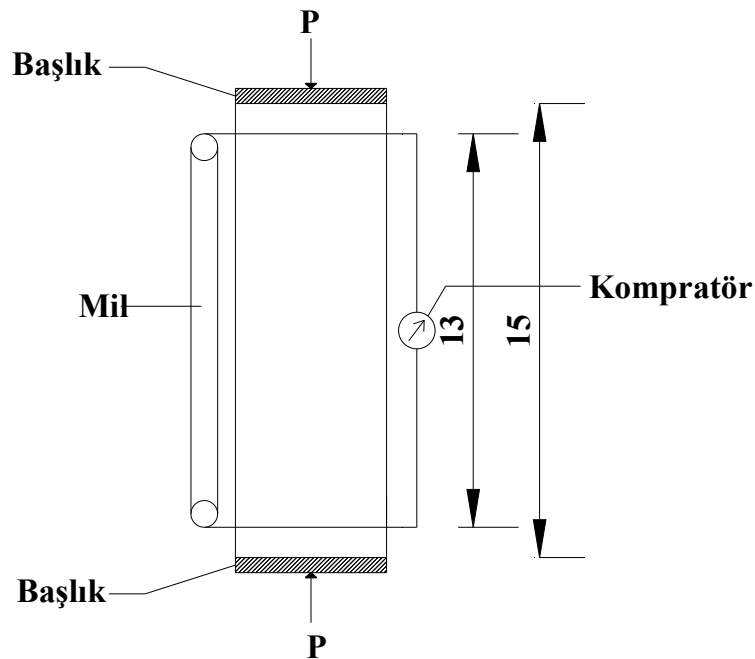
Beton basınç deneyi için hazırlanan C 14 - C 35 sınıfı serisi arasındaki betonlara ait üçer grup olmak üzere her sınıf beton için üçer adet; $150 \times 150 \times 150$ mm ebatlarındaki küp numuneler kür havuzundan çıkarılıp bir gün kurumasından sonra tartılmıştır.

Beton sınıflarına ait numuneler, Amsler marka basınç presinde sabit hızda basınç testine tabii tutulmuş olup, numunelerin şekil değiştirmelerini ölçmek amacı ile betonun ekseninde meydana gelen kısalmanın iki katını veren özel bir deformasyon çerçevesi ve $1/1000$ mm hassasiyetine sahip sahip kompratör üretilen beton numunelerine takılmıştır. Şekil değiştirmeler her 1 ton ara ile okunmuş ve bu değerlere göre σ - ϵ eğrisi oluşturulmuştur.

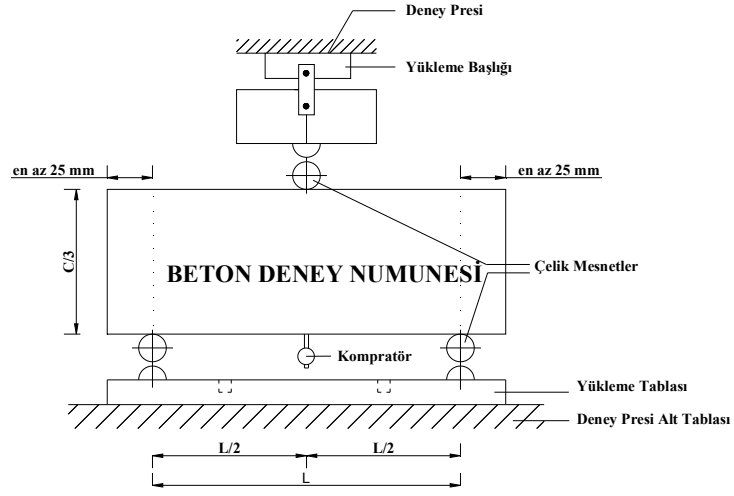
3.2.1.2 Betonun eğilmede çekme deneyi

Beton çekme deneyi için hazırlanan C 14 - C 35 sınıfı serisi arasındaki betonlara ait 3 grup olmak üzere her sınıf için 3 adet 150x150x600 mm ebatlarındaki kiriş numunelerinin üzerinde tek noktadan yüklemeli eğilmede çekme deneyi uygulanmıştır. Eğilmede çekme deneyinin yapılmasında Amsler marka basınç dayanımı deneyinde kullanılan pres kullanılmış ve kırılma yüküne karşılık gelen sehim miktarı 1/1000 mm hassasiyetine sahip kompratör vasıtası ile okunmuştur.

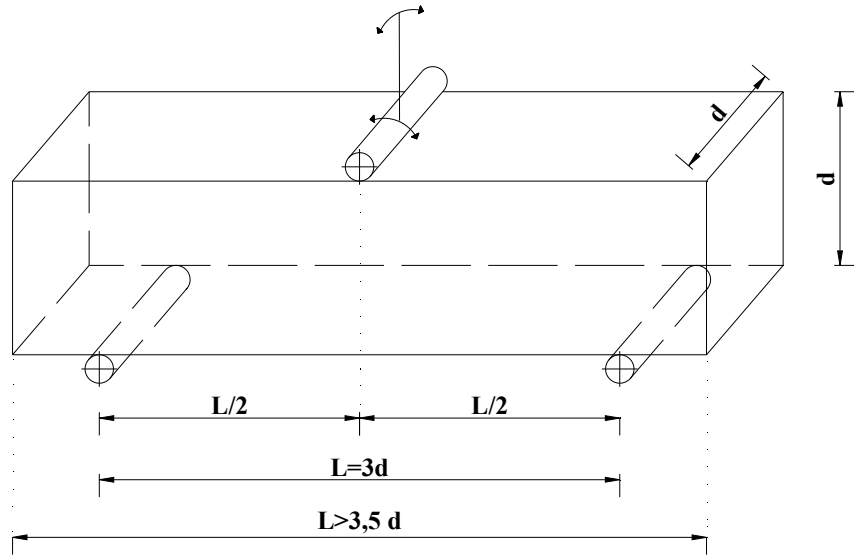
Yükleme başlığı ve tablası; üzerinde bilyalarla yataklandırılmış çelik yatak silindirleri bulunan başlık ve tabladır. Alt ve üst yükleme başlıklarına yerleştirilen iki mesnet silindiri makine tarafından yükün eşit şekilde yayılmasını sağlayan mesnete sahiptir. Silindirler çelik ve çapları 40 mm'dir. Silindir boyu numune genişliğinden 10 mm daha fazladır. Üstteki yüklem silindirinin ikisi ve alttaki mesnet silindirinin birisi hareketli olup, kendi etrafında dönebilmekte ve kirişin yüzeyine dik olarak hareket etmektedir. Silindirler arası mesafe kiriş numune genişliğinin üç katıdır. Kiriş numunesi tablaya yüklem başlığı ve yatak silindirlerinin numuneye ana doğrultuları boyunca temas edecek ve dik açılı olacak şekilde yerleştirilmiştir. Yüklem esnasında yüklem hızı; 0,04 N/mm²'dir.



Şekil 3.1. Basınç Deneyi Uygulaması



Şekil 3.2. Çekme Deneyi Uygulaması



Şekil 3.3. Çekme Deneyi Düzenegi

4. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Her beton sınıfı için üretilen numuneler üzerinde yapılan deneylerle elde birim ağırlık ve kompasiteler ile beton bileşimine giren malzeme miktarları Çizelge 4.1’de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Beton Bileşimine Giren Malzeme Miktarları ile Birim Ağırlık ve Kompasite Değerleri

Beton Sınıfı	Çimento (kg/m ³)	Su (kg/m ³)	Kum (kg/m ³)	Kırmataş-1 (kg/m ³)	Kırmataş-2 (kg/m ³)	Kırmataş Tozu (kg/m ³)	Birim Ağırlık (kg/m ³)	Kompasite (m ³ /m ³)
C 14	317,67	218	477,97	459,27	547,12	318,62	2.338,65	0,77
C 16	325	205	488,27	467,51	556,90	335,38	2.368,06	0,785
C 18	330	189	524,63	502,32	598,37	360,35	2.447,66	0,819
C 20	332	183	506,00	484,58	577,23	347,62	2.450,00	0,820
C 25	340	175	504,63	477,75	569,10	342,72	2.461,10	0,822
C 30	350	160	511,79	490,00	583,73	351,53	2.466,40	0,826
C 35	380	165	498,96	477,75	569,10	342,72	2.475,50	0,830

4.1 Beton Numunelerine Uygulanan Deneylere Ait Sonuçlar

4.1.1 Beton basınç deneyleri sonuçları

Üretilen beton sınıflarına ait deney numuneleri kür havuzunda 28 gün saklandıktan sonra çıkarılarak TS 3114’e göre basınç deneyine tabii tutulmuştur. Ayrıca bu deneyler esnasında elastisite modülleri de tespit edilmiştir. Elastisite modülleri 1 ton yük ara ile deformasyonları ölçmek sureti ile σ - ϵ diyagramlarından istifade edilerek hesaplanmıştır.

Basınç dayanımı deneyleri TS 3114’e göre yapılmış ve TS 500’de önerilen nitelik denetimi kriterlerine göre hesaplamalar yapılmıştır.

Çizelge 4.2. Beton Deneş Numunesi Sonuçları

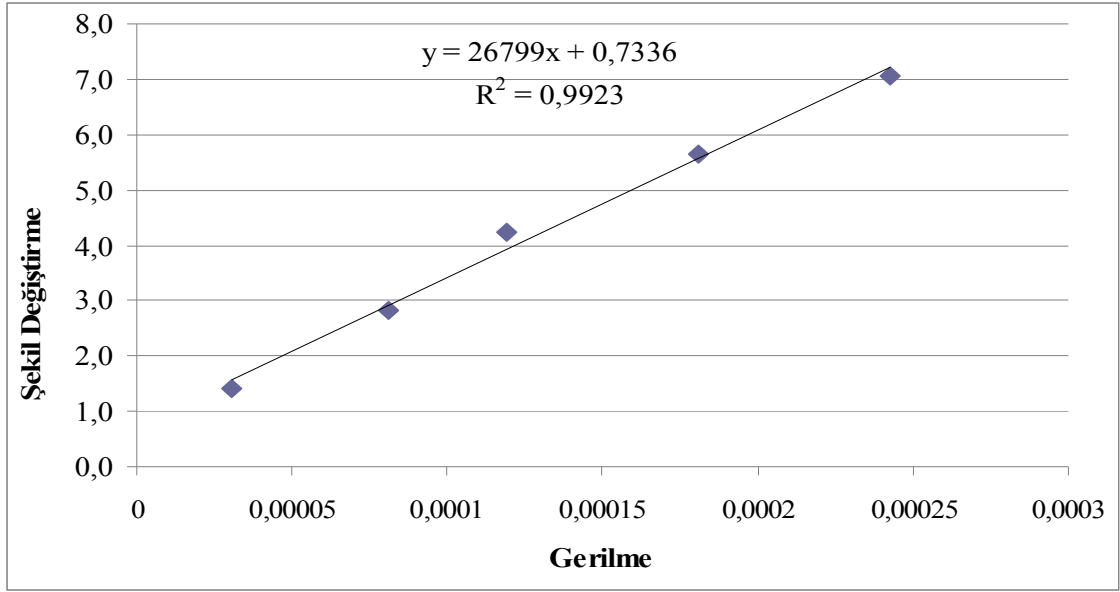
Beton Sınıfı	Numune No	Deneşsel Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Basınç Dayanımı (N/mm ²)	TS 500 (N/mm ²)
C 14	1	19,36	20,13	18,00
	2	20,45		
	3	20,60		
C16	1	21,68	21,39	20,00
	2	21,33		
	3	21,16		
C 18	1	23,28	23,00	22,00
	2	23,82		
	3	21,90		
C 20	1	26,75	26,08	25,00
	2	25,40		
	3	26,10		
C 25	1	29,75	35,20	30,00
	2	39,40		
	3	36,45		
C 30	1	38,25	43,16	37,00
	2	41,78		
	3	49,47		
C 35	1	48,30	49,50	45,00
	2	49,60		
	3	50,60		

Çizelge 4.3. Deneş Numunelerine Ait Basınç Dayanımı Değerleri

Beton Sınıfı	Deneşlerle Elde Edilen Beton Basınç Dayanımı (N/mm ²)	TS 500' de Öngörülen Beton Basınç Dayanımı (N/mm ²)
C 14	20,13	18,00
C 16	21,39	20,00
C 18	23,00	22,00
C 20	26,08	25,00
C 25	35,20	30,00
C 30	43,16	37,00
C 35	49,50	45,00

Çizelge 4.4. C 14 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

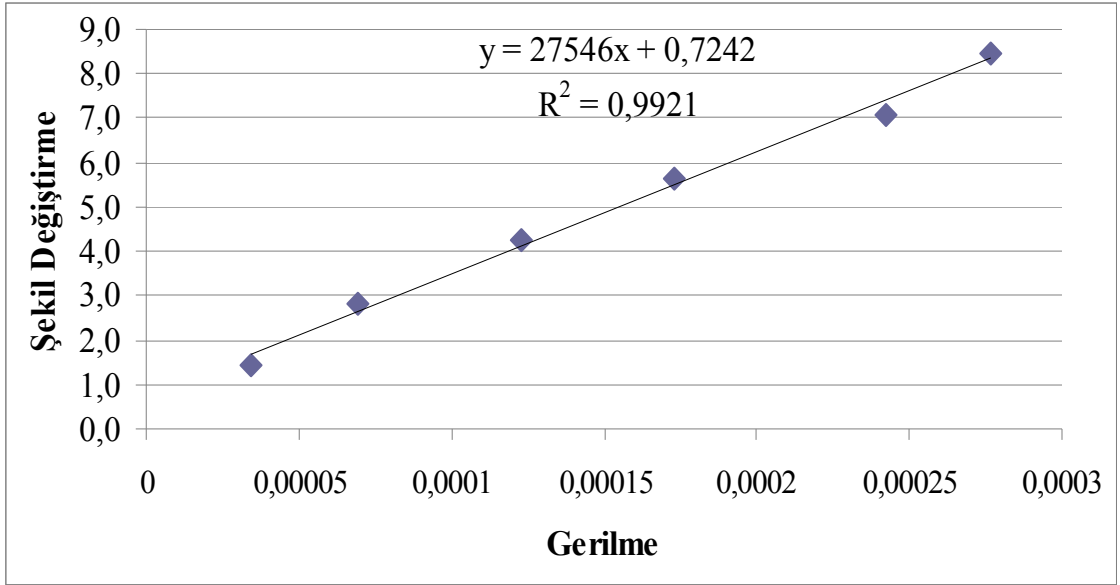
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 14	1000	9,803921569	8	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	21	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	31	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	47	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	63	0,000188537	7,1



Şekil 4.1. C 14 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.5. C 16 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

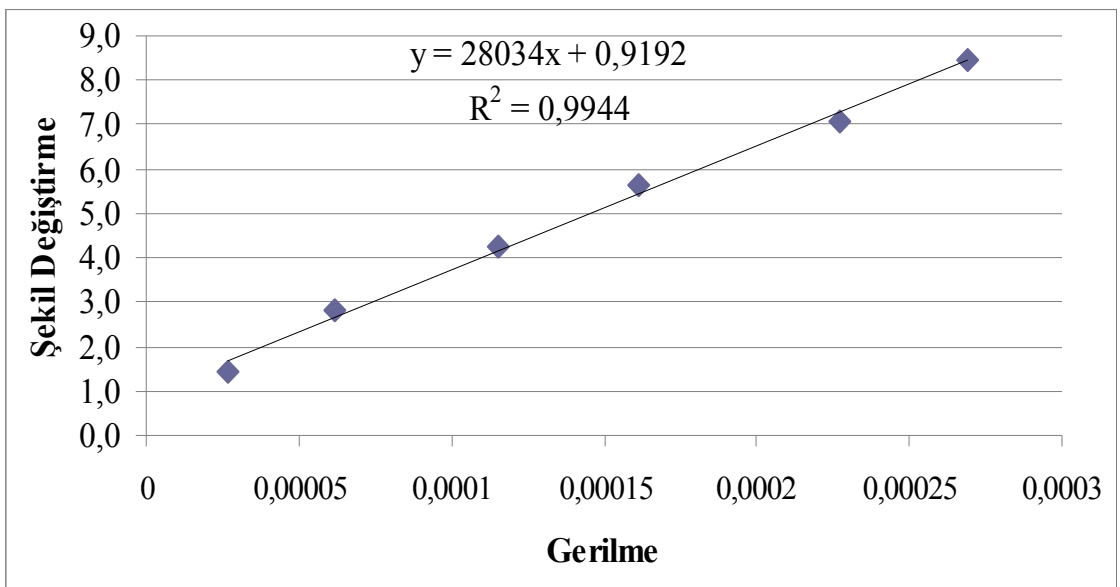
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 16	1000	9,803921569	9	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	18	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	32	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	45	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	63	0,000188537	7,1
	6000	58,82352941	72	0,000226244	8,5



Şekil 4.2. C 16 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.6. C 18 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

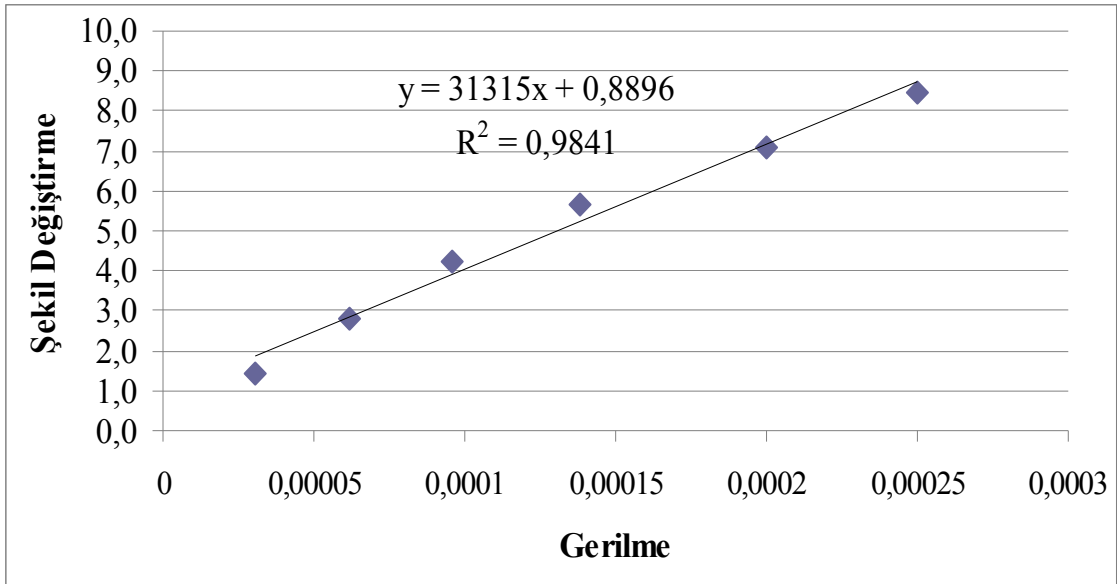
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 18	1000	9,803921569	7	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	16	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	30	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	42	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	59	0,000188537	7,1
	6000	58,82352941	70	0,000226244	8,5



Şekil 4.3. C 18 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.7. C 20 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

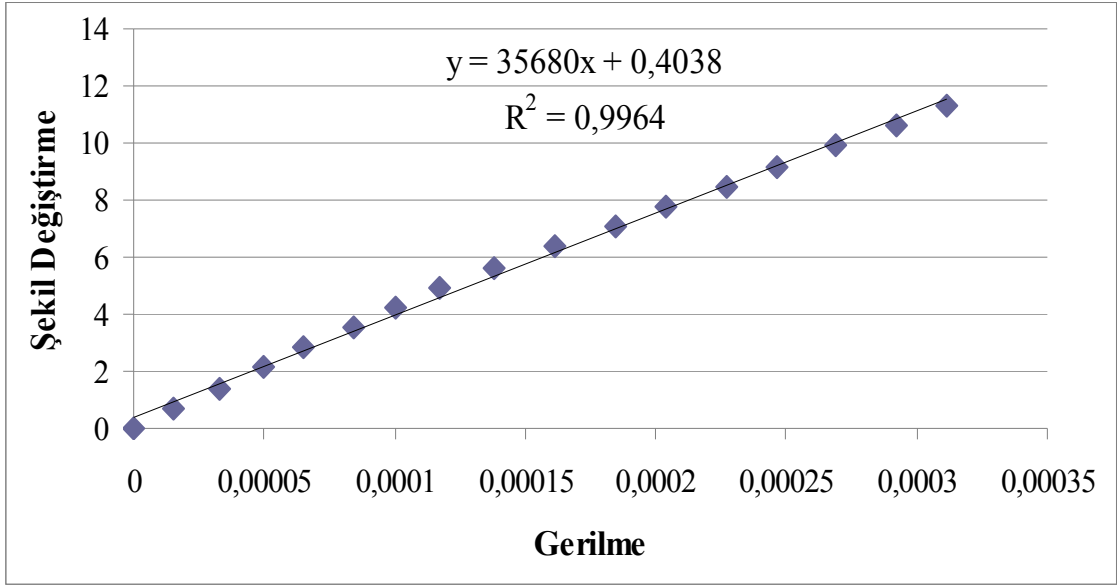
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 20	1000	9,803921569	8	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	16	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	25	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	36	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	52	0,000188537	7,1
	6000	58,82352941	65	0,000226244	8,5



Şekil 4.4. C 20 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.8. C 25 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

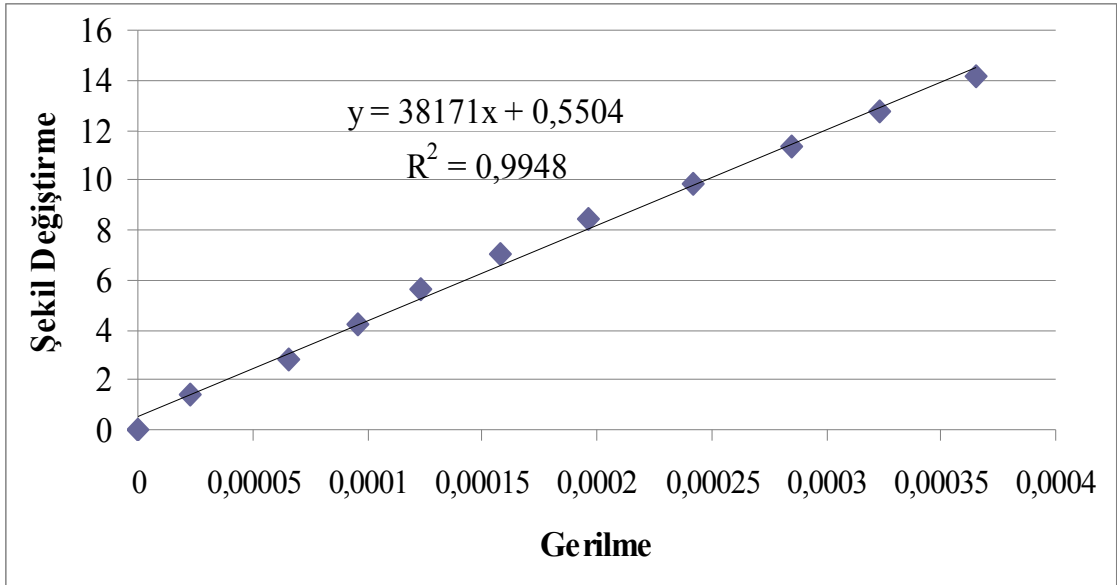
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 25	500	4,901960784	4	1,88537E-05	0,7
	1000	9,803921569	8,5	3,77074E-05	1,4
	1500	14,70588235	13	5,65611E-05	2,1
	2000	19,60784314	17	7,54148E-05	2,8
	2500	24,50980392	22	9,42685E-05	3,5
	3000	29,41176471	26	0,000113122	4,2
	3500	34,31372549	30,5	0,000131976	4,9
	4000	39,21568627	36	0,00015083	5,7
	4500	44,11764706	42	0,000169683	6,4
	5000	49,01960784	48	0,000188537	7,1
	5500	53,92156863	53	0,000207391	7,8
	6000	58,82352941	59	0,000226244	8,5
	6500	63,7254902	64	0,000245098	9,2
	7000	68,62745098	70	0,000263952	9,9
	7500	73,52941176	76	0,000282805	10,6
	8000	78,43137255	81	0,000301659	11,3



Şekil 4.5. C 25 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.9. C 30 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

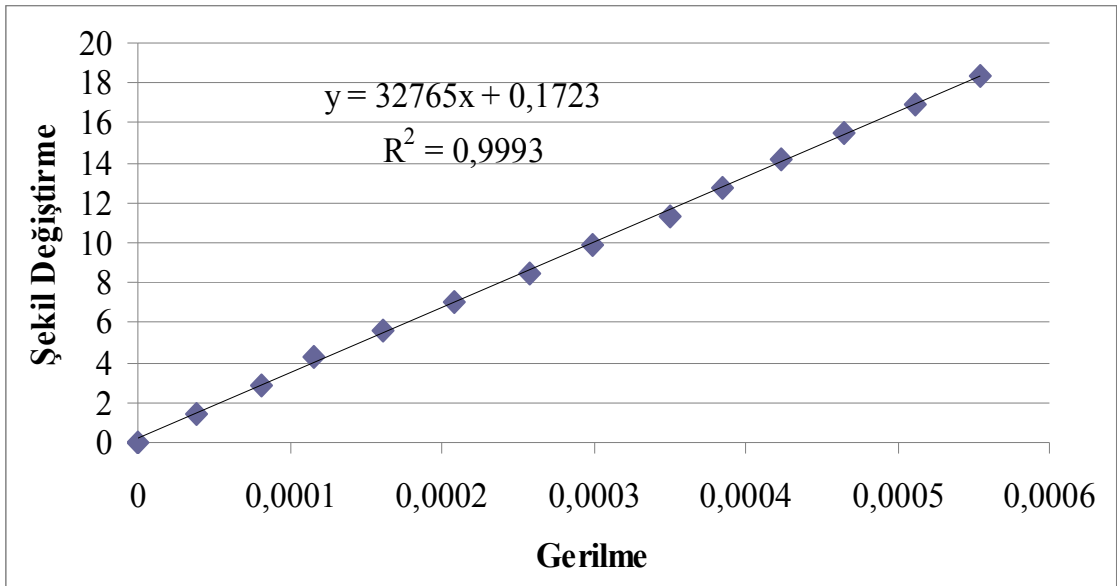
Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 30	1000	9,803921569	6	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	17	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	25	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	32	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	41	0,000188537	7,1
	6000	58,82352941	51	0,000226244	8,5
	7000	68,62745098	63	0,000263952	9,9
	8000	78,43137255	74	0,000301659	11,3
	9000	88,23529412	84	0,000339367	12,7
	10000	98,03921569	95	0,000377074	14,1



Şekil 4.6. C 30 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.10. C 35 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi Hesabı

Beton Sınıfı	Yük (kgf)	Yükü P (kN)	2L	Şekil Değişirme (mm)	Gerilme (N/mm ²)
C 35	1000	9,803921569	10	3,77074E-05	1,4
	2000	19,60784314	21	7,54148E-05	2,8
	3000	29,41176471	30	0,000113122	4,2
	4000	39,21568627	42	0,00015083	5,7
	5000	49,01960784	54	0,000188537	7,1
	6000	58,82352941	67	0,000226244	8,5
	7000	68,62745098	78	0,000263952	9,9
	8000	78,43137255	91	0,000301659	11,3
	9000	88,23529412	100	0,000339367	12,7
	10000	98,03921569	110	0,000377074	14,1
	11000	107,8431373	121	0,000414781	15,5
	12000	117,6470588	133	0,000452489	17,0
	13000	127,4509804	144	0,000490196	18,4



Şekil 4.7. C 35 Beton Numunesi Gerilme Deformasyon Eğrisi

Çizelge 4.11. Deneyle Tespit Edilen Elastisite Modüllerinin TS 500 ile Karşılaştırılması

Beton Sınıfı	Deneylerle Elde Edilen Elastisite Modülü (MPa)	TS 500' e Göre Elastisite Modülü (MPa)
C 14	26799	
C 16	27546	27000
C 18	28034	27500
C 20	31315	28000
C 25	35680	30000
C 30	37726	32000
C 35	38171	33000

4.2 Beton Çekme Deneyi Sonuçları

Üretilen beton sınıflarına ait numuneler; 3'er grup olmak üzere 150x150x600 mm ebatlarındaki her grup için 3 adet beton çekme deneyi numuneleri kür havuzunda 28 gün saklandıktan sonra eğilme deneyine tabii tutuldu. Eğilmede çekme deneyi esasında kırılma anındaki sehim tespit edildi. Aşağıdaki formülde değerler yerine konarak elastisite modülü tespit edildi.

Betonun çekme dayanımı, eğilme ve silindir yarma deneylerinden elde edilebilir. Eksenel çekme dayanımını f_{ctk} , silindir yarma deneyinden elde edilen çekme dayanımını 1,50 ile eğilme deneyinden elde edilen çekme dayanımı da 2,0 ile bölerek yaklaşık biçimde hesaplanabilir (TS 500 2000). Deneyler sonucunda elde edilen değerler Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.

$$E=PL^3/ 48Iy$$

Bu formülde;

(4.1)

- E: Elastisite Modülü (N/mm²)
L: Mesnet Açıklığı (mm)
P: Yük (N)
y: Sehim Miktarı (mm)
I: Atalet Momenti (mm⁴)

olarak verilmiştir.

Çizelge 4.12. Numunelerin Çekme Dayanımı Deney Sonuçları

Beton Sınıfı	Numune No	Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Ortalama Çekme Dayanımı (N/mm ²)	TS 500 (N/mm ²)
C 14	1	2,61	2,59	2,40
	2	2,57		
	3	2,59		
C 16	1	3,60	3,41	2,80
	2	3,35		
	3	3,28		
C 18	1	3,59	3,67	3,00
	2	3,75		
	3	3,67		
C 20	1	3,25	3,78	3,20
	2	3,90		
	3	4,19		
C 25	1	3,85	4,14	3,60
	2	4,05		
	3	4,52		
C 30	1	4,35	4,85	3,80
	2	5,36		
	3	4,84		
C 35	1	6,28	5,59	4,20
	2	5,43		
	3	5,06		

Elde edilen çekme deneyi deney sonuçları Çizelge 4.12’de TS 500 sınır değerleri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.13. Eğilmede Çekme Deneyi Sonuçlarının Toplu Olarak TS 500 ile Karşılaştırılması

Beton Sınıfı	TS 500’ e Göre Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Deneyle Elde Edilen Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)
C 14	2,4	2,59
C 16	2,8	3,41
C 18	3,0	3,67
C 20	3,2	3,78
C 25	3,6	4,14
C 30	3,8	4,85
C 35	4,2	5,59

Çizelge 4.14. Eğilmede Çekme Deneyi Sehim ve Kırılma Yükleri

Beton Sınıfı	Numune No	Sehim	Kırılma Yüğü (N)	Ortalama Sehim (mm)	Ortalama Yüğü (N)
C 14	1	0,03817	134,50	0,03527	129,50
	2	0,03218	126,50		
	3	0,03576	127,50		
C 16	1	0,04528	176,80	0,04364	170,50
	2	0,04374	170,50		
	3	0,0419	164,20		
C 18	1	0,04661	187,30	0,04581	183,50
	2	0,04768	190,50		
	3	0,04314	172,70		
C 20	1	0,04827	201,40	0,04576	189,00
	2	0,04683	189,50		
	3	0,04218	176,10		
C 25	1	0,05249	207,50	0,05136	207,00
	2	0,05140	207,00		
	3	0,05019	206,50		
C 30	1	0,06176	245,90	0,06015	242,50
	2	0,05938	238,60		
	3	0,05931	243,00		
C 35	1	0,07145	292,80	0,06849	279,50
	2	0,06890	279,30		
	3	0,06513	266,40		

Tek noktadan yüklemeli eğilmede çekme deney numunelerinin elastisite modüllerinin (4.1) formülü ile hesaplanabilmesi için, kırılma anındaki yük değeri ve kompratör yardımı ile bulunan sehim miktarı tespit edilmiş olup hesaplama neticesinde elde edilen sonuçlar, Çizelge 4.15'te gösterilmiştir.

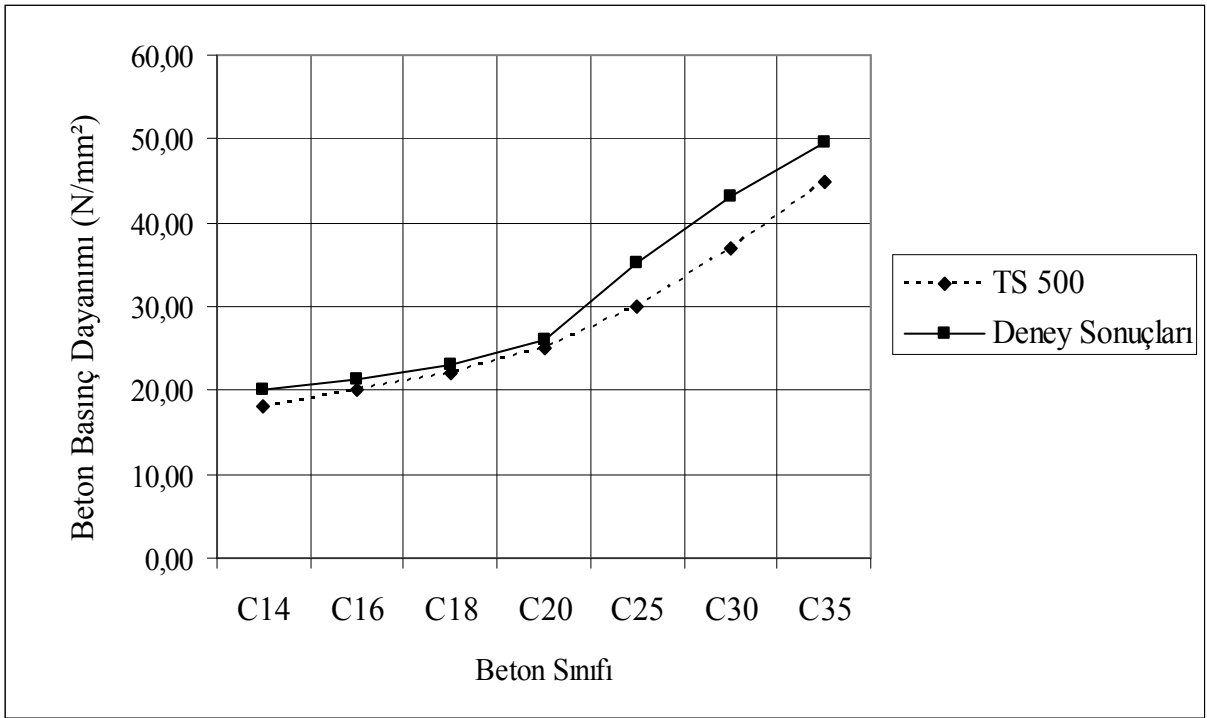
Çizelge 4.15. Eğilmede Çekme Deneyi ile Elastisite Modülü Hesaplama Çizelgesi

Beton Sınıfı	Kırılma Yüğü P (N)	L (mm)	L ³ (mm ³)	Katsayı 48	I (mm ⁴)	Sehim Miktarı y (mm)	E=PL ³ /48Iy (N/mm ²)
C 14	129,5	450	91125000	48	281250	0,03527	24783
C 16	170,5	450	91125000	48	281250	0,04364	26372
C 18	183,5	450	9112.000	48	281250	0,04581	27038
C 20	189,0	450	91125000	48	281250	0,04576	27879
C 25	207,0	450	91125000	48	281250	0,05136	27205
C 30	242,5	450	91125000	48	281250	0,06015	27213
C 35	279,5	450	91125000	48	281250	0,06849	27543

Çizelge 4.16. Tüm Sonuçların Genel Olarak Birlikte Değerlendirilmesi

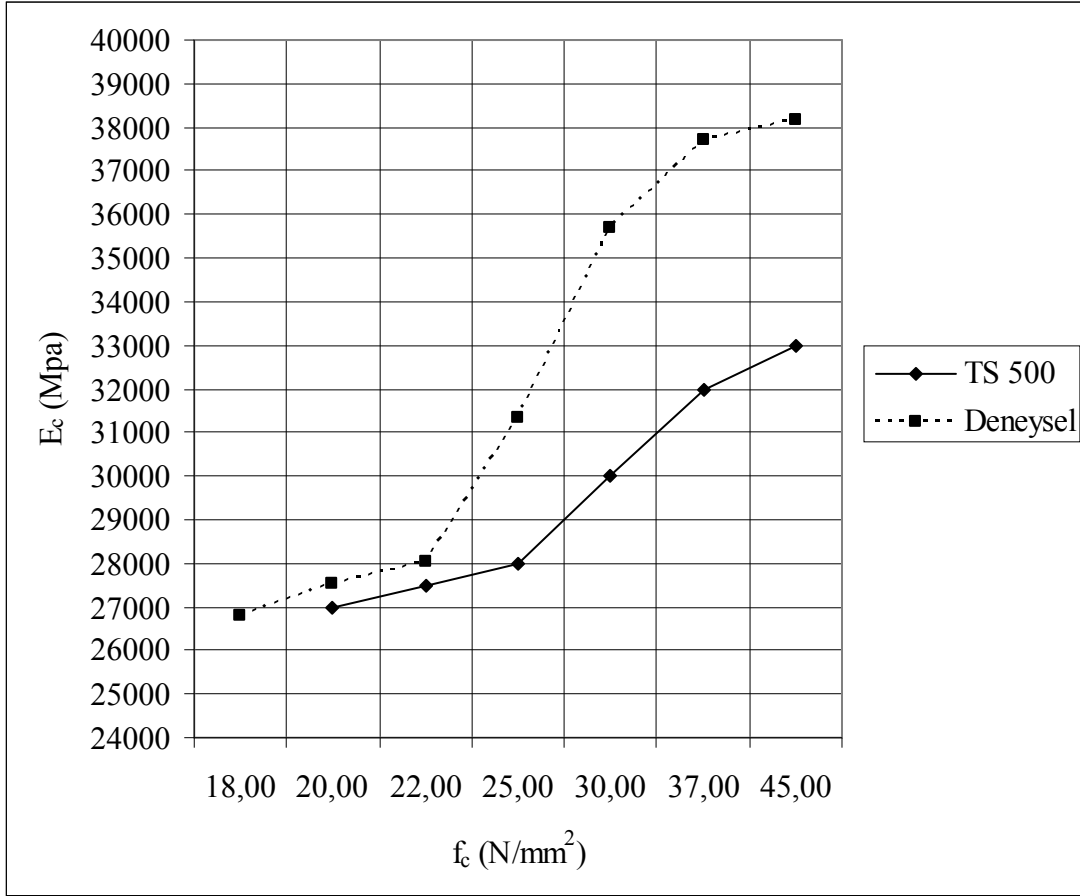
Beton Sınıfı	TS 500'de Öngörülen Beton Basınç Dayanımı (N/mm ²)	Deneylerle Elde Edilen Beton Basınç Dayanımı (N/mm ²)	TS 500' e Göre Çekme Dayanımı (N/mm ²)	Deneylerle Elde Edilen Eğilmede Çekme Dayanımı (N/mm ²)	TS 500' e Göre Elastisite Modülü (MPa)	Basınç Deneylerinden Elde Edilen Elastisite Modülü (MPa)	$E=PL^3/48Iy$ Formülü ile Elastisite Modülü (MPa)
C 14	18,00	20,13	2,4	2,59		26799	24783
C 16	20,00	21,39	2,8	3,41	27000	27546	26372
C 18	22,00	23,00	3,0	3,67	27500	28034	27038
C 20	25,00	26,08	3,2	3,78	28000	31315	27879
C 25	30,00	35,20	3,6	4,14	30000	35680	27205
C 30	37,00	43,20	3,8	4,85	32000	37726	27213
C 35	45,00	49,50	4,2	5,59	33000	38171	27543

Şekil 4.8’de görüldüğü gibi TS 500’e göre beton sınıflarına ait beton basınç dayanımları ile 150x150x150 mm ebatlarında ve 28 gün boyunca standart kür havuzunda saklanarak basınç deneyine tabii tutulan deney numuneleri ile karşılaştırılmıştır. Deneysel olarak basınç değerlerinin tespiti için C 14’ den C 35’ e kadar olan serilerdeki beton sınıfları için hazırlanan deney gruplarının üçer adet numunesi kırılmış ve bu numunelerin aritmetik ortalaması alınmıştır. C 25 ve üzerindeki beton sınıflarına ait basınç değerleri TS 500’de belirtilen basınç değerleri ile çok yakın sonuçlar vermiştir. TS 500’e göre standart sapma olmamıştır.



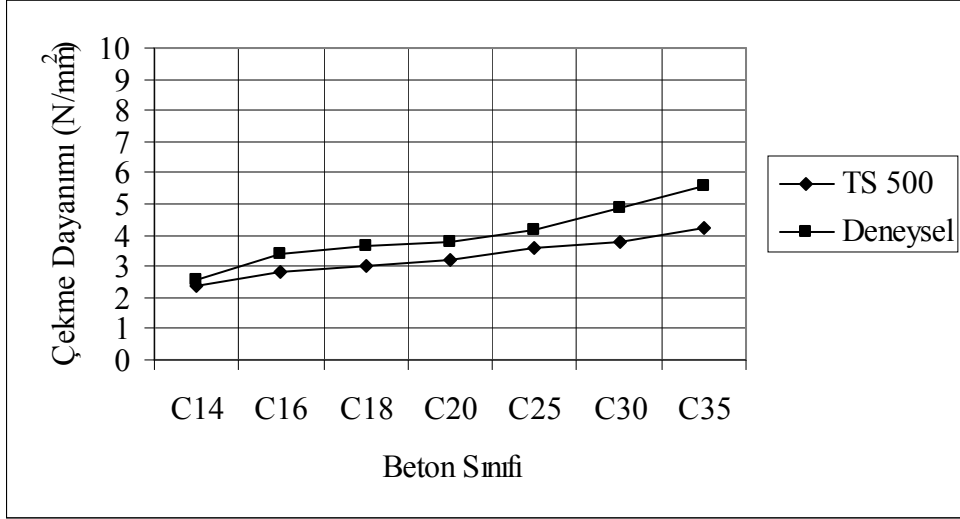
Şekil 4.8. Deneysel Numuneleri ile TS 500 Beton Basınç Dayanımlarının Karşılaştırılması

Şekil 4.9’da belirtildiği üzere çeşitli sınıflara ait TS 500’e göre hesaplanan elastisite modülü ile deneyler aracılığı ile belirlenen elastisite modülü kıyaslandığında, TS 500’ e göre hesaplanan elastisite modülünün daha küçük değerlere sahip olduğu görülmektedir. Elastisite modülleri arasındaki oran beton basınç dayanımı arttıkça belirgin bir şekilde büyümektedir. Gerek, TS 500’e göre ve gerekse deneysel olarak hesaplanan elastisite modüllerinin ortak özelliği, basınç dayanımının artması ile birlikte elastisite modüllerinin de artmasıdır.



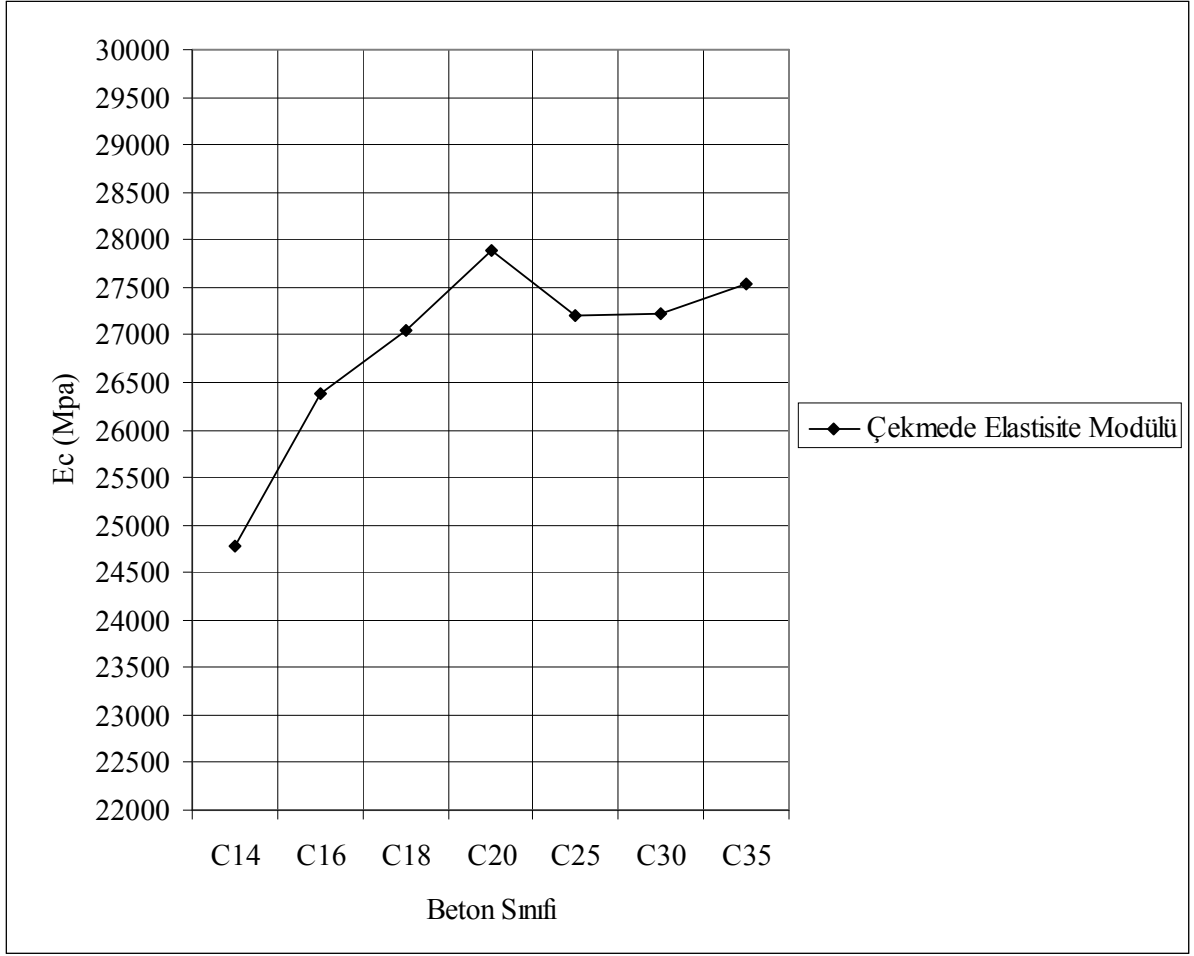
Şekil 4.9. Deneysel Numuneler ile TS 500'e Göre Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması

Şekil 4.10'da TS 500'e göre $0,35\sqrt{f_{ck}}$ formülü ile bulunan beton çekme dayanımının 2 katı alınarak yaklaşık olarak TS 500'e göre eğilmede çekme dayanımı kabulü yapılmıştır. Bu değerler C 14'den C 35'e kadar olan serilerdeki beton sınıflarına ait eğilmede çekme deneyi için hazırlanan numunelerin, tek yükleme deneyine tabii tutularak hesaplanan değerleri ile karşılaştırılmıştır. Şekilden de görüldüğü gibi üzere deney numunelerinin değerleri TS 500'e göre yaklaşık olarak % 75 – 80 mertebesinde daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



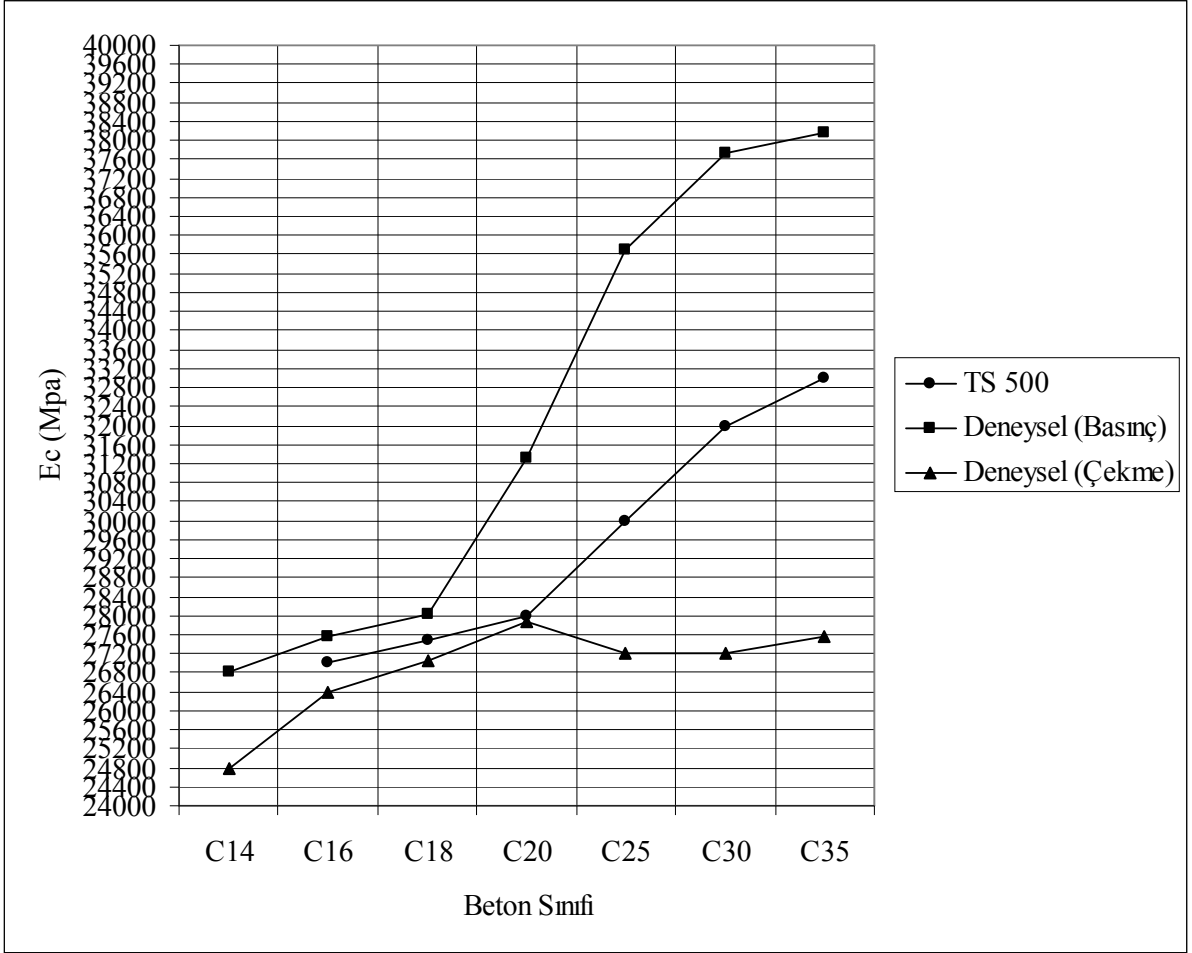
Şekil 4.10. Deneysel Numuneler ile TS 500'e Göre Çekme Dayanımına Göre Eğilmede Çekme Dayanımlarının Karşılaştırılması

Şekil 4.11' de betonun eğilmede çekme dayanımına göre elastisite modülü ile ilişkisi irdelenmiştir. Elastisite modülü hesaplanırken kırılma anındaki sehim miktarı kompratör ile ölçülmüş ve kırılma yükü tespit edilmiştir $E = PL^3 / 48Iy$ formülüne göre elastisite modülleri hesaplanmıştır. C 14, C 16, C 18 ve C 20 sınıflarına kadar elastisite modülünde bir artış grafiği izlenirken, bu artış grafiği C 20, C 25 arasında azalma, C 35 beton numunesi elastisite modülünde çok az bir miktar artma eğiliminde olduğu görülmüştür.



Şekil 4.11. Deneysel Numuneler İle Hesaplanan Eğilme Dayanımına Göre Elastisite Modülü

Şekil 4.12’de TS 500’e göre elastisite modülü, beton basınç deneyi ile tespit edilen elastisite modülü ve eğilmede çekme dayanımı ile tespit edilen elastisite modülleri arasındaki ilişki irdelenmiştir. Eğilmede çekme ile tespit edilen elastisite modülü, C 20 sınıfı betonuna kadar olan sınıflarda aynı eğimde artış göstermektedir. Ancak bu artış C 20 beton sınıfından sonra C 25 arası azalma C 30 beton numunesine kadar doğrusal, C 35 betonunda ise çok az bir miktarda artma eğilimi göstermektedir. Basınç dayanımı esas alınarak hesaplanan TS 500 ve deneysel yöntemle hesaplanan elastisite modülleri artış grafiğini sürdürmektedir.



Şekil 4.12. Elastisite Modüllerinin Karşılaştırılması

5. SONUÇLAR

Yapılan bu çalışmanın amacı; Bugüne kadar basınç dayanımı ile betonun elastisite modülü arasında kurulan bağlantının bir benzeri çekme dayanımı ile kurulmaya çalışılmıştır. Bunun için küp ve kiriş numuneleri hazırlanarak yapılan deneyler neticesinde çekme dayanımı ile elastisite modülü arasında bir bağlantı kurulmaya çalışılmıştır. Yapılan deneyler ve deneylerden elde edilen sonuçların irdelenmesinden şu hususlar belirlenmiştir.

1. Beton basınç deneyi ile elde edilen sonuçlardan betonun kalitesi yükseldikçe buna paralel olarak betonun elastisite modülünün de arttığı gözlemlenmiştir.

2. Üretilen beton deney numunelerinde beton basınç deneyi esnasında yükleme hızını sabit tutulmadığı ölçümlerde, numune dayanımının hız arttıkça dayanımın fazla olduğu, hız azaldıkça dayanımın düştüğü tespit edilmiştir.

3. Eğilme deneyine tabi tutulan numuneler, TS 500'e göre $f_{ctk}=0,35\sqrt{f_{ck}}$ ile belirlenen değerlerin iki katı ile karşılaştırılmış, deneyler neticesinde bulunan değerlerin daha büyük olduğu görülmüştür.

4. Deneysel numunelerin TS 500'e göre belirlenen beton basınç değerlerine göre daha yüksek basınç değeri verdiği görülmüştür.

5. Deney numunelerinden elde edilen elastisite modülünün TS 500'de belirtilen elastisite modülüne oranının C 18 sınıfı beton numunelerine kadar olan sınıflarda küçük C 20 - C 35 beton sınıfı arasında bu oranın arttığı görülmektedir.

6. Deney numunelerinden elde edilen çekme dayanımı ile TS 500'de verilen formülasyona göre belirlenen değerlerin iki katı alınarak bulunan değerler kıyaslanmıştır. Ancak bu bir kabul olması nedeni ile deney numunelerinden elde edilen sonuçların gerçekçi kabul edilebilir olacağı daha doğru bir değerlendirmedir.

7. Standart kiriş numuneleri ile bulunan elastisite modülleri incelendiğinde C 14 - C 20 sınıfına kadar olan beton numunelerinde bir artışın olduğu görülmüştür. Şehim miktarının uygulanan kuvvete oranla azaldığı yani betonun gevrek bir davranış sergilediği

görülürken beton kalitesi arttıkça gevrek bir davranış sergilemesi beklenen, C 25 ve C 35 beton numunelerinde sehim miktarının kırılma yüküne olan oranında aynı düzende bir azalma eğilimi göstermediği tespit edilmiştir.

8. Beton basınç dayanımı ile tespit edilen elastisite modülü ile çekme dayanımına göre belirlenen elastisite modülleri kıyaslanmıştır. Bu inceleme neticesinde görülmüştür ki; C 14 - C 25 sınıfı arasındaki beton numunelerinde basınç ve çekmeye göre deneysel olarak hesaplanan elastisite modülleri arasında artış oranının, yaklaşık lineer olarak arttığı ancak C 25 sınıfından sonraki beton sınıflarında elastisite modüllerinin düzensiz bir davranış gösterdiği görülmüştür.

9. C 14 - C 25 sınıfı betonlara ait çekme deneyi ile tespit edilen Elastisite modülünü yaklaşık olarak %15 oranında arttırarak beton basınç dayanımı esas alınarak tespit edilen elastisite modülünü bulunabilir. Ancak C 25 ve daha üst sınıflardaki betonlar için elastisite modülünün tespitinde çekme dayanımı dikkate alınarak hesaplanması mümkün olmadığı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- Akman MS 1990. Yapı Malzemeleri, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, 162 s, İstanbul .
- Akman MS 1997-1998. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yapı Malzemesi Yaz Yarıyılı Ders Notları, 121 s, İstanbul.
- ASTM C 31 1994. Standart Practice For Making And Curing Concrete Test Specimens In The Field , Annual Book of ASTM Standarts, USA.
- Baalbaki W 1992. On Predicting Modulus of Elastlcly in High Concrete ACI Materials Journal 89 No.5, USA.
- Collepari M ve Gököz NÜ 1989. Betonda Zaman İçerisinde Dayanıklılık. Birinci Ulusal Beton Kongresi, cilt (5), 67:78, İstanbul.
- Cimilli T 1986. Yapı Malzemesi Karadeniz Teknik Üniversitesi Basımevi, 268 s, Trabzon.
- Ersoy U 1985. Betonarme Temel İlkeler ve Taşıma Gücü Hesabı Cilt-1 Evrim Yayınevi, 643 s, Ankara.
- Erdoğan TY 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler Çimentolar Türkiye Hazır Beton Birliği, 120 s, Ankara.
- Erdoğan TY 1995. Betonun Oluşturan Malzemeler Agregalar Türkiye Hazır Beton Birliği, 120 s, Ankara.
- Erdoğan TY 2003. Beton ODTÜ Geliştirme Vakti Yayıncılık ve İletişim A.Ş. Yayını, 187 s, Ankara.
- Felekoğlu F, Türkel S 2004. Yükleme Hızı Değişimi ile Gerilme Şekil Değişirme İlişkisi D.E.Ü Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt 6 Sayı 1 : 65-75
- Hirsch TS 1962. Modulus of Elasticity of Concrete Affected by Elastic Moduli of Cement Paste Matrix And Aggreate Journal of the Americen Concrete Insitute, USA.
- Ün H 2007. Yapı Malzemesi Ders Notları Bahar Yarıyılı, 90 s, Denizli.
- Kocataşkın F 1965. Çimento ve Özellikleri Hakkında Ne Biliyorsunuz?, İ.T.Ü. Matbaası, 120 s, İstanbul.
- Küçükmehtemoğlu AC 1994. Çimento Hamuru Konsantrasyonunun Betonun Dona Dayanıklılığına Etkisi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Nagy A 1997. Determination of Modulus of Young Concrete with Nondestructive Method, ASCE Journal of Materials in Civil Engineering Vol.9 No.1
- Neville AM 1981. Properties of Concrete Longman Scientific Technical, 844 p, England.

Özbek İ 2002. Beton Basınç Dayanımını Etkileyen Faktörlerin İncelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.

Postacıoğlu B 1969. Yapı Malzemesi Ders Notları İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul.

Postacıoğlu B 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri İstanbul Teknik Üniversitesi Matbaası, 404 s, İstanbul.

Postacıoğlu B 1986. Beton Cilt-1 Bağlayıcı Maddeler Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 171 s, İstanbul.

Postacıoğlu B 1987. Beton Cilt 2 Matbaa Teknisyenleri Basımevi, 404 s, İstanbul

Popovics S 1992. Concrete Materials, Properties, Specifications and Testing, Second Edition, Naves Publications, USA.

Saylan Ş 1986. Betonarme Taşıma Gücü Yöntemi İle Betonarme Kesitlerin Hesabı Balıkesir Üniversitesi Yayınları, 235 s, Balıkesir.

Shih TS, Lee GC ve Chang KC 1989. On Static Modulus of Elasticity of Normal Weight Concrete ASCE Journal of Structural Engineering Vol.115 No.9

Şengül Ö 2000. Agregaların Normal ve Yüksek Dayanımlı Betonların Mekanik Özelliklerine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

TS 500 2000. Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, 81 s, Ankara.

TS 706 EN 12620 2003. Beton Agregaları, 35 s, Ankara.

TS 802 1985. Beton Karışım Hesapları Türk Standartları, 19 s, Ankara.

TS 3068 1978. Laboratuvarlarda Beton Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Bakımı Türk Standartları Enstitüsü, 12 s, Ankara.

TS 3114 1980. Beton Basınç Mukavemeti Deney Metodu Türk Standartları Enstitüsü, 7 s, Ankara.

TS 3129 1978. Betonda Yarmada Çekme Deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 3284 1979. Betonda Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (1/3 Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle) Türk Standartları Enstitüsü, 6 s, Ankara.

TS 3285 1979. Betonda Eğilmede Çekme Dayanımı Tayini Deneyi (Orta Noktalarından Yüklenmiş Basit Kiriş Metodu İle) Türk Standartları Enstitüsü, 7 s, Ankara.

TS 3323 1979. Beton Basınç Deney Numunelerinin Hazırlanması Hızlandırılmış Kürü ve Basınç Dayanımı Deneyi Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 11222 2001. Beton- Hazır Beton Sınıflandırma, Özellikler, Performans, Üretim ve Uygunluk Kriterleri Türk Standartları Enstitüsü, 17 s, Ankara.

Tükel B 2002. Beton Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü Arasındaki İlişkiler. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Yıldırım H 1995. Agrega Konsantrasyonunun Betonun Mekanik Özelliklerine Etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Çanakkale'nin Ezine ilçesinde doğdu. İlkokul ve orta okul eğitimini Çanakkale / Lapseki'de, lise eğitimini İzmir İnönü Lisesinde tamamladıktan sonra 1991 yılında Uludağ Üniversitesi Balıkesir Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne başlayarak 1996 yılında mezun oldu. İzmir'de çeşitli firmalarda saha mühendisi ve şantiye şefi olarak çalıştı. Kara Kuvvetleri Komutanlığının açmış olduğu sınavı kazandı. Halen Milli Savunma Bakanlığı Çorlu İnşaat Emlak Bölge Başkanlığın bünyesinde çalışmaktadır. Evli ve 1 çocuk babasıdır.

Ahmet Varlık ÖZDEN