

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BİLEŞİMLİ BETONLARDA TEKRARLI YÜKÜN BETONUN
ELASTİKLİK MODÜLÜNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Volkan Can TİRYAKİ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Deprem Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan YILDIRIM

NİSAN 2016

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**FARKLI BİLEŞİMLİ BETONLARDA TEKRARLI YÜKÜN BETONUN
ELASTİKLİK MODÜLÜNE ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Volkan Can TİRYAKİ
(501091259)**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Deprem Mühendisliği Programı**

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hasan YILDIRIM

NİSAN 2016



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 501091259 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi **Volkan Can TİRYAKİ**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**FARKLI BİLEŞİMLİ BETONLARDA TEKRARLI YÜKÜN BETONUN ELASTİKLİK MODÜLÜNE ETKİSİ**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Hasan YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Nabi YÜZER**
Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hakan Nuri ATAHAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi: 15.01.2016
Savunma Tarihi: 11.04.2016



(Eşime ve Yeğenime,)





ÖNSÖZ

Yüksek lisans eğitimim boyunca yardımlarını esirgemeyip bilgi ve deneyimleri ile her konuda destek olan değerli danışman hocam Sayın Doç. Dr. Hasan YILDIRIM'a, çalışma sürecindeki değerli katkıları için İnş. Yük. Müh. Araştırma Görevlisi Sayın Adil Orçun KAYA'ya, tez çalışmalarım boyunca her türlü fikir alışverişinde bulunup sıkıntıları beraber aştığımız aynı zamanda meslektaşım olan, değerli eşim İnş. Yük. Müh. Gözde Dağ TİRYAKİ'ye tez çalışması boyunca serzenişlerimi ve sıkıntılarımı dile getirdiğim değerli iş arkadaşım İnş. Yük. Müh. Ali Emre ATAÇ'a, hayatımın her saniyesinde karşılıksız desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen, bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi annem Nuran TİRYAKİ'ye, babam Secaattin TİRYAKİ'ye ve hayatımın her dönemindeki başarılarıma katısı olan değerli ağabeyim Taylan TİRYAKİ'ye tüm kalbimle teşekkür ederim.

Nisan 2016

Volkan Can TİRYAKİ
(İnşaat Mühendisi)

ÖNSÖZ.....	ix
İÇİNDEKİLER.....	xi
KISALTMALAR.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
SEMBOL LİSTESİ.....	xix
ÖZET.....	xxi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI.....	3
2.1 Betonun Yapısı.....	3
2.1.1 Agregalar.....	3
2.1.2 Çimento.....	3
2.1.3 Su.....	3
2.1.4 Kimyasal katkılar.....	3
2.2 Beton Karışım Tanımları.....	4
2.2.1 Dozaj.....	4
2.2.2 Su/çimento oranı.....	4
2.2.3 Kıvam.....	4
2.3 Betonun Basınç Yükleri Altındaki Davranışı.....	4
2.3.1 Beton basınç dayanım formülleri.....	8
2.3.1.1 Graf formülü.....	8
2.3.1.2 Bolomey formülü.....	9
2.3.1.3 Feret formülü.....	9
2.4 Betonun Elastisite Modülü.....	10
2.4.1 Başlangıç teğeti modülü.....	11
2.4.2 Sekant modülü.....	12
2.4.3 Betonda elastisite modülü tayini.....	13
2.4.4 Elastisite modülünün ultrases hızı yardımı ile ölçülmesi.....	14
2.5 Betonda Tekrarlı Yükler.....	16
2.5.1 Yorulma dayanımı.....	19
2.5.2 Tekrarlı yüke maruz kalmış betonların mekanik özellikleri.....	23
3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	29
3.1 Kullanılan Malzemeler.....	30
3.1.1 Çimento.....	30
3.1.2 Agregalar.....	31
3.1.3 Kimyasal katkılar.....	31
3.1.4 Su.....	32
3.2 Taze Beton Deneyleri.....	32
3.2.1 Çökme deneyi.....	32
3.2.2 Birim hacim ağırlık deneyi.....	33

3.2.3 Hava oranı tayini deneyi.....	33
3.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	34
3.3.1 Basınç dayanım deneyi.....	34
3.3.2 Statik ve tekrarlı basınç yükleme deneyleri.....	34
3.3.3 Elastisite modülü tayini.....	35
3.3.4 Ultrases hızı ölçümleri.....	36
3.4 Karışım Granülometrisi.....	37
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	39
4.1 Elastisite Modülünün Ultra Ses Hızıyla Değişimi.....	41
4.2 Elastisite Modülünün Birim Hacim Ağırlıkla Değişimi.....	42
4.3 Elastisite Modülünün Karakteristik Basınç Dayanımı İle Değişimi.....	44
4.4 Elastisite Modülü - Tekrarlı Yükleme Arasındaki İlişkiler.....	47
5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	59
KAYNAKLAR.....	61
EKLER.....	63
ÖZGEÇMİŞ.....	79

KISALTMALAR

S/Ç : Su/Çimento oranı

TY : Tekrarlı yükleme sayısı

ASTM C 469-02 : Standart test method for static modulus of elasticity modulus and poisson's ratio of concrete in compression

TS EN 12390-3 : Türk standartları beton- sertleşmiş beton deneyleri bölüm 3 deney numulerinde basınç dayanımının tayini

TS 706 : Türk standartları beton agregaları

TS 500 : Türk standartları betonarme yapıların tasarım ve kuralları



ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1: Yorulma yaşının sınıflandırılması [17].....	21
Çizelge 2.2: Tekrarlı yükleme sonucu betonun mekanik özelliklerindeki değişim...	23
Çizelge 2.3: Yorulma Yaşı-Mukamevet, Yorulma Yaşı-Maksimum Gerilme arası ilişkiler [19].....	25
Çizelge 3.1: Beton Karışımları.....	30
Çizelge 3.2: Portland Çimentosu Özellikleri.....	31
Çizelge 3.3: Portland Çimentosu Basınç Dayanımı.....	31
Çizelge 3.4: Kullanılan Agregaların Elek Analizi Sonuçları.....	31
Çizelge 3.5: CRYHSO Delta 2200 Katkı Kimyasal Özellikleri.....	32
Çizelge 3.6: Karışım Granülometrileri.....	37
Çizelge 4.1: Sertleşmiş Beton Özellikleri Karşılaştırılması.....	39
Çizelge 4.2: Taze Beton Özellikleri Karşılaştırılması.....	40
Çizelge 4.3: Farklı üretimlerin birim hacim ağırlık değerleri.....	43
Çizelge 4.4: TS-500 [31] Beton fck-E değerleri.....	45
Çizelge 4.5: Deney Numuneleri Beton fck-E değerleri.....	46
Çizelge 4.6: V40/31,5mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	48
Çizelge 4.7: V70/31,5mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	50
Çizelge 4.8: V40/16mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	52
Çizelge 4.9: V70/16mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	54
Çizelge 4.10: V40/4mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	56
Çizelge 4.11: V70/4mm kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri	57



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Betonun basınç yükü altındaki kırılma tipleri [6].....	6
Şekil 2.2: Farklı tip karışımlarda gerilme şekil değiştirme davranışı [7].....	7
Şekil 2.3: Basınç gerilmeleri altında çatlak doğrultuları [7].....	8
Şekil 2.4: Başlangıç Teğeti Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği [10].....	11
Şekil 2.5: Statik Elastisite Modülü Gerilme-Şekil Değiştirme Grafiği [10].....	12
Şekil 2.6: Gerilme şekil değiştirme eğrisinin gerilme hızıyla değişimi [12].....	13
Şekil 2.7: Ultrases Hızı Tayini deney düzeneği [15].....	16
Şekil 2.8: Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tekrarlı yüklerle değişimi [17].....	17
Şekil 2.9: Gerilme tekrar sayısı ilişkileri [18].....	20
Şekil 2.10: Betonun yorulma dayanımı [18].....	20
Şekil 2.11: Yükleme hızının yorulma dayanımına tesiri [22].....	21
Şekil 2.12: Yük boşaltma oranının tekrarlı yüklemeye etkileri [23].....	22
Şekil 2.13: Tekrarlı yükleme sonrası gerilme-şekil değiştirme grafikleri [25].....	24
Şekil 2.14: Şekil değiştirme gelişim eğrisi [27].....	26
Şekil 3.1: Üretimi tamamlanan karışımların silindirim kaplara yerleştirilmesi, vibrasyon işlemi.....	29
Şekil 3.2: Kuru karışıma su ve katkının eklendiği mikser düzeneği.....	30
Şekil 3.3: Kıvam sınıfı belirlemek için çökme deneyleri.....	33
Şekil 3.4: Üretilen numunelere başlık imalatı yapılması.....	34
Şekil 3.5: Deney Düzeneği.....	35
Şekil 3.6: Boyuna deformasyon ölçer ve çerçeve düzeneği.....	35
Şekil 3.7: Ultrases Ölçümleri.....	36
Şekil 3.8: Maksimum Dane çapı 31,5 mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.....	37
Şekil 3.9: Maksimum Dane çapı 16 mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.....	38
Şekil 3.10: Maksimum Dane çapı 4 mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.....	38
Şekil 4.1: Elastisite Modülü- S/Ç arasındaki ilişki.....	41
Şekil 4.2: Elastisite Modülü- Ultrases Hızı arasındaki ilişki.....	42

Şekil 4.3: Elastisite Modülü- Birim Hacim Ağırlık arasındaki ilişki.....	43
Şekil 4.4: S/Ç oranı-Hava oranı değişimi.....	44
Şekil 4.5: E-fck değişimleri deney numuneleri ve Ts-500 karşılaştırılması.....	45
Şekil 4.6: E- $\sqrt{f_{ck}}$ değişimleri deney numuneleri ve Ts-500 karşılaştırılması.....	46
Şekil 4.7: V40/31,5 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	49
Şekil 4.8: V70/31,5 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	51
Şekil 4.9: V40/16 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	53
Şekil 4.10: V70/16 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	55
Şekil 4.11: V40/4 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	56
Şekil 4.12: V70/4 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.....	58



SEMBOL LİSTESİ

Ç	: Çimento Miktarı
K_G	: Graf Katsayısı
K_F	: Feret Katsayısı
γ_b	: Beton Yoğunluğu
f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı
E	: Elastisite Modülü
ρ	: Beton birim hacim ağırlığı
√f_{ck}	: Beton karakteristik basınç dayanımı karekök değeri
TY	: Tekrarlı yükleme sayısı
f_{max}	: Beton Basınç Dayanımı



FARKLI BİLEŞİMLİ BETONLARDA TEKRARLI YÜKÜN BETONUN ELASTİKLİK MODÜLÜNE ETKİSİ

ÖZET

İnşaat mühendisliği açısından betonarme yapılar ülkemizde en çok tercih edilen taşıyıcı sistem olarak kabul görmektedir. Betonarme taşıyıcı sistemler kendi ağırlıklarından ve hareketli yüklerden dolayı oluşan düşey yüklerin dışında, deprem esnasında tesir eden yatay olduğu kabul edilen yüklere de maruz kalmaktadır. Betonarme sistemlerde depreme karşı dayanıklı tasarım yapılabilmesi için, taşıyıcı sistemi oluşturan malzemenin deprem yükleri karşısında davranışı oldukça iyi bilinmelidir. Beton yapı malzemesi olarak deprem esnasında tekrarlı yüklere maruz kalmakta, betonun mekanik özellikleri bu tekrarlı yükler karşısında değişime uğramaktadır. Günümüzde yapı sistemlerinde birden farklı bileşimli beton tipleri kullanılmaktadır. Betonun yük karşısında belirli bir zaman içerisinde şekil değiştirebilme kapasitesi olan elastisite modülü tekrarlı yükler karşısında etkilenmektedir. Bu çalışmada aynı koşullarda art arda üretilmiş altı farklı tipte betona aynı genlikte tekrarlı yükler, uygulanmıştır.

Bu çalışma neticesinde, farklı maksimum dane çaplı ve farklı su/çimento oranlı betonlarda deprem yükleri gibi tekrarlı yük kabul edilen yüklerin betonun mekanik özelliklerinin başında gelen elastisite modülünün değişimi incelenmiştir. Betonun dayanımının arttıkça tekrarlı yükler karşısındaki şekil değiştirme işi de artmış, yüksek dayanımlı betonun daha gevrek bir kırılma sergilemesinin nedeni gözlenmiştir. Yüksek su oranına sahip numunelerin elastisite modülü ve karakteristik basınç dayanımları düşük su oranına sahip numunelere göre daha düşük çıkmıştır. Maksimum dane boyutu en büyük olan numunelerin elastisite modülü ve karakteristik basınç dayanımları maksimum dane boyutu daha küçük olan numuneler göre daha yüksek çıkmıştır. Beton numunelerin tekrarlı yüklemeler sonrasında ses geçiş süreleri artmış beton numunelerin tekrarlı yüklemeler sonrasında iç yapılarında gözenekler oluşmuştur. Deneyler süresince tekrarlı yükleme sonucu elastisite modülünün en çok etkilendiği karışımda su oranı diğerlerine göre daha yüksek, maksimum dane boyutu ise daha küçüktür. 3 farklı yük oranında yükleme yapıldığında 6 tekrarlı yük uygulanması durumuna göre 0.85 oranında yüklemeler sonucu elastisite modüllerinde belirgin düşüşler gözlenmiştir.



EFFECTS OF REPEAT LOADING TO THE ELASTIC MODULUS OF DIFFERENT COMPOSITES OF CONCRETE

SUMMARY

The reinforced concrete structures are most commonly preferred structures in our country. Besides of the vertical dead and live loads, these reinforced concrete structures has, laterally accepted loads which caused from earthquakes. Due to the these loads the material response of the static system should be known against earthquake. The concrete material has repeat loads during the earthquakes. The mechanical properties of the concrete would change against to the these repeated loads. Moreover desings of the concrete with different composites are used for the concrete structures. It is a well known fact that, concrete structures are form time to time subject to dynamic and repeated loads.

Variability of grain sizes causes diffences at the concrete properties, these differences could change the fatigue life of the concrete because of the repeated loads.

The capacity of the concrete's strain against to the stress has been defined elasticity modulus. This property of the concrete has been effected against to the repeat loads. One another importance of the repeat loads is that some materials has excessive stresses even during the service loads. The materials which will have repeat loads should have some repeat loads before the fatigue damage, this fact will be more realistic approachment for researches about properties of the concrete. Repeat loads causes progressive and permanent process of the cahnge of the internal structure of the material. Concrete when subjected to the repeated loads, may exhibit excessive cracking and may eventually fail after a sufficient number of load repetitions, even if the maximum stress applied is less than the static strenght of a similar specimen. In concrete subjected to compression stress, stress concentrations occur because of the above mentioned causes and microscopic flaws invariably grow and combine with each other and propagate in cement aggregate interface.

After reaching several cycle of the loads there will be permanant defects inside of the concrete structure. These defects could change the value of the elastic modulus of the concrete which has been considered during the desing phase. And finally durability problems could start after the change of the elastic modulus of the desing.

There are two different damage phases at concrete which has expose to the repeat loadings. There is very complex failure mechanism. At the first step there are micro defects occurs like tearing between the link of the cement and aggregate. At the second step micro defects develops more with the increasing number of load repeats. At the conclusion of this load combinations creates failure and disintegrations. The damage of the concrete which has been caused by repeat loads are related to the number of the cycle and value of the load. When implemented value of the load gets lower the number of the repeats are increases which causes failure, if the load ratio increases more, the number of cycle decreases on the contrary. The failure mechanism of the repeat loading is fatigue damage. But there is no certain calculated

equation to get fatigue life and fatigue limit at old researches. Fatigue failure occurs when a concrete structure fails catastrophically at less than design load after being exposed to a large number of stress repeats. The fatigue strength of concrete is defined as a fraction of the static strength that it can support repeatedly for a given number of repeats. Fatigue strength is influenced by concrete composition, environmental conditions, loading conditions and mechanical properties.

Fatigue is a process of progressive and permanent internal damage in a material subjected to repeated loading. This is attributed to the propagation of internal microcracks which results in a significant increase of irrecoverable strain.

When materials are subjected to the repeat loading they are generally seem to undergo a progressive deterioration of their mechanical properties. Some old researches have witnessed an increase in the static compressive strength of concrete subjected to a limited number of low intensity compressive cycles. There has been also observed an increase in concrete static strength compared to specimens not previously subjected loading, as well as an increase in fatigue strength.

In this study the number of six different types of composites has been produced. Three different grain diameter with the maximum size of 31,5mm, 16mm and 4mm produced with two different water content like 0,4 and 0,7. All specimens were cast at laboratory site. Standard 150mm x 300mm cylinders were used for the procurements. The specimens were demolded after 24 hours from casting time. After reaching maturity with the proper curing conditions as 28 days has been waited for the all mixes. During the procurements proper vibration system with vibro platform at ITU material laboratory has been implemented for the proper placement of the specimens. During castings slump, air content, density tests were done for the fresh concrete properties. Also In this study, one of the main mechanical properties of the concrete, the reason of elastic modulus changes by repeat loads like earthquake loads, analyzed and researched with the different sizes of aggregates and with the different water cement contents of the concrete specimens. For the all mixes fresh and dry concrete properties has been compensated.

On the other hand the effects of aggregate size to the air content, the effect of water ratio to the elastic modulus, the relations of elasticity modulus of the concrete with the ultrasonic pulse velocity values, density and compressive strength has also been investigated. For the strain measurement extensometer has been used. For the axial loading the special hydraulic press machine has been used. After the repeated loads for the high compressive strength mixes strain increases by these loading. By the way the reason of the brittle fracture for the high compressive strength concrete, has been monitored.

The main study of this thesis, the effect of the repeat load to the elasticity modulus of the concrete, has been analyzed after the each repeats respectively. Evaluating the conclusions three different load value has been implemented. These are %65, %75 and %85 of compressive strength. %10 value of compressive strength has been implemented for the unload limit. When the load level of %85 compressive strength implemented, especially for the low grain diameter like 4mm, large amount of elastic modulus decreasing occurred. There was no significant decrease for the elastic modulus of the specimens when the load ratio of the %65 and %75 implemented. Some of mixes elastic modulus decreased with the load ratio of %75, for 31,5mm the grain diameter mixes there is no reduction after 6 repeat loading with the load ratios of 0,65 and 0,75.

For the grain size number of 16mm there was no significant decrease at elasticity modulus, with the ratio of 0,65. There was certain increment at the value of elastic modulus for the all mixes when water content changes 0.7 to 0.4 compressive strength of the specimens also increased with the decreased water content.

For the grain size number of 4mm there is no significant decrease at elasticity modulus after load ratio of 0.65. But there was some reduction observed when the load ratio of 0.75 performed. There was significant decrease monitored when the load ratio of 0.85 performed

Besides for the all same grain size, different water content specimens like compensating, maximum grain size 31,5mm water content 0,4 specimen and maximum grain size 31,5 water content 0,7 specimen, there is also value increasing of elastic modulus with the decrease of water content. On the other hand the micro defects and increases at the ultra sonic measurement for all specimens monitored which has been exposed to the repeat loading. Air content of the mixes also investigated for the porosity formation of the different grain size and different water content specimens.

There has been concluded air content increasing with the decreasing of the water content, air content increasing with the decreasing of the grain size.

The relationship between elastic modulus and compressive strength has been analyzed for the all mixes. There has been nearly linear relationship of elastic modulus between compressive strength for the all mix designs. There is certainly brittle failure for the low water content specimens as against high water content ones. Future studies could be done with high number of load repeating. This fact could clarify about the behaviour of the several types of mix designs with the low load ratios like 0.65 and 0.75. In this thesis with low number of repeats there was nearly no change at elastic modulus of concrete with the load ratio of 0.65 and 0.75.



1. GİRİŞ

Beton, ekonomik oluşu, kolay kullanımı ve yapısal avantajları nedeniyle son yüzyıl boyunca en çok kullanılan mühendislik malzemesi olmuştur. Bununla birlikte betonun son dayanıma yakın yüklere göre dizayn edilmesi ve bu dizayn yüklerine tekrar tekrar maruz kalmasıyla betonda yorulma meydana gelmektedir. Deniz yapıları, havaalanı beton kaplamaları, demiryolu traversleri ve viyadük ön germe betonlar çevrimsel yüklere maruz kalmaktadır. Çevrimsel yüklere maruz kalan betonda mekanik özellikler değişerek yapısal güvenilirlik sınırlarının zorlanması ve durabilite problemlerinin oluşmasına yol açmaktadır. Çevrimsel ve tekrarlı yükler nedeniyle betonun değişen mekanik özellikleri uygun koşullar altında betonun onarımının etkinliği de araştırılmalıdır.

Beton özelliklerine, çimento dozajı, agrega granulometrisi ve çimento hamurunun yapısına değişiklikler gösterebilir. Farklı bileşimli betonlarda dane çapının değişkenliği beton özelliklerini farklı kılar, bu farklılık tekrarlı yükler karşısında yorulma yaşının değişimine kadar gider.

Farklı dane çaplı ve farklı su/çimento oranına sahip, farklı tiplerdeki betonların aynı mertebelerdeki çevrimsel yüklere maruz kalması sonucu kullanım alanı geniş olan betonların yorulması yaşının tayininde önemli ön araştırmalar yapılmasına olanak sağlamaktadır. Dış yükler nedeniyle kesit içerisinde oluşan gerilmelerin tekrarlanması bazı durumlarda elastik bazı durumlarda elastik ötesi davranışların oluşmasına neden olur. Tekrarlı yüklerin sayısının artması sonucu beton içerisinde ilerleyen ve kalıcı hasarların oluşmasına neden olur, bu hasarlar betonarme yapıların dizaynında hesaplara katılan elastisite modülünün zamanla değişimine ve durabilite problemlerinin oluşmasına neden olmaktadır. Statik yüklere maruz kalan betonda kesit içerisinde gerilme çatlakları oluşur, bu çatlaklar betondaki malzemeler elastik sınırlarda kaldığı sürece onarılabilir. Yük değeri arttığı ölçüde malzemedeki değişimler elastik ötesi deformasyonlara neden olmaktadır, bununla birlikte elastik ötesi deformasyonlar sonucu enerji açığa çıkmaktadır. Beton gibi gevrek malzemelerde bu lineer ötesi davranışlar kesit içerisindeki daha önceki boşlukların

genişlenip çatlaklara yol açmasına neden olur. Tekrarlı yüklere maruz kalan kesitlerde her çevrimde enerji yayılması çatlakların türemesine ve deformasyonları artmasına neden olur. [1]

Tekrarlı yüklere maruz kalan betonlarda hasar oluşumu 2 farklı aşamayla gelişir ve kırılma oluşumu oldukça karışıktır. İlk aşamada agrega ve çimento arasındaki bağda kopmalar meydana gelmesiyle mikro çatlaklar oluşur. İkinci aşamada mikro çatlaklar yük çevrimleri arttığı sürece gelişir ve daha büyük çatlaklar meydana gelir. Sonuç olarak oldukça fazla sayıda yük tekrarı uygulandıktan ayrışma ve göçme meydana gelir. Tekrarlı yük nedeniyle beton içerisinde oluşan hasar, uygulanan yükün değeri ve tekrar sayısı ile ilintilidir. Uygulanan tekrarlı yük gerilme değeri düştükçe kırılmaya neden olan tekrar sayısı artar, yük değeri arttıkça tekrar sayısı bu durumun tersine azalır. Tekrarlı yük nedeniyle betonda oluşan kırılmanın nedeni yorulmadan ötürüdür. Betonun yorulma limitinin olmadığı bilinen bir durumdur.

Tekrarlı yüklere maruz kalan betonarme yapıların, kullanılabilirlik limitine ulaşıp ulaşılmadığı değerlendirilmelidir. Yani tekrarlı basınç yüküne maruz kalan betonlarda durabilite ve geçirimsizlik özellikleri betonun basınç dayanımı, çekme dayanımı ve elastisite modülü gibi mekanik özelliklerine bakılarak değerlendirilmelidir. Bu nedenle bu çalışmanın konusu farklı tipteki betonlarda tekrarlı basınç yükünün farklı gerilme seviyelerinde elastisite modüllerindeki değişimleri incelenmiştir.

Bu tez çalışmasında 0.4 ve 0.7 olmak üzere iki farklı su/çimento oranına sahip 3 farklı maksimum dane çaplı 6 ayrı karışım hazırlanmış ve her bir karışım deney aşamasında gerilme oranları (uygulanan gerilme / dayanım gerilmesi) 0.65, 0.75 ve 0.85 oranlarına kadar yükleme 0.10 oranına varınca boşaltma yapıp çevrimsel döngüye devam edilmiştir. Çevrimsel yüklere maruz kalan numunelerde yükleme öncesi ve sonrası mekanik özellikler test edilmiş, Ultra-ses ölçümleri ve basınç dayanımlarının değişimleri kaydedilmiştir.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Betonun Yapısı

2.1.1 Agregalar

Çeşitli boyutlarda sert tanelerden oluşan mineral esaslı kum, çakıl veya kırma taş gibi âtil malzemelere agrega denir [2].

Agregalar betonun teknik özelliklerine önemli derecede katkı sağlar. Çimento hamurunun zamanla göstereceği büzülmeden dolayı oluşacak hacim değişikliği sonucunda meydana gelen çatlaklar daha az olmaktadır. Ayrıca beton yapımında kullanılan agregalar, genellikle sert ve dayanımı oldukça yüksektir. Bu nedenle agrega dayanımının yüksek olması beton dayanımının daha yüksek olmasını da sağlar.

2.1.2 Çimento

Killi ve kalkerli malzemelerin uygun oranlarda karıştırılması ve yaklaşık 1400-1500 °C sıcaklıkta pişirilmesi sonucu katı parçacıklar halinde elde edilen klinkerin, uygun oranda alçı taşı ile birlikte öğütülmesi sonucu elde edilen hidrolik bağlayıcı özellik gösteren maddelere çimento adı verilmektedir [2].

2.1.3 Su

Beton imalatı sırasında kullanılacak olan suyun içerisindeki yabancı madde türü ve miktarı oldukça önemlidir. Özellikle karma suyu olarak kullanılacak suyun içerisinde istenmeyen miktarda yabancı maddenin yer alması hidratasyonu ve kimyasal reaksiyonların hızını etkilemektedir.

2.1.4 Kimyasal katkılar

Betonun taze ve/veya sertleşmiş haldeki özelliklerini değiştirmek için karıştırma işlemi sırasında betona, çimento kütlelerinin %5'ini geçmemek üzere eklenen maddelere “kimyasal katkı” denilmektedir. Kimyasal katkılar; su azaltıcılar

(akışkanlaştırıcılar), priz geciktiriciler, priz hızlandırıcılar ve hava sürükleyiciler olarak özetlenebilir. Kimyasal katkılar taze betonun özelliklerini değiştirirler.

2.2 Beton Karışım Tanımları

2.2.1 Dozaj

Yerine yerleştirilip sıkıştırılmış 1m³ betondaki çimentonun kilogram olarak miktarıdır. Yaygın olarak 300 dozlu beton kullanılır. Temellerde ve kütle betonlarda 250-300 dozlu, kiriş, kolon ve döşemelerde 300-350dozlu, deniz yapılarında 400-500dozlu beton kullanılır. [3] Dozajın beton dayanımına etkisi vardır.

2.2.2 Su/Çimento oranı

1m³ betondaki su miktarının, çimento miktarına oranının kilogram cinsinden değeridir. Beton dayanımı etkileyen en önemli faktördür. Teorik olarak su/çimento oranı 0.25' dir. Betona işlenebilirlik kazandırmak amacıyla su/çimento oranı 0.45-0.50 arasında tutulabilir. Su/çimento oranı düşükse dayanım yüksek, su/çimento oranı yüksekse dayanım düşüktür. Gereğinden fazla konulan her 20 litre dayanımı %15 düşürür.

2.2.3 Kıvam

Beş farklı kıvam sınıfı TS EN 206'te tanımlanmıştır. Betonda dayanım ve işlenebilirlik arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Yüksek dayanım için düşük su/çimento oranı gerekirken, işlenebilir bir beton için de çok su gerekir.

2.3 Betonun Basınç Yükleri Altındaki Davranışı

Betonun göçmesi hacimsel şekil değiştirme süresince absorbe edilen kayma şekil değiştirme enerjisine bağlıdır. Çatlama, a) Çimento hamurunun göçmesi, b) Agreganın kırılması, c) Agrega-çimento hamuru temas yüzeyi göçmesi ile başlayabilir [4].

Slate ve Meyers'e göre basınç mukavemetinin %60'ına kadar yerel çatlama ve çatlak başlangıcı vardır, bunu kararlı yayılan çatlak büyümesi izler. Bu gerilme düzeyinden sonra harç içinde çatlaklar birleşmeye başlar ve basınç mukavemetinin %80'ine kadar çatlaklar kararlı yayılır. Daha sonra sürekli çatlaklar oluşur, bunu göçme izler.

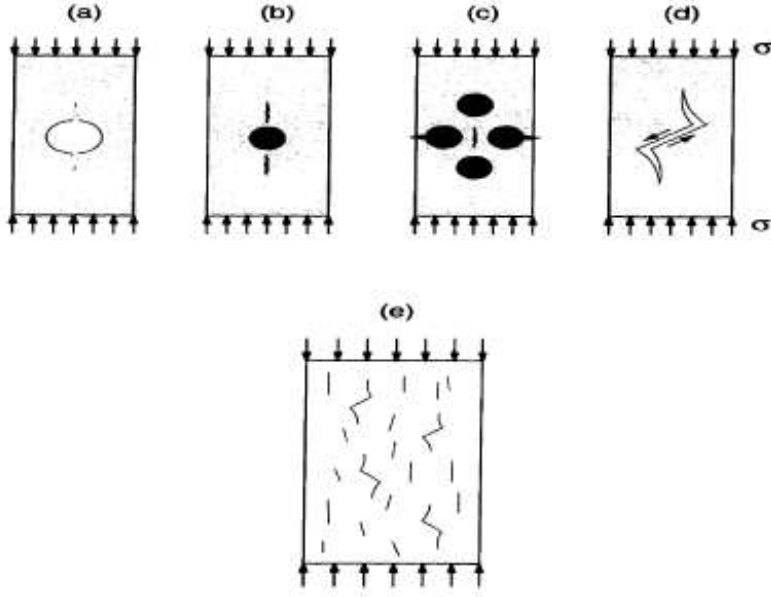
İri agrega konsantrasyonu arttıkça çatlak başlaması için gerekli kırılma şekil değiştirme enerjisi azalır.

Zaitsev ve Witmann, normal betonlarda maksimum yükteki şekil değiştirmenin %70'inde, çatlak ağının oluşmaya başladığını yüksek mukavemetli betonlarda ise basınç mukavemetindeki şekil değiştirmenin %90'ına kadar belirgin çatlak oluşmadığını belirtmişlerdir[4].

Johnston'a göre basınç mukavemetinin %50-70'inde mikro çatlama baslar. Gerilmenin bu değerinde çatlak büyümesi karardır. Basınç mukavemetinin %80-95'inde kararsız çatlak yayılması oluşur [5].

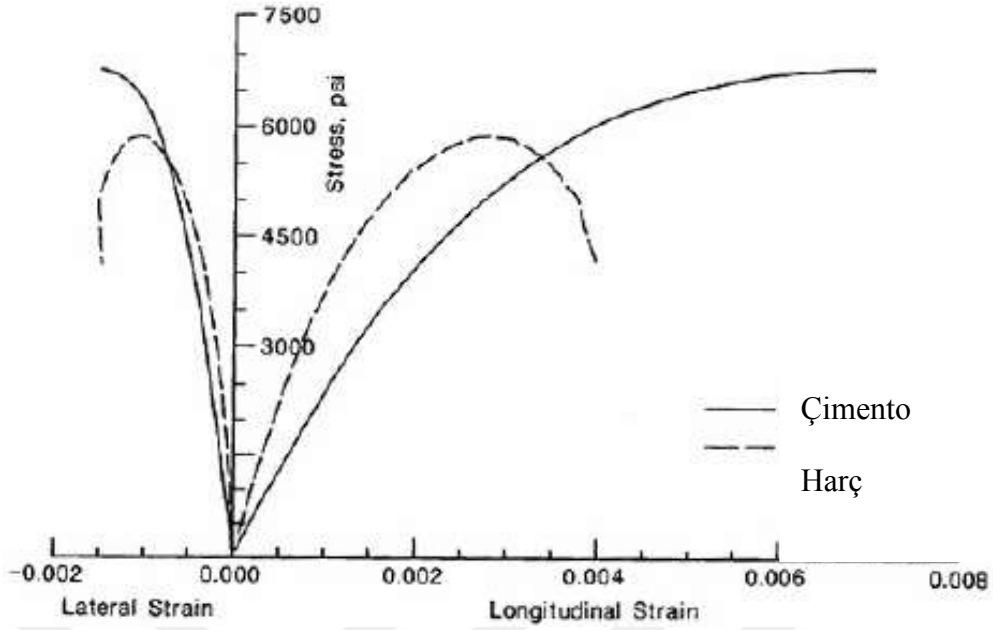
Beton portland çimentosu, agrega ve suyun heterojen bir şekilde karışmasıyla meydana geldiği için basınç yükleri altında mikroskobik ve makroskobik çatlak oluşum aşamalarından geçer. Bu heterojik karışımın önemli bir malzemesi olan çimento su ile birleştiği andan itibaren kimyasal hidrasyona girer, bu reaksiyon sonucunda priz süresi sonlandığında agregaları bir arada tutan bağ oluşur. Çimentonun oluşturduğu bu bağ gözeneklidir. Hidrasyon tamamlandıktan sonra bazı gözenekler kalıcı olur, doğal olarak beton içerisinde ilk çatlaklar oluşmuş olur. Bununla birlikte çimento agrega yapısında kuma, büzülme ve termal gerilmelerden ötürü mikro çatlaklar meydana gelir. Betonda kırılma başlamadan önce iki aşama vardır. İlki çimento hamurunun dağılması, ikincisi çimento hamuru ve agrega arasındaki bağın kırılmasıdır.

Şekil 2.1'de çeşitli araştırmacılar tarafından sunulan, betonun basınç ve tekrarlı yükler altındaki gelişimleri görülmektedir. Beton içerisindeki gözenekler ve basınç yükü altında oluşan gelişimi a) da görülmektedir. Bazı araştırmacılar betonda çatlak oluşumuna farklı rijitlikteki kalıntıların yani rijit agregaların neden olduğunu belirtmektedir; b) ve c) şekillerinde bu durum gösterilmiştir. Bununla birlikte yükün yönü ve yoğunluğuna göre, gözenek ve kalıntıların varlığından ötürü eğik çatlaklar olabilir. Bu; d) ve e) şekillerinde görülmektedir, bu eğimli çatlaklar betonda kırılmaya neden olabilir.



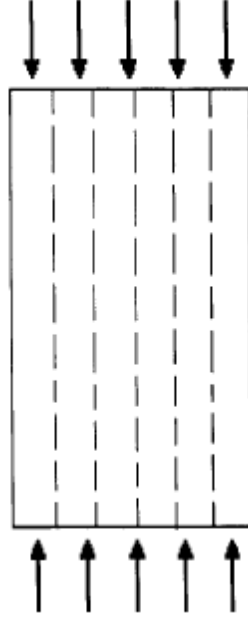
Şekil 2.1: Betonun basınç yükü altındaki kırılma tipleri [6].

Betonda tek eksenli yükler karşısında onarılabılır elastik ve mevcut çatlakların gelişmesi sonucu oluşan onarılamaz inelastik deformasyonlar gözlenebilir. Bu çatlakların oluş nedeni agrega ve çimento hamurunun farklı mekaniksel özellikler göstermesinden ötürüdür. Örnek vermek gerekirse bu malzemelerin elastisite modüllerinin farklıdır. Şekil 2.2 ' ye göre agrega içermeyen çimento hamuru, granül agrega içeren çimento hamurundan farklı davranış göstermektedir. Böylece bu farklılıklar gerilmenin malzeme birleşim yüzeyinde çatlak oluşturmaya neden oluyor. Sonuç olarak, betonun basınç yükü altında doğrusal olmayan bir davranış sergilediğini gerilme şekil değiştirme eğrilerinden gözlenebiliyor.



Şekil 2.2: Farklı tip karışımlarda gerilme şekil değiştirme davranışı [7].

Basınç yüküne maruz kalmış betonda, gerilme yoğunlaşmaları oluşabilir. Bu yoğunlaşmalar mikroskobik çatlakların agrega çimento birleşiminde çoğalmasına ve gelişmesine neden olur. Mikro çatlakların oluşumu başlamasıyla daha sonra makro çatlaklar meydana gelmeye başlar. Basınç yükleri nedeniyle hasar oluşumu çok düşük gerilme seviyelerinde başlar. Normal dayanımlı betonlarda f_{max} ın yüzde 30 değerinde göz ardı edilebilir çatlaklar oluşur, %30-%50 arasında çatlaklar gelişmeye başlar, %50 f_{max} yüklenmesi durumunda bağı bozacak çatlaklar gelişir ve makro çatlaklar gelişir. %75 gerilme durumunda bağı bozan çatlaklar daha hızlı gelişir. Artan yüklerle makro çatlaklar artar ve kırılmaya neden olan çatlak düzeni oluşur. Makro çatlakların artışıyla kesit içerisinde hacim artışı da gözlenir. Bu hacim artışı hasarın bölgesel olduğu yerlerde, tepe noktası veya tepe noktasına yakın olan yüklerle birlikte olur. Tepe yükünden sonra, numune içerisindeki şekil değiştirme dağılımı uniform değildir, yani kesit içerisindeki çatlaklar malzemeyi yumuşatır, gerilme şekil değiştirme eğrisinde doğrusal olmayan ilişki başlar. Gerilme değeri arttıkça çatlakların sayısı ve boyutu artıp, Şekil 2.3' te görüldüğü gibi çatlaklar gerilmenin uygulandığı doğrultuda oluşacaktır. [7]



Şekil 2.3: Basınç gerilmeleri altında çatlak doğrultuları [7].

2.3.1 Beton basınç dayanım formülleri

Beton basınç dayanımının bileşimine dayanılarak tahmin edilmesinde kullanılan formüllerdir. Bileşimi belli olan bir betonun basınç dayanımının hesaplanması çok yararlıdır. Fakat bu dayanımla ilgili olarak matematiksel kesinlik taşıyan formüller bulunmamaktadır. Özellikle beton deneme amacı ile üretilmiş ve dayanımı saptanmışsa geliştirilen formüllerde bulunan katsayılar daha kesin değerler almakta ve gerekli düzeltmeler yapılabilmektedir. Hemen hemen tüm formüllerde W/C oranı dikkate alınmaktadır. karışıma giren malzemelerin özellikleri ve oranları ile basınç mukavemeti arasında bir bağıntı mevcuttur. [8]

2.3.1.1 Graf formülü

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} x \left(\frac{Ç}{E}\right)^2 \quad (2.1)$$

f_c = Üretilcek betonun amaç mukavemetini, (N/mm²)

f_{cc} = Çimentonun norm mukavemetini, (örneğin; PÇ42.5 için $f_{cc}=42.5$ N/mm² dir.)

K_G = Graf katsayısını, (4~10 N/mm² arasında bir değer alınır.)

$Ç$ = Çimento miktarını, (Kg)

E = Su miktarını ifade etmektedir.

Graf formülü betonun basınç dayanımının C/E ile gösterilen çimento/su oranının karesi ile orantılı olduğunu kabul ediyor. K_G beton yaşından bağımsız olarak agreganın türüne betonun saklandığı ortam koşullarına ve çimento dozajına bağlıdır.

2.3.1.2 Bolomey formülü

$$f_c = K_s \left(\frac{C}{E \times h} - 0,5 \right)^2 \quad (2.2)$$

K_s = Bolomey katsayısını, (10~30 N/mm² arasında bir değer alınır.)

h = Hava miktarını, (10~35 dm³ arasında bir değer alınır.)

Bolomey formülünde, basınç dayanımının C/W oranının doğrusal fonksiyonu olduğu kabul edilmiştir. Bu formülde hava boşluğu etkisi de göz önüne alınmıştır.

2.3.1.3 Feret formülü

$$f_c = K_F \left(\frac{C}{c + e + h} \right)^2 \quad (2.3)$$

K_F = Feret katsayısını, (90~280 N/mm² arasında bir değer alınır.)

Paydadaki c+e+h ifadesi 1m³ sıkıştırılmış betonda agregalar arasındaki toplam hacmi gösteriyor. Paydaki c ise bu hacimde çimento danelerinin kapladığı hacmi göstermektedir. Buna göre c/(c+e+h) oranı taze betonda çimento konsantrasyonuna karşı gelmektedir. Feret formülüne göre beton basınç dayanımı bu karışımın karesi ile onatılıdır.

Bağıntılarda küçük harf hacim, büyük harf ağırlıkları göstermektedir.

c = Hacim olarak çimento

C = Ağırlık olarak çimento miktarı

e = E Hacim = Ağırlık olarak su (20)

2.4 Betonun Elastisite Modülü

Beton gerçek anlamda elastik bir malzeme olmasa da, özellikleri arasında en çok kullanılan elastik sabit, elastisite modulüdür. Beton gerçek anlamda elastik bir malzeme olmasa da, özellikleri arasında en çok kullanılan elastik sabit, elastisite modulüdür. Basitçe tek eksenli basınç ya da çekme altında malzemenin ani şekil değiştirme ölçüsü olarak tanımlanır [9].

Bir malzemeye yük uygulanması sonucu şekil değiştirmeler meydana gelecektir. Uygulanan yük kaldırıldığı zaman malzeme ilk şekline dönebilir ya da yeni kazandığı şekliyle kalabilir. Yükün kısa sürede veya uzun sürede yüklenmesi sonucu olacak şekil değiştirmeler farklı nitelikte olacaktır. Bu şekil değiştirme şayet kalıcı olursa buna plastik şekil değiştirme, yük kalkınca tekrardan eski haline geri dönüyorsa elastik şekil değiştirme denir. Elastik şekil değiştirmenin zamandan bağımsız olduğu yani gerilme uygulanır uygulanmaz ani olarak yer aldığı kabul edilir. Tek eksenli yüklemde bu bağıntı $\sigma = E \cdot \epsilon$ (Hooke Kanunu) şeklindedir ve elastisitenin temel kanununu teşkil eder. “E”, elastisite modülünü temsil eder. Betonda elastisite modülünün bilinmesi beton, betonarme ve ön gerilmeli beton yapılarının deformasyonlarının hesaplanmasına yarar. Elastisite modülünün bilinmesiyle, deformasyonları ölçerek gerilmeleri hesaplayabiliriz. Betonlarda elastisite modülü ve basınç mukameti arasında bazı ilişkiler vardır. Bu ilişkiler, betona zarar vermeden yaklaşık olarak mukavemetinin tayin edilmesini sağlar.

Beton içerisindeki su/çimento oranı ile betonun elastisite modülü arasında ters orantılı bir ilişki mevcuttur. Su/çimento oranı arttıkça elastisite modülü düşer. Bunun dışında elastisite modülü kullanılan agreganın granülometresi, agreganın tipi ve boyutuna göre değişkenlik gösterebilir. Örnek olarak, kırmataş kullanılmış bir betonun elastisite modülü yuvarlak çakıl kullanılmış bir betona göre daha düşük olduğu söylenebilir.[10] Bununla birlikte uçucu kül ilave edilmiş betonların elastisite modülü daha yüksektir.

19.yüzyılın ortalarından beri elastisite modülü tayini önemli bir araştırma konusu olmuştur. Elastisite modülünün tayini için 3 farklı metot kullanılmaktadır. Elastisite modülü gerilme – şekil değiştirme eğrisi yardımıyla, rezonans - frekans metoduyla ve ultrases metoduyla bulunabilir. Her metot aynı beton için farklı değerleri verebilir. [11]

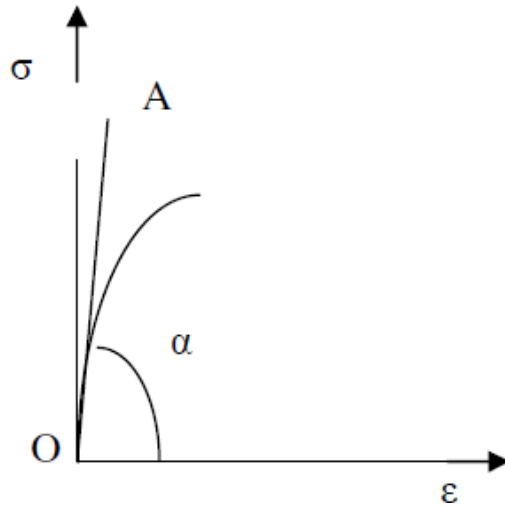
Gerilme – Deformasyon Eğrisi ile Elastisite Modülünün Hesaplanması;

Elastisite modülünü hesaplariken beton numunesine basınç uygulanarak ve betondaki deformasyonları gerilmelere göre kaydederek elde edilen gerilme – deformasyon eğrisini kullanmak en uygun yöntemdir. Ancak yeni betonlarda plastisite yanıl deformasyonlara yol açtığından pek uygun değildir. [10]

Elastisite modülünün hesaplanmasında gerilme şekil değıştirme eğrisinde genel olarak bir başlangıç doğrusu bulunmamaktadır. Bu durumlarda betonlarda çeşitli elastisite modülü tanımları ortaya çıkar. Bunlar; Başlangıç teğeti modülü, dinamik elastisite modülü ve sekant modülüdür.

2.4.1 Başlangıç teğeti modülü

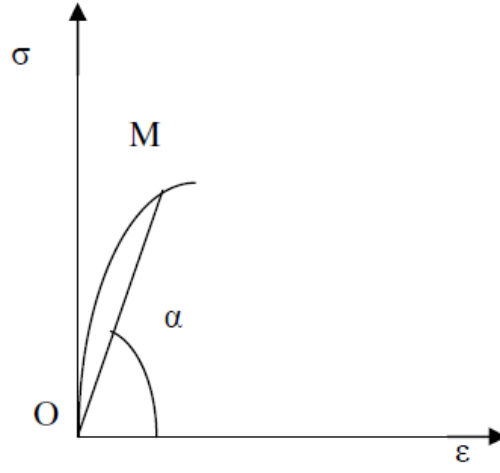
Başlangıç teğeti modülü başka bir deyişle Dinamik elastisite modülü betonun gerilme – deformasyon eğrisinin başlangıçtaki teğetinin eğiminin alabileceği maksimum değerdir. Buna göre deney hızı belli bir değer üzerinde artırılacak olursa elde edilecek gerilme deformasyon eğrileri başlangıçta daima aynı bir OA doğrusuna teğet kalır. İşte bu OA doğrusunun eğimi t_g bize betonun dinamik elastisite modülünü verir. [10] Bu durum Şekil 2.4’de görölmektedir.



Şekil 2.4: Başlangıç Teğeti Modülü Gerilme-Şekil Değıştirme Grafiği [10].

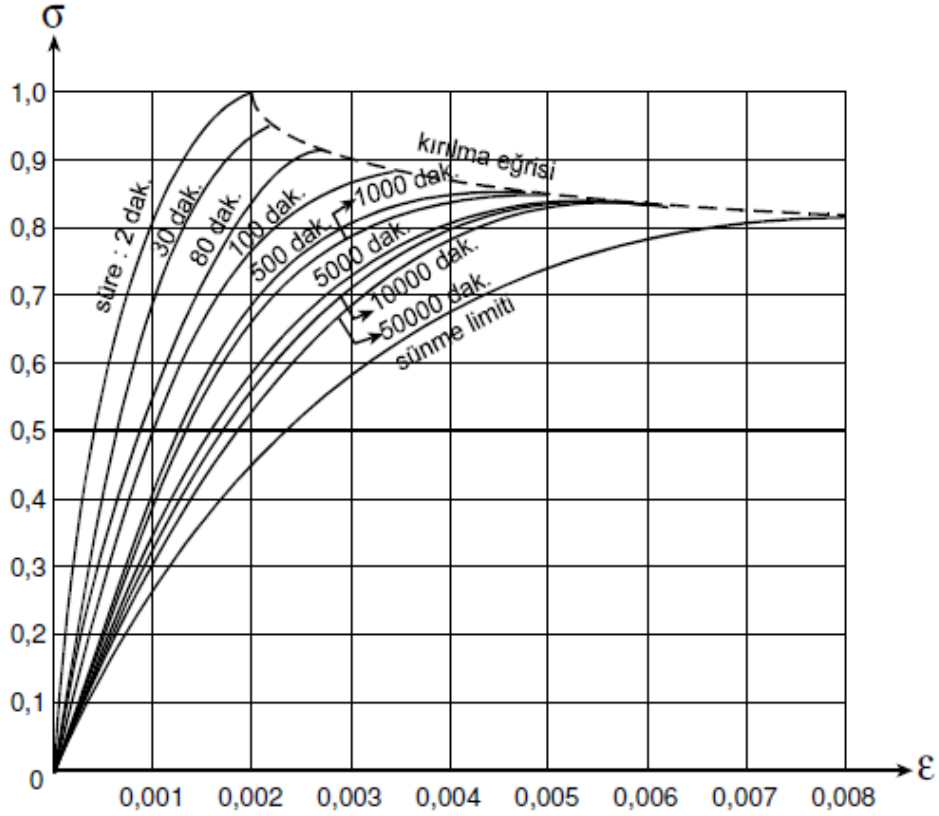
2.4.2 Sekant modülü

Bu modül gerilme şekil değiştirme eğrisinin herhangi bir M noktasının koordinat merkezini birleştiren OM doğrusunun eğimidir. $E_s = \tan \alpha$ 'dır. Bu modülün bilinmesiyle deformasyondan derhal gerilmeyi hesaplamak mümkün olur. Numunelerde deneysel olarak gerilme-şekil değiştirme eğrilerinden belirlendiğinden ötürü sekant modülü statik elastisite modülü olarak da adlandırılır. şekil 2.5' de sekant modülü doğrusu ve eğim açısı görölmektedir.



şekil 2.5: Statik Elastisite Modülü Gerilme-şekil Değiştirme Grafığı [10].

şekil 2.6'da göröldüğü üzere başlangıç teğeti modülünün yükleme hızıyla birlikte azaldığı görölmektedir. Elastisite modülünün yükleme hızıyla birlikte arttığı gerçeği olmasına rağmen, Yükleme hızı belirli bir seviyenin üstünde artırılrsa bile, elde edilecek gerilme deformasyon eğrileri başlangıçta aynı bir OA eğrisine teğet kalırlar. Bu, E_t 'nin bir maksimum değere sahip olması veya belirli bir değeri geçmemesi anlamına gelir. İşte bu E_t 'nin bu maksimum değerine dinamik elastisite modülü denilir.



Şekil 2.6: Gerilme şekil değiştirme eğrisinin gerilme hızıyla değişimi [12].

2.4.3 Betonda elastisite modülünün tayini

Elastisite modülü gerilme - deformasyon eğrisinin fonksiyonu saptanmışsa kolaylıkla tayin edilebilir. Bu saptanan fonksiyonun ϵ 'a göre türevinin $\epsilon=0$ için değeri elastisite modülünü verir. [13]

Birçok standartta betonun elastisite modülünün saptanması için kiriş metodu önerilmektedir. Bu amaçla 150 x 300 mm silindir örnekler üzerinde $2,5 \pm 0,3$ kg/cm²/sn sabit yükleme hızında basınç deneyi uygulanır. Deformasyonlar ölçülür. Bu deneyden önce sünme etkisinin yok edilmesi ve strengelerin sağlamak amacıyla en az iki (genelde üç) kez maksimum gerilme değerine kadar (dayanımın %40'ı) ön yükleme yapılması gereklidir. Birçok yönetmelikte elastisite modülü ile ilgili formülasyonlar bulunmaktadır. Formül 3.1, 3.2, 3.3, 3.4'de belirtilen bu formülasyonlarda formüllerin metrik veriler için de değerleri verilmiştir. TS500'e göre normal betonlar için j günlük betonun elastisite modülü;

$$E_{cj} = 3250(f_{ckj})^{1/2} + 14000 \text{ (Mpa)} \text{ metrik } 10270(f_{ckj})^{1/2} + 14000 \quad (2.4)$$

Amerikan Beton Enstitüsü (ACI318-95);

$$E_{cj} = w^{1,5} 1362(f_{ckj})^{1/2} \text{ (Mpa)} \quad (2.5)$$

Normal Betonlar için,

f_{ckj} = j günlük betonun silindir basınç dayanımı (MPa; metrik, kgf/cm²)

E_{cj} = j günlük betonun elastisite modülü (MPa)

Betonun basınç dayanımını ve σ - ϵ ilişkisini etkileyen bütün değişkenler elastisite modülünü de etkiler. Bu nedenle beton gibi elastik ve doğrusal olmayan ve zamana bağlı deformasyonlar gösteren bir malzemenin elastisite modülünü doğru ve kesin olarak belirlemek olanaksızdır. [13]

Bunun dışında betonun elastisite modülünü hesaplamakta kullanılan yaygın bağıntılardan bazıları kısaca aşağıda verilmiştir.

$$E = A' [f_b^{B'}] [\gamma_b/2400]^{1,5} = A' [f_b^{B'}], \text{ (GPA)} \quad (2.6)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada;

$$A' = 9,5$$

$$B' = 0,3$$

γ_b = betonun yoğunluğunu

f_b = betonun basınç dayanımını ifade etmektedir (23).

$$\text{Ros Formülü; } E_d = 600000R_p / (200+R_p) \quad (2.7)$$

Bu formülde R ve E kgf/cm² cinsinden ifade edilmektedir. R_p kare kesitli yüksekliği 2a olan prizmatik beton numunelerinin basınç mukavemetidir.

$$\text{L'Hermite Formülü; } E = K (R_s)^{1/2} \quad (2.8)$$

Burada da R_s kgf/cm² cinsinden alınacak ve E bulunacaktır. R_s çapı 15 cm yüksekliği 30 cm olan silindirin mukavemetidir. [14]

2.4.4 Elastisite modülünün ultrases hızı yardımı ile ölçülmesi

Titreşim frekansı 20Khz' den fazla olan ses dalgalarına ultrases denilir. Malzeme testinde kullanılan ultrases, pizzo-elektrik metodu ile elde edilmektedir. Bu metodun esası kuartz kristal dilimini bir alternatif akım alanına yerleştirmektir. Bu durumda

kuartz kristali, sahip olduğu bir özellik sayesinde sabit bir frekansa titreşir. Eğer elektriksel alanın frekansı kuartzın titreşim frekansına eşitse rezonans hali meydana gelir. Bu durumda insan kulağının duyabileceği titreşim frekansı 16-16000 Hz arasında bulunmaktadır. 16000 üzerine çıkıldığında kulakta duyulmayan ve ultrases denilen ses dalgaları oluşur. Bu dalgalar boşlukta yayılmazlar. Ancak katı, sıvı veya gaz halde bulunan bir cismin içinde belirli bir V hızıyla yayılırlar. [11]

Ultrases dalgalarının kaynağı çapı (d) olan disk şeklinde bir elemandır. Bu kaynaktan çıkan (f) frekansına sahip ultrases dalgalarının meydana getireceği enerjinin %90' ı yarı açısı \emptyset olan bir koninin içinde bulunur. Bu açının sinüsüyle ilgili aşağıdaki bağlantı yapıp dalga hızı (V) bulunabilir.

$$\sin \emptyset = 1.22 / d * f \quad (2.9)$$

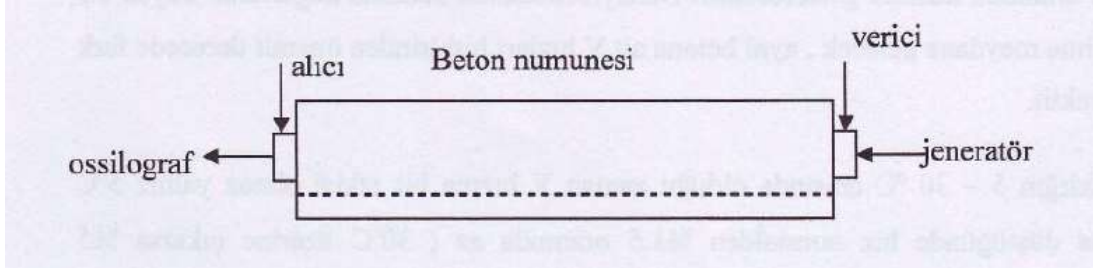
Açığa çıkan enerjinin dağılmaması ve toplanabilmesi için θ 'nın küçük olması gerekir. Yani frekansın büyük olması gerekmektedir. Cisimde ses hızı tayini için Prizma şeklinde, L uzunluğundaki bir beton numunesinin bir ucuna ultrases üreten kablo, diğer ucuna da bu sesleri toplayan diğer kablo altına gress sürülerek gerçekleştirilir. Kablo tarafından oluşturulan dalgalar bir ossilografa nakledilerek sesin A'dan B'ye ulaşması için geçen zaman saniyenin milyonda biri yani mikro saniye cinsinden tayin edilir. Sesin A'dan B'ye bir t süresinde ulaştığı bulunduktan sonra yayılma hızı;

$$V = L / t \quad (2.10)$$

V bulunduktan sonra prizmatik çubuk halinde E;

$$E = k 10^{-5} V^2 \Delta / 9,81 \quad (2.11)$$

V km / sn cinsinden ultrases hızı Δ kg / dm³ cinsinden betonun birim ağırlığı olmak üzere kgf / cm² boyutundaki dinamik elastisite modülü bulunur. K katsayısı ses hızı prizma şeklinde olan beton numunesinde hesaplanması halinde 1'e eşittir.



Şekil 2.7: Ultrases Hızı Tayini deney düzeneği [15].

Ultrases deneyi ile bulunan hız malzemenin cinsine ve bünyesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle ses dalgalarının karşısına bir boşluk çıktığında dalga oradan geçemez ve etrafından dolaşır. Böylece geçiş süresi uzamış olur. Hızı azaltır. Bu sayede beton ve doğal taş gibi boşluklu malzemelerdeki ses hızı bize bu malzemelerin boşlukları hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar. Bu hızın çok düşük olması o malzemenin çok boşluklu olduğunu gösterir. Cismin yapısında bir değişiklik olmadıkça, cisme bir gerilmenin etkilemesi veya etkilememesi halinde bulunan ses hızları birbirinden fark etmez. Gerilmenin etkisiyle çatlakların gelişmesiyle meydana gelen yapı değişikliği ses hızının düşmesine sebep olur. [15]

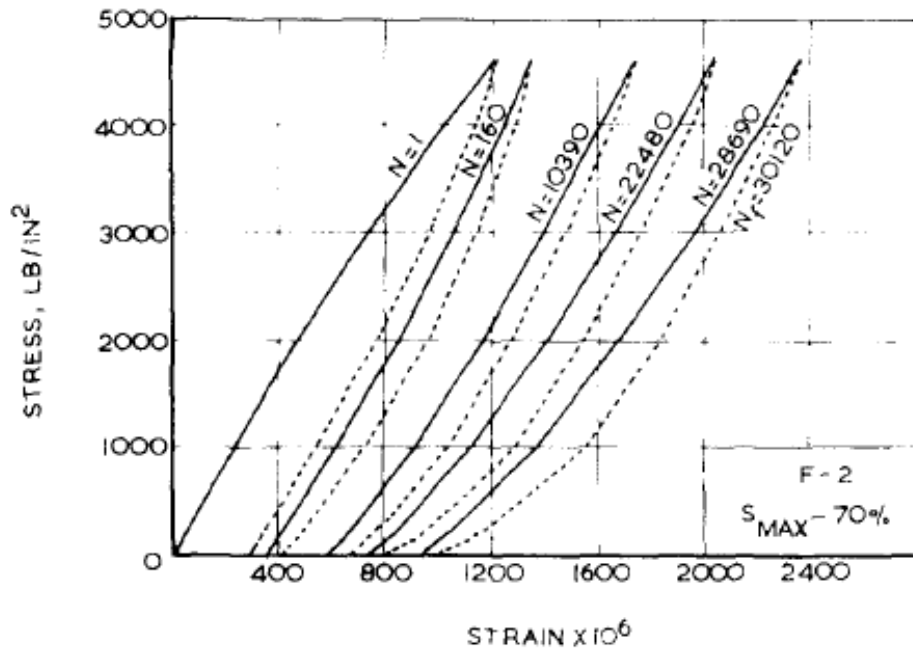
2.5 Betonda Tekrarlı Yükler

Beton tekrarlı yüklere maruz kaldığında çatlaklar plastik deformasyonlara ulaşır, bunun sonucunda betonun bileşiminde kalıcı hasarlar oluşur. Betonun daha önce incelenen davranışlarına göre tekrar sayısı arttıkça çatlaklar hasar artar. Belirli sayıda tekrardan sonra, bu çatlaklardan ötürü çatlaklar oluşur. [16]

Yorulma tekrarlı yükler sonucunda beton içerisinde gelişen bir hasar tipidir. Betonarme yapılarda göçme, çatlak oluşumu, çatlakların gelişimi ve son kırılmayla gelişir. Bir yapı malzemesine yüklenen yükler eğilme, burulma, basınç ve çekme yükleri olabilir. Yorulma hasarı bu tip yük koşullarından hepsinde oluşabilir. Dolayısıyla betonarme taşıyıcı yapı elamanlarında yorulma oluşumu basınç ve çekme durumlarına göre çeşitli metotlarda incelenmelidir. Eğilme testi genelde betonarme kesitlerde demir kullanılmamış durumlarda yani saha betonları için yapılır. Bunun dışında betonarme köprü ve köprü kirişlerinde yapı basınç ve çekme yüklerini hesaba katılarak yorulma dayanımları incelenmiştir. [16] İlk basınç yükleri uygulandığında çatlaklar yük doğrultusunda olmuştur. Eğilme ve basınç yüklerinin oluşturduğu yorulma çatlakları oldukça benzer bulunmuştur.

Raju'ya göre [17] tekrarlı yükler gerilme şekil değiştirme eğrisi sekant modülünü düşürmüştür. Elastsite modülü ve yorulma yaşı arasında doğrusal bir ilişki kurulmuştur. Bu denklem yorulma yaşının tahmininde kullanılabilir.

Şekil 2.8'e göre yorulma nedeniyle kırılmış tüm numunelerde genel görüntü, ilk tekrarda yükleme eğrisi gerilme aksına doğru dış bükey, tekrar sayısı arttıkça aynı eğri gittikçe tersi yönde eğriliğini arttırarak iç bükey konumu alıyor. Eğrinin eğikliği tekrar sayısı arttıkça artıyor.



Şekil 2.8: Gerilme-şekil değiştirme eğrisinin tekrarlı yüklerle değişimi [17].

Daha önce yapılan bir çok araştırma ve bulgulara göre betonarme kesitlerde betonun tekrarlı yüklere karşı dayanımı, betonun bileşimi, çevresel koşullar, yük durumları ve en önemlisi betonun mekanik özelliklerinden etkilendiği tespit edilmiştir. [16] Bununla birlikte betonun yorulmaya karşı dayanım sınırı yani yorulma yaşı tam olarak bilinmemesine rağmen betonun sonsuz tekrara rağmen dayanabileceği bir gerilme sınırı yoktur. Tekrarlı yüklere maruz kalan betonlar gerilme değeri ne olursa olsun sonunda kırılmaya uğramıştır. Sonuç olarak beton için 10.000.000 tekrar sayısı hemen hemen dayanma sınırı olarak kabul edilmiştir. [18]

Tekrarlı yükleme kesit içerisinde kalıcı hasarlara yol açan bir yükleme tipidir ve tekrar sayısı zamanla arttıkça kesit içerisinde hasar artar. Tekrarlı yükleme süresince kesit içi mikro çatlaklar artar ve bu çatlaklar onarılamaz şekil değişimlere yol açar.

Belirli tekrar sayıda yüke maruz betonlarda gözenekler artar, bu da yüksek su/çimento oranına sahip betonlarda çatlakların gelişmesi daha uzun süre alır. [18] Bu da daha yüksek su/çimento oranına sahip betonların daha sünek olarak tanınlanmasıyla ilişkilendirilebilir. Buna rağmen yüksek dayanıma sahip betonlar daha gevrek kırılırlar.

Daha önceki bölümlerde betonun basınç yükleri altındaki davranışı açıklanmıştır. Basınç yükleri altında çatlaklar kesit içerisinde oluşur, tekrarlı yükler altında çatlaklar uygulanan yükün seviyesine göre oluşur. Sonuç olarak yüklerin tekrar uygulanmasıyla beton gevrek bir şekilde kırılır. [16] Basınç yükü ve tekrarlı yüklere maruz kalmış betonlarda kırılma tipi benzerdir. Uygulanan gerilmenin oluşturduğu çatlak düzeni basınç yüküne maruz kalmış numunelerinkiyle aynı şekilde oluşur. Dolayısıyla her yük tekrarı çatlakların artmasına yol açar. Basınç yüklemesi sonucunda bazı çatlaklar mikro çatlak tipine yaklaşır, genelde bu çatlaklar çimento yüzeyi agrega arasında oluşur. Ayrıca yüklerin boşaltılması sırasında mikro çatlakların genişlediği ve geliştiği de gözlenmiştir. [19]

Bu gibi nedenlerden ötürü tekrarlı yüke maruz betonlarda mekanik özellikler gittikçe bozular. Bununla birlikte bazı araştırmacılar düşük tekrarlı basınç yükü tekrarlarından sonra dayanımda artış olduğunu bulmuşlardır (tak_tezno28) Düşük oranlı basınç yükü tekrarına uğrayan numunelerde, tekrara uğramamış numunelere kıyasla yüzde 20 dayanım artışı tespit edilmiştir. (tak?tezo28) Dayanımdaki bu artışın nedeni düşük gerilme seviyelerinde çatlakların azalması olabilir. Çatlak azalmasının doğal nedeni kesitin hacim kaybı, sıkışması dolayısıyla dayanımın artmasıdır. Mehmel ve Kern [20]'e göre bu artış oranı yüzde 10 mertebesinde. Hisdorf dayanım artışı gözlenen numunelerle, yük uygulanmamış numunelerin, yorulma dayanımlarını karşılaştırmış ve tekralı yük uygulanan numunelerin yorulma yaşının %20-30 arttığını tespit etmiştir.

Tekralı basınç yüküne maruz kalmış betonlarda hasar oluşumu oldukça karmaşık bir yapıdadır. Yorulma nedeniyle kırılmış betonlarda hasar oluşumunun mekanizması henüz net değildir. [18]

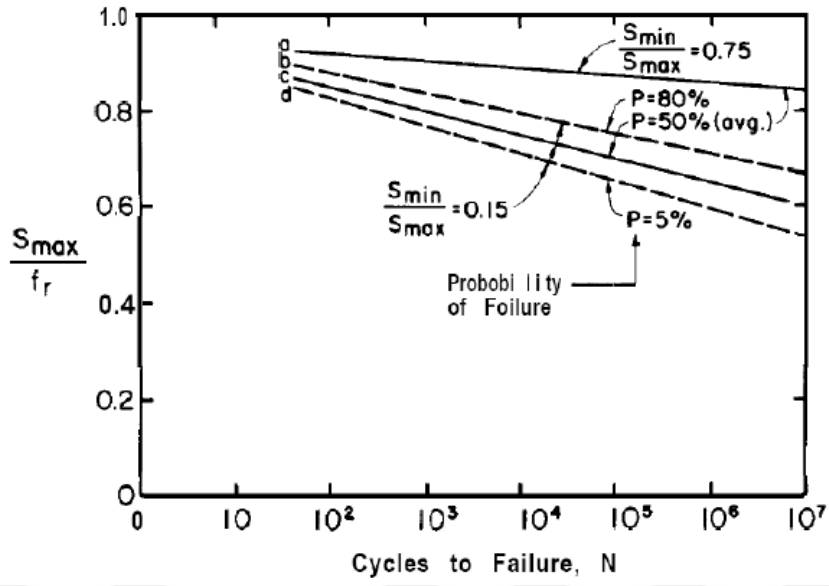
Moral [21] betonun bileşimin tipinin yani farklı bileşimli betonların tekrarlı yüklerden nasıl etkilendiğini incelemiştir. Bu araştırmada birçok çeşit tekrarlı yükün farklı koşullarda etkileri incelenmiştir. Farklı çimento tipleri, farklı dane boyutları ve

farklı agrega karışım oranları bu farklı koşulların oluşmasını sağlamıştır. Moralin bulgularına göre agrega adne çapı düştükçe numuneler tekrarlı yüklerden daha az etkilenmiş, su/çimento oranı düştükçe aynı çevrimsel yükte betonun basınç dayanımı tekralı yük sonrası daha çok düşmüştür. Bununla birlikte uygulanan yük oranı arttıkça betonun kırıldığında açığa çıkan enerji düşmüştür. Maksimum dayanımın %90 oranında tekralı yük uygulanmış su/çimento oranı 0,70'ken açığa çıkan enerjideki bu düşü %10 olmuştur. Su/çimento oranı düştükçe bu düşüş daha da az tespit edilmiştir.

2.5.1 Yorulma dayanımı

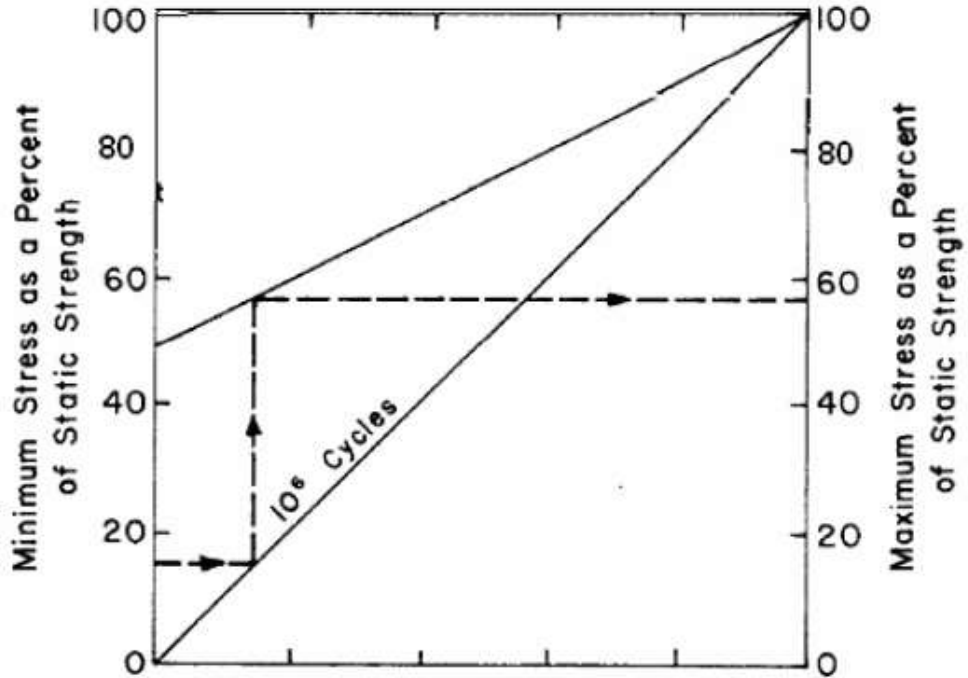
Şekil değiştirme-Tekrar sayısı arasındaki bağlantıları gösteren çalışmalar ilk olarak 19.yüzyılın başlarında yapılmıştır. Şekil 2.9' da örnek bir S-N ilişkisi görülmektedir. Burada S: Uygulanan gerilme miktarı N: Tekrar sayısı olarak gösterilmiştir. Şekle göre yük oranı ve uygulanan tekrar sayısı arasında bir ilişki olduğu kabul edilmiştir. Betonda yorulma dayanımı statik dayanımın bir bölümüdür.

10.000.000 miktarda tekrarın betonun dayanma limiti kabul edildiğinden beri, yorulmaya göre tasarım Goodman diyagramına göre yapılmıştır.Şekil 2.9' da bu diyagram görünmektedir. Yorulma yüküne göre dizayn edilecek gerilme oranı bu tablodan çıkartılabilir.Bununla birlikte çekme, burulma ve eğilme tekrarlı yükleri durumlarına göre de bu tablo kullanılabilir. Örnek olarak, minumum gerilme yükü uygulanmamış 10.000.000 tekrar gören bir numunede, %50 pik gerilme yükü uygulanabilir. Minumum gerilme değeri arttıkça, tekrarlı yükün uygulanacağı gerilme değeri de artacaktır. [18] 'e göre düşük tekrarlı yükler 1-1000 yük tekrarıyla, yüksek tekrarlı yükler 1000-10.000.000 yük tekrarıyla tanımlanmıştır.



Şekil 2.9: Gerilme tekrar sayısı ilişkileri [18].

Şekil 2.10'a göre deprem yüküne maruz kalmış yapılar düşük tekrarda yüklendiği kabul edilmiş, hava alanı saha betonları ve köprüler servis yükleri üzerinde yüklenmiş, yüksek tekrarlı sınıfta kabul edilmiştir.



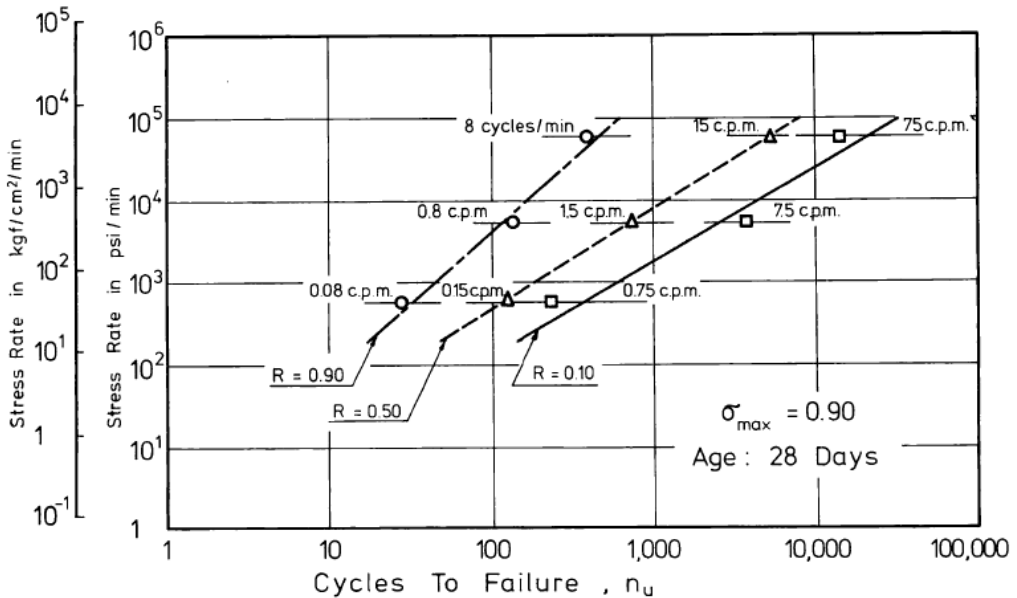
Şekil 2.10: Betonun yorulma dayanımı [18].

Betonda yorulma, uygulanan yükün frekansı ve genliğiyle de ilişkilidir. Yükleme hızı arttıkça, kırılmaya neden olacak tekrar sayısı da artacaktır. Bunun nedeni hızlı yükleme gevşemeye neden olacak ve yük taşınırken hasar oluşmayacaktır. Tekrar sayısı ve yükleme hızı arasındaki ilişki 2.1 no'lu Çizelgede verilmiştir.

Çizelge 2.1: Raju'ya göre yorulma yaşının sınıflandırılması [17].

Low Cycle Fatigue			High Cycle Fatigue				Super High Cycle Fatigue		
Structures Subjected to Earthquakes			Airport Pavements and Bridges		Highway and Railway Bridges, Highway Pavements, Concrete Railroad Ties		Transit Structures	Sea Structures	
0	10^1	10^2	10^3	10^4	10^5	10^6	10^7	10^8	10^9

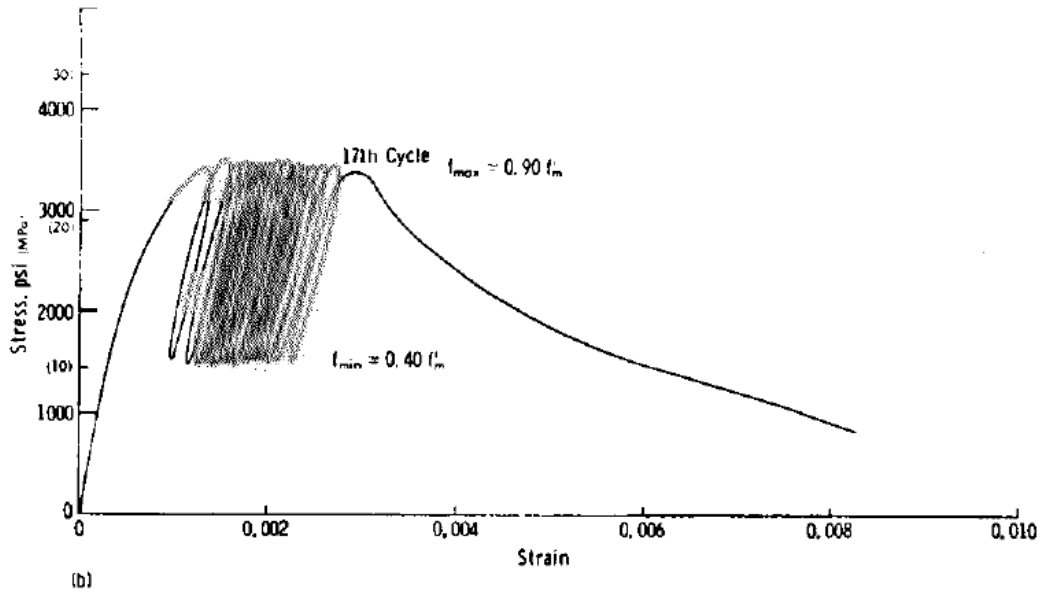
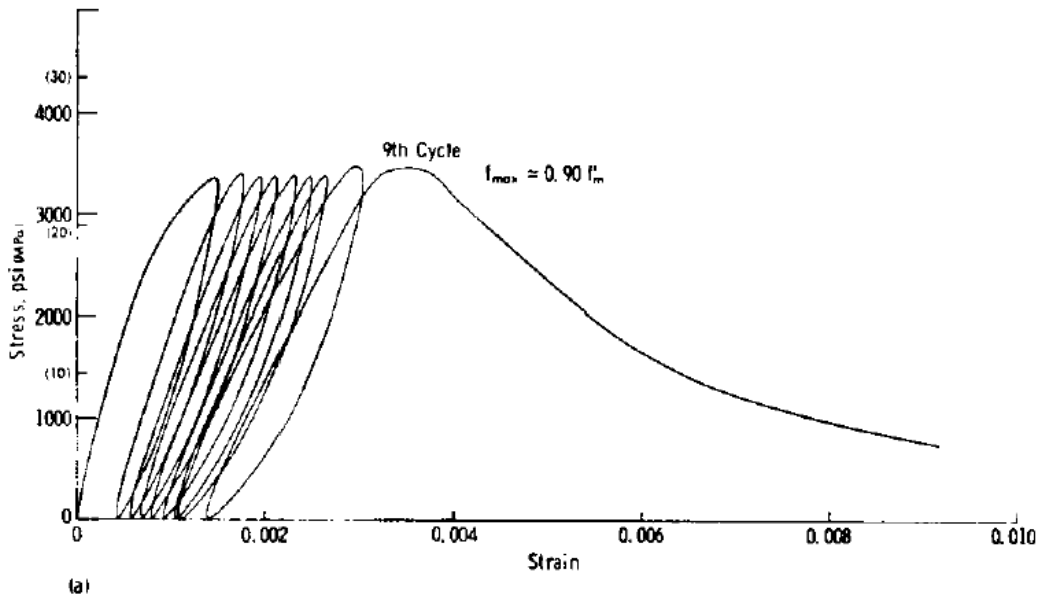
Test sonuçlarına göre 1Hz ve üzeri frekansla yüklenmiş betonlarda yorulma davranışı etkilenmemiştir. Beton 1Hz-20Hz arasındaki genlikte yüklendiğinde tekrarlı yüklerden etkilenmemiştir. Yavaş- düşük genlikte yükleme yapıldığında sünme test sonuçlarını etkilemiştir. [22] Şekil 2.11 'de yükleme oranı- yorulma dayanımları ilişkilendirilmiştir.



Şekil 2.11: Yükleme hızının yorulma dayanımına tesiri [22].

Minimum seviyede tekrarlı yük yükleme yapılması durumunda, tekrar sayısı yorulma yaşına gelindiğinde normale göre daha düşük ölçülmüştür. Uygulanan yük

değeri minimuma geldikçe her tekrardaki şekil değıştirme daha fazla olmuştur. Yani yükün boşaltıldığı gerilme değeri ne kadar düşükse şekil değıştirme aynı tekrarda daha fazla olmuştur. Şekil 2.12. 'de bu durum örneklenmiştir. Şekil 2.4.5 a) daki durumda uygulanan maksimum yük değeri $0.9f_{max}$ ve yükün boşaltıldığı değeri sıfıra çok yakın bir değeri alınmış. b) deki durumda uygulanan maksimum yük değeri yine $0.9f_{max}$ alınıp yükün boşaltıldığı değeri $0.4f_{max}$ alınmıştır. a) daki durumda her tekrarda daha büyük hasar oluştuğu tespit edilmiştir. Buna göre tekrarlı yükün boşaltıldığı gerilme değeri düşükçe betonun yorulma dayanımı da düşmüştür.[23]



Şekil 2.12: Yük boşaltma oranının tekrarlı yüklemeye etkileri [23].

Çevre şartlarının tekrarlı yüklemeye etkileri vardır. Donma- çözünme hasarı almış betonlarda tekrarlı yük karşısında ayrışma daha fazladır. [21] Sonuç olarak çevresel faktörler beton özelliklerini etkileyip, betonun tekrarlı yük karşısındaki özelliklerini değiştirmiştir. Tasarım kriterlerine çevresel faktörlerde eklenmelidir.

2.5.2 Tekrarlı yüke maruz kalmış betonların mekanik özellikleri

Çimento bileşimli malzemeler göçme yüküne ulaşmadan tekrarlı yükler nedeniyle ayrışmaya uğrarlar. Bu tarz tekrarlı yükleme durumlarında betonun özellikleri de tekrarlı yükün oluşturduğu hasarlardan dolayı değişir.

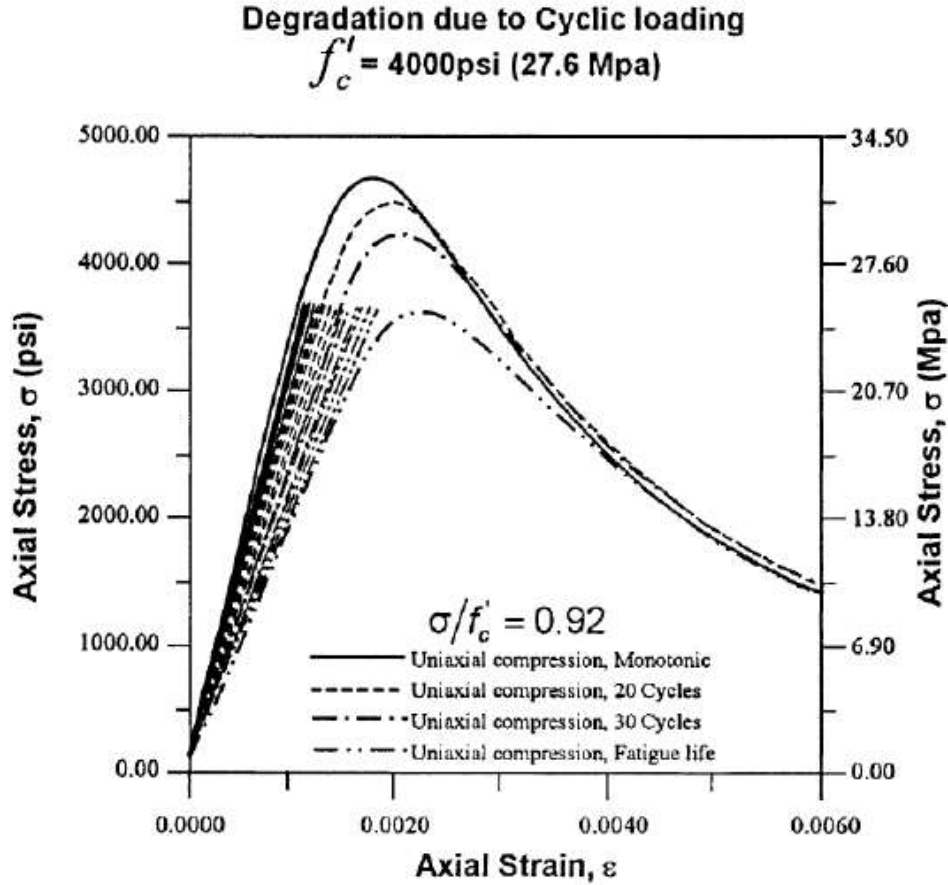
Breitenbücher 'e göre Çizelge 2.2' de belirtildiği gibi tekrarlı yükleme sonucu beton içerisinde oluşan çatlaklardan ötürü, elastisite modülü, açığa çıkan enerji, şekil değiştirmede gittikçe azalan bir eğilim gözlenmiştir. Numunelere 0,6f_{max} yükleme yapılıp, 0,1f_{min} boşaltma yapılmıştır. [24]

Çizelge 2.2: Tekrarlı yükleme sonucu betonun mekanik özelliklerindeki değişim [24].

Number of cycles N [Mio.]	Young's modulus E _{stat} [kN/mm ²]	Compressive strength f _c [N/mm ²]	Compressive strain ε _u [‰]	Fracture energy g _c [kJ/m ³]
0	28.4	40.2	2.3	63.8
1.8	26.8	41.6	2.0	47.5
4.15	25.6	42.0	1.9	43.8
25.5	24.4	39.6	1.8	36.8

Tekrarlı yükleme elastik deformasyonların oluşumunu artırır, gerilme – şekil değiştirme eğrisi doğrusal duruma yaklaşır. Tekrar sayısı arttıkça, kırılma gerilmesinde gittikçe şekil değiştirme artar. Şekil 2.13 'de bu durum görünmektedir.

Tekrarların artmasıyla birlikte çatlakların çığı ve sayısı gittikçe artar ve elastisite modülü düşer. Tekrar sayısı yorulma limitine geldiği anda çatlaklar ve şekil değiştirmeler hızlıca artar ve göçme meydana gelir. Bununla birlikte toplam şekil değiştirme miktarı statik yükleme sonucu meydana gelmiş şekil değiştirme miktarını geçemez.



Şekil 2.13: Tekrarlı yükleme sonrası gerilme-şekil değıştirme grafikleri [25].

Gerilme – şekil değıştirme eğrisinin eğimi düşmesi, yorulma hasarının tekrar sayısı arttıkça ilerlediğini göstermektedir. Çatlakların dışında, tekrarlı yükler çimento hamuru içerisindeki gözenek miktarını artırır. Tekrarlı yüke maruz kalmış numunelerde gittikçe elastisite modülü düşer. [23] Beton karakteristik basınç dayanımı tekrarlı yüklemelerde incelenmiş bir diğer parametredir. Dayanımın yüksek olduğu betonlarda şekil değıştirme daha düşük olur, dolayısıyla daha gevrek bir kırılma gerçekleşir. Dayanımın fazla olduğu betonlarda, yorulma yaşı daha düşük, çatlak oluşumu daha hızlı gerçekleşir. Toplam şekil değıştirme miktarı, tekrarlı yük uygulanmamış numunelerin grafikteki alçalan bölgesiyle hemen hemen aynıdır. Buna neden olarak mukavemet arttıkça, betonlarda kırılma anındaki şekil değıştirme miktarı düşük tespit edilmiştir. Bununla birlikte şekil değışimi artış hızı da dayanım arttıkça yükselmiştir. Sonuç olarak yüksek dayanımlı betonlar, düşük dayanımlı betonlara göre daha gevrek bir davranış sergiler. [19]

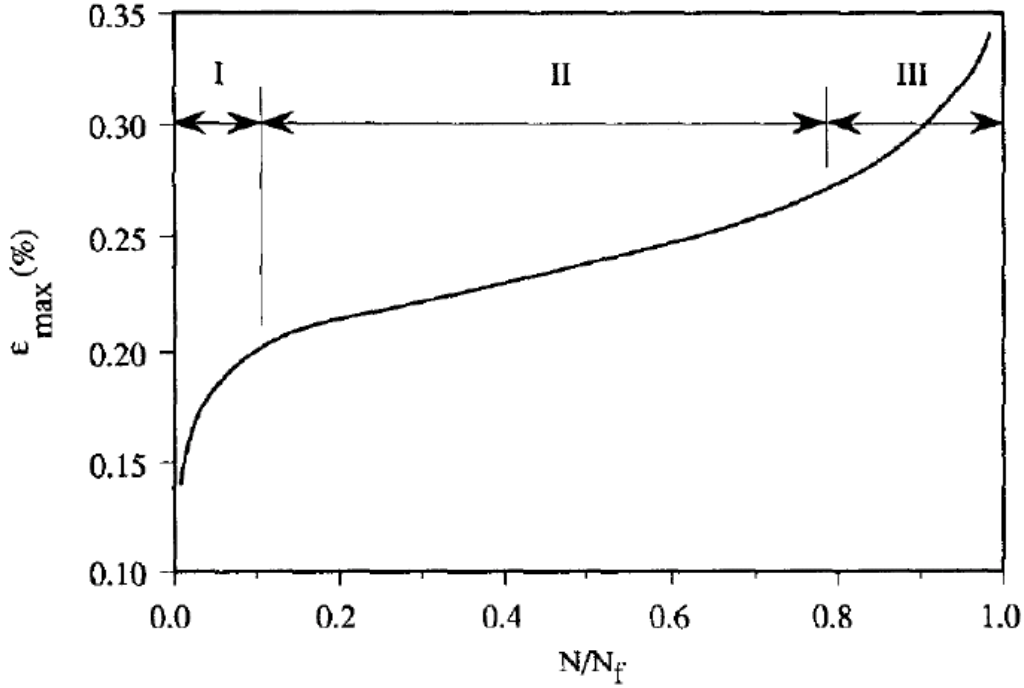
Tablo 2.4.2’de J.Kim’e göre [19] dört farklı dayanımlı betonda beton mukameveti arttıkça yorulma yaşına ulaşılması için gerekli tekrar sayısı azalıyor. Bununla birlikte yükleme boşaltma sırasında uygulanan maksimum yük değeri azaldıkça tekrar sayısı artıyor.

Çizelge 2.3: Yorulma Yaşı- Mukamevet, Yorulma Yaşı- Maksimum Gerilme arası ilişkiler [19].

Compressive strength (MPa)	Maximum stress level S_{max} (%)	Number of specimen	Average fatigue life $(N_f)_{avg}$
26	95	6 + 2*	123
	85	5 + 2*	1363
	80	5 + 2*	5738
	75	3 + 2*	55739
52	95	5 + 2*	100
	85	6 + 2*	968
	80	6 + 2*	2528
	75	5 + 2*	10117
84	95	4 + 2*	58
	85	6 + 2*	1045
	75	6 + 2*	1644
	70	4 + 2*	3484
103	95	4 + 1*	46
	85	4 + 1*	481
	75	3 + 1*	1419
	70	4 + 1*	3394

Şekil 2.14’de yorulma süresince numunelerin deformasyonları 3 aşamada incelenmiştir. İlk aşamada hasar oldukça belirli grafikteki iki ekseninde de şekil değiştirmenin olduğu gözlenmiştir. Yorulma süresinin çoğunu kapsayan ikinci aşama boyunca, boyuna eksenindeki deformasyonlar sabit kalmıştır. Boyuna deformasyon ve yorulma yaşı arasında iyi bir ilişki kurulabilir, bu durumda yorulma yaşının tahminine olanak sağlamaktadır. [26] Grafikteki üçüncü aşamada şekil değiştirme ve yorulma hasarları oldukça artmıştır. Ayrıca elastisite modülü ilk tekrarlarında çok hızlı bir düşüş yaşamış, daha sonra düşüş sabit bir oranda devam etmiş, tekrarların yorulma yaşına yaklaşmasıyla elastisite modülünde tekrar hızlı düşüş yaşanmıştır. Ultrasonic ses ölçümleri de deformasyonlara bakıldığında aynı durumu sergilemiştir. [26] Hasarın fazla olduğu ilk tekrarlarında açığa çıkan enerji miktarı daha fazla olmuştur. Yükleme-boşaltma diyagramları arasındaki alan açığa çıkan enerjiyi göstermektedir. Açığa çıkan enerji miktarı ikinci aşamada daha azalmıştır. Yorulma

yaşına gelindiğinde açığa çıkan enerji miktarı tekrar fazla miktarda olmuştur. Tekrar sayısı yorulma yaşına yaklaştıkça çatlakların çapı, sayıları ve şekil değişme miktarları çok hızlı şekilde artmış ve kırılma meydana gelmiştir. Fakat toplam şekil değiştirme miktarı, statik yüklemeler sonucu kırılma esnasında oluşan toplam şekil değiştirme miktarını aşmamıştır. [27]



Şekil 2.14: Şekil değiştirme gelişim eğrisi [27].

Tekrarlı yük uygulanmış numunelerde, ses geçim hızı, hasarsız betondakilere göre düşük çıkmıştır. Tekrarlı yükleme sonucu ultrasonik ses ölçümleri, çatlakların çapı ve sayılarıyla tutarlı bir şekilde düşüş göstermiştir. Ses ölçümlerindeki bu düşüş, çatlak düzenini gözlemleyebilmek için kullanılabilir. Ultrasonik ses ölçümleri ölçülerek tekrarlı yük nedeniyle oluşmuş bir hasar katsayısı belirlenebilir. Yani toplam hasar miktarı ultrasonik ölçümlerle tahmin edilebilir. Yük yoğunluğu arttıkça, çatlakların boyunun arttığı tespit edilmiştir [26] Tekrarlı ve kalıcı yükleme sonucu içsel mikro çatlakların geliştiği ve ilerlediği ultrasonik ölçümlerle gözlenebilir. [16]

Basınç yüklemesi sonucu betondaki enine çekme dayanımında azalma gözlenmiştir. Hasarın miktarını belirleyebilmek için çekme testi uygulanmış, yüksek dayanımlı betonlarda basınç yüklemesi nedeniyle betonun çekme dayanımında %25 mertebesinde azalma tespit edilmiştir. Bu çalışmada maksimum yükün mukamevetin %60'nın altında uygulanması durumunda, tekrarlı yükleme uygulanması sonucu

oluşan hasar göz ardı edilebilir mertebelerde olmuştur. Yüksek mukamevetli betondaki hasar oluşum oranı normal mukamevetli betona göre önemli ölçüde az olduğu görülmüştür. [28]





3. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada tekrarlı basınç yüklemesine maruz kalan beton numunelerin mekanik özellikleri değişimi araştırıldı. Farklı tip bileşimler, farklı su oranları ve farklı maksimum dane çaplarına tekrarlı yükleme sonrası beton numunelerdeki elastisite modülü değişimi ortaya koyuldu. Her bileşimde çimento dozajı 350kg/m³ alındı. Su/çimento oranı 0.4 olan karışımlarda 28günlük ortalama basınç dayanımı 50 Mpa, 0.7 olan karışımlarda 30 Mpa olarak belirlendi. Yoğunluğu 3.15gr/cm³, dayanımı 52.5 Mpa olan CEM I portland çimentosu kullanıldı. Siyah Kalker'den öğütülmüş kırma taş, kırma kum ve melen nehir yataklarından getirilmiş doğal kum, maksimum dane çapı 31,5mm, 16mm ve 4mm olmak üzere üç farklı karışımda hazırlandı. 300x150mm ebatlarında silindirik numunelerde 6 farklı her karışımdan 18 adet olmak üzere toplamda 108 adet numune üretildi. Üretimde kullanılan beton yerleştirme teknikleri şekil 3.1'de görülmektedir. Vibrasyon uygulayan platformlarda numuneler 3 farklı kademedede vibrasyon yapılarak silindirik kaplara yerleştirildi.



Şekil 3.1: Üretimi tamamlanan karışımların silindirik kaplara yerleştirilmesi, vibrasyon işlemi.

Bir karışımda 48lt üretim kapasitesi olan kazan ve mikser düzeneği şekil 3.2'de görülmektedir.



Şekil 3.2: Kuru Karışıma su ve katkının eklendiği mikser düzeneği.

Çizelge 3.1’ de 6 farklı bileşimi oluşturan malzemeler açıklanmıştır. Üretimler ikişer gün arayla yapılmıştır. Üretimi tamamlanan numunelerde 24 saat priz süresi beklenilip, $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklıkta su havuzlarında 28 gün boyunca kürlendi.

Çizelge 3.1: Beton Karışımları.

Karışım	Bileşimi	K.Taş 1	K.Taş2	Kırma Kum	Doğal Kum	Katkı
V40/31,5	Su/çim. oranı 0,4+Max dane çapı 31,5mm	x	x	x	x	1.50%
V70/31,5	Su/çim. oranı 0,7+Max dane çapı 31,5mm	x	x	x	x	-
V40/16	Su/çim. oranı 0,4+Max dane çapı 16mm	-	x	x	x	2%
V70/16	Su/çim. oranı 0,7+Max dane çapı 16mm	-	x	x	x	-
V40/4	Su/çim. oranı 0,4+Max dane çapı 4mm	-	-	x	x	2%
V70/4	Su/çim. oranı 0,7+Max dane çapı 4mm	-	-	x	x	-

3.1 Kullanılan Malzemeler

3.1.1 Çimento

Bu tez çalışmasında üretimlerde, TS EN 197-1 standartlarına uygun olan CEM I 42,5 portland çimentosu kullanıldı. Çimentonun kimyasal ve fiziksel özellikler Çizelge 3.2 ve Çizelge 3.3’te verildi.

Çizelge 3.2: Portland Çimentosu Özellikleri.

Etken	Akçansa Cem I 42,5	Maks. TS EN 197-1
MgO	0.95%	5%
SO	2.71%	3.5%
Kızdırma Kaybı	1.39%	4%
Özgül Ağırlık	3.15g/cm ³	
Priz Başlangıcı	2:36	Min. 1saat
Priz Sonu	3:18	Maks. 10saat
Özgül Yüzey	3640cm ² /g	min 2800cm ² /g
Çözünmeyen Kalıntı	0.29%	1.5%
Cl	0.0502%	0.1%
0.045mm Elekten Kalan	10.2%	
0.09mm Elekten Kalan	0.8%	

Çizelge 3.3: Portland Çimentosu basınç dayanımı.

Gün	Test Sonuçları	TS EN 197-1(Limit)
2	30.8N/mm ²	Min 20N/mm ²
7	42.1N/mm ²	Min 31.5 N/mm ²
28	52.2N/mm ²	Min 42.5 N/mm ²

3.1.2 Agregalar

Üretimlerde Gebze yöresine ait siyah kalker tipli KırmataşI, KırmataşII ve Kıрма kum ve Melen doğal kumu kullanılmıştır. Çizelge 3.4’ te agregalara yapılan elek analizi sonuçları görülmektedir.

Çizelge 3.4: Kullanılan Agregaların elek analiz sonuçları.

Elek Göz Açıklığı	Elekten Geçen (%)								
	31.5	16	8	4	2	1	0,5	0,25	0,125
Doğal kum	100	100	100	96	75	51	32	10	3
Kırma kum	100	100	100	85	52	25	13	5	0
Kırmataş I	100	100	62	8	1	0	0	0	0
Kırmataş II	98	26	0	0	0	0	0	0	0

Üretimlerde kullanılan agregalar TS EN 12620’ ye uygunluk göstermektedir.

3.1.3 Kimyasal katkı

Bu tez çalışmasında akışkanlaştırıcı kimyasal katkı su/çimento oranı 0,4 olan numunelerde en fazla %2 oranında kullanılmıştır. CRYHSO firmasına ait Delta 2200 Gebze tesislerinde üretilmiştir. Katkı ile ilgili fiziksel ve kimyasal özellikler Çizelge 3.5’de görülmektedir.

Çizelge 3.5: CRYHSO Delta 2220 Katkı Kimyasal Özellikleri.

Görünüm	Renk	Çözünürlük	Ph	Yoğunluk(kg/l)	Tepkime	Donma Noktası (°C)
Sıvı	Kahverengi	Suda Çözünür	6,5-8,5	1,165-1,225	Polimerleşmez	-3

3.1.4 Su

Üretimlerde TS EN 1008 ‘ e uyumlu kullanım suyu kullanılmıştır.

3.2 Taze Beton Deneyleri

3.2.1 Çökme deneyi

Üretilen numunelerde her ayrı karışıma kıvam belirleyebilmek için çökme (slump) deneyleri yapıldı. Çökme deneyi için üst çapı 100 mm, alt çapı 200 mm ve yüksekliği 300 mm olan bir kesik koni, Abrams konisi kullanıldı. Koni, düz ve su emmeyen bir yüzeye oturtularak üç eşit yükseklikte tabakalar halinde taze betonla dolduruldu. Her tabaka, çapı 16 mm olan özel yerleştirme çubuğu ile 25 kez şişlenerek sıkıştırıldı. Kalıp tamamen doldurularak üzeri mala ile düzeltildi. Daha sonra kalıp bekletilmeden kulplarından tutularak yavaşça ve sarsmadan kaldırıldığında taze betonun kendi ağırlığı etkisiyle yaptığı çökme gözlemlendi. Şekil 3.3’ de çökme miktarı ölçülen numune görülmektedir. Slump değerlerinin su/çimento oranı 0,4 olan karışımlarda 10-12 arası, 0,7olan karışımlarda 17-19 arası değiştiği gözlemlendi.



Şekil 3.3: Kıvam sınıfı belirlemek için çökme deneyleri.

3.2.2 Birim hacim ağırlık deneyi

Daha önce darası ve su ile birlikte ağırlığı ölçülen kaplara, üretilen numuneler tam doldurularak, Toplam kütleden kalıp kütlesi çıkarılarak betonun kütlesi bulundu ve kap hacmine bölünerek karışımların birim hacim ağırlıkları hesaplandı.

3.2.3 Hava oranı tayini deneyi

Üretilen numunelerin hava oranları ölçümünde, el pompası ve hava tayini kabı kullanıldı. Kaba beton ilave edilerek tokmaklandı, daha sonra kab ile kapak arası basınç kaçağı engellenecek şekilde sıkıldı. Kapakla beton arasındaki boşluğa sayaçtaki değer sıfıra gelene kadar su ilave edildi. Daha sonra hava giriş ağızı kapatılarak el pompası yardımıyla manometre 1bar basıncı okunana kadar hava basıldı, o andaki gözleme seviyesindeki su seviyesi, ölçekten okunarak hava oranı olarak kaydedildi. Hava boşaldıktan sonra su seviyesi h2 kalibrasyon için kaydedildi.

3.3 Sertleşmiş Beton Deneyleri

3.3.1 Basınç dayanım deneyi

Her farklı karışımın 3ayrı numunesinde, TS EN 12390-3 'a uygun olarak basınç dayanım deneyleri numuneler kırılana kadar eksenel basınç yüklemesiyle yapıldı.

3.3.2 Statik ve tekrarlı basınç yükleme deneyleri

Üretilen numunelere 28günlük kür sürelerini tamamladıktan sonra çimento+su karışımı harçlarla başlık imalatı yapıldı. Şekil 3.4'te başlık imalatları görülmektedir. Tekrarlı basınç yüklemelerine maruz kalacak numunelerde eksenel basınç kuvvetini numunenin homojen olarak alabilmesi için düz ve pürüzsüz yüzey gereklidir. [16] Tekrarlı yükler beton basınç dayanımının %65, %75 ve %85 yük değerlerine kadar yüklenip, %10 mertebelerinde boşaltılacak şekilde ayrı ayrı irdelenmiş, yükleme-boşaltma tekrar sayısı 6 tekrar olarak uygulanmıştır. Tekrarlı yükleme sırasında numuneyi düşey doğrultuda sabitleyen 154mm uzunlukta çerçeve düzeğine 100mm boy değişimi 1mm hassasiyetle ölçer ekstansometre bağlanmış, yüklemeler sırasında, belirli yüklere karşılık gelen deformasyonlar kaydedilmiştir. Deney düzeneği ve uzama ölçer Şekil 3.5 ve Şekil 3.6'da görülmektedir. Yüklemeler 500ton kapasiteli bir preste yapılmış, hassas ölçümlerin alınması için bütün numuneler aynı frekansta yüklenip boşaltılmıştır. [24]



Şekil 3.4: Üretilen numunelere başlık imalatı yapılması.



Şekil 3.5: Deney Düzeneği.



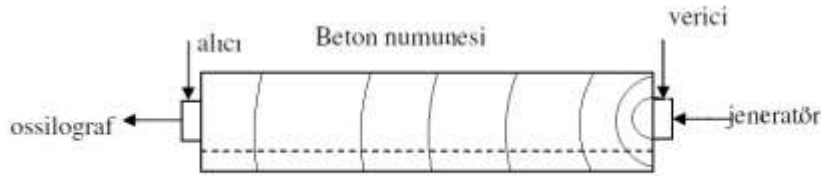
Şekil 3.6: Boyuna deformasyon ölçer ve çerçeve düzeneği.

3.3.3 Elastisite modülü tayini

Elastisite modülü hesaplarında ASTM C 469-02 'ye göre gerilme şekil değiştirme eğrisinin başlangıç eğrisinin teğeti, yani beton basınç dayanımının %33' üne karşılık gelen doğrunun eğimi dikkate alındı. Her yükleme sonrası beton numunelerin başlangıç elastisite modülleri hesaplandı.

3.3.4 Ultrases hızı ölçümleri

Tahribatsız sertleşmiş beton deneylerinden biri olan ultrases hızı deneyi ile betonun elastisite modülü ve beton içindeki boşluk yapısı hakkında bilgi edinilir. beton numunesinin bir ucuna ultra-ses üreten prob, diğer ucuna da bu sesleri alan prob ile beton arayüzüne, boşluksuz bir ortam oluşturmak için gres sürülerek yerleştirilir. Şekil 3.7' de görüldüğü gibi prob tarafından oluşturulan dalgalar bir ossilografa nakledilerek sesin A dan B'ye ulaşması için geçen t_1 süresi mikro saniye cinsinden ölçülür.



Şekil 3.7: Ultra-ses ölçümleri.

Ölçülen ultrases hızı malzemenin cinsine ve bünyesine bağlı olarak değişmektedir. Özellikle ses dalgalarının yoluna bir boşluk çıktığında dalga boşluğun etrafından dolaşır. Boşluk geçiş süresini artırır, süre uzar ve geçiş hızı düşer. Beton ve doğal taş gibi malzemelerde ses hızının çok düşük olması o malzemenin çok boşluklu olduğunu gösterir.

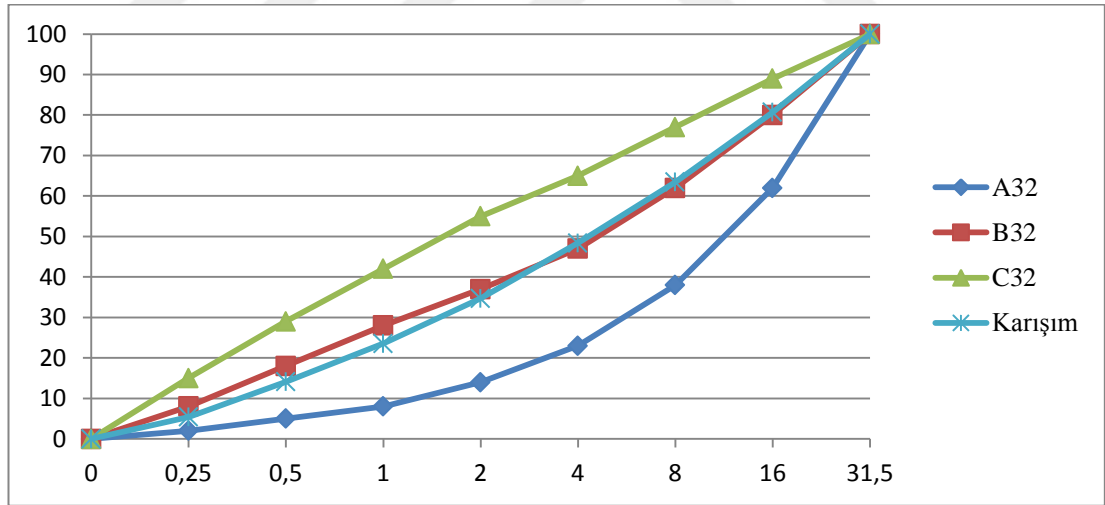
Cismin yapısında bir değişiklik olmadıkça, cisme bir gerilmenin etkimesi veya etkimemesi halinde çatlak miktarı değişmediği sürece ölçülen ses hızları birbirinden farklı değildir. Gerilmenin etkisiyle, çatlakların gelişmesiyle meydana gelen yapı değişikliği ses hızının düşmesine sebep olur. Dolayısıyla bu çalışmada numunelerde tekrarlı yükleme öncesi ve sonrası olmak üzere 2 farklı ultra-ses ölçümleri alınmıştır. Tekrarlı yüklemenin farklı dane çaplı betonlarda, ultra ses hızındaki değişimlere etkisi değerlendirme bölümünde ele alınacaktır.

3.4 Karışım Granülometrisi

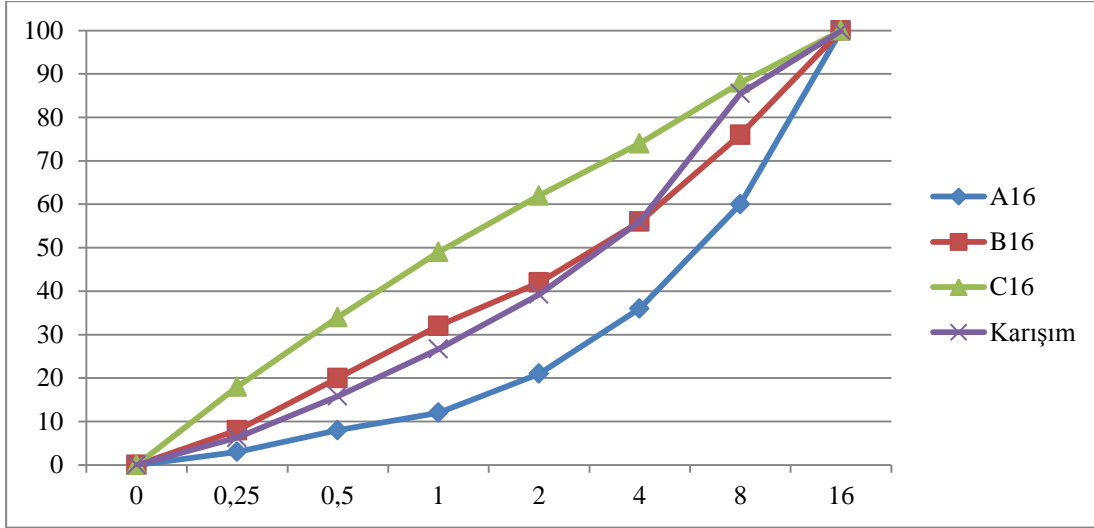
Bu tez çalışmasında 3 farklı maksimum dane boyutu ile çalışıldı. Üç farklı granülometri belirlendi, maksimum dane boyutu 31,5mm olan karışımda granülometri TS 706 'ya uygun referans eğrileri B32 referans eğrisine yakın bir oranla yapıldı. Maksimum dane çapı 16mm olan karışımda granülometri eğrisi B16-A16 standart eğrileri arası, B16 eğrisine yakın alındı. Maksimum dane çapı 4mm olan bir diğer karışımda granülometri eğrisi B8-A8 standart eğrileri arası B8 'e yakın olacak şekilde alındı. Sırasıyla Şekil 3.8, 3.9 ve 3.10'da granülometri eğrileri Çizelge 3.6'da karışım oranları görünmektedir.

Çizelge 3.6: Karışım Granülometrisi.

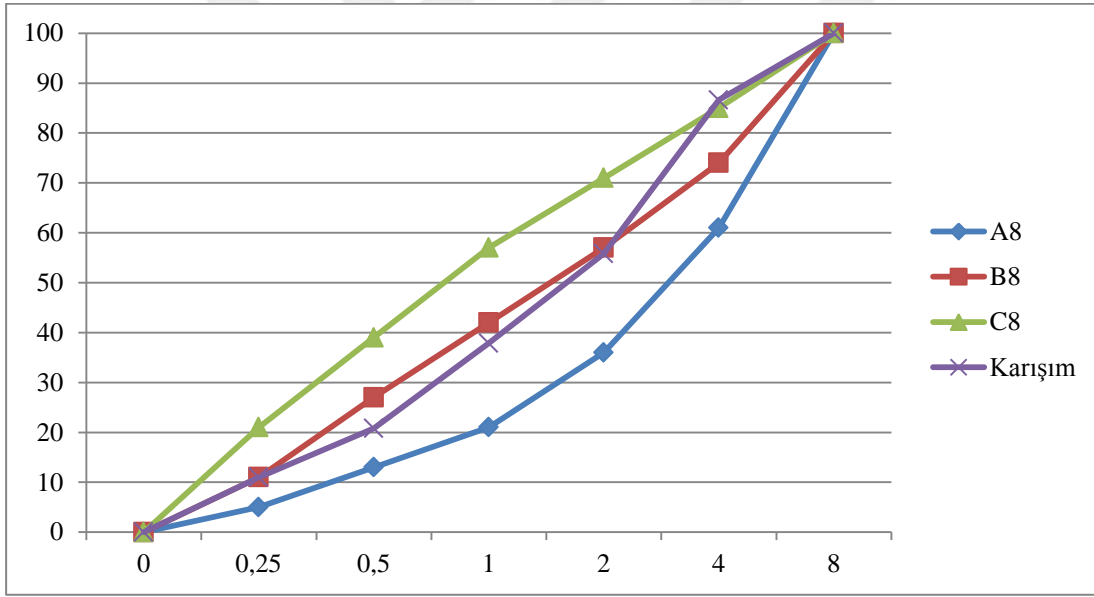
Maks. Dane Çapı	Doğal Kum	Kırma Kum	K.Taş1	K.Taş2	Toplam
31,5mm	0.34	0.18	0.18	0.30	1.0
16mm	0.36	0.24	0.4		1.0
4mm	0.2	0.8			1.0



Şekil 3.8: Maksimum Dane Çapı 31,5mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.



Şekil 3.9: Maksimum Dane Çapı 16 mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.



Şekil 3.10: Maksimum Dane Çapı 4 mm karışım granülometri eğrisi-TS 706 referans eğrileri.

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu tezin amacı farklı su/çimento oranlarına ve farklı maksimum dane boyutlarına sahip betonlarda, tekrarlı yüklemeler sonucu elastisite modülünün, basınç dayanımı ve ultra ses hızı değişimlerinin incelenmesiydi. Üretilen 30x15cm ebatlarındaki numunelere beton karakteristik basınç dayanımının 0.65, 0.75 ve 0.85 oranlarında kadar 6 çevrimle yükleme boşaltma yapıldı. Tekrarlı yüklenen numunelere ikinci aşamada ultra ses ölçümleri ikinci kez alındı. Çizelge 4.1’ de bulunan verilere göre sertleşmiş beton özellikleri 6 farklı karışım tipine ait 3’er farklı numunelerde karşılaştırılmıştır.

Çizelge 4.1: Sertleşmiş Beton Özellikleri Karşılaştırılması.

Kod	f_{ck} Ort.(N/mm ²)	f_{ck} (N/mm ²)	Elastisite Modülü(mpa)	Ultra-ses hızı(km/sn)
V40/31,5	57	57.7	38430	5.9
		59.8	43370	5.78
		54.3	42870	5.73
V70/31,5	32	32.8	56050	4.59
		30.5	31480	3.73
		31.6	30350	4.66
V40/16	51	58.3	38260	5.18
		43.4	37800	5.1
		52.4	36580	5.12
V70/16	33	32.9	29560	4.6
		31.8	29220	4.68
		33.2	30550	4.68
V40/4	46	48.2	37770	4.77
		43.3	36140	4.76
		47.7	34620	4.8
V70/4	29	28.6	23660	4.6
		29.4	22620	4.55
		29.7	33325	4.4

Buna göre, genelde olduğu gibi su/çimento oranı azaldıkça f_{ck} azalmıştır. Aynı su/çimento oranı sahip farklı dane boyutlu karışımlarda dane boyutu küçüldükçe f_{ck} ‘nın yine azaldığı tespit edilmiştir. Bununla birlikte S/Ç değişiminin f_{ck} üzerindeki etkisinin, dane çapı değişimi etkisine göre daha fazla olduğu belirlenmiştir.

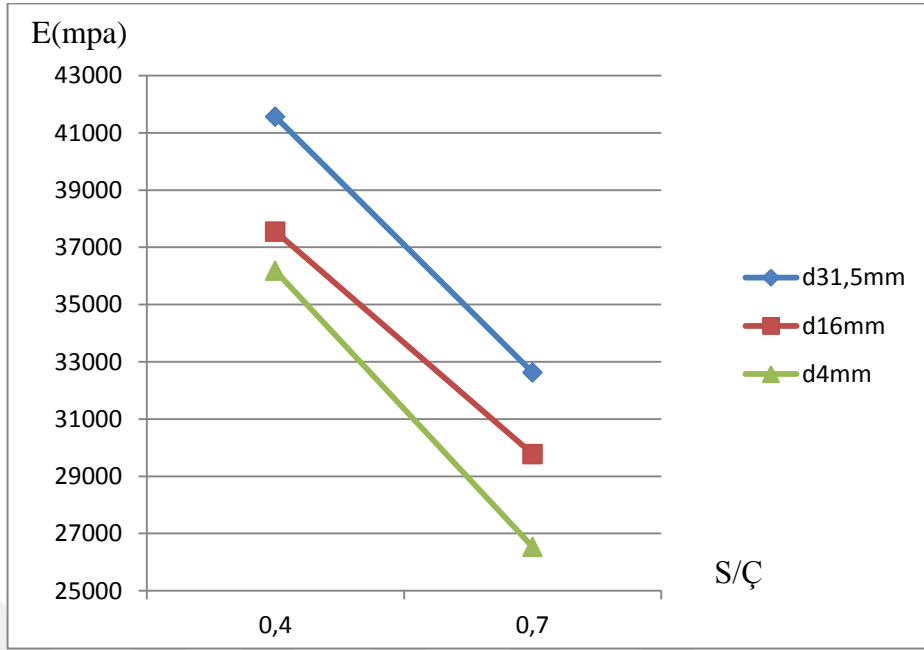
Jim Keun Kim [19] bulguları gibi elastisite modülü S/Ç oranı azaldıkça azalmıştır. Aynı s/ç oranına sahip karışımlarda dane boyutu küçüldükçe elastisite modülü azalmıştır. S/Ç oranı değişimi, beton basınç dayanımında olduğu gibi, elastisite modülünün değişmesinde, dane çapı değişimine göre daha belirleyici olmuştur. Numunelerin elastisite modülünde, S/Ç oranındaki azalmayla birlikte dane çapındaki azalmaya göre daha belirgin değişimler olmuştur.

Çizelge 4.2'e göre numunelerden alınan taze beton özellikleri karşılaştırılmıştır. Buna göre birim hacim ağırlık değerleri s/ç oranı 0,4 olan numunelerde 0,7 olanlara göre daha yüksek çıkmış, dane boyutu küçüldükçe de azalmıştır.

Karışımlarda ölçümü alınan hava oranı değerleri, s/ç oranı 0,4 olan numunelerde 0,7 olan numunelere göre daha yüksek çıkmıştır. Bununla birlikte, genelde bilindiği gibi çökme miktarları s/ç oranı arttıkça, artmış, ince malzeme miktarı arttıkça azalmıştır.

Çizelge 4.2: Taze Beton Özellikleri Karşılaştırılması.

Kod	Birim Ağırlık(gr/cm ³)	Hava Oranı	Çökme(cm)
V40/31,5	2.44	2.80%	13
V70/31,5	2.33	2.10%	19
V40/16	2.43	3.60%	12
V70/16	2.32	3.10%	19
V40/4	2.33	3.60%	10
V70/4	2.26	3.70%	18



Şekil 4.1: Elastisite Modülü- S/Ç arasındaki ilişki.

Bunun dışında Şekil 4.1’ deki eğriye göre karışım içerisinde ince malzeme miktarı arttıkça elastisite modülündeki azalma S/Ç değişiminden daha çok etkilenmekte, elastisite modülündeki azalma miktarı daha fazladır.

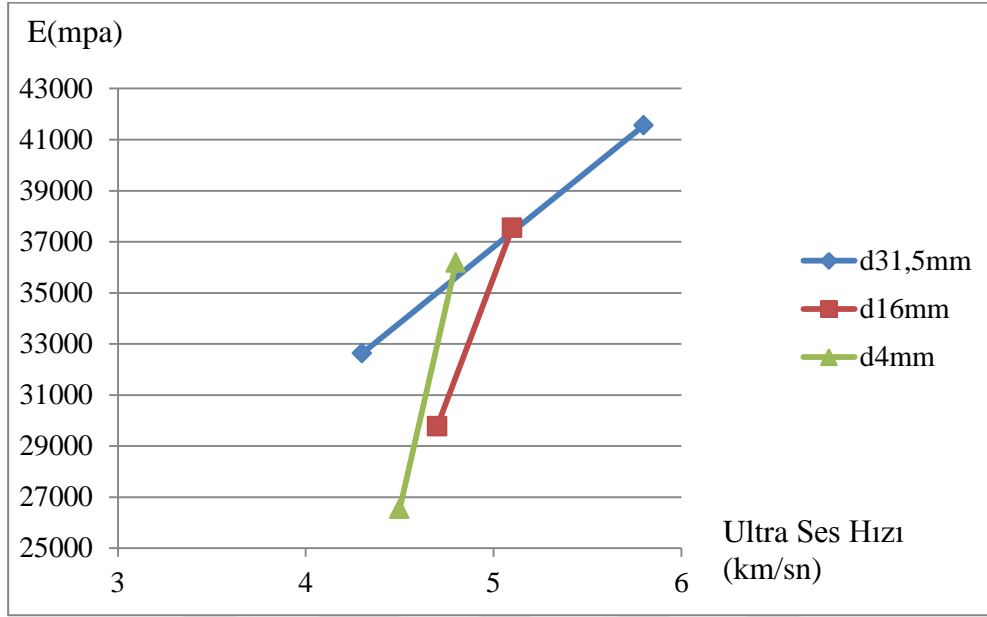
4.1 Elastisite Modülünün Ultra Ses Hızıyla Değişimi

Ultra-ses hızı ölçümlerinin gösterdiklerine göre, porozitenin daha çok olduğu numunelerde ses ölçüm hızlarının daha düşük çıkması beklenmektedir[16]. Çizelge 4.1’e göre s/ç oranı azaldıkça numunelerde alınan ultra-ses hızı ölçümleri daha düşük çıkmıştır. Yine bununla birlikte karışımdaki ince malzeme oranı arttıkça, maksimum dane çapı küçüldükçe porozitenin daha fazla olduğu ultra-ses hızı ölçümlerinde düşüş olduğu gözlenmiştir.

Ultra-ses hızı ölçümlerindeki bu azalma miktarlarında, beton basınç dayanımı ve elastisite modülünde olduğu gibi, s/ç’nin azalmasının, dane çapı azalmasına göre daha etkili olduğu gözlenmiştir.

Şekil 4.2’ e göre farklı 3 maksimum dane çapına sahip numunelerin ultra ses ölçümleri elastisite modülleriyle doğru orantılı olarak artmaktadır. Daha önceki araştırmalara göre [30] elastisite modülü ve ultra ses hızı arasında yüksek

kolerasyonlu bağlantılar elde edilmiş, elastisite modülü arttıkça ultra ses hızı da artmıştır.



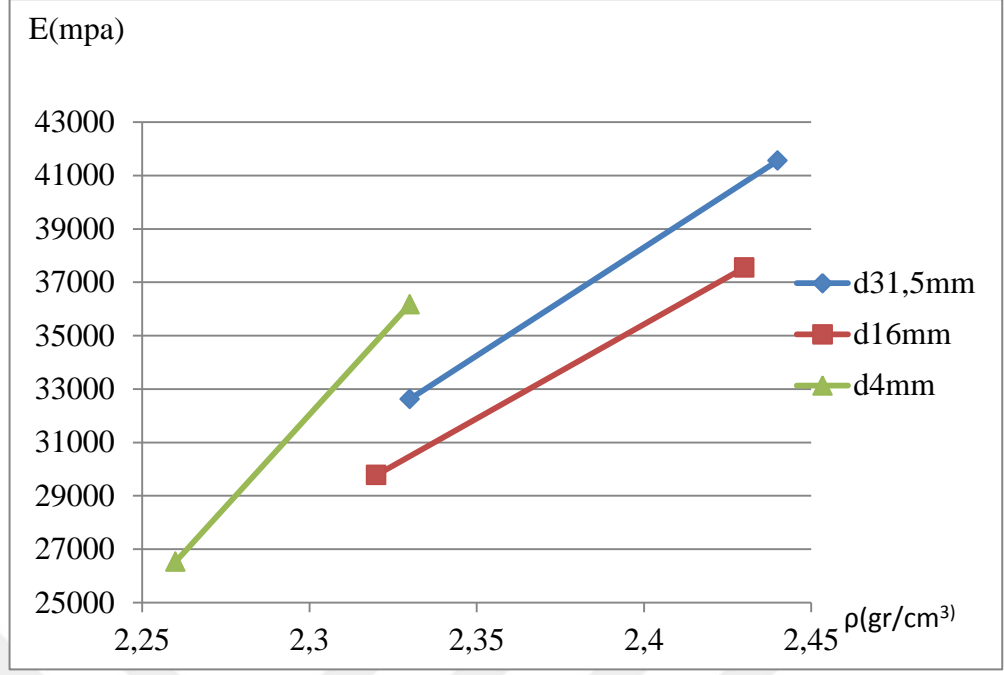
Şekil 4.2: Elastisite modülü-Ultras ses hızı arasındaki ilişki.

Şekil 4.2' e göre 3 farklı tipte karışım için elastisite modülü ultras ses hızı eğrisi doğrusal olarak artış göstermektedir. Maksimum dane boyutları 32mm, 16mm ve 4mm olan bu 3 farklı tipteki numunelerde, dane çapı büyüdükçe ultra ses hızındaki artış elastisite modülünün artışından daha çok etkilenmekte karışımdaki dane çapı büyüdükçe ultra ses hızı artmaktadır. Buradan çıkartılabilecek sonuca göre, beton karışımı içerisinde ince malzeme miktarının fazla olması sesin beton içerisinde ilerleme süresini azaltmaktadır. Üretimlerde S/Ç oranı değişimiyle elastisite modülleri arttırılmış bu artışla sesin beton içerisindeki geçiş süresinin de uzadığı tespit edilmiştir.

4.2 Elastisite Modülünün Birim Hacim Ağırlıkla Değişimi

Şekil 4.3'te verilen eğriye göre Elastisite modülüyle birim hacim ağırlıkları arasındaki değişim 3 farklı maksimum dane boyutlu karışım için de irdelenmiştir.

Şekil 4.3'e göre Elastisite modülü arttıkça birim hacim ağırlık da artmıştır. Bu artış karışımdaki ince malzeme miktarı en fazla olan, maksimum dane çapı 4mm olan numunelerde diğer numuneler 16mm ve 32mm'e göre daha fazladır.



Şekil 4.3: Elasisite Modülü- Birim Hacim Ağırlık arasındaki ilişki.

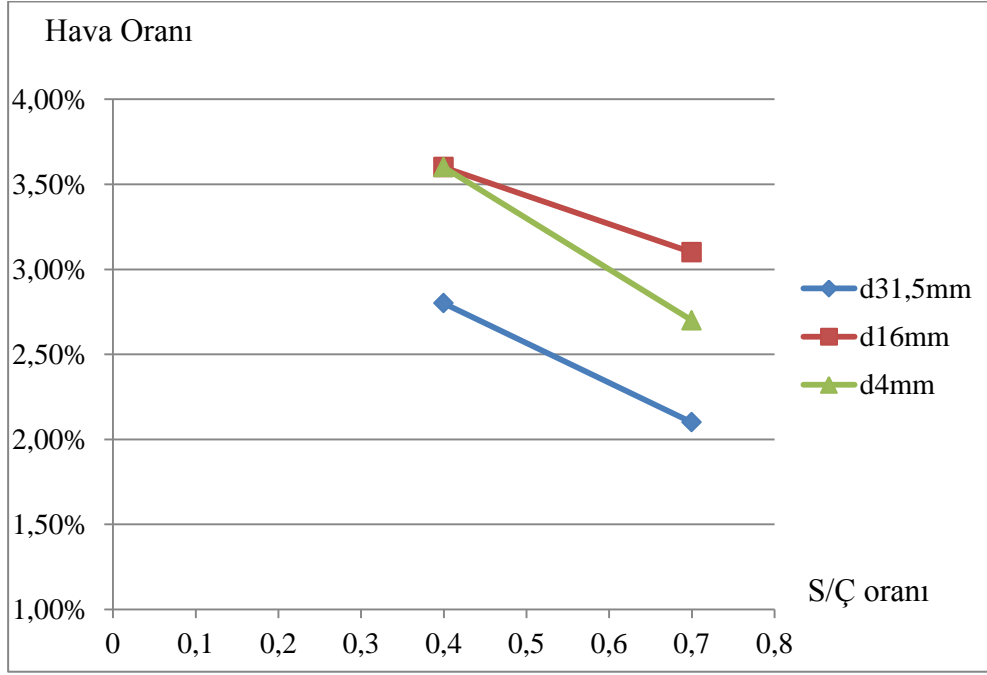
Üretilen numunelerin taze beton ağırlıkları ölçülmüş Çizelge 4.3 'e kaydedilmiştir. Buna göre üretimlerde su miktarının azaltılmasıyla birim hacim ağırlıklarının daha fazla olduğu ölçülmüştür.

Çizelge 4.3: Farklı üretimleri birim hacim ağırlık değerleri.

Üretim Kodu	Su/çim	Elastisite Modülü(mpa)	Birim Ağırlık(gr/cm3)
V40/31,5	0.4	41557	2.44
V70/31,5	0.7	32627	2.33
V40/16	0.4	37547	2.43
V70/16	0.7	29777	2.32
V40/4	0.4	36177	2.33
V70/4	0.7	26535	2.26

Üretimler sırasında alınan boşluk oranı ölçümlerine göre, Şekil 4.4’de verilen grafikte 0.4 ve 0.7 S/Ç oranlarına sahip numunelerdeki hava oranı değişimi görülmektedir.

Şekil 4.4’e göre tüm farklı karışımlarda su oranı düştükçe karışım içerisindeki hava oranının arttığı tespit edilmiştir. Hava oranının en çok olduğu maksimum dane boyutunun 4mm olduğu karışım tipi olduğu görülmektedir.



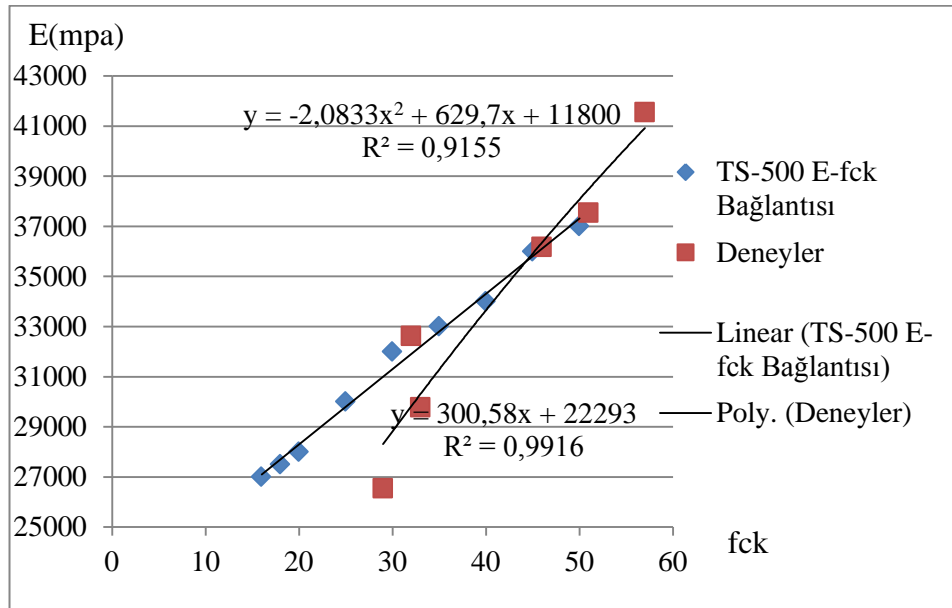
Şekil 4.4: S/Ç oranı-Hava oranı değişimi.

4.3 Elastite Modülünün Karakteristik Basınç Dayanımı İle Değişimi

TS-500’de Çizelge 4.4 ve 4.5’de verilen değerler ve üretimlerin elastisite modülü karakteristik basınç dayanımı değişimi Şekil 4.5 ve 4.6’ da görülmektedir.

Çizelge 4.4: TS-500 [31] Beton fck-E değerleri.

TS-500			
Kod	fck Ort.(N/mm2)	\sqrt{fck}	Elastisite Modülü(mpa)
C16	16	4.00	27000
C18	18	4.24	27500
C20	20	4.47	28000
C25	25	5.00	30000
C30	30	5.48	32000
C35	35	5.92	33000
C40	40	6.32	34000
C45	45	6.71	36000
C50	50	7.07	37000



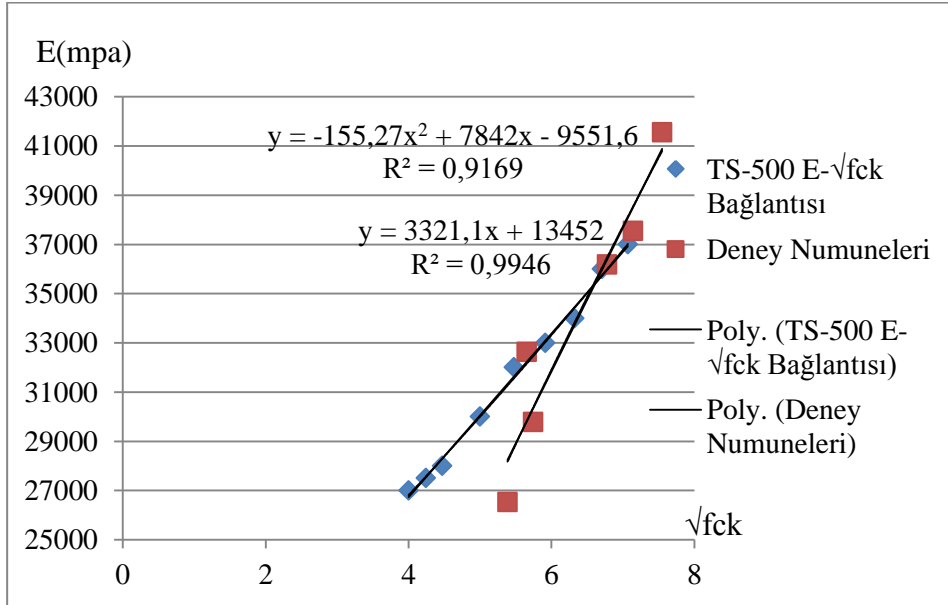
Şekil 4.5: Elastisite Modülü-fck değişimleri TS-500 ve Deney Numuneleri Karşılaştırılması.

Şekil 4.5’de Çizelge 4.5’de verilen Elastisite modülleri ve karakteristik basınç dayanımları arasındaki değişim doğrusala yakın bir görüntü sergilemektedir. Denklem (4.1)’de belirtilen eşitliğe uygun olduğu görülmektedir.

$$E = 3250 f_{ck} + 14000 \text{ (MPa)} \quad (4.1)$$

Çizelge 4.5 Deney Numuneleri Beton f_{ck} -E değerleri

Kod	f_{ck} Ort.(N/mm ²)	$\sqrt{f_{ck}}$	Elastisite Modülü(mpa)
V40/31,5	57	7.55	41557
V70/31,5	32	5.66	32627
V40/16	51	7.14	37547
V70/16	33	5.74	29777
V40/4	46	6.78	36177
V70/4	29	5.39	26535



Şekil 4.6: E- $\sqrt{f_{ck}}$ değişimleri TS-500 ve Deney Numuneleri Karşılaştırılması.

[11], [21] ve [16]’ya göre Elastisite modülü ve karakteristik basınç dayanımı arasında doğru orantılı bir ilişki daha önceki çalışmalarda ortaya koyulmuştur. Bu

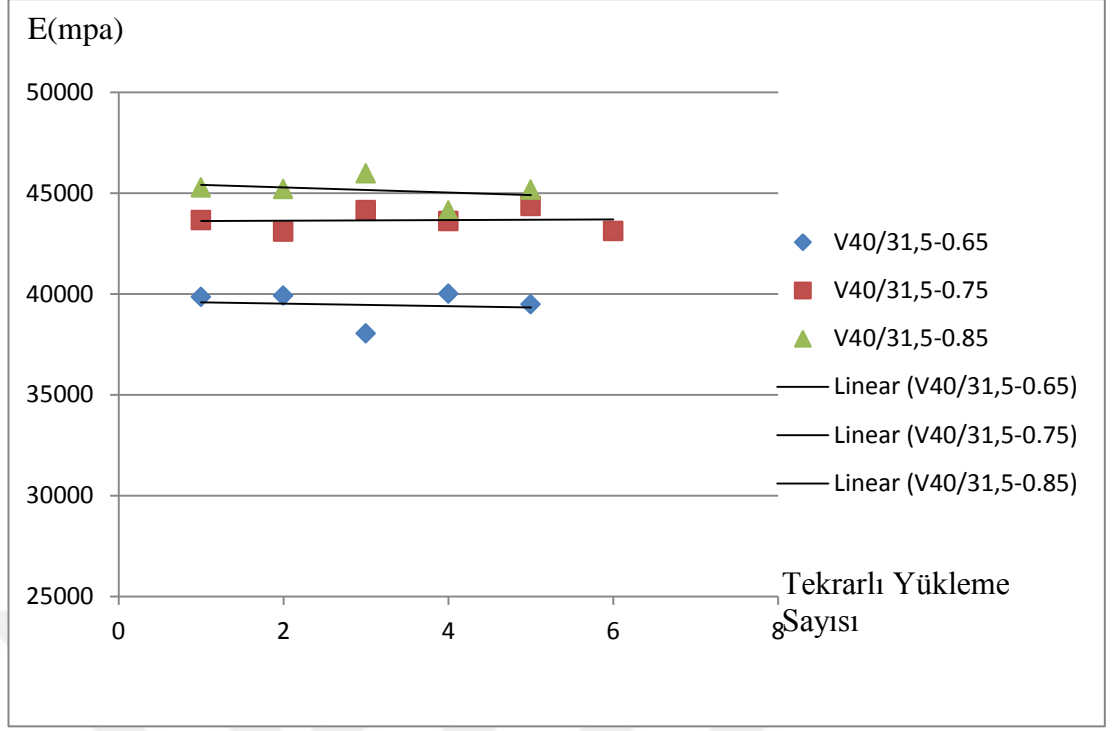
tezin deney ve üretimleri sonucunda benzer durumun, doğrusala yakın bir şekilde olduğu görülmektedir. Karışımlarda elastisite modülü değerleri arttıkça karakteristik basınç dayanımları da artmıştır. Bu duruma basınç dayanımı 55mpa olan V40/31,5 kodlu karışım dahil değildir, bu betonda elastisite modülünün artışı TS-500'deki doğrusal bağlantının ötesindedir.

4.4 Elastisite Modülü - Tekrarlı Yüklemeler Arasındaki İlişkiler

Deneysel aşamasında 6 farklı karışım, karakteristik basınç dayanımının %65,%75 ve %85 'i oranında tekrarlı yüklere maruz bırakılmıştır. Her yük oranı için 3 farklı numunenin 1'i 5 diğeri 2'si 6 çevrim sayısında yüklenip boşaltılarak her çevrim sonrası elastisite modülü değişimleri incelenmiştir. Çizelge 4.6' da S/Ç oranı 0.4 maksimum dane çapı 31,5mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5'er ve 6'şar tekrarlı yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.6' daki değerlere göre V40/31,5 kodlu üretimde 0.65, 0.75 ve 0.85 oranlarında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözüne ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır. Numunelerde çözüne sınırı aşılmamış ayrışma gözlenmemiştir. Şekil 4.7'de bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.6: V40/31,5 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V40/31,5		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	41705	39846
2	39844	39916
3	40203	38035
4	41652	40008
5	40707	39481
6	41147	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	43661	43507
2	43084	44487
3	44141	43640
4	43607	44787
5	44348	43886
6	43120	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	40190	45275
2	38083	45191
3	39352	45975
4	39539	44136
5	40086	45167
6	38878	

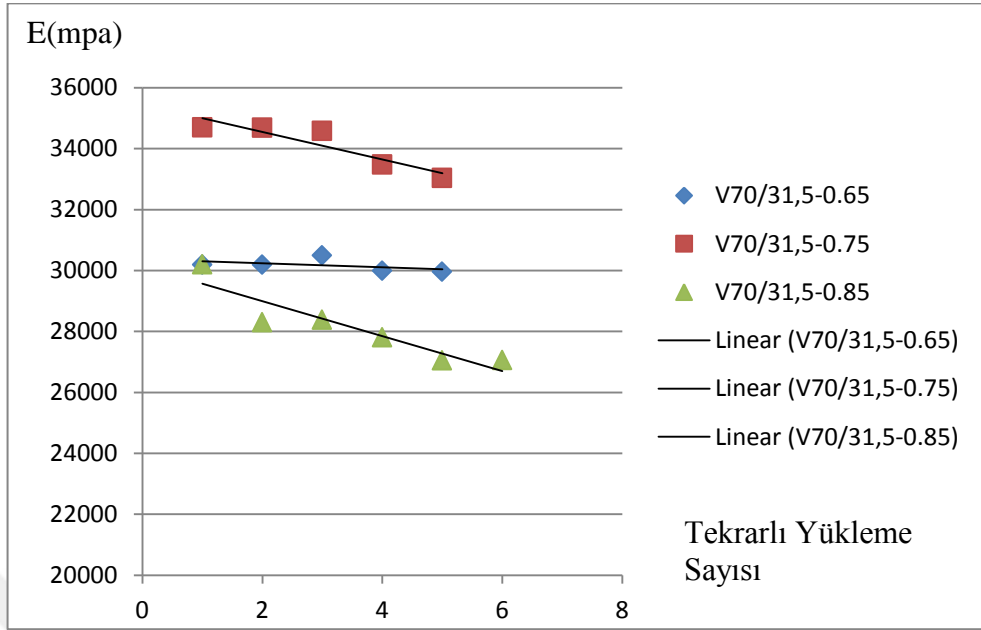


Şekil 4.7: V40/31,5 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.

Çizelge 4.7’ de S/Ç oranı 0.7 maksimum dane çapı 31,5mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5’er ve 6’şar tekrarlı yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.7’ deki değerlere göre V70/31,5 kodlu üretimde 0.65, 0.75 oranlarında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözünme ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır.0.85 oranda yükleme yapıldığında elastisite modülünde %10-%15 mertebelerinde düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.8’ de bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.7: V70/31,5 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V70/31,5		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	28564	30199
2	27015	30198
3	27501	30502
4	27231	29997
5	27140	29968
6	28474	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	32991	34700
2	32904	34689
3	32198	34589
4	32905	33481
5	32290	33045
6	32241	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	30205	30563
2	28302	27294
3	28383	26315
4	27806	26637
5	27051	24974
6	27061	

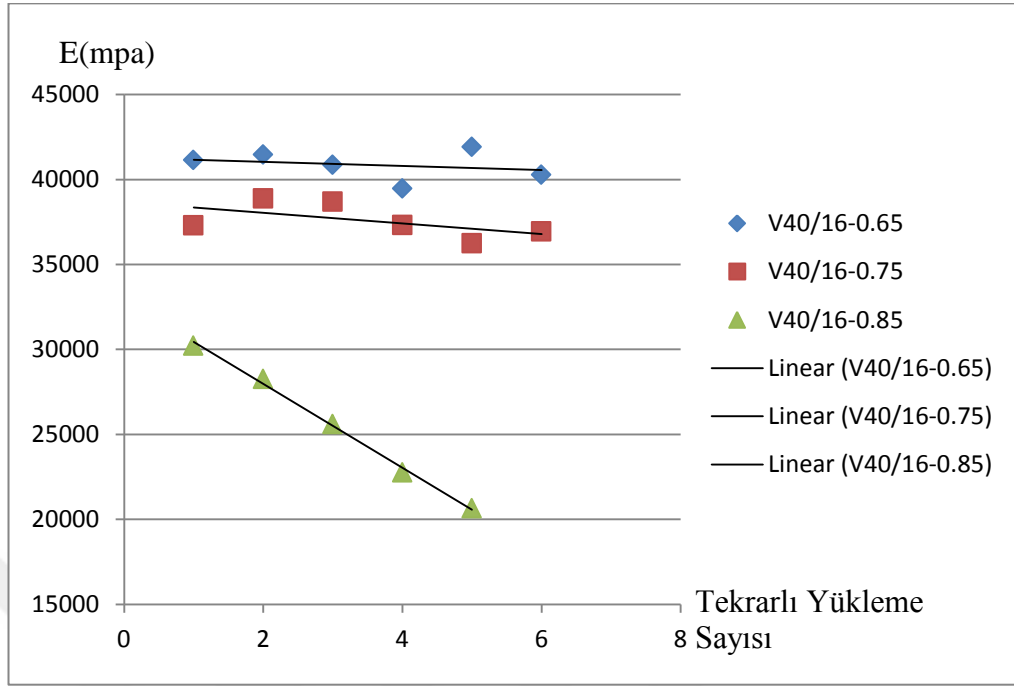


Şekil 4.8: V70/31,5 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi

Çizelge 4.8’de S/Ç oranı 0.4 maksimum dane çapı 16mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5’er ve 6’şar tekrarlı yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.8’deki değerlere göre V40/16 kodlu üretimde 0.65, 0.75 oranlarında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözünme ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır.0.85 oranda yükleme yapıldığında elastisite modülünde %15-%20 mertebelerinde düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.9’de bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.8: V40/16 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V40/16		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	41144	42540
2	41462	42205
3	40870	42559
4	39478	41407
5	41917	41395
6	40292	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	37300	43332
2	38893	41693
3	38700	43487
4	37322	42310
5	36262	43053
6	36954	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	40190	30229
2	38083	28269
3	39352	25611
4	39539	22762
5	40086	20654
6	38878	

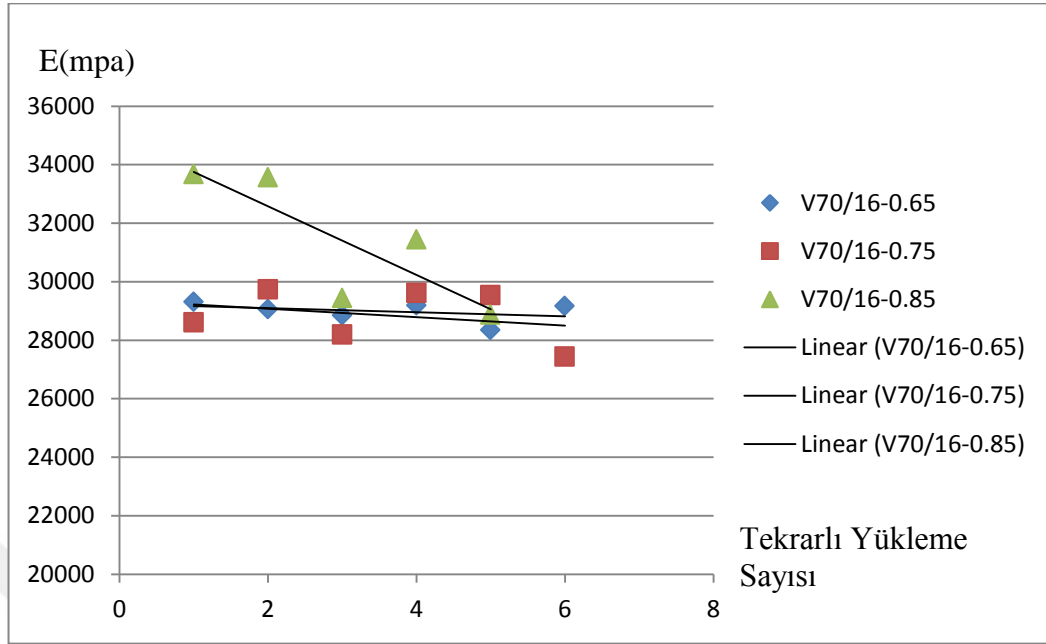


Şekil 4.9: V40/16 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.

Çizelge 4.9’ da S/Ç oranı 0.7 maksimum dane çapı 16mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5’er ve 6’şar tekrarlı yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.9’ deki değerlere göre V70/16 kodlu üretimde 0.65, 0.75 oranlarında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözüne ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır.0.85 oranda yükleme yapıldığında elastisite modülünde %15-%20 mertebelerinde düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.10’ da bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.9: V70/16 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V70/16		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	29315	29145
2	29059	29236
3	28849	28119
4	29189	28859
5	28350	28346
6	29172	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	28615	31452
2	29743	32837
3	28199	30795
4	29622	31038
5	29541	31278
6	27439	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	30332	33680
2	28015	33575
3	27048	29442
4	27451	31451
5	27949	28873
6	25764	

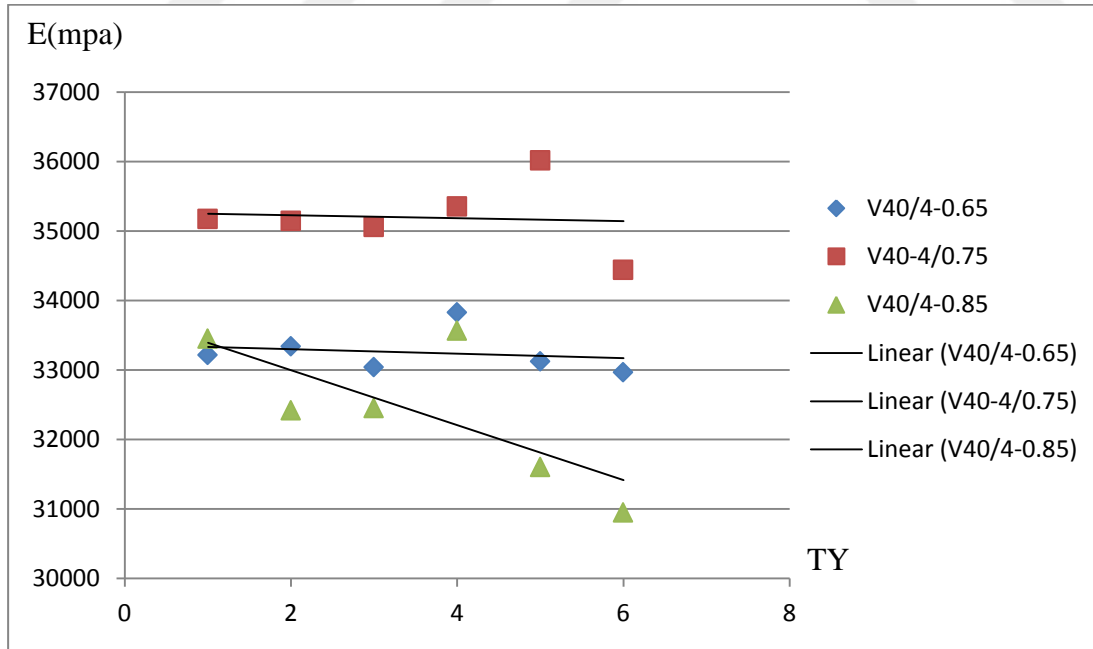


Şekil 4.10: V70/16 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi

Çizelge 4.10'da S/Ç oranı 0.4 maksimum dane çapı 4mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5'er ve 6'şar tekrarlı yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.10' daki değerlere göre V40/4 kodlu üretimde 0.65, 0.75 oranlarında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözünme ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır.0.85 oranda yükleme yapıldığında elastisite modülünde %10-%15 mertebelerinde düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.11' de bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.10: V40/4 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V40/4		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	33215	36055
2	33339	35597
3	33041	34740
4	33826	35484
5	33121	35720
6	32964	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	35172	34807
2	35147	35812
3	35056	35148
4	35351	34582
5	36016	34114
6	34442	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	33447	34253
2	32417	33312
3	32450	34298
4	33562	33505
5	31602	32064
6	30947	



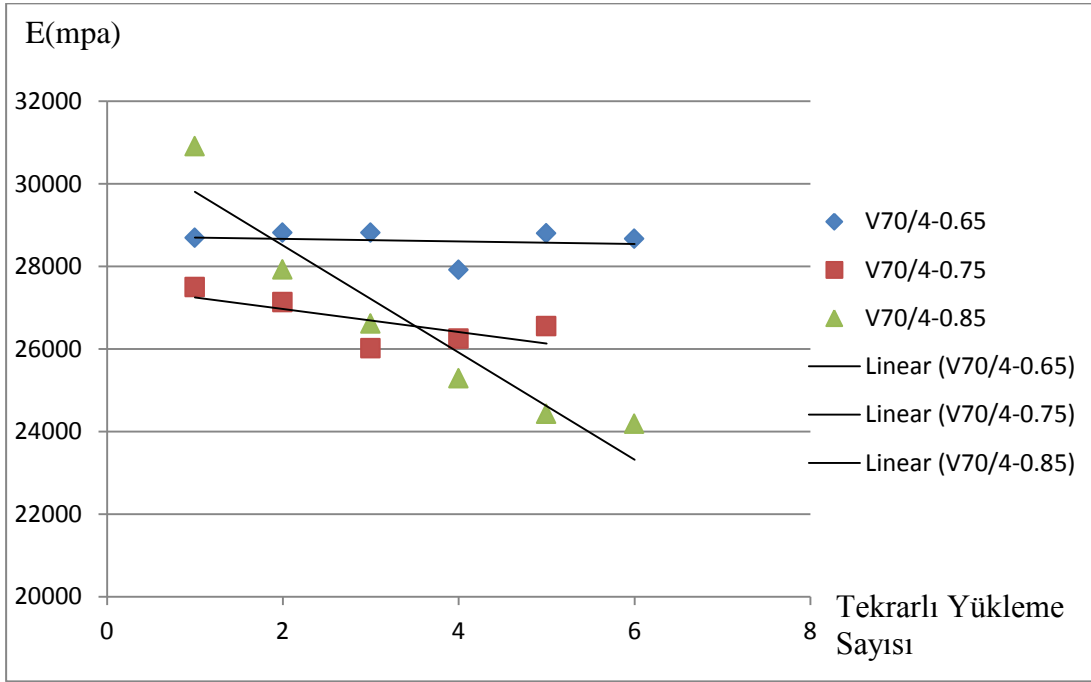
Şekil 4.11: V40/4 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi.

Çizelge 4.11'de S/Ç oranı 0.7 maksimum dane çapı 4mm olan numunelerin karakteristik basınç dayanımlarının %65,%75 ve %85 oranında 5'er ve 6'şar tekrarlı

yüklemeye maruz kalması sonucu ve her tekrar sonrası elastisite modülleri görülmektedir. Çizelge 4.17’ daki değerlere göre V70/4 kodlu üretimde 0.65, oranında yükleme yapıldığında tekrarlı yükler sonrası numunelerde çözünme ve ayrışma meydana gelmemiş elastisite modülleri kayda alınacak ölçüde değişikliklere uğramamıştır.0,75 ve 0.85 oranda yükleme yapıldığında elastisite modülünde sırasıyla %10 ve %15-%20 mertebelerinde düşüş tespit edilmiştir. Şekil 4.12’ de bu durum daha açıklayıcı bir şekilde görülmektedir.

Çizelge 4.11: V70/4 kodlu üretim tekrarlı yükleme sonrası Elastisite modülleri.

V70/4		
Tekrar Sayısı	%65fck-6tekrar	%65fck-5tekrar
1	28695	29379
2	28819	29681
3	28816	28873
4	27917	29644
5	28802	28674
6	28674	
Tekrar Sayısı	%75fck-6tekrar	%75fck-5tekrar
1	25354	27500
2	26563	27139
3	26216	26018
4	26249	26249
5	26539	26553
6	25835	
Tekrar Sayısı	%85fck-6tekrar	%85fck-5tekrar
1	30912	29006
2	27930	27188
3	26618	25495
4	25291	25291
5	24427	24427
6	24187	



Şekil 4.12: V70/4 Elastisite Modülü-Tekrarlı yükleme değişimi

5. GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada 0,4 ve 0,7 s/ç oranlarına sahip üç farklı dane boyutunda üretilmiş numunelere $0,65f_{max}$, $0,75f_{max}$ ve $0,85f_{max}$ basınç yükleriyle 6tekrarlı ve 5tekrarlı yüklemeler yapılmıştır. Beton numunelerin tekrarlı yüklemelere maruz kalmadan önce, taze ve sertleşmiş özellikleri de incelenmiştir.

Bu tez çalışmasından çıkartılan bazı sonuçlar aşağıdaki gibidir;

- Beklendiği gibi, sabit çimento miktarına sahip, su oranının azaldığı numunelerde basınç dayanımı ve elastisite modülü daha yüksek çıkmıştır. Aynı s/ç oranına sahip, maksimum dane boyutu daha küçük olan numunelerde basınç dayanımı ve elastisite modülü daha düşük çıkmıştır. Fakat bu değişim s/ç oranında daha belirgindir.
- Numunelerden alınan ultra-ses hızı ölçümlerine göre su oranı arttıkça, ultra-ses hızı ölçüm değerleri azalmıştır. Su oranının aynı olduğu, dane çapının azaldığı numunelerde de ultra-ses hızı ölçümleri düşük çıkmıştır. Ses ölçümlerine göre dane boyutu yüksek ve su oranı yüksek olan numunelerde geçirimsizlik ve gözenekli yapı daha fazladır.
- Su oranının artışıyla birlikte birim hacim ağırlık değerleri düşmüş, çökme(slump) değerleri beklediği gibi daha yüksek çıkmıştır.
- Su oranının artışı beton numunelerin basınç dayanımını düşürmüş, aynı s/ç oranına sahip, maksimum dane boyutu daha küçük olan karışımlarda da basınç dayanımı daha düşük çıkmıştır.
- S/Ç oranı 0.4 olan maksimum dane çapı 31,5mm olan numunelerde tekrarlı yük sonrası elastisite modülünde değişme olmamış, maksimum dane çapı 16mm ve 4mm olan numunelerde ise $0.85f_{ck}$ oranla 6 ve 5 tekrar yükleme yapıldığında %10-20 mertebelerinde düşüş gözlenmiştir. $0.75f_{ck}$ ve $0.65f_{ck}$ oranda 6 ve 5 tekrarlı yükleme yapıldığında kayda alınır değişme gözlenmemiştir.
- S/Ç oranı 0.7 olan numunelerde $0.75f_{ck}$ ve $0.65f_{ck}$ oranla 6 ve 5 tekrar yükleme yapıldığında elastisite modüllerinde başlangıç değerine göre kayda

alınır değişme gözlenmemiş, 0.85fck oranda tekrarlı yükleme yapıldığında elastisite modülünde başlangıç değerine oranı %15-20 mertebelerinde düşüş gözlenmiştir. Bu sonuca göre sonuca göre deprem bölgelerinde yapılacak betonarme binaların beton dizaynında su oranı 0,7 ve üzeri tasarımlardan kaçınılmalıdır.

- Betonda çözülme sınırı,betonun yükleme sonrası hacminin artmaya başladığı gerilme değeridir [10]. Tekrarlı yükleme sonrası su oranı yüksek olup,maksimum dane çapı düşük olan numunelerde elastisite modülü 6 tekrara göre azalmakta,betonda çözülme sınırı aşılmaktadır. Su oranı düşük olup,maksimum dane çapı yüksek olan numunelerde 6 tekrarlı yükleme sonucu elastisite modüller kayda değer şekilde değişmemiştir.
- Karakteristik basınç dayanımının %85'i oranında yükleme yapıldığında 6tekrarla birlikte numunelerin elastisite modüllerinde düşüş gözlenmiştir. Bu sonuca göre deprem bölgelerinde yapılacak betonarme binaların tasarımında beton taşıma gücünün %80' inden fazla yüke maruz kalmayacak şekilde tasarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **Hordjik, D. A.**, *Local Approach to Fatigue of Concrete*, Phd Thesis, Delft University, 1991.
- [2] **Kandemir, H.** (2013). Farklı Mineral Bileşenlerin betonun kalıcılığına etkisi, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [3] **Türk, K.** (2011). Betonarme 1 Genel ders notları, Şanlıurfa
- [4] **Taylor, M.A., Tai, M.K., and Ramey, M.R.**, 1975: Biaxial Compressive Behaviour of Fibre Reinforced Mortar. *ACI Journal* pp. 496-501.
- [5] **Johnston, C.D.**, 1970: Strength and Deformation of Concrete in Uniaxial Tension and Compression. *Magazine of Concrete Research*, Vol.22, No.70.
- [6] **Bazant, Z. P. and Y. Xiang**, “Size Effect in Compression Fracture: Splitting Crack Band Propagation”, *Journal of Engineering Mechanics*, Vol. 123 No 2, pp 162-172, February 1997
- [7] **Xiaobin, L.**, *Uniaxial and Triaxial Behavior of High Strength Concrete With and Without Steel Fibers*, Ph.D Thesis, New Jersey Institute of Technology, 2005.
- [8] **Kocataşkın, F.**, (1973). Yapı malzemesi dersleri (beton-metal-ahşap). İstanbul: İ.T.Ü.
- [9] **Popovic, S.**, 1998, Strength and Related Properties of Concrete; a quantitative approach; New York.
- [10] **Postacıoğlu, B.**, 1975.Yapı Malzemesi, İTÜ Matbaası Gümüssuyu, İstanbul.
- [11] **Türkel, E. B.**, 2002.Betonda Basınç Dayanımı ile Elastisite Modülü arası ilişkiler, İTÜ Matbaası Gümüssuyu, İstanbul.
- [12] **Tangüner, R.**, 2007.Uçucu küllü yüksek ve düşük mukamevetli betonların Elastiklik Modülünün İncelenmesi, İTÜ Matbaası Gümüssuyu, İstanbul.
- [13] **Postacıoğlu B.**, 1981. Cisimlerin Yapısı ve Özellikleri Cilt 1, İTÜ Matbaası Gümüssuyu, İstanbul.
- [14] **Karabulut, A. Ş.**, 2006, Reaktif Pudra betonun özelliklerinin Mineral Katkılarla Geliştirilmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [15] **Eroğlu, O.**, 2008, Maksimum Agrega Dane boyutunun Elastisite Modülüne Etkisi, *Yüksek Lisans Tezi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- [16] **Akakın, T.**, Effects of cyclic loading and self healing on the mechanical and permeability properties of concrete, *Doktora Tezi*, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul.
- [17] **Raju, K.** Deformation Characteristics of Concrete Under Repeated Compressive Loads.
- [18] American Concrete Institute, 215 “Fatigue Considerations For Design of Concrete Structures”, *Manual of Concrete Practice*, 2000.
- [19] **Kim, J. K. and Y. Y. Kim**, “Experimental Study of The Fatigue Behavior of High Strength Concrete”, *Cement and Concrete Research*, Volume 26, Issue 10, 1513-1523, October 1996.
- [20] **Tokyay, M.**, *Determination of The Tensile Fatigue Properties of Plain Concrete By Indirect Tension Tests*, M.Sc. Thesis , Middle East Technical University Engineering Faculty, 1980.
- [21] **Moral, H.**, *Betonun Az Tekrarlı Bir Eksenli Basınç Altındaki Davranışına Bilesimin Etkisi*, Ph.D. Thesis, İstanbul Teknik Üniversitesi - Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1986.
- [22] **Award, M. E., Hilsdorf H.K.**, “Strength and Deformation Characteristics of Plain Concrete Subjected to High repeated and Sustained Loads”, SP 41-1, ACI.
- [23] **Maher, A. and D. Darwin**, “Mortar Constituent of Concrete in Compression”, *ACI Journal* , pp 100-109, March April 1982.
- [24] **Ibuk H. And Alawieh H.**, “Influence of cyclic loading on the degradation of mechanical properties”.
- [25] **Baluch, M.H., A. H. Alghadhib and A. R. Khan**, “CDM Model for Residual Strength of Concrete Under Cyclic Compression”, *Cement and Concrete Composites*, Vol 25, pp 503-512, May –June 2003.
- [26] **Minh-Tan, D., C. Omar and A. P. Claude**, “Fatigue Behavior of High Performance Concrete”, *ASCE Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol 1, pp96-111, 1993.
- [27] **Byong, Y. B. C. and T. S. Tzu**, “Stress Strain Behavior of Concrete Under Cyclic Loading”, *ACI Materials Journal* , pp 178-193, 1998.
- [28] **Gettu, R., A. Aguado and M.O.F. Oliveira**, “Damage in High-Strength Concrete Due to Monotonic and Cyclic Compression—A Study Based on Splitting Tensile Strength” , *ACI Materials Journal* , Vol 93 No 6, pp 1-5, November December 1996.
- [29] **B. Zhang**, ‘ Relationship between pore structure and mechanical properties of ordinary concrete under bending fatigue.’ March 1998 Scotland.
- [30] **Hasan Yıldırım , E.Burak Torkel ve Çağdaş Korkmaz** düşük, normal ve yüksek dayanımlı betonlarda elastisite modülünün yıkıntısız yöntemle belirlenmesi.
- [31] **Türk Standartları Enstitüsü, TS-500 Bakanlıklar/ANKARA.**

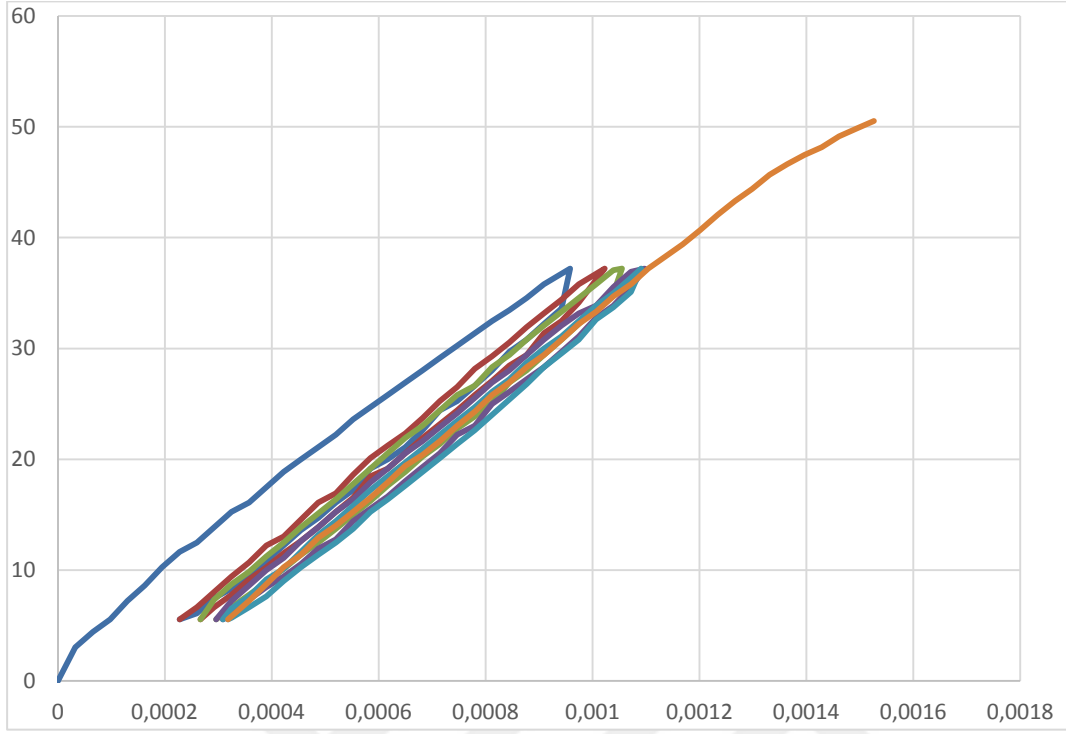
EKLER

EK A: 6 çevrim yüklenip-boşaltılıp, kırılan numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri.

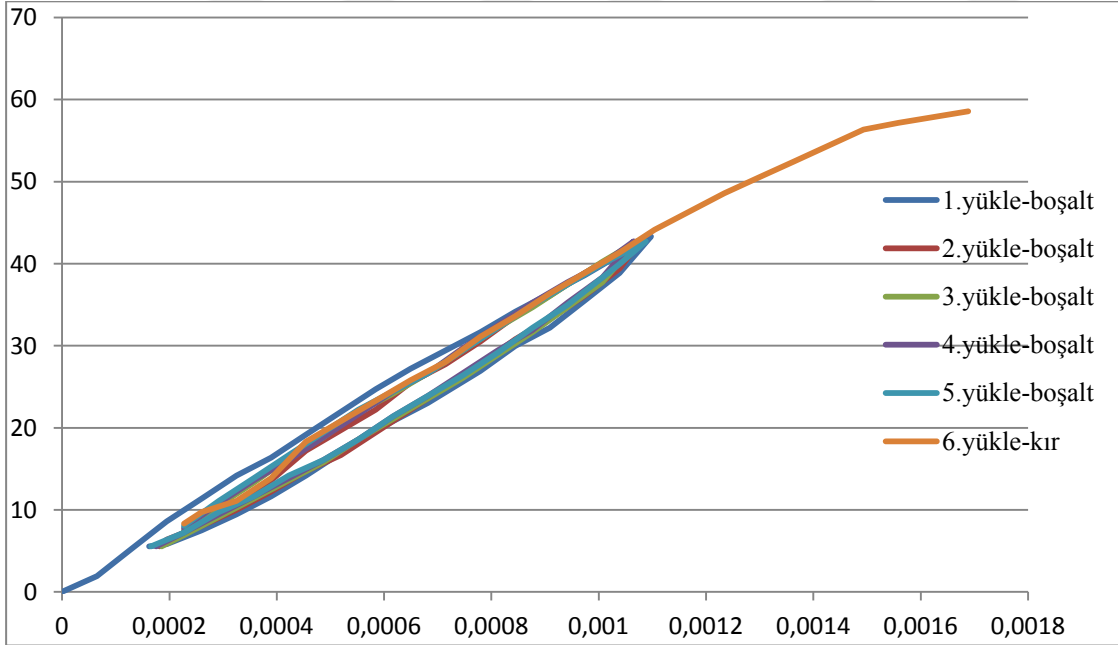
EK B: 5 çevrim yüklenip-boşaltılan numunelerin gerilme-şekil değiştirme grafikleri.



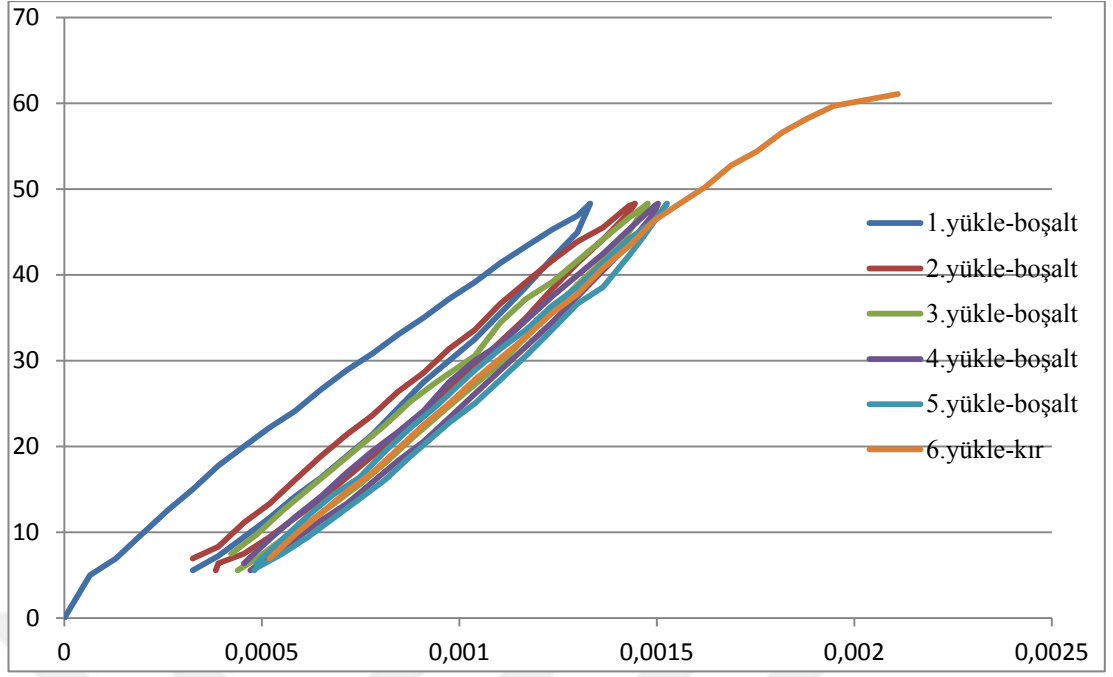
EK A



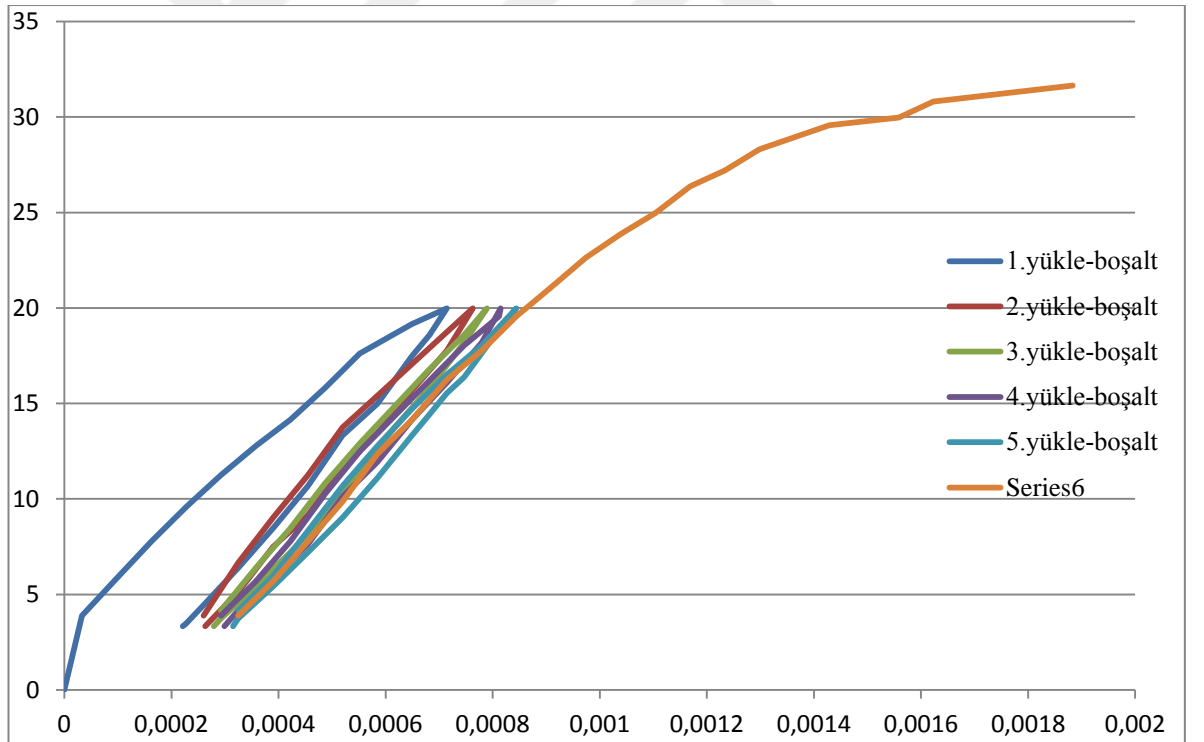
Şekil A.1: V40/31,5 kodlu karışım dayanımının %65' e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değıştirme eğrileri.



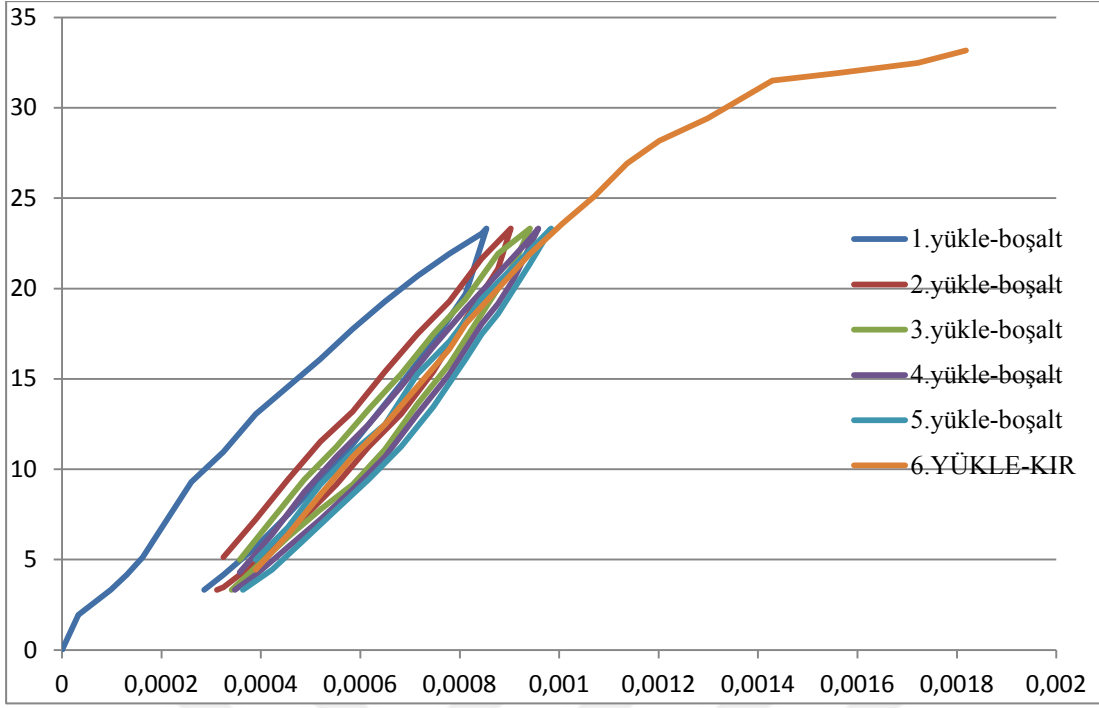
Şekil A.2: V40/31,5 kodlu karışım dayanımının %75'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değıştirme eğrileri.



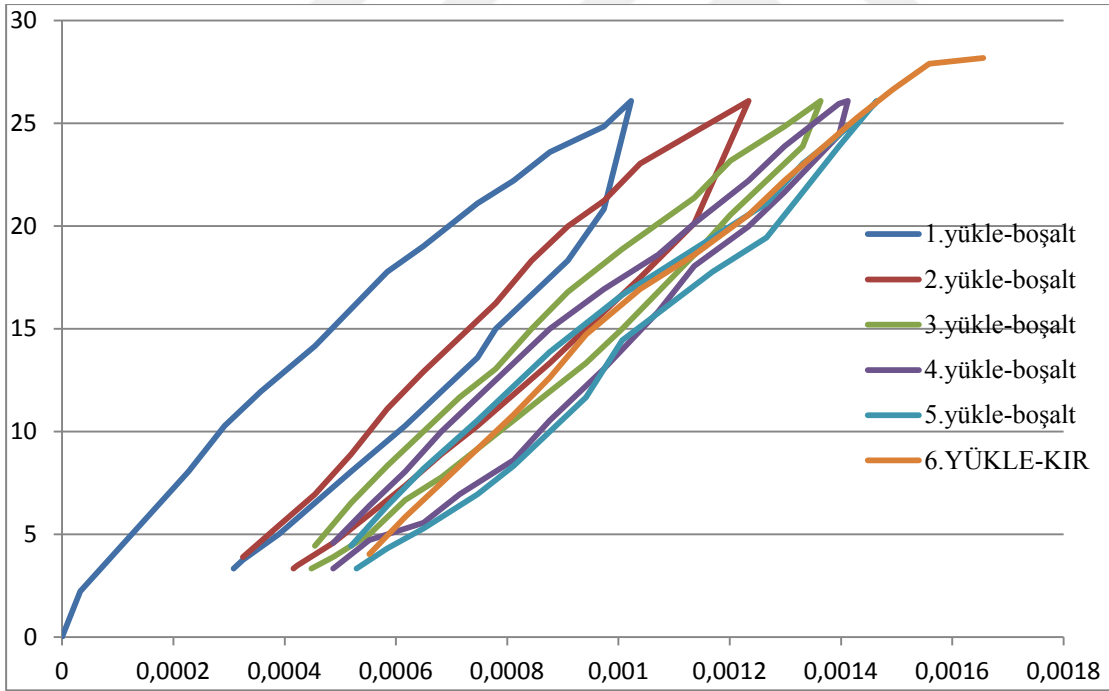
Şekil A.3: V40/31,5 kodlu karışım dayanımının %85' e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



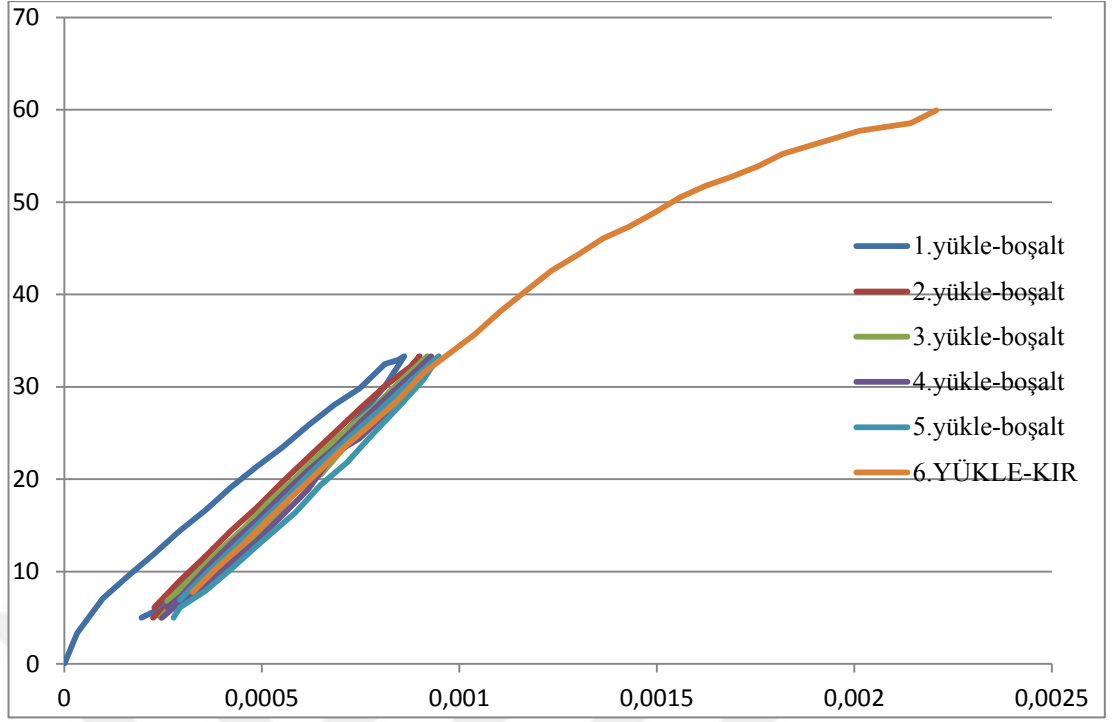
Şekil A.4: V70/31,5 kodlu karışım dayanımının %65' e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



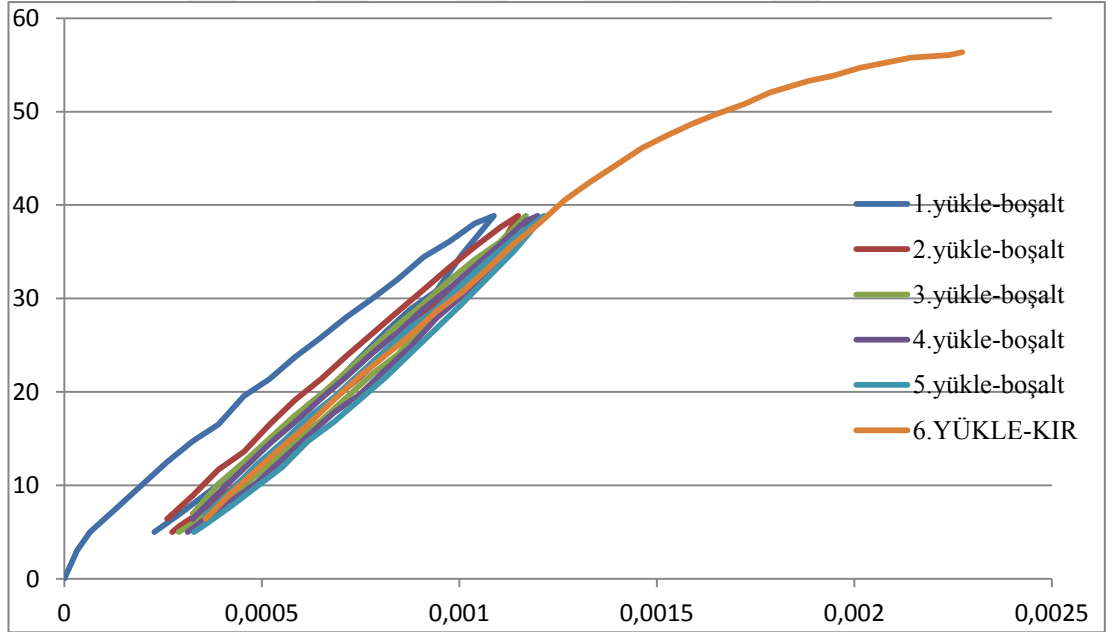
Şekil A.5: V70/31,5 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



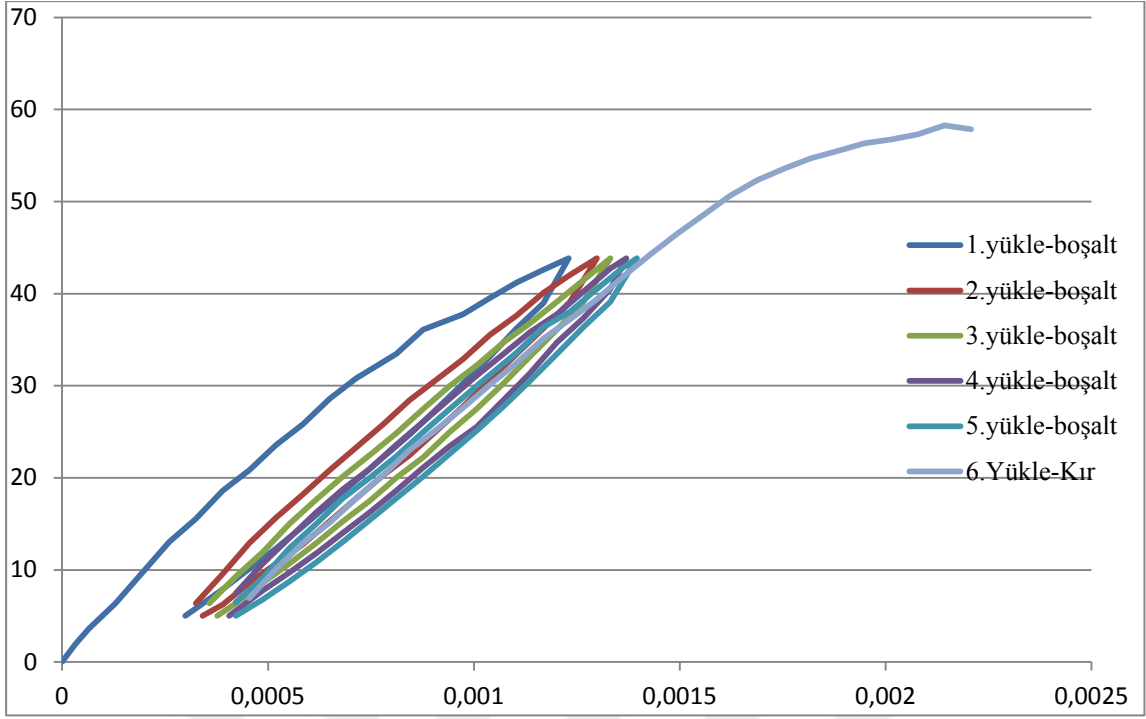
Şekil A.6: V70/31,5 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



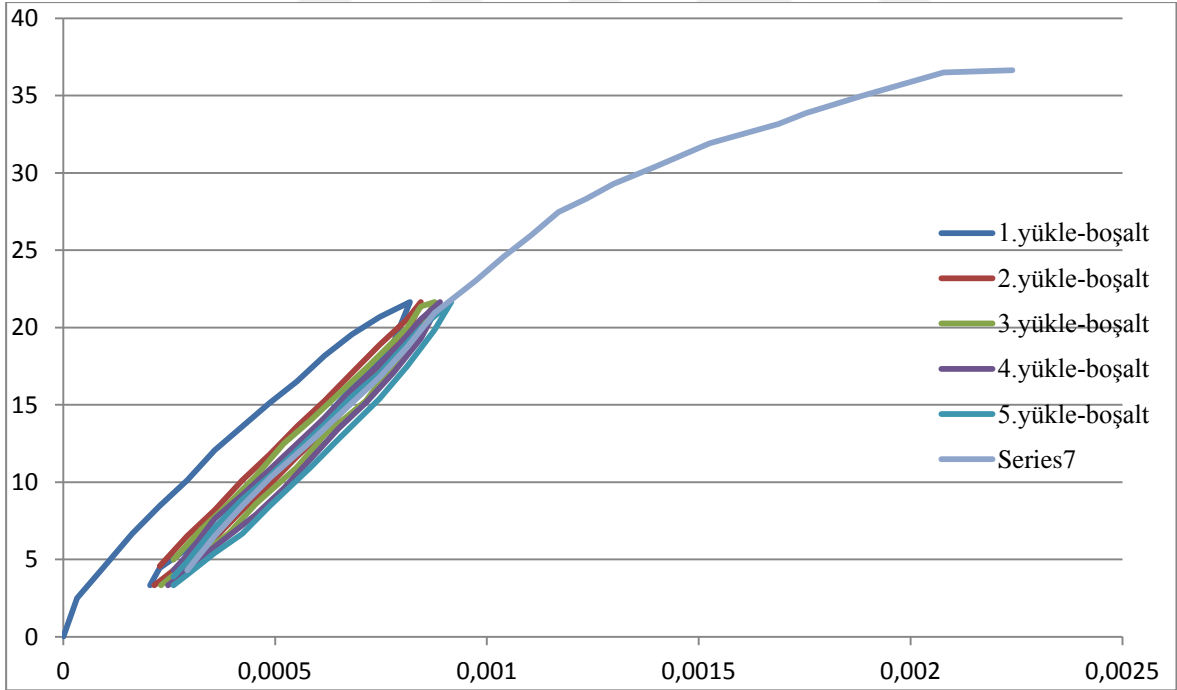
Şekil A.7: V40/16 kodlu karışımı dayanımın %65 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



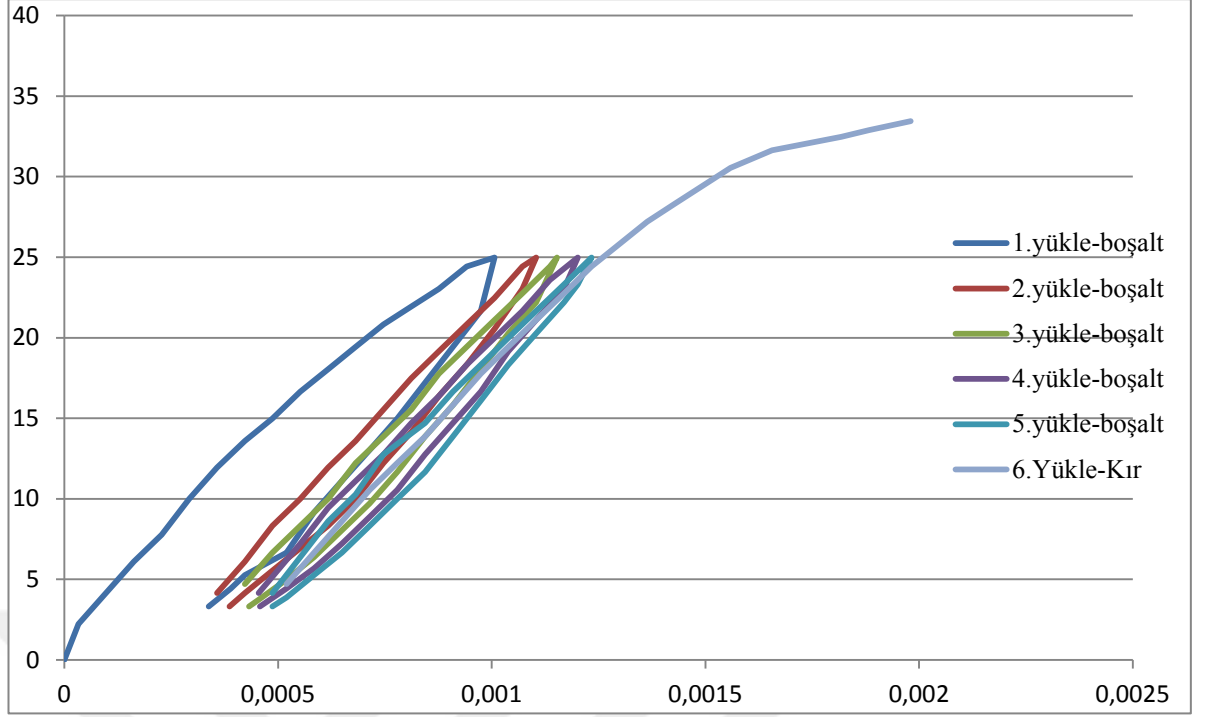
Şekil A.8: V40/16 kodlu karışımı dayanımın %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



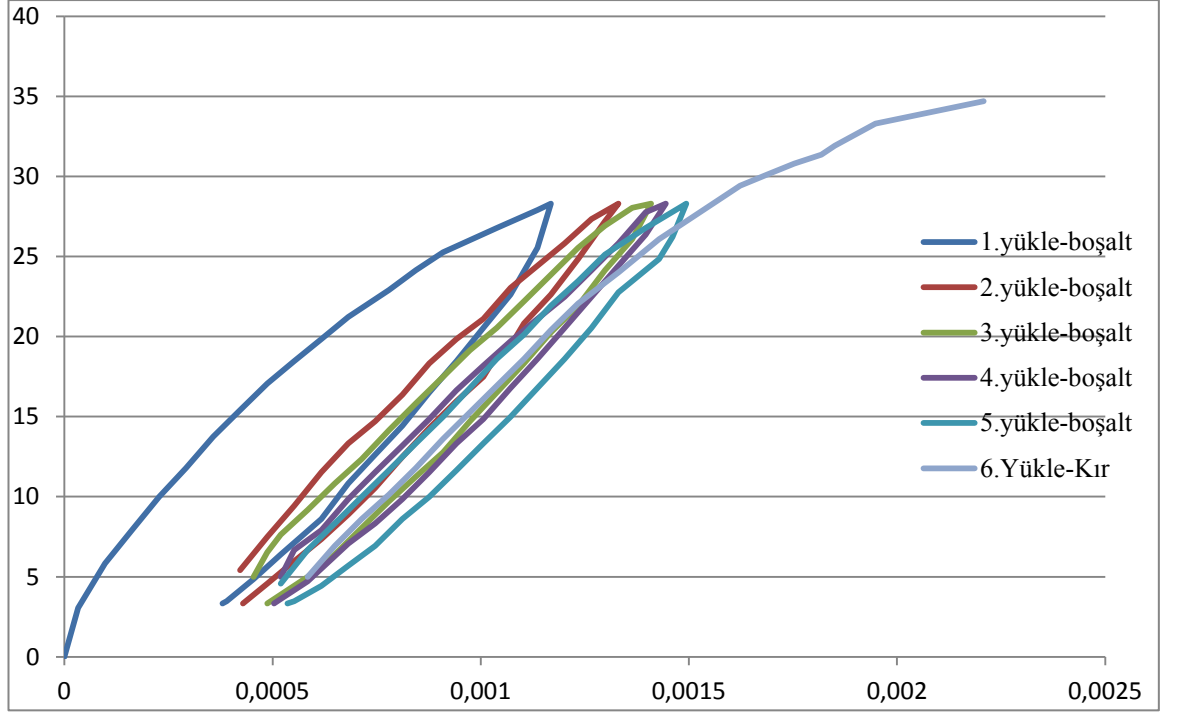
Şekil A.9: V40/16 kodlu karışımı dayanımın %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



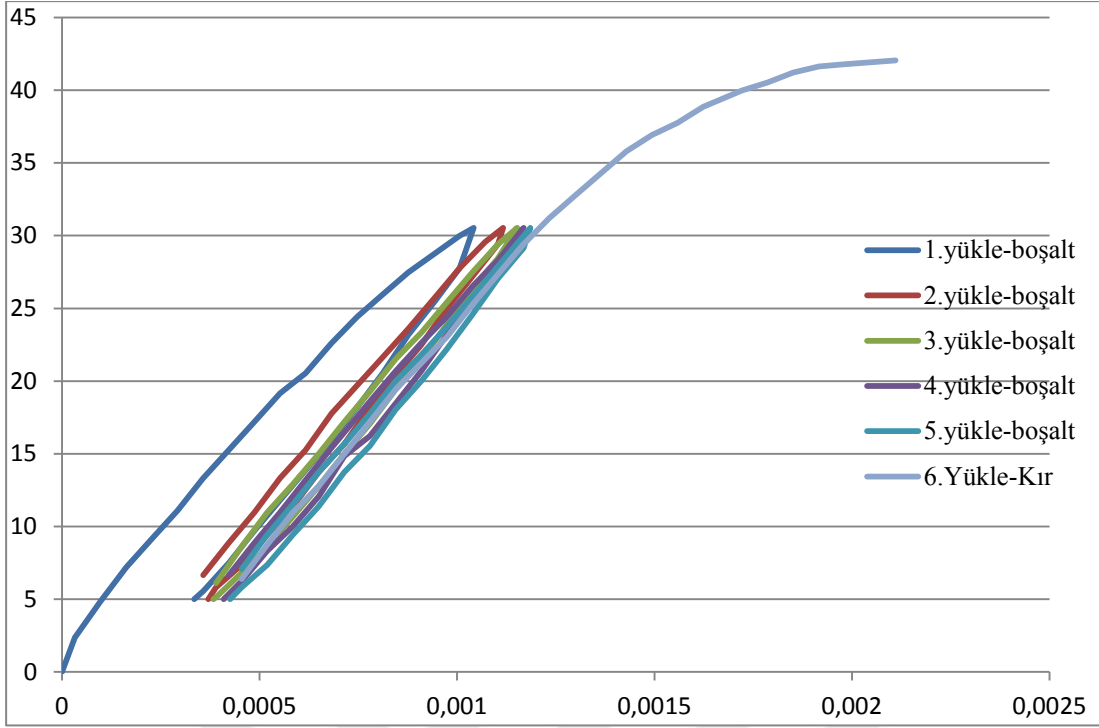
Şekil A.10: V70/16 kodlu karışımı dayanımın %65 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



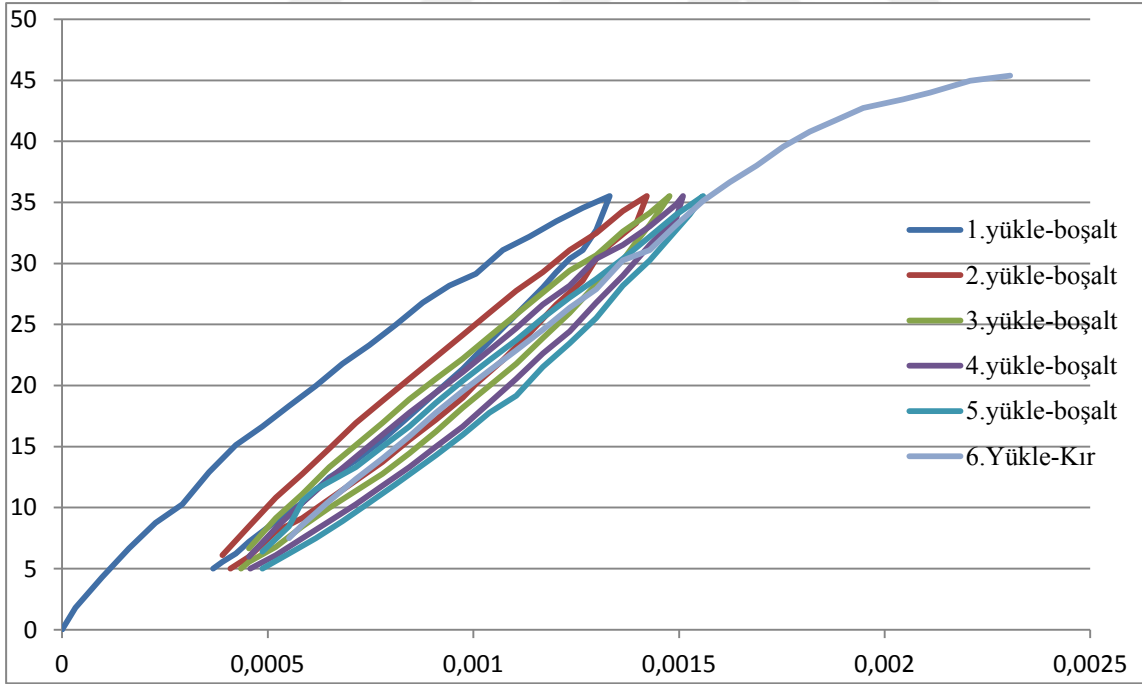
Şekil A.11: V70/16 kodlu karışımı dayanımın %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



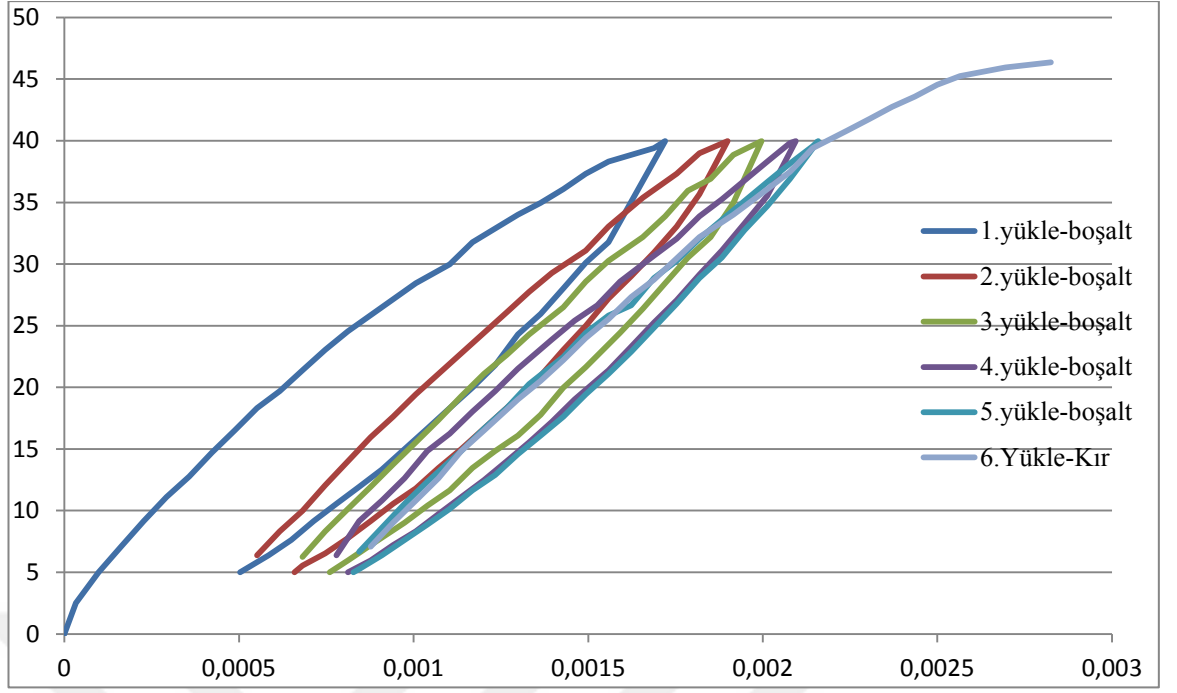
Şekil A.12: V70/16 kodlu karışımı dayanımın %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



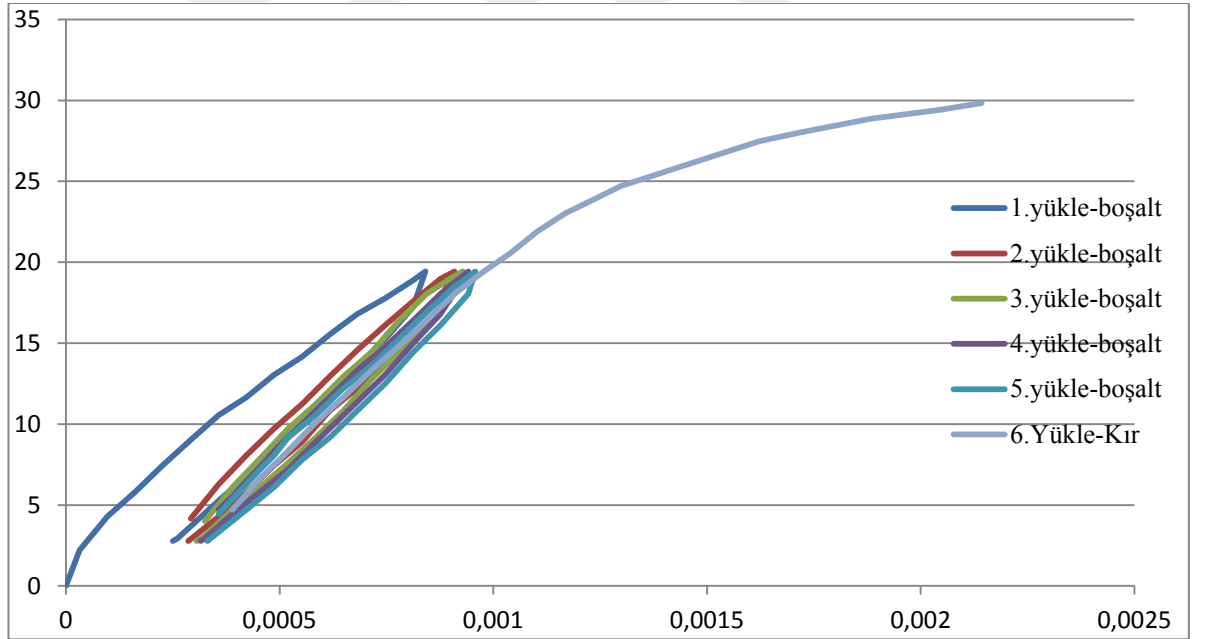
Şekil A.13: V40/4 kodlu karışımı dayanımın %65 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



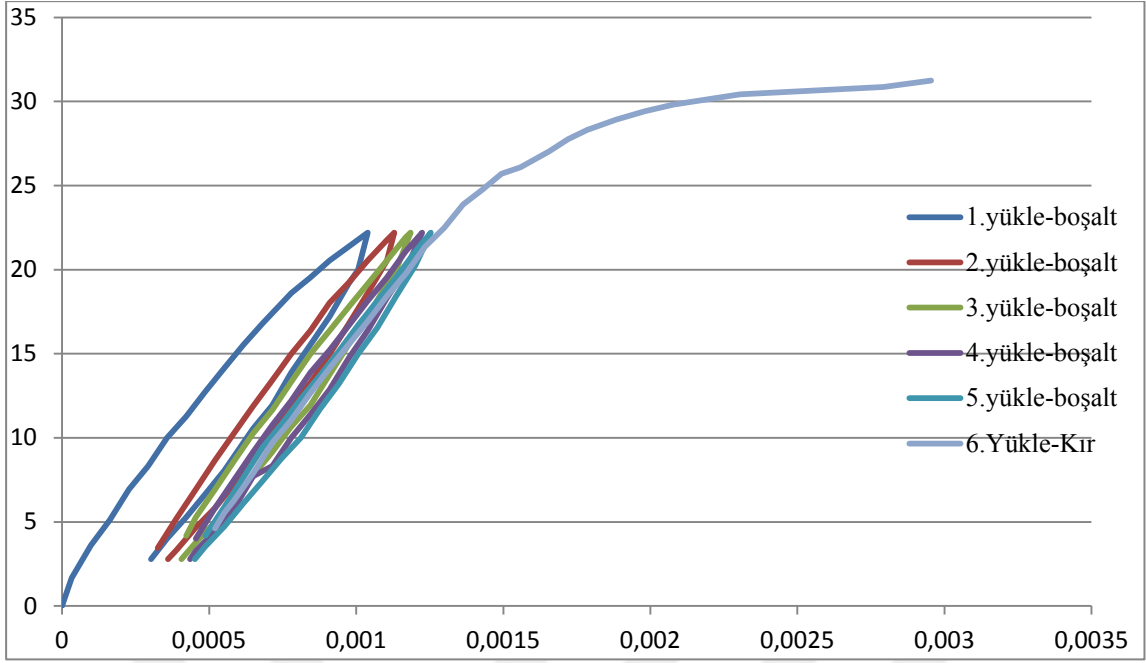
Şekil A.14: V40/4 kodlu karışımı dayanımın %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



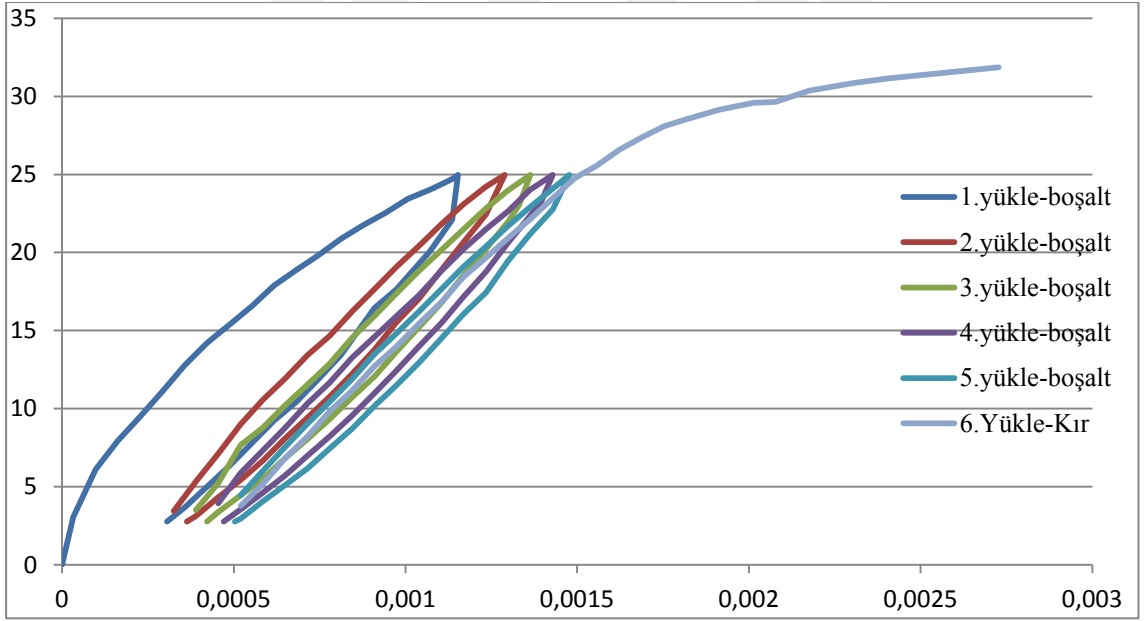
Şekil A.15: V40/4 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil A.16: V70/4 kodlu karışımı dayanımının %65 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

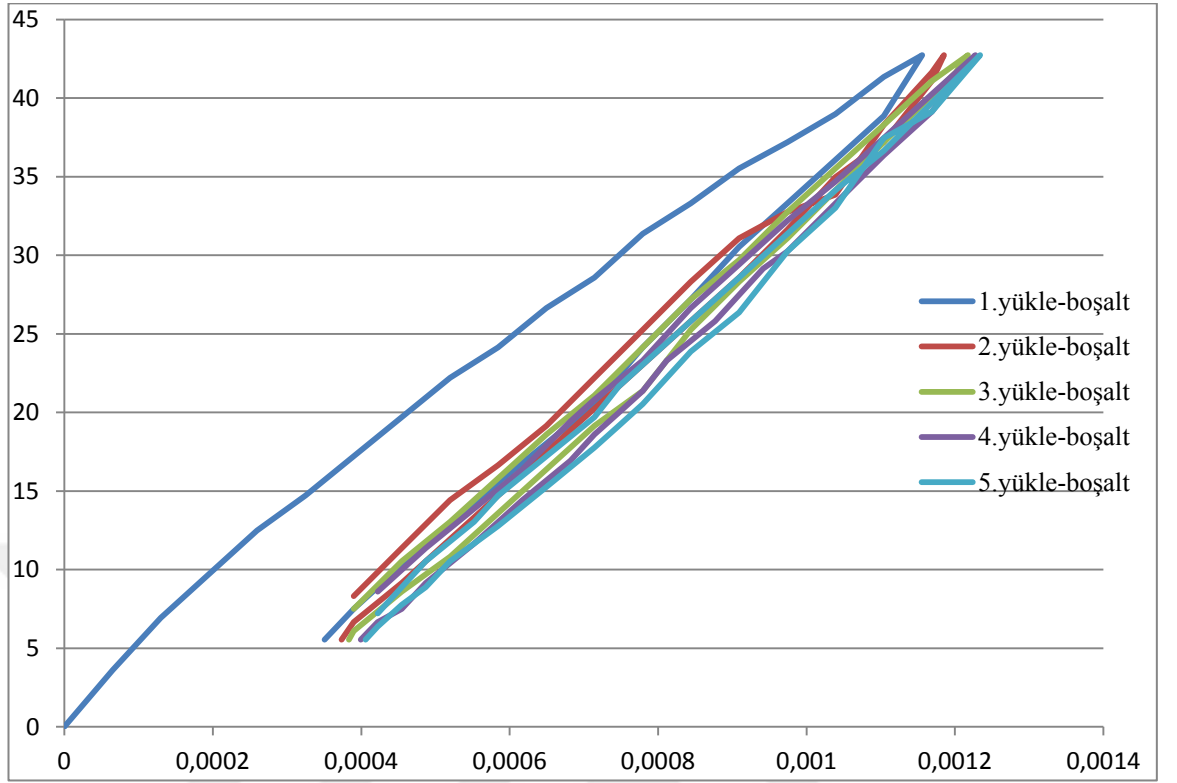


Şekil A.17: V70/4 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

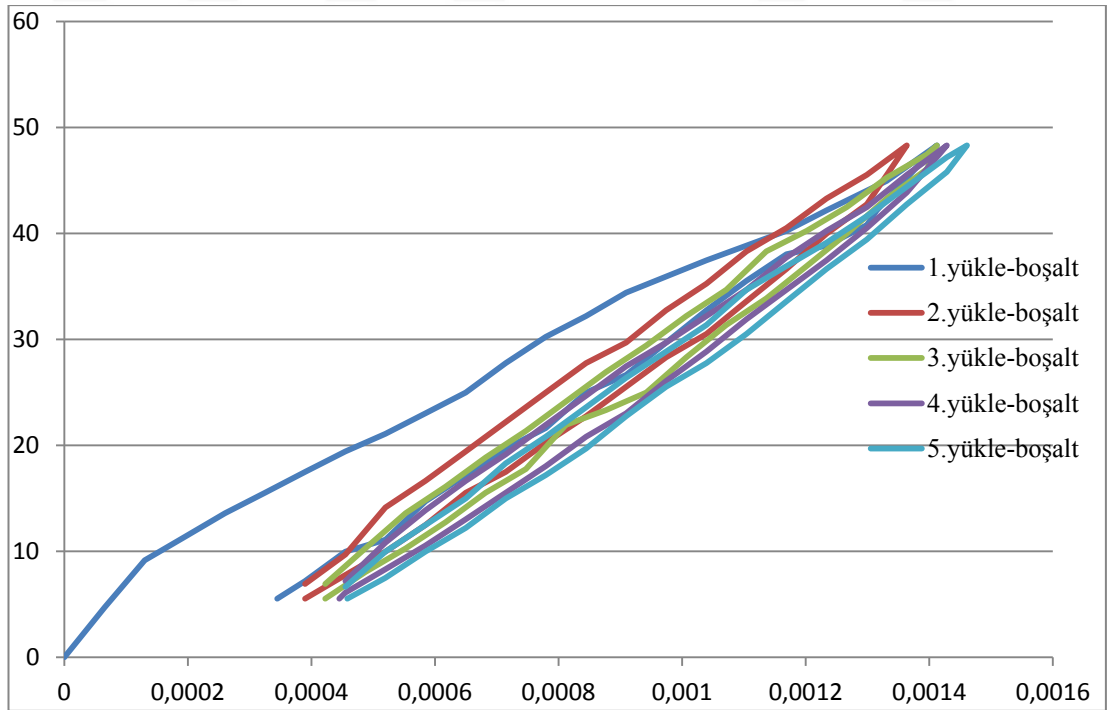


Şekil A.18: V70/4 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

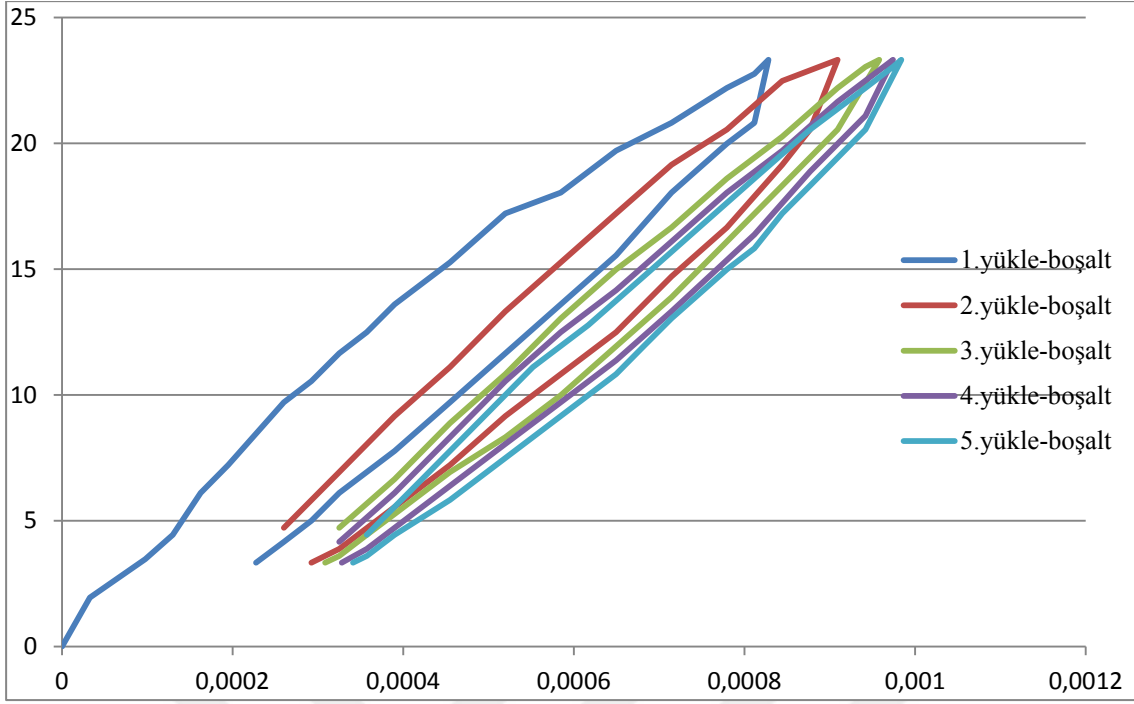
EK-B



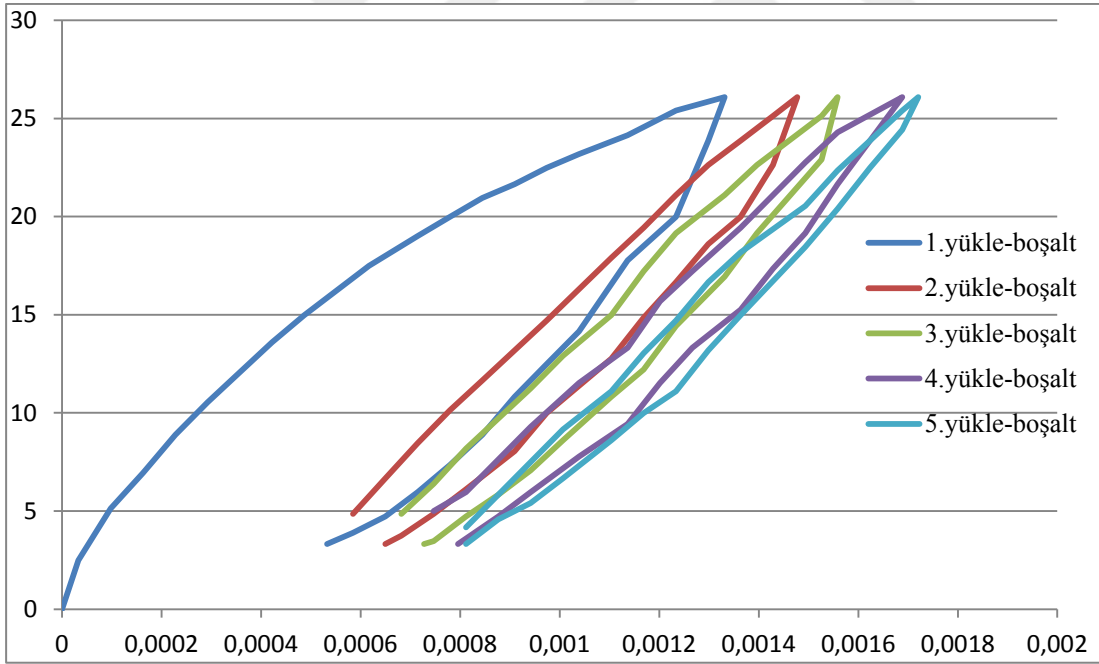
Şekil B.1: V40/31,5 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



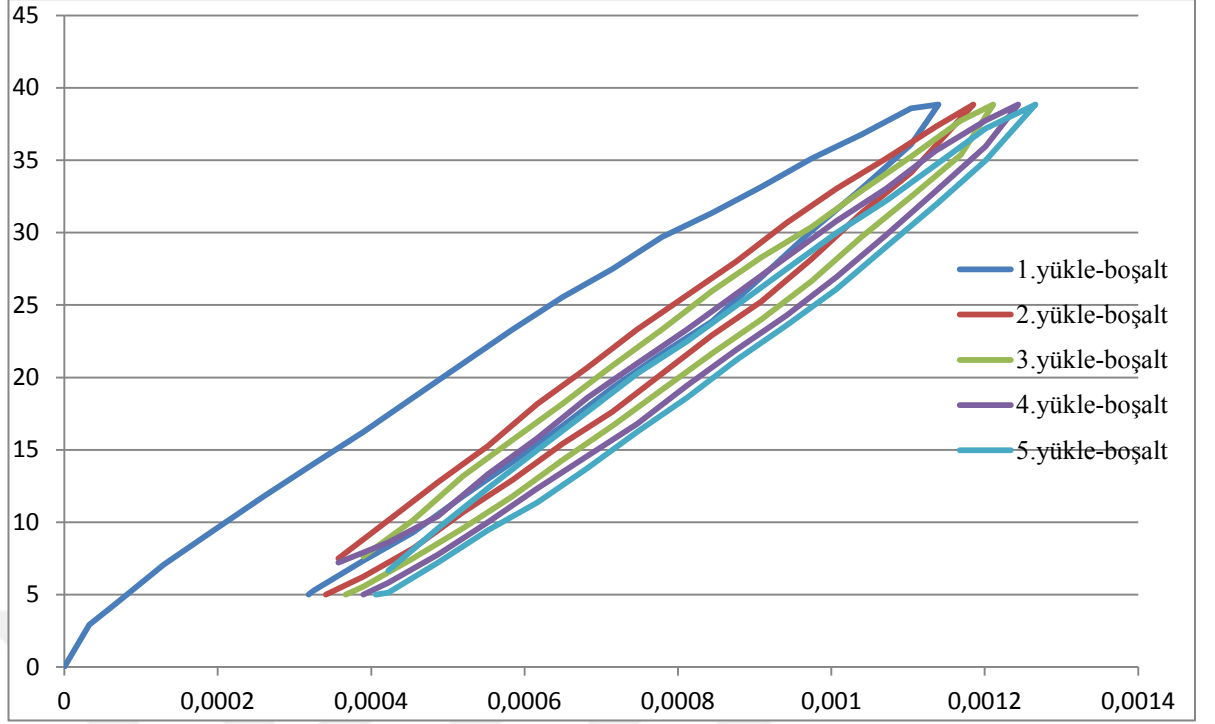
Şekil B.2: V40/31,5 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



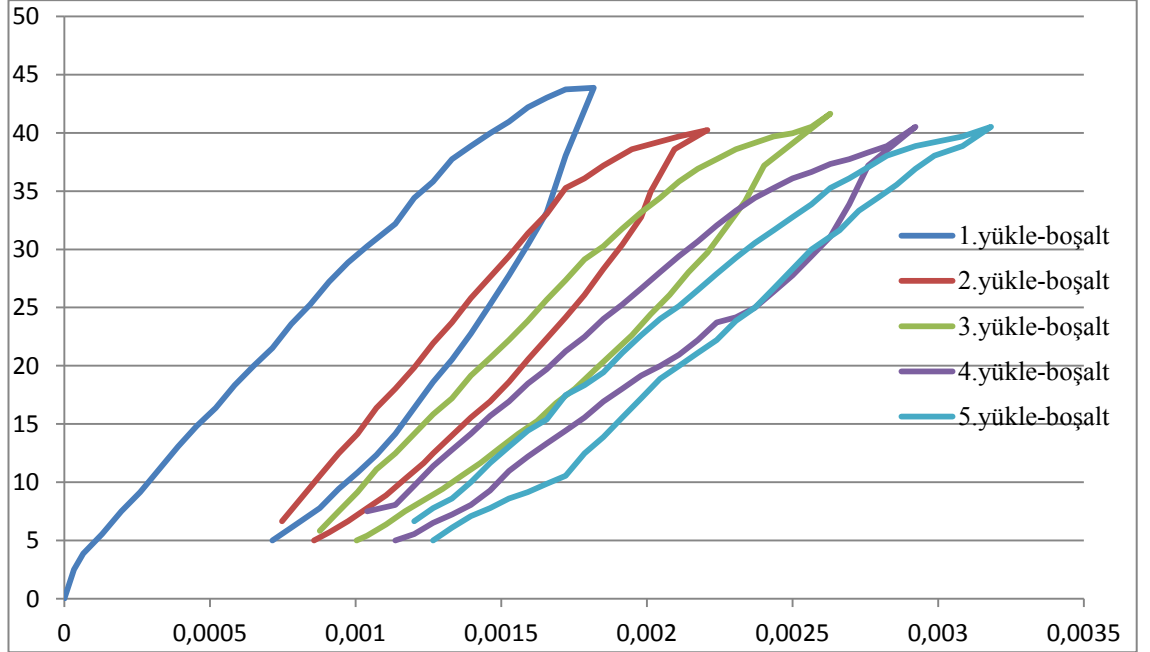
Şekil B.3: V70/31,5 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



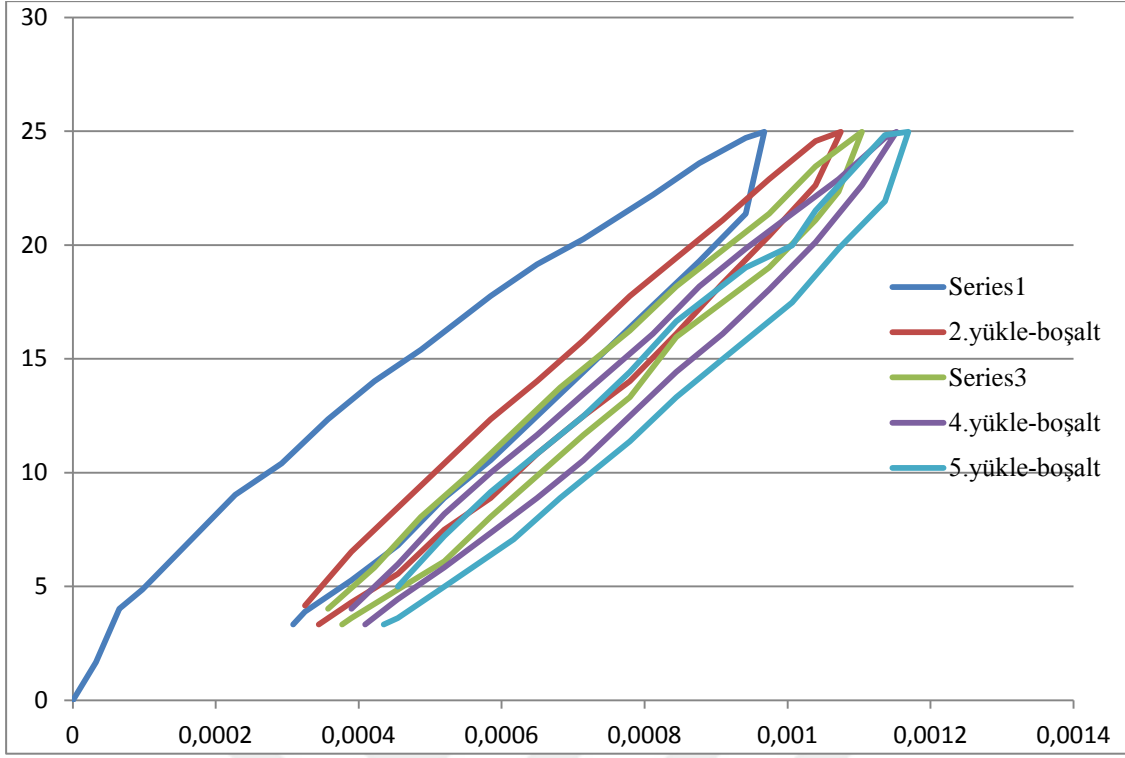
Şekil B.4: V70/31,5 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



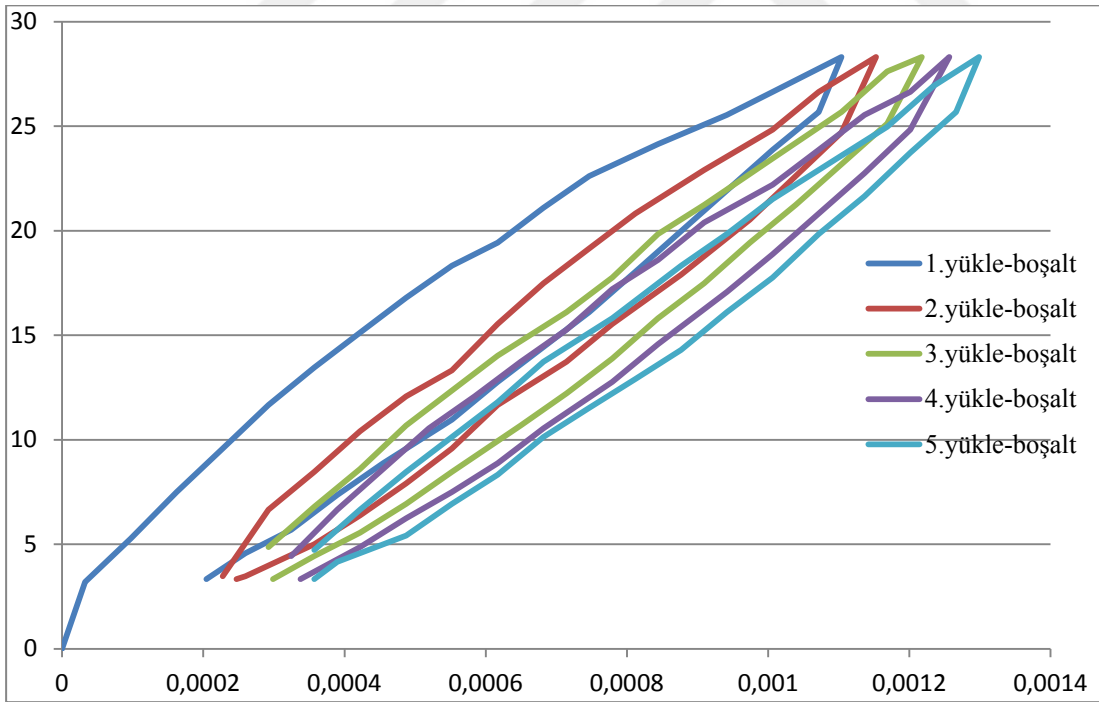
Şekil B.5: V40/16 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



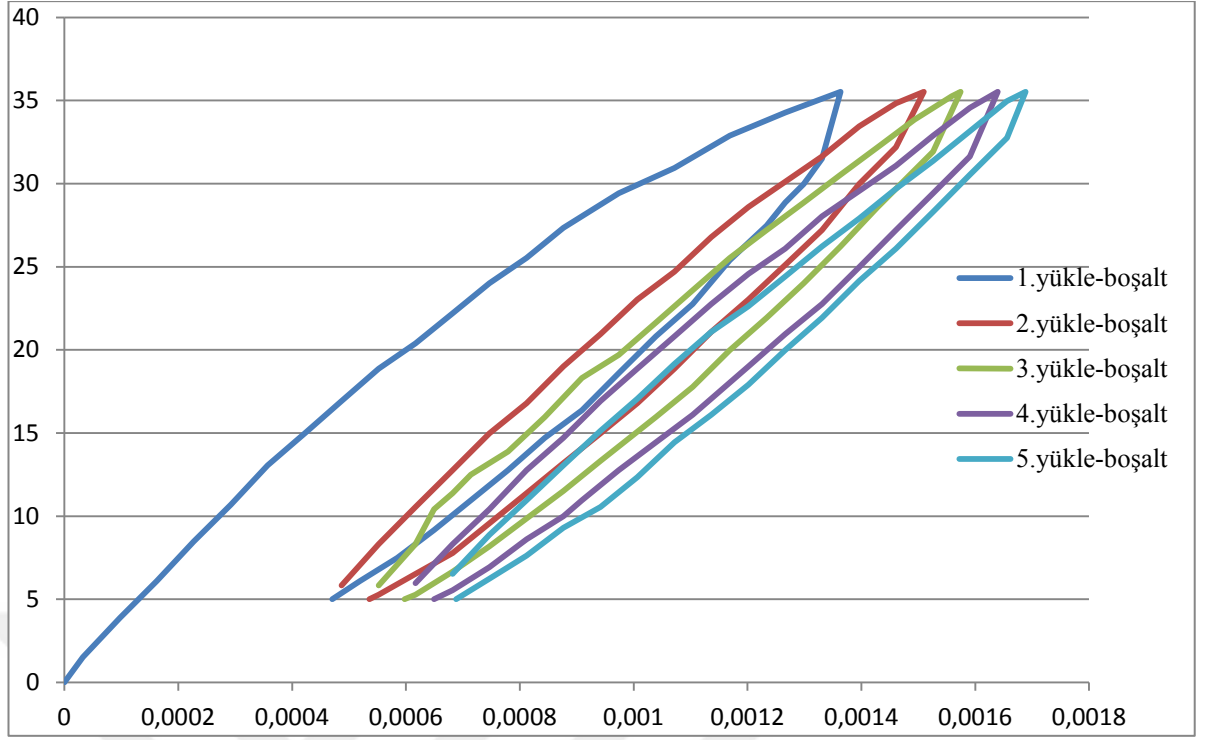
Şekil B.6: V40/16 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



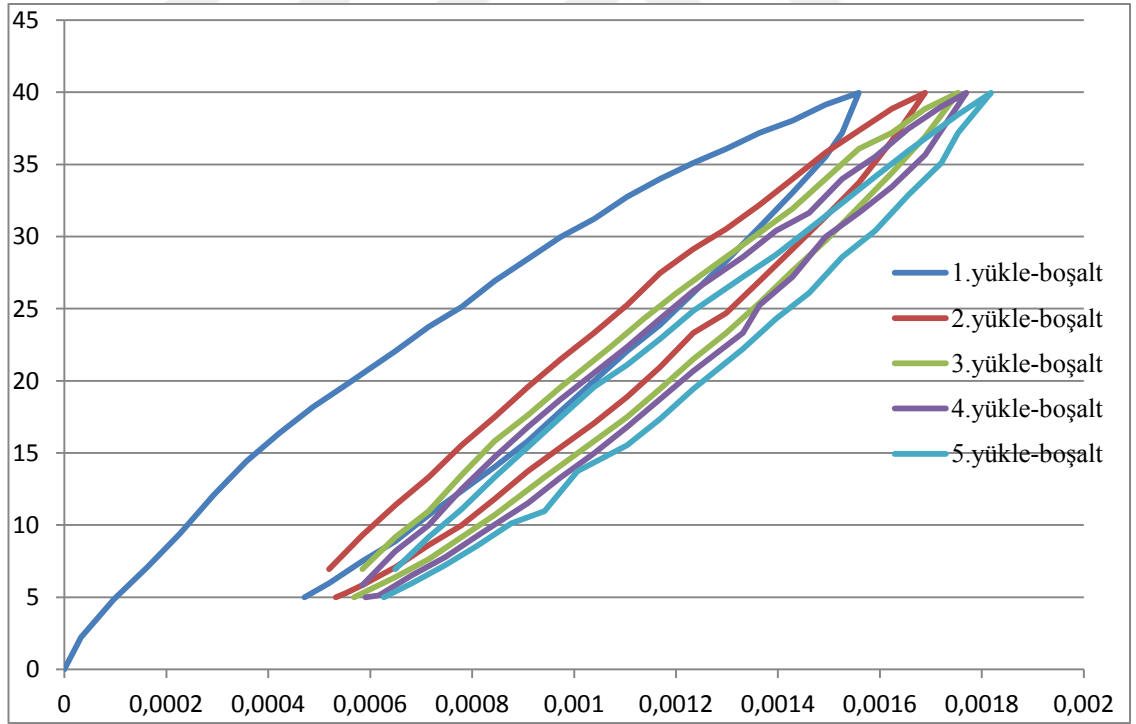
Şekil B.7: V70/16 kodlu karışımı dayanımın %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



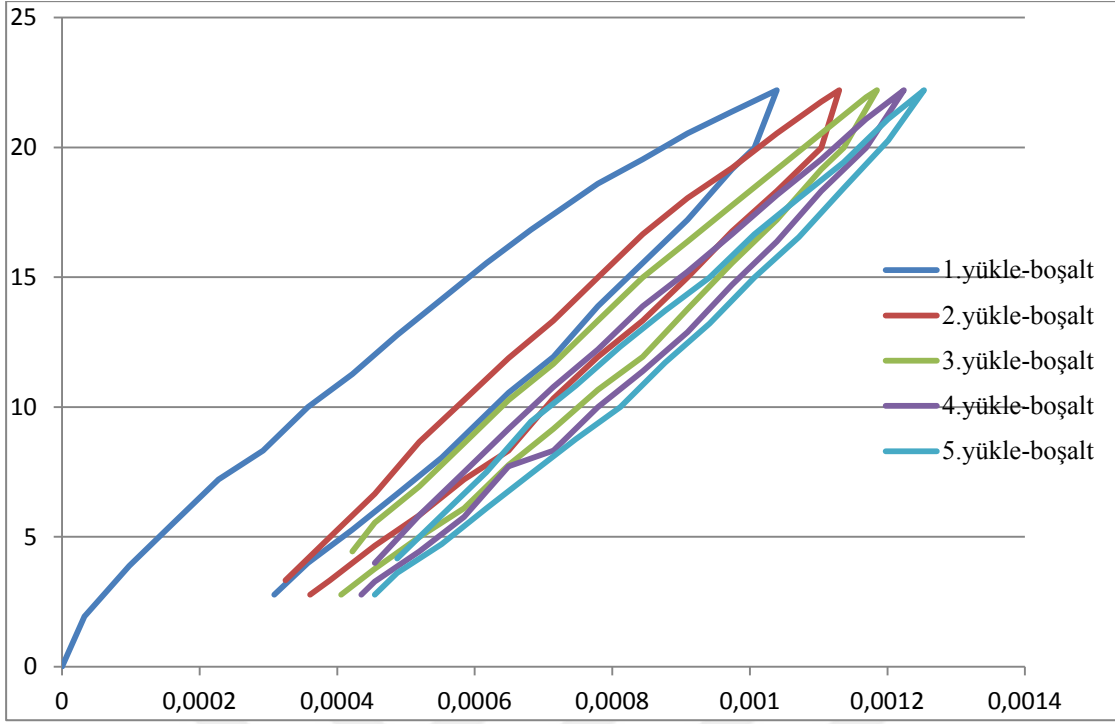
Şekil B.8: V70/16 kodlu karışımı dayanımın %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



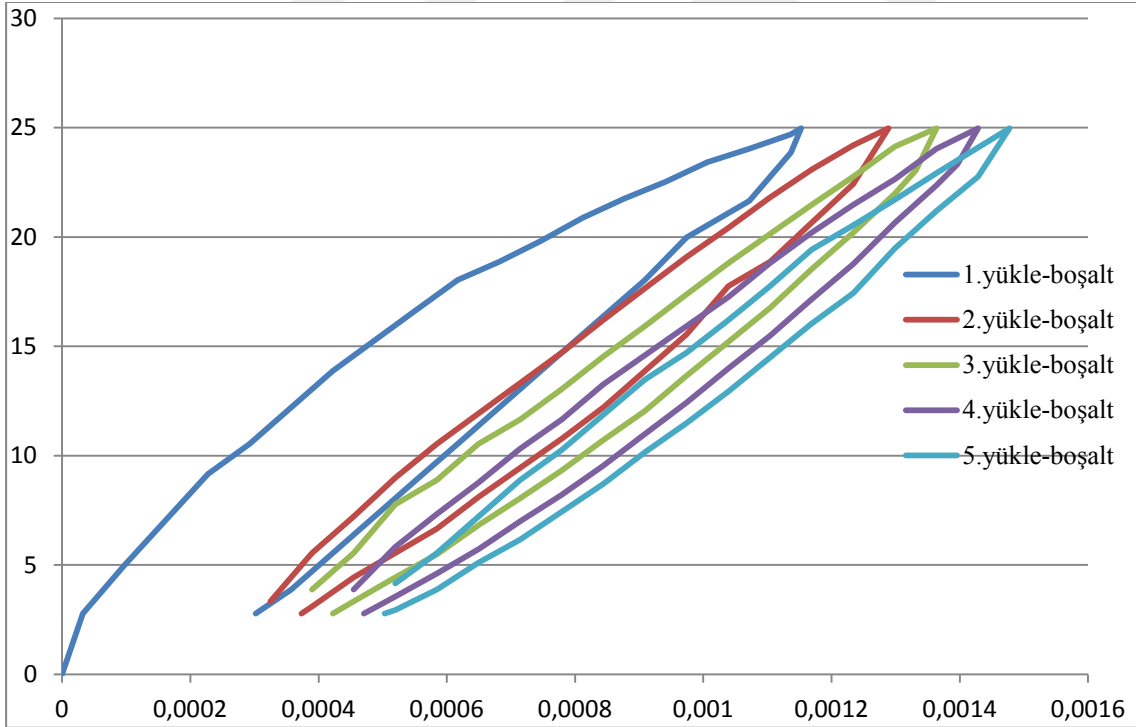
Şekil B.9: V40/4 kodlu karışımı dayanımın %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil B.10. V40/4 kodlu karışımı dayanımın %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil B.11: V70/4 kodlu karışımı dayanımının %75 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.



Şekil B.12: V70/4 kodlu karışımı dayanımının %85 'e kadar yükleme-boşaltma gerilme-şekil değiştirme eğrileri.

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad: Volkan Can TİRYAKİ

Doğum Yeri ve Tarihi: Bolu – 13.09.1986

E-Posta: volkancantiryaki@hotmail.com

Lisans: Yıldız Teknik Üniversitesi/ 2004-2008

Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi/ 2009