

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI BAĞLAMINDA
GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETON**

DOKTORA TEZİ

Dilek Dilhan ALTINIŞIK

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

HAZİRAN 2013

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI BAĞLAMINDA
GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETON**

DOKTORA TEZİ

**Dilek Dilhan ALTINIŞIK
(502012050)**

Mimarlık Anabilim Dalı

Yapı Bilgisi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU

HAZİRAN 2013

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 502012050 numaralı Doktora Öğrencisi **Dilek Dilhan ALTINIŞIK**, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “**SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI BAĞLAMINDA GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETON**” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Erol GÜRDAL**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY
Mimar Sinan Güzel Sanatlar Üniversitesi

Prof. Dr. Leyla TANAÇAN
İstanbul Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : **10 Mayıs 2013**
Savunma Tarihi : **25 Haziran 2013**

Canım kızım Eda'ya

ve

Sevgili Anne ve Babama...

ÖNSÖZ

Hayatımın ideali olan bu doktora çalışmasının zorlu ve uzun sürecinde, özel ve bilimsel zorluklar ile mücadele edebilmekte her zaman yanımda olan, yakın ilgisini, şefkatini ve desteğini gördüğüm sevgili hocam Prof. Dr. Nihal ARIOĞLU'na; Bilgilerinden ve görüşlerinden feyz aldığım, maddi-manevi yardımlarını esirgemeyen ve beni her zaman yüreklendiren hocam Prof. Dr. Halit Yaşa ERSOY'a; Yapı malzemesi alanını sevmemi sağlayan ve bilgilerinden, yardımlarından beni yoksun bırakmayan hocam Prof. Dr. Erol GÜRDAL'a; Üretkenliğin her aşamada önemli olduğunu gördüğüm, bilgilerinden ve bilgeliğinden yararlandığım hocam Prof. Dr. Ergin ARIOĞLU'na; Desteğinden ve görüşlerinden yararlandığım hocam Prof. Dr. Leyla TANAÇAN'a; Engin bilgilerini ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen hocam Doç. Dr. Mustafa Erkan KARAGÜLER'e; Zorlu deney sürecinde yardımlarını, yakın ilgi ve desteğini gördüğüm, aslında kendisi de yıllardır tez yapmakta olan, Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı Teknisyeni İbrahim ÖZTÜRK'e; Bu zorlu süreçten beraber geçtiğimiz ve ilgilerini ve desteklerini gördüğüm arkadaşlarım Öğr. Gör. Dr. Serkan YATAĞAN ve Öğr. Gör. Dr. Şebnem KULOĞLU YÜKSEL ve Araş. Gör. Dr. Seda ERDEM'e; İTÜ Maden Fakültesi'nde yardımlarını gördüğüm Prof. Dr. Gündüz ÖKTEN, Yrd. Doç. Dr. Cüneyt Atilla ÖZTÜRK, Doç. Dr. Türker HÜDAVERDİ, Araş. Gör. Emre ÖNSEL, Yrd. Doç. Dr. Abdullah FİŞNE ve Doç. Dr. Hakan TUNÇDEMİR'e; İlgi ve desteğini gördüğüm hocam Prof. Dr. Kemal ÇORAPÇIOĞLU'na ve MSGSÜ Mimarlık Bölümü Yapı Fiziği ve Malzeme Bilim Dalı'nda görevli çalışma arkadaşlarıma içten teşekkürlerimi sunarım. Bu çalışmada prefabrikasyon atıklarının temininde ve her konudaki yardımlarından ötürü kendisi de eski bir akademisyen olan YAPI MERKEZİ PREFABRİKASYON A.Ş. Ar-Ge ve Kalite Güvence Müdürü İnş. Y. Müh. Orhan MANZAK'a ve Kalite Güvenlik Şefi Jeofizik Müh. Adnan DONDURMACI'ya teşekkürü borç bilirim. Bu çalışmaya verdikleri destekten ötürü LAFARGE ÇİMENTO Teknik Hizmetler Sorumlusu Ömer BAĞDATLI'ya, LAFARGE AGREGA firması sorumlusu Mühendis Umut BOYRAZ'a ve SİKA firmasına teşekkürü borç bilirim. Desteklerinden dolayı İnş. Y. Müh. Beha HATİPOĞLU'na teşekkürlerimi sunarım. Sonsuz maddi ve manevi desteklerinden ve sabırlarından dolayı, sevgili kızım Eda Behan HATİPOĞLU'na, sevgili annem Fizik Y. Müh. Türkan ALTINIŞIK ve sevgili babam Mak. Müh. Mürsel ALTINIŞIK'a, maddi ve manevi desteğini gördüğüm dayım Elek. Müh. İrfan AKGÜN'e ve kardeşim Elek. Müh. Dinçer ALTINIŞIK'a yürekten teşekkürlerimi sunarım. Bu kadar mühendisin arasında yetişip de sayısal puanla girebileceğim en sanatsal bölüm olan mimarlık bölümünü okumaktan, ama yine de mühendislik ile arakesit olan yapı malzemesi bilimi ile alakalı bir doktora tezi yapmaktan dolayı mutluyum.

Mayıs 2013

Dilek Dilhan Altınışik
(Yüksek Mimar)

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ	xv
ÖZET	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	3
1.2 Sürdürülebilir Kalkınma ve Beton Sektörü/Prefabrikasyondaki Önemi.....	3
1.3 Betonda Geri Kazanım	5
1.4 Hipotez	7
2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI	9
2.1 Terminoloji.....	9
2.2 Orijinal Beton.....	10
2.3 Geri Kazanılmış Beton Agregası.....	10
2.3.1 Geri kazanılmış beton agregasının üretimi	10
2.3.2 Geri kazanılmış beton agregasında kalite	19
2.3.3 Geri kazanılmış beton agregasının mekanik özellikleri	27
2.3.4 Geri kazanılmış beton agregasının durabilite özellikleri	29
2.4 Betonda Geri Kazanımın Ekonomi ve Enerji Yönleri.....	29
3. DENEYSEL ÇALIŞMA	31
3.1 Malzeme Temini ve Özellikleri.....	32
3.1.1 Deneylerde kullanılan doğal agreganın özellikleri	32
3.1.2 Geri kazanılmış agrega.....	35
3.1.2.1 Beton prefabrikasyon atıklarının temini-orijinal betonun özellikleri..	35
3.1.2.2 Beton prefabrikasyon atıklarının kırılması, agrega haline getirilmesi	36
3.1.2.3 Beton prefabrikasyon atıklarından geri kazanılmış agreganın	
özellikleri.....	37
3.1.3 Deneylerde kullanılan çimento ve suyun özellikleri	41
3.2 Beton Karışım Tasarımı	47
3.3 Numunelerin Üretimi ve Kodlanması	52
3.4 Mekanik ve Temel Fiziksel Özellikleri Belirleme Deneyleri	56
3.4.1 Taze Beton Deneyleri.....	57
3.4.1.1 Çökme deneyi.....	57
3.4.1.2 Taze beton birim hacim ağırlık tayini	58
3.4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri.....	59
3.4.2.1 Birim hacim ağırlık tayini	59
3.4.2.2 Basınç dayanımı tayini	60
3.4.2.3 Yarmada çekme dayanımı tayini.....	61
3.4.2.4 Elastisite modülü tayini.....	62

3.4.3 Deney Sonuçları	64
4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	67
4.1 Taze Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	68
4.1.1 Çökme değerleri ile ilgili değerlendirmeler	68
4.1.2 Taze beton birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili değerlendirmeler	71
4.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi	72
4.2.1 Birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili değerlendirmeler	72
4.2.2 Basınç dayanımı ile ilgili değerlendirmeler	76
4.2.3 Yarmada çekme dayanımı ile ilgili değerlendirmeler	78
4.2.4 Elastisite modülü ile ilgili değerlendirmeler	79
4.2.5 Belirlenen mekanik özellikler arasındaki ilişkiler ile ilgili değerlendirmeler.....	80
4.2.5.1 Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	80
4.2.5.2 Basınç dayanımı ve elastisite modülü ilişkisi	83
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	85
KAYNAKLAR.....	89
EKLER	95
ÖZGEÇMİŞ.....	145

KISALTMALAR

ASTM : American Society for Testing and Materials

RILEM : The International Union of Laboratories and Experts in Construction Materials, Systems and Structures (RILEM, Fransızca isimden: Réunion Internationale des Laboratoires et Experts des Matériaux, systèmes de construction et ouvrages)

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Deney programı kapsamında hazırlanan beton karışımlarının doğal ve geri kazanılmış agrega oranları.	31
Çizelge 3.2 : Doğal agregaların özgül ağırlıkları.	32
Çizelge 3.3 : Doğal agregaların fiziksel özellikleri.	33
Çizelge 3.4 : Karışımındaki doğal agregaların granülometri bileşimleri.	33
Çizelge 3.5 : Karışımındaki doğal agregaların incelik modülü.	34
Çizelge 3.6 : Geri kazanılmış agreganın fiziksel özellikleri.	38
Çizelge 3.7 : Geri kazanılmış agreganın granülometri bileşimi.	39
Çizelge 3.8 : Geri kazanılmış agreganın incelik modülü.	39
Çizelge 3.9 : Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.	43
Çizelge 3.10 : Beton karışım tasarımı.	47
Çizelge 3.11 : 1000 dm ³ referans betonu için karışımındaki malzeme miktarları.	48
Çizelge 3.12 : Beton üretiminde kullanılan malzeme karışım miktarları [kg/m ³].	51
Çizelge 3.13 : Numune kodlaması.	53
Çizelge 3.14 : Taze beton çökme değerleri.	58
Çizelge 3.15 : Taze beton birim hacim ağırlıkları.	58
Çizelge 3.16 : Sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlıkları.	59
Çizelge 3.17 : Basınç dayanımı değerleri.	60
Çizelge 3.18 : Yarmada çekme dayanımı değerleri.	62
Çizelge 3.19 : Statik elastisite modülü değerleri.	64
Çizelge 3.20 : Tüm deney sonuçları.	65
Çizelge 4.1 : Tüm serilerin geri kazanılmış agrega oranları ve çökme değerleri.	68
Çizelge 4.2 : Serilerin su/çimento oranları ve çökme değerleri.	69
Çizelge 4.3 : Tüm serilerin çökme ve basınç dayanımı değerleri.	70
Çizelge 4.4 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri.	73
Çizelge 4.5 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve yarmada çekme dayanımı değerleri.	74
Çizelge 4.6 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve elastisite modülü değerleri.	75
Çizelge 4.7 : Tüm serilerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı değerleri ve çekme/basınç dayanımı oranları.	81
Çizelge 4.8 : Tüm serilerin basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri.	83
Çizelge A.1 : DA-100-E28-1, DA-100-E28-2, DA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.	96
Çizelge A.2 : DA-100-E14-1, DA-100-E14-2, DA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.	98
Çizelge A.3 : DA-100-E7-1, DA-100-E7-2, DA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.	100

Çizelge A.4 :	DA-100-E3-1, DA-100-E3-2, DA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	102
Çizelge A.5 :	GKİA-25-E28-1, GKİA-25-E28-2, GKİA-25-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	104
Çizelge A.6 :	GKİA-25-E14-1, GKİA-25-E14-2, GKİA-25-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	106
Çizelge A.7 :	GKİA-25-E7-1, GKİA-25-E7-2, GKİA-25-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	108
Çizelge A.8 :	GKİA-25-E3-1, GKİA-25-E3-2, GKİA-25-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	110
Çizelge A.9 :	GKİA-50-E28-1, GKİA-50-E28-2, GKİA-50-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	112
Çizelge A.10 :	GKİA-50-E14-1, GKİA-50-E14-2, GKİA-50-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	114
Çizelge A.11 :	GKİA-50-E7-1, GKİA-50-E7-2, GKİA-50-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	116
Çizelge A.12 :	GKİA-50-E3-1, GKİA-50-E3-2, GKİA-50-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	118
Çizelge A.13 :	GKİA-75-E28-1, GKİA-75-E28-2, GKİA-75-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	120
Çizelge A.14 :	GKİA-75-E14-1, GKİA-75-E14-2, GKİA-75-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	122
Çizelge A.15 :	GKİA-75-E7-1, GKİA-75-E7-2, GKİA-75-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	124
Çizelge A.16 :	GKİA-75-E3-1, GKİA-75-E3-2, GKİA-75-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	126
Çizelge A.17 :	GKİA-100-E28-1, GKİA-100-E28-2, GKİA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	128
Çizelge A.18 :	GKİA-100-E14-1, GKİA-100-E14-2, GKİA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	130
Çizelge A.19 :	GKİA-100-E7-1, GKİA-100-E7-2, GKİA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	132
Çizelge A.20 :	GKİA-100-E3-1, GKİA-100-E3-2, GKİA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	134
Çizelge A.21 :	GKA-100-E28-1, GKA-100-E28-2, GKA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	136
Çizelge A.22 :	GKA-100-E14-1, GKA-100-E14-2, GKA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri.....	138
Çizelge A.23 :	GKA-100-E7-1, GKA-100-E7-2, GKA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	140
Çizelge A.24 :	GKA-100-E3-1, GKA-100-E3-2, GKA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri	142

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1 : Geri kazanılmış agregada elde edilebilecek kaynaklar (Arioğlu ve diğ., 1996)	6
Şekil 2.1 : Yabancı madde bulundurmeyen beton molozundan geri kazanılmış agreganın üretimi için tipik bir tesisin akış şeması (Boesman, 1985). Kapalı sistem.	12
Şekil 2.2 : Yabancı madde bulundurmeyen beton molozundan geri kazanılmış agreganın veya yeniden üretim için tipik bir tesisin akış şeması (Boesman, 1985). Açık sistem.	12
Şekil 2.3 : Yapım ve yıkım atıkları için işleme yöntemi (Hansen, 1992).	13
Şekil 2.4 : Geri kazanılmış agreganın granülometrisinin ASTM C33 sınır eğrileri ile ve Japon Geri Kazanılmış Agregası İçin Şartname Önerisi ile karşılaştırılması.	18
Şekil 2.5 : Çeneli kırıcı ile tek seferde üretilen 25 mm maksimum boyutlu geri kazanılmış iri agregaların gradasyon aralığı.	20
Şekil 2.6 : Maksimum 25-30 mm boyutlu geri kazanılmış iri agregaların çeneli kırıcıda tek seferde üretilirken elde edilen < 4 mm ince kırıcı ürünlerinin gradasyon aralığı	21
Şekil 2.7 : Geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığının bir fonksiyonu olarak su emmesi (Kreijger, 1983).	25
Şekil 3.1 : Betonda kullanılan doğal agreganın karışımının granülometrisi.	35
Şekil 3.2 : Prefabrikasyon firması üretim tesisinin stok sahasındaki beton prefabrikasyon atıkları.	36
Şekil 3.3 : İTÜ Maden Fakültesi Agregası Laboratuvarı'nda bulunan çeneli kırıcı. ...	37
Şekil 3.4 : Birincil kırıcıdan geçirilen beton parçaları.	37
Şekil 3.5 : Beton prefabrikasyon atıklarından elde edilen geri kazanılmış agreganın granülometrisi.	40
Şekil 3.6 : Geri kazanılmış agregası (üstte) ve doğal agregası (altta).	40
Şekil 3.7 : Form-Test Seidner marka çimento test presisi.	41
Şekil 3.8 : Çimentonun basınç ve eğilme dayanımı tayini.	42
Şekil 3.9 : Çimentonun karıştırılması, kalıba yerleştirilmesi ve suda kürlenmesi.	44
Şekil 3.10 : Çimento eğilme ve basınç dayanımı tayini.	45
Şekil 3.11 : Çimento priz süresi ve kıvam tayini.	46
Şekil 3.12 : Beton karışımının hazırlanması.	54
Şekil 3.13 : Betonun sarsma tablasında mekanik titreşim yoluyla kalıplara yerleştirilmesi.	55
Şekil 3.14 : Taze beton örnekleri.	55
Şekil 3.15 : Sertleşmiş beton numuneleri.	55
Şekil 3.16 : Basınç dayanımı tayini deneyi.	56
Şekil 3.17 : Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi.	56
Şekil 3.18 : Elastisite modülü tayini için deformasyon ölçüm deneyi.	57
Şekil 3.19 : Çökme deneyi.	57

Şekil 3.20 : Taze beton ile ilgili fotoğraflar.....	59
Şekil 3.21 : Basınç ve yarmada çekme deneylerinin yapıldığı Form-Test Seidner marka 300 ton basınç, 10 ton çekme kapasiteli universal deney aleti....	61
Şekil 3.22 : Yarmada çekme dayanımı tayini numunelerden örnekler.....	62
Şekil 3.23 : Deformasyon ölçüm deneylerinden örnekler.....	63
Şekil 3.24 : Kırılmış silindir numunelerden örnekler.....	64
Şekil 4.1 : Seri 1-5'in su/çimento oranları ve çökme değerleri değişim grafiği.....	69
Şekil 4.2 : Tüm serilerin çökme değerleri ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	70
Şekil 4.3 : Tüm serilerin çökme, basınç dayanımı değerlerinin ve su/çimento oranlarının karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.4 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	73
Şekil 4.5 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.....	74
Şekil 4.6 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması.....	76
Şekil 4.7 : Tüm serilerin zamana bağlı basınç dayanımı değişimi.....	77
Şekil 4.8 : Tüm serilerin zamana bağlı olarak yarmada çekme dayanımının gelişimi.....	79
Şekil 4.9 : Tüm serilerin zamana bağlı statik elastisite modülü gelişimi.....	80
Şekil 4.10 : Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ilişkisi.....	82
Şekil 4.11 : Basınç dayanımı ve elastisite modülü ilişkisi.....	84
Şekil A.1 : (a,b) DA-100-E28-1, (c,d) DA-100-E28-2, (e,f) DA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	97
Şekil A.2 : (a,b) DA-100-E14-1, (c,d) DA-100-E14-2, (e,f) DA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	99
Şekil A.3 : (a,b) DA-100-E7-1, (c,d) DA-100-E7-2, (e,f) DA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	101
Şekil A.4 : (a,b) DA-100-E3-1, (c,d) DA-100-E3-2, (e,f) DA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	103
Şekil A.5 : (a,b) GKİA-25-E28-1, (c,d) GKİA-25-E28-2, (e,f) GKİA-25-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	105
Şekil A.6 : (a,b) GKİA-25-E14-1, (c,d) GKİA-25-E14-2, (e,f) GKİA-25-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	107
Şekil A.7 : (a,b) GKİA-25-E7-1, (c,d) GKİA-25-E7-2, (e,f) GKİA-25-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	109
Şekil A.8 : (a,b) GKİA-25-E3-1, (c,d) GKİA-25-E3-2, (e,f) GKİA-25-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	111
Şekil A.9 : (a,b) GKİA-50-E28-1, (c,d) GKİA-50-E28-2, (e,f) GKİA-50-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	113
Şekil A.10 : (a,b) GKİA-50-E14-1, (c,d) GKİA-50-E14-2, (e,f) GKİA-50-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	115
Şekil A.11 : (a,b) GKİA-50-E7-1, (c,d) GKİA-50-E7-2, (e,f) GKİA-50-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	117
Şekil A.12 : (a,b) GKİA-50-E3-1, (c,d) GKİA-50-E3-2 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	119

Şekil A.13 : (a,b) GKİA-75-E28-1, (c,d) GKİA-75-E28-2, (e,f) GKİA-75-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	121
Şekil A.14 : (a,b) GKİA-75-E14-1, (c,d) GKİA-75-E14-2, (e,f) GKİA-75-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	123
Şekil A.15 : (a,b) GKİA-75-E7-1, (c,d) GKİA-75-E7-2, (e,f) GKİA-75-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	125
Şekil A.16 : (a,b) GKİA-75-E3-1, (c,d) GKİA-75-E3-2, (e,f) GKİA-75-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	127
Şekil A.17 : (a,b) GKİA-100-E28-1, (c,d) GKİA-100-E28-2, (e,f) GKİA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	129
Şekil A.18 : (a,b) GKİA-100-E14-1, (c,d) GKİA-100-E14-2, (e,f) GKİA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	131
Şekil A.19 : (a,b) GKİA-100-E7-1, (c,d) GKİA-100-E7-2, (e,f) GKİA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	133
Şekil A.20 : (a,b) GKİA-100-E3-1, (c,d) GKİA-100-E3-2, (e,f) GKİA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	135
Şekil A.21 : (a,b) GKA-100-E28-1, (c,d) GKA-100-E28-2, (e,f) GKA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	137
Şekil A.22 : (a,b) GKA-100-E14-1, (c,d) GKA-100-E14-2, (e,f) GKA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri	139
Şekil A.23 : (a,b) GKA-100-E7-1, (c,d) GKA-100-E7-2, (e,f) GKA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	141
Şekil A.24 : (a,b) GKA-100-E3-1, (c,d) GKA-100-E3-2, (e,f) GKA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri.....	143

SÜRDÜRÜLEBİLİRLİK KAVRAMI BAĞLAMINDA GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETON

ÖZET

Atık malzeme kullanımı, uzun yıllardır ekonomik ve çevresel açıdan önem kazanmaktadır. İnşaat atıklarının yeni beton üretiminde agrega kaynağı olarak kullanımı, son on yılda daha yaygın hale gelmiştir. Depolama alanları için artan masraflar ve agrega olarak kullanılacak doğal kaynakların azlığı, inşaat sahalarından gelen atığın agrega kaynağı olarak kullanımını teşvik etmektedir. Sürdürülebilir kalkınmanın ana prensibi, insanlığın ekonomik ve diğer işlevlerini doğanın kaynaklarına ve dayanma gücüne uydurmaktır. Sürdürülebilir kalkınmanın esası, tek bir cümlede özetlenebilir: Tüm ürünlerin üretim yöntemleri, hiç atık malzeme üretilmeyecek şekilde kapalı ve geri dönüştürülebilir olmalıdır. Doğal kaynakların başlıca kullanıcısı olan beton endüstrisi, daha “sürdürülebilir” bir kalkınmayı gerçekleştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir.

Bu tez kapsamında, sürdürülebilirlik kavramının önem kazandığı son dönemde yapı sektöründe de uygulanması gereken bir dizi önlemden biri olan atık betonların geri kazanılmış agrega olarak yeni beton üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Özellikle yakındaki doğal agrega kaynaklarının kısıtlı olduğu ve çok büyük bir yıkıntı atığı kaynağı olan büyük şehirlerde yıkım atıklarının değerlendirilmesi hem çevresel, hem de ekonomik açıdan önemlidir. Yüksek dayanımlı beton yapılardan ve elemanlardan gelen atıklar ve bozuk üretim sonucu ortaya çıkan beton malzemeler geri kazanılmış agrega üretiminde kullanıldığı zaman, daha kaliteli ve strüktürel bir geri kazanılmış beton elde etmek mümkündür. Hem ekonomik, hem de çevresel açıdan düşünüldüğünde, çok büyük miktarlarda beton moloz meydana getiren prefabrikasyon sektöründeki atıkları ve prefabrike betondan yapılmış yapıların yıkılması ile elde edilen beton malzemeyi değerlendirmek gerekmektedir. Bu amaçla prefabrikasyon atıkları agrega haline getirilmiş ve yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Kırılmış beton, yeni beton üretiminde belli oranlarda geri kazanılmış iri agrega olarak doğal iri agrega yerine ikame edilerek değerlendirilmiştir. Yapışan harç nedeniyle, geri kazanılmış agregaların özgül ağırlığı, orijinal betonda kullanılan doğal agregaların özgül ağırlığından daha düşüktür. Hazırlanan beton numuneler üzerinde mekanik deneyler yapılarak ikame oranının dayanım üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Geri kazanılmış agregaların su emme kapasitesi, yine yapışan harç nedeniyle doğal agregalarınkinden daha yüksektir. Geri kazanılmış agreganın yüksek su emme kapasitesi, yeni beton üretiminde kullanıldığında karışımın efektif su/çimento oranını etkilediği için işlenebilirliği azaltmaktadır. Yapılan deneyler sonucunda, geri kazanılmış iri agrega ve doğal ince agrega ile üretilen betonların, basınç ve yarmada çekme dayanımı bakımından arzu edilen sonuçları sağladığı; işlenebilirlik açısından geri kazanılmış iri agrega yüzdesi arttıkça daha kuru kıvamlı bir beton elde edildiği; geri kazanılmış agregalı betonların statik elastisite modüllerinin normal betonlara göre düşük olduğu anlaşılmıştır.

RECYCLED CONCRETE AGGREGATES IN THE CONTEXT OF SUSTAINABILITY CONCEPT

SUMMARY

Construction industry obtains 50 % of its raw materials from nature, consumes 40 % of the total energy and causes 50 % of the total wastes.

Utilization of the waste materials has gained importance for many years because of economic and environmental aspects. For the purpose of protection and preservation of natural resources, prevention of environmental pollution and for economic recovery, waste materials like fly ash and silica fume, waste rubber, waste glass and waste plastic have been used in concrete production. In this respect, processing of demolished concrete as solid waste cannot be separated from these. Waste concrete aggregates are used increasingly in concrete production.

Recycling and reuse of waste concrete are necessary for reducing wastes. Without omitting to improve the quality of the final product, inclining towards recycled aggregate utilization will substantially solve waste concrete problem. Concrete industry should thoroughly consider the necessity of preventing the depletion of natural resources and finding appropriate ways for reusing waste concrete.

Reuse of construction wastes as a source of aggregate has become more common in the last decade. Increasing charges for landfill and shortage of natural resources for using as aggregates encourage the utilization of wastes originating from construction sites.

Sustainable development is referred to as consistent and balanced development. Sustainability describes something is continuous; yet development, differing distinctively from growth, describes a quantitative change, an improvement and an advancement is also qualitative. At the heart of the sustainability concept lies human together with solidarity and justice between present and future generations.

Basic principle of the sustainable development is adapting the economic and other functions of the humanity to resources and vitality of the nature. The basis of sustainable development can be summarized in one sentence: Production methods of all products should be closed and recyclable in a way that no waste materials are produced. Concrete industry, being the major consumer of the natural resources, has a significant potential for achieving a more “sustainable” development. Concrete, as the primary building material in the world, has a determining role on good and bad effects of concrete industry to the environment.

Concrete is the component of the construction industry with the highest proportion in the construction and demolition wastes. A large amount of the aggregates and the cement produced is used in concrete. Aggregate extraction depletes soil and includes very heavy transportations.

Solutions to obtain sustainable concrete may be listed as decreasing the amount of cement, using refined waste water as mixing water and using recycled aggregate.

Recycled concrete aggregate or demolished concrete originates from Portland cement concrete building elements, pavements and other infrastructural facilities. Sometimes recycled concrete aggregates may be obtained from demolished buildings because of wars and earthquakes.

Recycling aggregate from existing concrete may be carried out from different sources. These sources are thought to be in four main groups as demolition concrete, concrete obtained from inappropriate products, tested concrete samples obtained from concrete plants and concrete pieces which have to be cut and thrown away during production in prefabrication.

Reuse of aggregates obtained from demolished buildings was implemented many years ago and it has been taken into consideration in terms of two facts causing environmental impact as solving the increasing waste disposal problem and preservation of limited natural aggregate resources. Today, many demolished reinforced or prestressed concrete buildings originally constructed from medium or high strength concrete generate source of quite good quality demolition aggregates. Debris derived from concrete roads and pavements, landing strips, foundations and building structures are reused successfully all around the world.

Aggregate, which is the most consumed material per capita in the world after water consumption, is an indispensable component of the construction industry. Due to rapid urbanization and environmental problems, production in the stone quarries which are sources of natural aggregates may be limited in large cities in the near future. Thus, producing new solutions for aggregates is required in terms of a continuous supply of the coarse aggregates desired in the constructions. Concrete industry utilizes recycled wastes as coarse and fine aggregates. Aggregates from building and demolition debris and other minerals help eliminate environmental problems and energy consumed during aggregate production for crushing, sieving, transportation decreases considerably.

Many researchers agree that it is possible to produce concrete by substituting natural aggregate up to 30 % with recycled concrete aggregate without any significant change in the properties of the new concrete in comparison with control concrete produced by using natural aggregate.

Strength and durability properties of concretes made with recycled aggregates differ from concretes made with natural aggregates. Recycled aggregates mostly show higher porosity and water absorption, lower density and strength.

For the reason that concrete prefabrication wastes are high-strength concretes, they may be used as recycled coarse aggregates in new concrete in high percentages by weight instead of natural coarse aggregates. By this way, production of new prefabrication concrete with sufficient strength may be possible. Both the quality of concretes produced in prefabrication with recycled aggregate may be controlled better and prefabrication wastes may be recovered in the production site. This kind of industrial scale recovery breeds an economically and environmentally positive result. This would be an important step to widely recover wastes and to ensure sustainable development in construction industry.

Reuse of waste concrete as recycled aggregates in new concrete, being one of a series of measures which are elementary in the construction industry in recent period when the sustainability concept has gained importance, was investigated within the context of this thesis. Utilization of demolition wastes, especially in major cities

where the nearby natural aggregate sources are limited and which have plenty of sources of demolition debris, is both environmentally and economically important. It is possible to obtain a higher quality and structural concrete when wastes from high strength concrete buildings and elements, and concrete material resulting from malproduction are used in production of recycled aggregates. Considering in terms of both economy and environment, it is necessary to utilize wastes of the prefabrication sector which brings about concrete debris in very large amounts and concrete material obtained from demolition of buildings which are constructed of prefabricated concrete.

Experimental analysis in this thesis basically consists of mechanical tests conducted on concrete samples produced by adding natural coarse aggregate, natural sand and stone dust and substituting natural coarse aggregate with recycled coarse aggregate in different percentages by weight. These mechanical tests are made to find out the compressive strength (f_c), the tensile splitting strength (f_{ct}) and the modulus of elasticity (E_c).

For this purpose, prefabrication wastes were reduced into aggregates and were used in new concrete production. Crushed concrete was used in production of new concrete as recycled coarse aggregate in replacement of natural coarse aggregate in certain percentages. Due to the attached mortar, the specific gravity of recycled aggregates was lower than that of natural aggregates used in the original concrete. Effect of the replacement ratio on strength was investigated by conducting mechanical tests on concrete specimens produced. The water absorption capacity of recycled aggregates was higher than that of the natural aggregates because of the adhered mortar as well. High water absorption capacity of recycled aggregates reduced workability when used in production of new concrete, for it influenced the effective water/cement ratio. As results of the tests, it was found that concretes produced with recycled coarse aggregates and natural fine aggregates provide the desirable results with regard to compressive and tensile splitting strengths; a drier-consistency concrete may be obtained with the increase in the percentage of recycled aggregates with regard to workability; and recycled aggregate concretes have lower static elastic moduli than those of the normal concretes.

Considering the physical properties of recycled aggregates, it can be seen that, recycled concrete aggregates meet the requirements of the aggregates that may be used in prefabrication concrete production. Recycling of high quality prefabrication wastes and reusing primarily coarse aggregates is an issue that can be implemented immediately.

As a result of the experimental analysis, it may be said that concretes produced with recycled coarse aggregates (25 % coarse aggregate mix proportion) may be used in prefabrication.

It is reported in the literature that as the substitution rate of recycled coarse aggregate concretes increases, the compressive strength decreases. However, in this thesis, it is seen that compressive strength increases as a result of the reduction in the water/cement ratio due to the mixing water decrease as much as the recycled coarse aggregate absorbs water. In the conducted experiments, tensile strength values of normal concrete and even higher values are obtained. From this point of view, it comes out how the high quality of the aggregates used and concrete from which aggregates are obtained affects the quality of the recycled aggregate and thus the quality of the recycled aggregate concrete.

Dry-consistency, low-slump concrete obtained in the experimental programme may be used in prefabrication, because the original prefabrication waste concrete used as recycled aggregate source was also dry-consistency concrete.

Utilization of recycled fine aggregates in concrete cannot be successful as the concretes produced with only recycled coarse aggregate and natural fine aggregate. With high amounts of recycled fine aggregate, it is possible to obtain concretes with lower performance and which can be used in other areas.

Even though the recycled coarse aggregate concretes produced in the programmed experiments have sufficient compressive strength values, they cannot be used in reinforced concrete production because of the low static elastic moduli.

Compressive strength values, tensile splitting strength values and static elastic moduli of the concretes produced totally with recycled coarse and fine aggregate are found to be lower than the other concretes tested.

1. GİRİŞ

İnşaat sektörü; ham maddesinin % 50'sini doğadan sağlamakta, toplam enerjinin % 40'ını tüketmekte ve toplam atıkların % 50'sinin oluşumuna neden olmaktadır (Oikonomou, 2005).

Atık malzeme kullanımı, uzun yıllardır ekonomik ve çevresel açıdan önem kazanmaktadır. Doğal kaynakların korunması, çevre kirliliğinin önlenmesi ve ekonomik değerlendirme amacıyla, uçucu kül ve silis dumanı (Çelik, 2001), atık lastik (Güneyisi ve diğ., 2004; Papakonstantinou ve Tobolski, 2006; Olivares ve diğ., 2002), atık cam (Shayan ve Xu, 2004; Park ve diğ., 2004) ve atık plastik (Soroushian ve diğ., 2003; Silva ve diğ., 2005; Palos ve diğ., 2001) gibi atık malzemeler beton üretiminde kullanılmıştır. Bu bakımdan, yıkılmış betonun katı atık olarak işlenmesi bunlardan ayrı tutulamaz. Diğer atık malzemeler gibi, atık beton agregası da beton üretiminde giderek artan bir şekilde kullanılmaktadır (Henrichsen, 2000).

İnşaat atıklarının yeni beton üretiminde agregası kaynağı olarak kullanımı, son on yılda daha yaygın hale gelmiştir. Depolama alanları için artan masraflar ve agregası olarak kullanılacak doğal kaynakların azlığı, inşaat sahalarından gelen atığın agregası kaynağı olarak kullanımını teşvik etmektedir (Katz, 2003). Geri kazanılmış beton agregaları veya kırılmış beton, Portland çimentolu betondan yapı elemanları, yollar ve diğer altyapı tesislerinden gelmektedir (Lin ve diğ., 2004). Bazen geri kazanılmış beton agregaları, savaşlar ve depremler nedeniyle yıkılmış yapılardan da elde edilebilmektedir.

Yıkılmış beton yapılardan elde edilen agregaların yeniden kullanımı, uzun yıllar önce uygulamaya geçirilmiştir ve başından beri, artan atık depolama problemini çözmek ve sınırlı doğal agregası kaynaklarını korumak gibi çevresel etki yaratan iki unsur açısından dikkate alınmıştır. Günümüzde, orijinal olarak orta veya yüksek dayanımlı betondan inşa edilmiş, pek çok yıkılmış betonarme veya öngerilmeli beton yapı, oldukça iyi kalitede yıkıntı agregası kaynağı yaratmaktadır (Ajdukiewicz ve Kliszczewicz, 2002). Dünyanın dört bir yanında beton yollar ve kaldırımlar, iniş

pistleri, temeller ve yapı strüktürlerinden elde edilen moloz, başarıyla yeniden kullanılmaktadır. Geri kazanılmış agregaların bazı Avrupa ve Amerika ülkelerindeki inşaat projelerinde başarılı uygulamaları olduğu rapor edilmektedir (Lam ve diğ., 2002).

Atık betonun geri kazanımı ve yeniden kullanımı, atıkların azaltılması için gereklidir. Son ürünün kalitesini arttırmayı unutmadan geri kazanılmış agrega kullanımına yönelme, büyük miktarda atık beton problemini çözecektir. Beton sektörü, doğal kaynakları tükenmekten koruma gerekliliği ve atık betonu yeniden kullanmak için uygun yollar bulmak üzerine iyice düşünmelidir.

Bu amaçla, birçok araştırmacı geri kazanılmış agrega ile yapılan betonların özellikleri üzerinde çalışmışlardır ve çalışmaktadırlar. Atık betondan elde edilen geri kazanılmış agregaların özelliklerinin belirlenmesi ve atık beton malzemenin beton agregası olarak uygunluğunun değerlendirilmesi için birçok deney yapılmıştır. Geri kazanılmış agregalar ile yapılan betonların dayanım ve dayanıklılık özellikleri, doğal agregalar ile yapılan betonlardan farklıdır. Geri kazanılmış agregalar, çoğunlukla doğal agregalardan daha yüksek porozite ve su emme; daha düşük yoğunluk ve dayanım göstermektedir (Casuccio ve diğ., 2008).

Dünyada fert başına sudan sonra en fazla tüketilen madde olan agrega, yapı sektörünün de vazgeçilmez bir unsurudur. Hızlı kentleşme ve çevre problemleri nedeniyle, İstanbul ve benzeri büyük kentlerde yakın zamanda doğal agrega kaynağı olan taş ocaklarının üretiminin kısıtlanabileceği kestirilebilmektedir. Dolayısıyla, inşaatlarda arzu edilen kaliteli iri agreganın sürekli bir şekilde temini açısından, agrega için yeni çözümler üretmek zorunludur. Bu çözümlerin başında, belli miktarda eski yapıların ve alt yapıların yıkılmasıyla çıkan molozların kullanılması gelmektedir. Geri kazanılan atıklardan dünyada pek çok örnekte görüldüğü gibi, beton endüstrisinde iri agrega ve ince agrega olarak yararlanılmaktadır. Yapı molozlarından sağlanan agrega ve diğer mineraller çevre problemlerini ortadan kaldırmaya yardım etmekte; agrega üretimi sırasında kırma, eleme, nakliye için tüketilen enerji de önemli ölçüde azalmaktadır.

Beton, inşaat endüstrisinin, yapım ve yıkım atıklarında en fazla paya sahip bileşenidir. Agregaların ve üretilen çimentonun büyük bir oranı betonun içine

girmektedir. Agregâ çıkarma, toprağı yemektir ve çok ağır nakliyatlar içermektedir (Nixon, 2002; Nehdi ve diğ., 2004).

1.1 Tezin Amacı

Bu tezin amacı, sürdürülebilirlik kavramının önem kazandığı son dönemde yapı sektöründe de uygulanması gereken bir dizi önlemden biri olan atık betonların geri kazanılmış agrega olarak yeni beton üretiminde kullanımını araştırmaktır. Özellikle yakındaki doğal agrega kaynaklarının kısıtlı olduğu ve çok büyük bir yıkıntı atığı kaynağı olan büyük şehirlerde yıkım atıklarının değerlendirilmesi hem çevresel, hem de ekonomik açıdan önemlidir. Yüksek dayanımlı beton yapılardan ve elemanlardan gelen atıklar ve bozuk üretim sonucu ortaya çıkan beton malzemeler geri kazanılmış agrega üretiminde kullanıldığı zaman, daha kaliteli ve strüktürel bir geri kazanılmış beton elde etmek mümkündür. Hem ekonomik, hem de çevresel açıdan düşünüldüğünde, çok büyük miktarlarda beton moloz meydana getiren prefabrikasyon sektöründeki atıkları ve prefabrike betondan yapılmış yapıların yıkılması ile elde edilen beton malzemeyi değerlendirmek gerekmektedir. Bu amaçla prefabrikasyon atıkları agrega haline getirilmiş ve yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Kırılmış beton, yeni beton üretiminde belli oranlarda geri kazanılmış iri agrega olarak doğal iri agrega yerine ikame edilerek değerlendirilmiştir. Hazırlanan beton numuneler üzerinde mekanik deneyler yapılarak ikame oranının dayanım üzerindeki etkisi incelenmeye çalışılmıştır.

1.2 Sürdürülebilir Kalkınma ve Beton Sektörü/Prefabrikasyondaki Önemi

Sürdürülebilir kalkınma (sustainable development), sürekli ve dengeli kalkınma olarak adlandırılır ve “Çevre değerlerinin ve doğal kaynakların savurganlığa yol açmayacak biçimde akılcı yöntemlerle, bugünkü ve gelecek kuşakların hak ve yararları da göz önünde bulundurularak kullanılması ilkesinden özveride bulunmaksızın ekonomik kalkınmanın sağlanmasını amaçlayan çevreci dünya görüşü” biçiminde tanımlanmaktadır. Sürdürülebilir kalkınma kavramının anlamına bakıldığı zaman, sürdürülebilirlik (sustainability) ve kalkınma (development) kavramlarının üzerinde durulması gerekir. Sürdürülebilirlik, bir şeyin sürekli olmasını; kalkınma ise, büyümeden farklı olarak, niceliksel bir değişimin, ilerlemenin ve iyileşmenin aynı zamanda niteliksel olmasını anlatır. Sürdürülebilir

kalkınma anlayışının merkezinde, insan ile bugünkü ve gelecek kuşaklar arasındaki dayanışma ve adalet yer almaktadır (Mengi ve Algan, 2003).

Sürdürülebilir kalkınmanın ana prensibi, insanlığın ekonomik ve diğer işlevlerini doğanın kaynaklarına ve dayanma gücüne uydurmaktır. Sürdürülebilir kalkınmanın esası, tek bir cümlede özetlenebilir: Tüm ürünlerin üretim yöntemleri, hiç atık malzeme üretilmeyecek şekilde kapalı ve geri dönüştürülebilir olmalıdır (Penttala, 1997).

Doğal kaynakların başlıca kullanıcısı olan beton endüstrisi, daha “sürdürülebilir” bir kalkınmayı gerçekleştirmek için önemli bir potansiyele sahiptir. Beton endüstrisi, değişimler geçirmektedir ve geleceğini etkileyen sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır. Beton endüstrisi yok olmayacaktır; ancak betonun tasarımı, özellikleri, üretimi, dağıtımı, dökümü, bitirmeleri, geri kazanımı yakın bir zamanda değişecektir. Bu değişim, devrimsel olarak değil, evrimsel olarak gelişecektir. Malhotra ve Mehta’nın beton endüstrisinin sürdürülebilirliği ile ilgili ilk yayınları, sürdürülebilirlik meselelerine daha bilinçli ve katılımcı bir şekilde yaklaşmak konusunda endüstriyi uyarmıştır ve Amerikan Beton Enstitüsü’nde (ACI) sürdürülebilirlik hakkında bir komisyon kurulmuştur (Holland, 2003). Ayrıca, İngiltere’de İnşaat Mühendisleri Enstitüsü’nün de son yıllarda “mühendislikte sürdürülebilirlik” üzerine çalışmaları ve yayınları mevcuttur. Danimarka’da yürütülen “yeşil beton” üretimi konusundaki çalışmalar da, minimal klinker içeriği, inorganik atıklar ve “yeşil” tipte çimento ve bağlayıcılar kategorilerinde, çevresel etkisi azaltılmış beton üretimini hedeflemektedir (Glavind ve Munch-Petersen, 2000).

Beton, yirminci yüzyılın başından itibaren inşaat sektörünün vazgeçilmez ve en çok kullanılan malzemelerinden biridir. Beton endüstrisi bilimsel, mühendislik ve sosyal sıkıntılar açısından ele alındığında çevre, dayanıklılık ve sürdürülebilirlik bağlamında sorunların devam ettiği izlenmektedir. Aslında genel olarak, malzeme ve enerji kaynaklarının küresel ısınmaya neden olacak şekilde savurgan tüketimi söz konusudur (Arıoğlu ve diğ., 2004).

Dünyadaki birincil yapı malzemesi olan beton, inşaat endüstrisinin çevre üzerindeki iyi veya kötü etkilerini belirleyici bir role sahiptir. Beton endüstrisinde çok yönlü bir hedef olan “sürdürülebilirlik” çeşitli yaklaşımlar gerektirmektedir. İnşaat endüstrisi,

toprağın ve hammaddelerin başlıca tüketicisi konumundadır (Nixon, 2002; Griffiths ve diğ., 2003).

Doğal kaynakları oldukça fazla kullanan beton endüstrisi, sürdürülebilir kalkınmayı gerçekleştirmek durumundadır. Çünkü malzeme kullanım eğilimine bakıldığında, beton endüstrisinin desteklendiği izlenmektedir. Betonun yaşam döngüsündeki her aşamanın bir evrim geçirerek gelişmesi çabaları çoktan başlatılmıştır. Bunun için değişik ülkelerde komisyonlar kurulmuştur ve mühendislikte sürdürülebilirlik çalışmaları devam etmektedir. Bu bağlamda çimento azaltıcı malzemelerin kullanımı, uygun beton karışım oranlarının araştırılması ve geri dönüştürülmüş malzemeler ile betonun hem “sürdürülebilir”, hem de “dayanıklı” olması için çalışmalar yapılmaktadır (Arioğlu ve diğ., 2004).

Geri kazanılmış agregalı beton kullanımı, sürdürülebilir kalkınmaya ilişkin olarak inşaat sektöründe özel ilgi kazanmaktadır (Casuccio ve diğ., 2008).

Yapı sektörü, iki şekilde davranma kabiliyetine sahiptir. Bir yandan, çok miktarda atığı meydana getirmektedir; diğer yandan uzun süren geleneği, sadece kendi atığını değil, aynı zamanda diğer endüstri kollarının da atıklarını tekrar kullanma kabiliyetini belirlemektedir. Bu kurtarma kabiliyeti, bugünkü toplumda gelişmek için tam olarak ihtiyaç duyulan şeydir. Yapım ve yıkım atıklarının kontrol edilmesi, istatistikler atıkların miktarının sürdürülebilir olmayan bir seviyeye yaklaştığını işaret ettiği anda elzem hale gelmiştir (Larrañaga, 2004).

1.3 Betonda Geri Kazanım

Sürdürülebilir beton eldesi için çözüm yolları; kullanılan çimento miktarının azaltılması, arıtılmış atık suyun karışım suyu olarak kullanılması ve geri kazanılmış agrega kullanımı olarak sıralanabilir (Arioğlu ve diğ., 2004).

Yıkım atıklarının geri kazanımı ve geri kazanılmış malzemelerin yeniden kullanımı, özellikle II. Dünya Savaşı'ndan sonra önem kazanmıştır. Geri kazanılmış agregaların beton imalatında kullanımı üzerine yapılan çalışmalar, 1946 yılına kadar gitmektedir. 1970'lerin ortalarından bu yana, birçok araştırmacı, geri kazanılmış agregaların özellikleri ve betonda kullanımı için asgari gereksinimler üzerinde çalışmışlardır.

1978’de Nixon geri kazanılmış betonun yeni betonda agrega olarak kullanımı üzerine mevcut bilgi birikimini gözden geçirmiştir (Nixon, 1978). Hansen de 1945’ten 1985’e kadar dünyanın çeşitli yerlerinde geri kazanılmış beton agregaları ve geri kazanılmış agregalı beton üzerine yapılan yoğun, ancak parçalar halindeki araştırmaları harmanlayarak kapsamlı bir durum raporu oluşturmuştur (Hansen, 1986).

RILEM Komitesi 121-DRG, 1994’te geri kazanılmış agregaları üç gruba ayırarak geri kazanılmış agrega kullanımı için öneriler yayınlamıştır (RILEM, 1994):

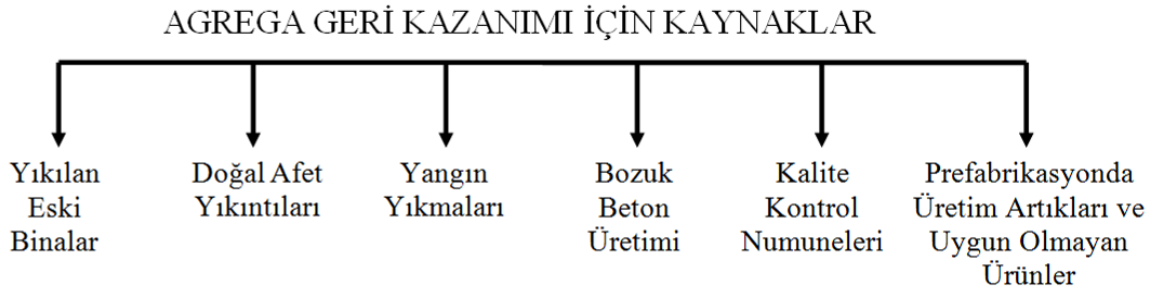
Tip I: Tamamen kagir molozundan meydana gelen agregalar.

Tip II: Tamamen beton molozundan meydana gelen agregalar.

Tip III: Geri kazanılmış agregalar ve doğal agregaların karışımından meydana gelen agregalar (doğal agrega oranı en az % 80 - ağırlıkça - ve diğer iki gruptan moloz, Tip I agrega oranı en fazla % 10’a kadar - ağırlıkça – olacaktır).

Tip III her tip beton için kullanılabilir, ancak komite tarafından getirilen sınırlamalar diğer iki grubun uygulamalarını kısıtlamaktadır. Bu şartname, 4 mm’den büyük beton agregaları için geçerlidir; 4 mm’den küçük boyutlar için ilgili klasik şartnamelere uyulması gerekmektedir.

Varolan betonlardan agregaların geri kazanılması, farklı kaynaklardan gerçekleştirilebilir. Bu kaynaklar, dört ana grupta; yıkıntı betonu, uygun olmayan ürünlerden elde edilenler, beton santrallerinden elde edilen kırılmış numune betonları ve prefabrikasyonda, üretim sırasında kesilip atılmak zorunda kalınan kısımlar olarak düşünülebilmektedir. Bunlar Şekil 1.1’de topluca gösterilmektedir (Arioğlu ve diğ., 1996).



Şekil 1.1 : Geri kazanılmış agrega elde edilebilecek kaynaklar (Arioğlu ve diğ., 1996)

Geri kazanılan agregaların günümüzde en yaygın kullanım alanları aşağıda sıralanmaktadır (Vyncke ve Rousseau, 1994):

- *80-200 mm beton agregaları*, dolgu malzemesi olarak hidrolik işlerinde,
- *0-80 mm beton agregaları*, yol inşaatlarında zemin malzemesi olarak, toprak dolgu malzemesi olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında; çok yaygın olmamakla beraber beton imalatında,
- *Geri kazanılmış kum*, çok az kullanılmaktadır. Çoğunlukla yol kaplamalarının altında ya da yol alt temel yapısı olarak,
- *0-56 mm geri kazanılmış kargir*, zemin dolgusu olarak ve sertleşmemiş zemin oluşturmak için park sahalarında,
- *Asfalt agregaları*, yollar ve park alanlarının kaplamalarında, yeni asfalt içinde kullanılmaktadır.

1.4 Hipotez

Beton prefabrikasyon atıkları yüksek dayanımlı betonlar oldukları için, geri kazanılmış iri agrega olarak yeni betonun içinde, ağırlıkça yüksek oranlarda doğal iri agrega yerine kullanılabilir. Bu yolla, mukavemeti yetecek yeni prefabrikasyon betonu üretmek mümkün olabilir. Prefabrikasyonda geri kazanılmış agrega ile üretilen betonun kalitesi hem daha iyi kontrol edilebilir, hem de prefabrikasyon atıkları üretim yerinde değerlendirilebilir. Böyle endüstriyel ölçekte bir geri kazanım, ekonomik ve çevresel açıdan olumlu bir sonuç doğurur; Türkiye’de de, dünyada olduğu gibi, geniş çapta atıkların değerlendirilmesi ve inşaat sektöründe sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için önemli bir adım olur.

2. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

2.1 Terminoloji

Atık Beton: Yıkılmış yapıların yanısıra hazır beton veya şantiyede hazırlanan beton üreticileri veya beton ürün imalatçıları tarafından geri çevrilen taze ve sertleşmiş betonlardan gelen beton molozu.

Geleneksel Beton: İnce agregalar olarak doğal kum ve iri agregalar olarak çakıl veya kırmataş kullanılarak üretilen beton.

Orijinal Beton: Betonarme yapılardan, basit beton yapılardan veya prekast beton birimlerden gelen, geri kazanılmış agregalar üretiminde (veya başka yararlı amaçlar için) hammadde olarak kullanılabilen beton. Orijinal beton, bazen eski beton, yıkıntı betonu veya geleneksel beton olarak anılmaktadır.

Geri Kazanılmış Agregalı Beton: Geri kazanılmış agregalar veya geri kazanılmış agregalar bileşimleri ve başka agregalar kullanılarak üretilen beton. Geri kazanılmış agregalı beton bazen yeni beton olarak anılmaktadır.

Orijinal Harç: Orijinal betondaki çimento, su ve 4-5 mm'den küçük olan geleneksel ince agreganın sertleşmiş karışımı. Geri kazanılmış agregalarda, bir kısım orijinal harç, her zaman orijinal agregalar parçacıkları üzerine yapışmıştır. Orijinal harç, zaman zaman eski harç veya geleneksel harç olarak atfedilmektedir.

Orijinal Agregalar: Orijinal betonun üretildiği geleneksel agregalar. Orijinal agregalar, geleneksel beton yapımı için yaygın olarak kullanılan, doğal veya üretilmiş; iri veya ince agregalardır. Hiç yanlış anlaşılma olmaması mümkün olduğunda, orijinal agregalar el değmemiş veya geleneksel agregalar olarak da adlandırılabilir.

Geri Kazanılmış Beton Agregaları: Orijinal betonun kırılması ile üretilen agregalar; bu tip agregalar ince veya iri geri kazanılmış agregalar olabilir. İnce geri kazanılmış agregalar, bazen kırılmış beton kumu olarak olarak adlandırılmaktadır. Hiç yanlış anlaşılma olmaması mümkün olduğunda, geri kazanılmış beton agregaları geri kazanılmış agregalar olarak adlandırılabilir.

2.2 Orijinal Beton

Yıkılmış beton, toprak veya diğer kirlenmiş yapı malzemeleri ile karışmış veya yabancı maddelerle kirletilmiş olabilmektedir. Yine de, yıkım işlemi sırasında basit birkaç önlem alınarak yıkılmış betonun potansiyeli iyileştirilebilmektedir ve molozun değeri arttırılabilmektedir.

Öncelikle, farklı kalitedeki orijinal betonun ayrılması çok önemlidir. Orijinal betonun kompozisyonu, kalitesi ve geçmişinin kayıtları herhangi bir beton yapının geri kazanım potansiyelinin belirlenmesinde değerli belgeler olmaktadır. Bu gibi kayıtların olmadığı, ancak orijinal betonların karışım oranları ve dayanımlarının farklı olduğunun gösterilebildiği durumlarda bile, bu gibi betonlar yıkım sırasında aynıymış gibi işlem görmemelidir.

Orijinal betonun yıkılması ve çelik donatının çıkarılması konusu da büyük önem taşımaktadır. Yıkılacak yapılardaki beton, çeşitli bitirme ve kaplama malzemeleri, ahşap, kir, çelik ve bunlara yapışmış donanımlara sahip olabilmektedir. Geri kazanılmış agregalar üretiminde kullanılacak böyle bir betonun yıkımdan önce yabancı maddelerden arındırılması yararlı olacaktır.

2.3 Geri Kazanılmış Beton Agregası

Burada, geri kazanılmış beton agregası, üretimi, kalitesi, mekanik özellikleri ve durabilite özelliklerinden söz edilerek incelenecektir.

2.3.1 Geri kazanılmış beton agregasının üretimi

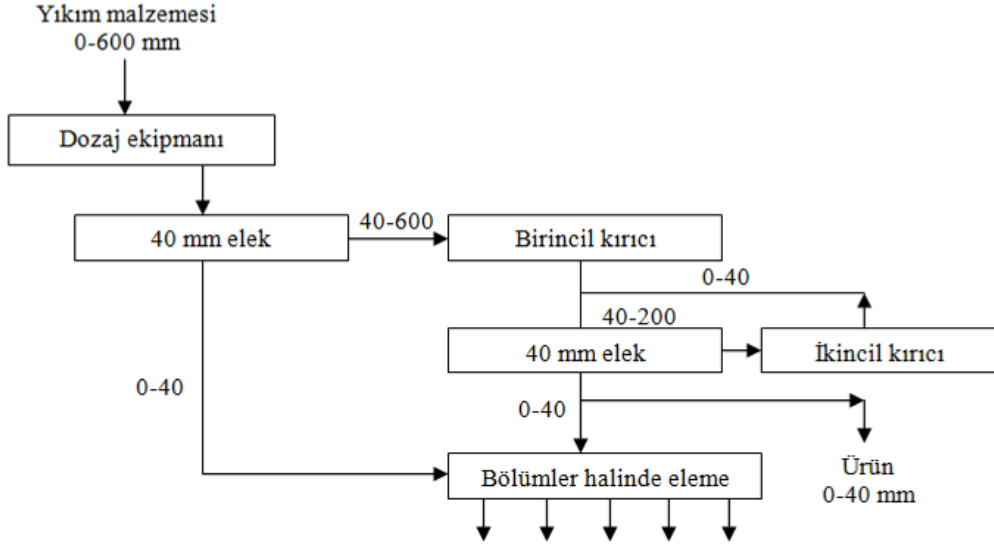
Üretim tesislerinin yerleşimi: Geri kazanılmış agregalar üretim tesisleri, diğer kaynaklardan gelen kırma agregalar üretim tesislerinden çok farklı değildir. Çeşitli tipte kırıcılar, elekler, taşıma donanımları ve yabancı maddeleri ayırmak için aletler içermektedirler. Geri dönüşümün temel yöntemi, belirli bir parçacık boyutunda taneli

bir ürün elde etmek için molozu kırmaktır. Bundan sonra gerçekleştirilecek olan yeniden işlemenin derecesi, başlangıçtaki molozun (yıkıntının) kirlilik seviyesine ve geri kazanılmış malzemenin kullanılacağı uygulamaya göre belirlenmektedir. Bu uygulama alanları da (1) genel dökme dolgu, (2) kanalizasyon projelerinde temel veya dolgu, (3) yol inşaatında temel altı veya kaplama malzemesi, (4) yeni beton üretimi olabilmektedir.

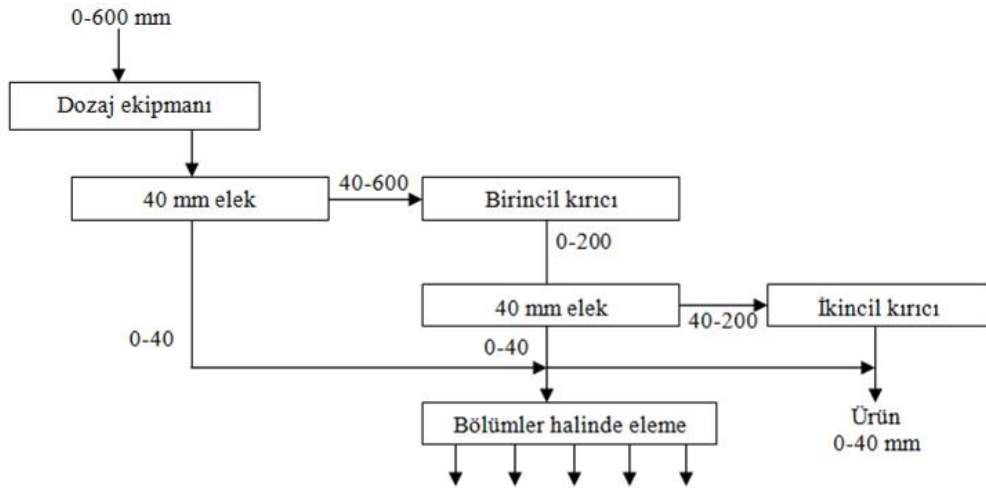
Örneğin yol betonlarının geri kazanım sürecindeki yıkma, ayırma, çelik donatıyı ayırma, kırma, eleme, stoklama, karışım tasarımı, deneye tabi tutma, yerleştirme, bitirme ve performans gibi farklı durumlar göz önünde tutulduğunda; Portland çimentolu betonun geri kazanımında kırıcılar ve çeliğin ayrılması için elektromıknatıslar gibi özel araçlar gerekmektedir. Ancak diğer tüm ekipmanlar ve işlemler, inşaat endüstrisinde yaygın olarak kullanılanlardır (Hironaka ve diğ., 1987).

Çoğunlukla betondan oluşan yıkım atıklarının kırılması ve elenmesi için farklı birtakım süreçler mümkündür. Bunlardan bazıları Şekil 2.1 ve 2.2'deki grafiklerde örneklenmiştir (Boesman, 1985). Bu şemaların ilkelerine uygun şekilde çalışan tesisler, birinci nesil işleme tesisleri olarak kabul edilmektedir. Bu tesislerde, donatının ve diğer demirli malzemenin ayrılması için bir mıknatıs olabilmesi dışında, kirleticileri uzaklaştırmak için hiçbir araç gereç bulunmamaktadır.

Şekil 2.1 genel olarak tavsiye edilen kapalı sistemi göstermektedir. Şekil 2.2'deki açık sistem, aynı temel ekipmanlar kullanılmasına rağmen, açık sistemden sadece bir şekilde avantajlıdır; çünkü kapasitesi kapalı sisteminkinden daha büyüktür. Kapalı sistem yerine açık sistem kullanıldığında, maksimum tane boyutu daha az tanımlanmış olmaktadır ve bu da özellikle girdi akışı değiştiği zaman son ürünün boyutunda daha büyük değişkenliğe yol açabilmektedir.

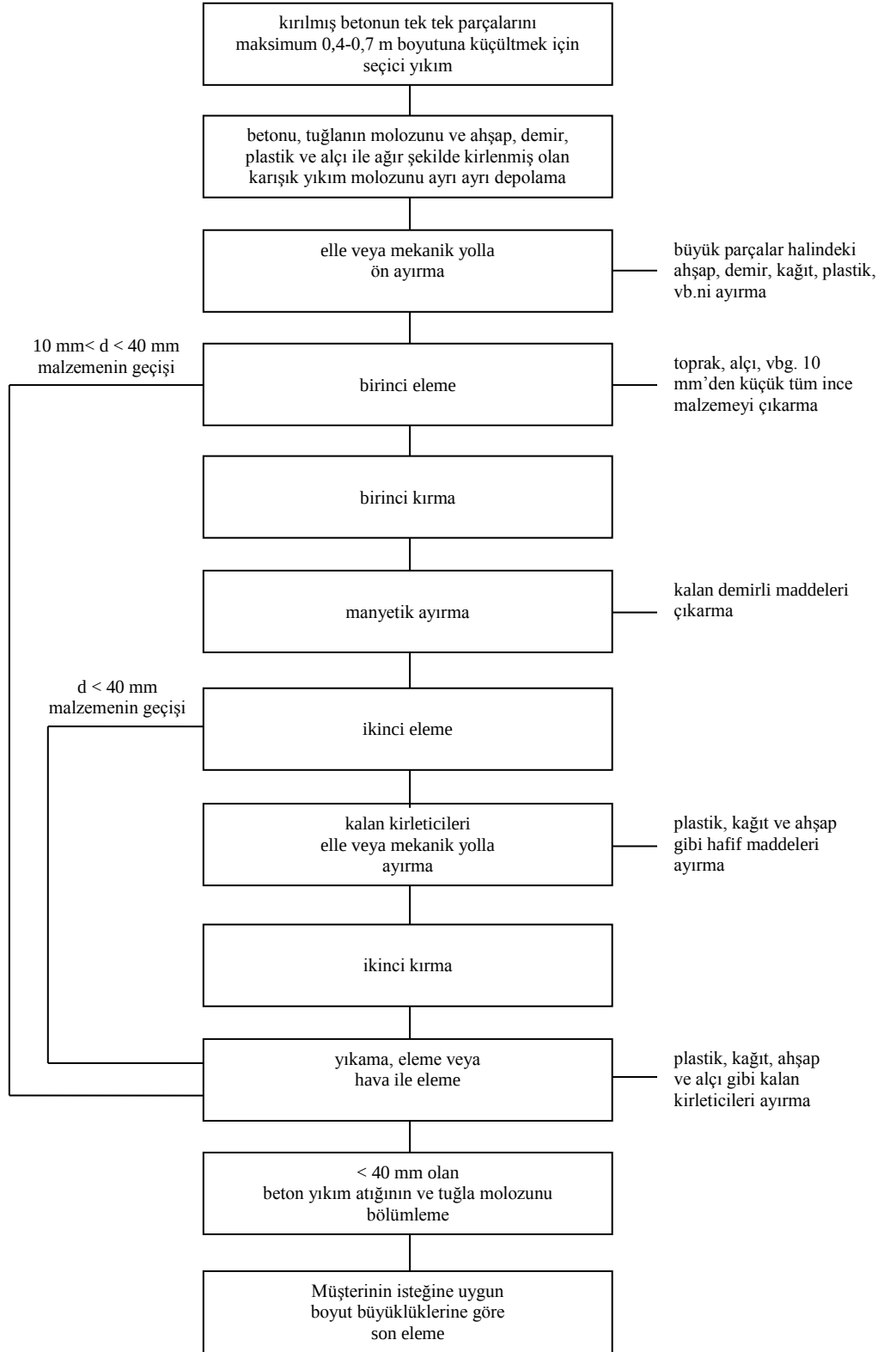


Şekil 2.1 : Yabancı madde bulundurmeyan beton molozundan geri kazanılmış agrega üretimi için tipik bir tesisin akış şeması (Boesman, 1985). Kapalı sistem.



Şekil 2.2 : Yabancı madde bulundurmeyan beton molozundan geri kazanılmış agrega veya yeniden üretim için tipik bir tesisin akış şeması (Boesman, 1985). Açık sistem.

Yıkım betonunun yabancı madde (metal, ahşap, lifli levha, plastik, kaplama, çatı kaplaması, vb.) bulundurması halinde, kırımdan önce, yabancı maddelerin büyük parçalarını mekanik olarak veya elle çıkararak ve kırılmış ürünü kuru veya ıslak sınıflandırma vasıtasıyla temizleyerek birinci nesil tesislerin süreç şeması küçük miktarlarda kirleticiler için uyarlanabilmektedir. Bu gibi ilkelerle işleyen fabrikalar, ikinci nesil işleme tesisleri olarak kabul edilmektedir. İkinci nesil üretim tesisleri, Şekil 2.3'te gösterildiği gibi, temel tasarım açısından birbirine benzerdir (Hansen, 1992).



Şekil 2.3 : Yapım ve yıkım atıkları için işleme yöntemi (Hansen, 1992).

Karışık yapı molozundan elde edilen geri kazanılmış ve işlem görmüş agregalar, % 1'den az olmak üzere katışıklık barındırabilir ve yol inşaatı amacıyla uygun olabilmektedir; fakat beton agregası için ister istemez uygun olmamaktadır. Ancak, geri kazanılmış agregalar % 95'ten fazla eski beton içeren saf malzemelerden elde edildiği zaman, genellikle son ürün, yıkanmadan da beton agregalarının teknik özelliklerini karşılamak üzere yeterince temiz olmaktadır (Hansen, 1992).

En ideali, yıkım sahasından veya işleme tesisinden şehir çöplüklerine büyük miktarlarda atık madde taşımaya gerek olmadan, tüm yıkım malzemesi tesise getirilmeli, işleminden geçirilmeli ve satılmalıdır. Bu çevresel ve ekonomik açıdan ideal durum olacaktır. Hem molozun hem de ahşap atıkların işlem gördüğü, dünyadaki ilk üçüncü nesil geri kazanım tesisi Hollanda, Rotterdam'da faaliyettedir (Van Eck, 1985).

Kırııcıdan geçirilmiş malzeme üretmek için kurulan tipik bir sahada, tesis içindeki üniteler şunlar olmaktadır (Trevorrow ve diğ., 1988):

1. 360° paletli, hidrolik ekskavatör.
2. Çeneli kırıcı, tek veya çift mafsallı.
3. Düz veya titreşimli, elekli konveyör.
4. Paletli veya lastik tekerlekli yükleyici.

Japonya'da bir beton firması, kırılmış agregaya yapışık kalan harcın çoğunu ayıran, böylece malzemeyi saflaştıran bir kırıcı geliştirmiştir. Geri kazanılmış agregası için daha yüksek derecede bir saflaştırma, daha yüksek kalitede beton oluşmasını sağlayabilmektedir; ancak daha yüksek üretim maliyetleri gerektirmektedir ve daha düşük ekonomik verimlilik getirmektedir (Trevorrow ve diğ., 1988).

Kırııcılar: Eski betonu kırarken kullanılan, çeneli kırıcılar, darbeli kırıcılar, çekiçli öğütücüler ve konik kırıcılar gibi birtakım kırıcıların performansı ile ilgili şu sonuçlar çıkmaktadır (CUR, 1986; Hansen, 1992):

Çeneli kırıcılar, beton üretimi için geri kazanılmış agregada en iyi granülometriyi sağlamaktadır. Konik kırıcı, 200 mm maksimum besleme boyutu ile ikincil kırıcı olarak kullanmak için uygundur. Titreşimli çekiçli öğütücüler nadir kullanılmaktadır. Darbeli kırıcılar, yol inşaatı amacıyla üretilen agreganın granülometrisinin daha iyi olmasını sağlamaktadır ve donatı demiri gibi kırılmayan malzemeye karşı daha az duyarlıdır. İlk defa bir darbeli kırıcı bir beton yol rehabilitasyon projesinde kullanılmıştır ve donatı hasarı, kırıcıdan sonra, dönen iki mıknatıslı tambur vasıtasıyla betondan ayrılmıştır (Chase ve Lane, 1985).

Geri kazanılmış betonun granülometriden başka özellikleri ile ilgili değerlendirildiğinde çeneli kırıcılar, darbeli kırıcılardan daha iyi performans göstermektedir; çünkü orijinal agreganın maksimum boyutunun 1.2-1.5 katı büyüklüğe ayarlanan çeneli kırıcılar, eski betondaki orijinal agrega parçacıklarının küçük bir miktarını kırmaktadır. Darbeli kırıcılar eski harcı ve orijinal agrega parçacıklarını aynı şekilde kırmaktadır ve daha düşük kalitede iri agrega üretmektedir. Darbeli kırıcıların bir dezavantajı da, fazla aşınması ve yıpranması ve bu nedenle oldukça yüksek bakım masraflarıdır.

Tüm kırıcılar, geri kazanılmış agregalarda yaklaşık aynı oranda kübik parçalar meydana getirmektedir ve geri kazanılmış beton agregalarının özellikleri, her zaman ikincil kırım ile iyileştirilmektedir (Hansen, 1992).

Kırıcı verimliliği ile ilgili yapılan bir çalışmada, granülometri haricinde, geri kazanılmış agregaların özgül ağırlık, su emme, sülfat dayanımı ve Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi gibi fiziksel özelliklerinin farklı tipte kırıcılardan ve kırıcı ayarlarından önemli ölçüde etkilenmediği görülmektedir (Kakizaki ve diğ., 1988).

Çeneli kırıcıların, donatısız betonda veya hafif donatılı betonun işlenmesinde kullanılması daha uygundur; farklı tasarımlardaki ağır darbeli kırıcılar normal ve ağır donatılı beton için en iyi seçim olarak görünmektedir (Hansen, 1992).

Yıkım atıklarının geri kazanımı yapılacaksa, yıkım atıklarının tek tek parçalarını geri kazanım tesisinin birincil kırıcısının kabul edebileceği boyuta yerinde indirecek yıkım yöntemleri kullanılmalıdır. Sabit tesisler için bu boyut, en fazla 1200 mm'dir ve hareketli tesisler için de 400-700 mm'den fazla değildir. Bu nedenle yıkım atıklarının geri kazanımı, böyle bir girişimde bulunan tüm gruplar tarafından titiz bir planlama gerektirmektedir (Hansen, 1992).

Ayırma cihazları ve elekler: Yıkım molozunun ayrılabilceği ilk safha, yıkım sürecinin kendisidir. Seçici yıkım yöntemleri ile bir yıkım sahasından malzemenin çoğunu oldukça temiz ve kirlenmemiş bir şekilde kurtarmak mümkündür. Seçici yıkım, sadece koşullar ve süre uygun olduğunda ve işlem net mali avantaj sağladığında yapılmaktadır.

Yıkım tamamlandığında ve moloz geri kazanım tesisine taşındığında, molozu ayırmak için fırsatlar seçici stoklama ve ilk eleme ile sınırlanmaktadır. Seçici stoklama, sadece gelen malzemenin ayrı depolarda türüne ve kirlenme derecesine göre depolanmasıdır (Hansen, 1992).

Çoğu geri kazanım tesisinde, metal plakalar, ahşap panolar ve kirişler, asfalt parçaları, gevşek donatı çubukları, kağıt yaprakları, kumaş ve plastikler gibi daha büyük cisimler molozun ilk kırımından önce elle çıkarılmaktadır. İlk kırımdan sonra, kir, alçı, sıva ve diğer ince katışıklıklar, kırılmış malzemeleri bir takım sıyırıcı elek üzerinden geçirerek ve 10 mm'nin altındaki tüm malzemeyi harcayarak giderilmektedir. Konveyör bantlar üzerinde belli konumlarda yerleştirilen kendi kendine temizleyen mıknatıslar, kırılmış agrega akışından gelen donatı parçalarını ve diğer demir ve çelik parçalarını etkin bir şekilde ayırmaktadır (Hansen, 1992).

Basit kuru eleme, sadece boyut ve şekil olarak farklılıkları ayırmaktadır; sadece çeneli kırıcı ile kırılan malzemeyi ayırmak için başarıyla kullanılmaktadır, çünkü darbeli bir kırıcı seçici olmayan bir biçimde kırmaktadır (Hansen, 1992). Islak sınıflandırma, hafif maddeleri kırılmış yapı molozundan ayırmak ve agregayı şartnamelerin uygun hale getirmek için kullanılmaktadır (Nix, 1984). Sudan ağır katışıklıklar için kuru işlem gerekmektedir (Heimsoth, 1984).

Prensip olarak, ince taneli ve hafif kirleticiler molozdan havayla sınıflandırma yöntemleriyle veya alternatif olarak su jetleri ile birlikte yüzdürme-batırma tekniği ile ayrılabilir (Hansen, 1992).

Betonun geri kazanılmasında çevresel problemler: Portland çimentolu betonun geri kazanımı hem çevresel avantajlar, hem de dezavantajlar sunmaktadır. Avantajlar; aksi takdirde atık olarak sınıflandırılacak maddelerin yeniden kullanımı yakıt kullanımının azaltılması, taşımacılığın azaltılması ve yenilenemeyen kaynakların kullanımının azaltılmasıdır. Dezavantajlar; istenmeyen yerlere bile kamyonların

zorla girmesi, estetik kaygılar ve olası gürültü ve toz kontrol problemlerini kapsamaktadır (Hansen, 1992).

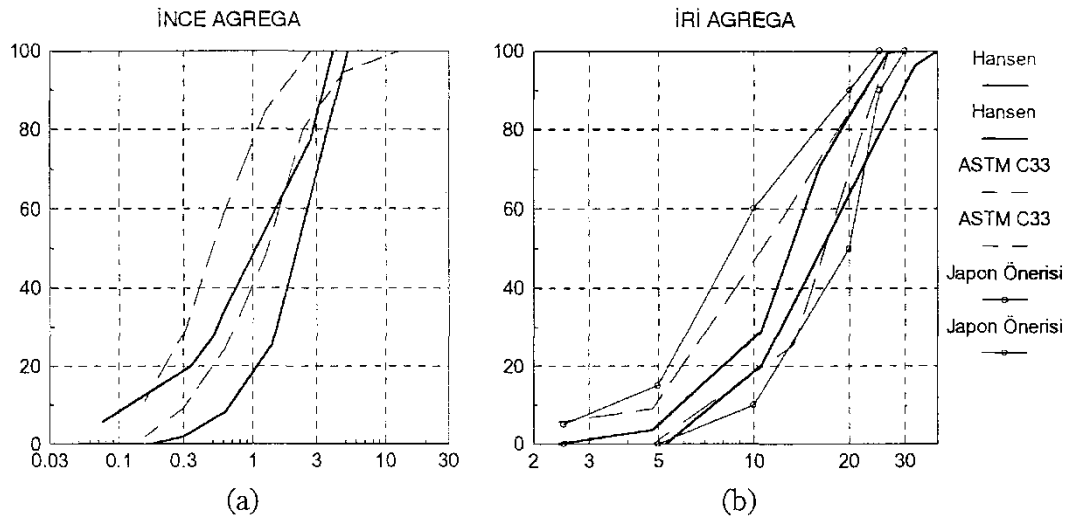
Betonun geri kazanımında çevresel kaygılar göz önüne alındığında; tek amaçlı bir tesis kurulumunun (örneğin yol betonlarının geri kazanımı için olabilir), ticari tipte sabit bir tesisin kurulumundan daha kolay olduğu söylenebilmektedir; ancak sabit tesis, yol betonunun yanı sıra, yıkımdan gelen plakları ve temelleri de geri kazandırabilme avantajına sahiptir. Betonun betonda agrega olarak geri kazanımı için sabit bir tesisin en iyi yerleşim yeri, ağır sanayi bölgesinde bir hazır beton santraline bitişik bir alandır. Geri kazanım tesisi, ağır sanayi veya endüstriyel taşıma için zaten kullanılan bir yol üzerine yerleştirilmelidir ve kamyonların ağır hizmet yollarını kullanmalarını sağlamak için kontrol edilmeleri gereklidir. Ayrıca toz yayılması sınırlanmalıdır. Tozu kontrol etmenin yolu, çevredeki yolları ve kırılmış betonu yığınlarını sürekli ıslatmak; kırıcı besleme ağzında ve eleklerde ince sis şeklinde su kullanmak; suyun içine ıslatma ajanı koyarak daha az su ile tozu kontrol etmek; kamyonu yüklenirken malzemeyi konveyörün ana kasnağında da ıslatmaktır. Ayrıca tesisin görüntüsü perdelenmelidir. Personelin gürültüye maruz kalması gürültüyü zayıflatan kabinler, kapalı işletme odaları, gün içinde gürültülü yerlerden sessiz yerlere rotasyon, kırıcıların ve eleklerin çevresini kuşatma ile kontrol altına alınmalıdır. Tesisin malzeme girişinde de çevreye yayılan gürültü sınırlandırılmalıdır (Munro, 1981).

Çoğu yapı malzemesi günümüzde çevresel açıdan zehirli kabul edilen, klorlu karbon-hidrojenler, fenoller ve ağır metaller gibi bileşenlere sahiptir. Yıkım tıkları, artık eskiden düşünüldüğü gibi herhangi bir yere döküldüğünde zararsız olacak atıklar değildir (Hansen,1992).

Atıklardan bu zehirli malzemeleri ayırmak güç olmaktadır. Geri kazanım tesisinin işletmecisi, gelen yıkım atıklarının zararlı maddeler içerdiğini biliyorsa geri çevirebilmelidir. Bu da yıkım müteahhidini bir dereceye kadar seçici yıkım yapmaya zorlamakta, geri kazanılan malzeme miktarını azaltmakta ve işlem görmüş yıkım atığının maliyetini arttırmaktadır. Bu nedenle yetkililer, gereksinimlerinin karşılandığından emin olmalıdırlar (Hansen,1992).

Kırıcı ürünlerinin granülometrisi: Genellikle kırıcıdan çıkan ürünlerin granülometrisi Fuller eğrisine benzemektedir. Böylece, sertleşmiş betonun kırılma karakteristiklerinin doğal kayalarinki ile benzer olduğu ve orijinal betonun granülometrisi tarafından önemli ölçüde etkilenmediği söylenebilir (Hansen,1992).

Çeneli kırıcı vasıtasıyla bir seferde kırılan betonun, maksimum agrega çapı 25 mm için 5 mm'lik elekten ayıklandıktan sonraki granülometrisi Şekil 2.4.b'de gösterildiği gibi, ASTM C33 sınırları içinde kalmaktadır (Hansen, 1986). Japon şartname önerisinin binalarda kullanılabilecek beton için verdiği granülometri eğrisi ise büyük ölçüde Hansen çalışmasındaki bulguları ve ASTM C33 eğrisini içine almaktadır. İnce agreganın gradasyonu ise, ASTM C33 sınır eğrilerinin biraz altında kalmaktadır (Hansen, 1986). İnce agrega granülometri eğrileri, Hansen çalışmasında sunulan bilgilere göre, ASTM C33 gradasyon eğrilerinin altında kalmaktadır (Şekil 2.4.a). Japon şartnamesi de ince agregaların bina betonlarında kullanımına izin vermemektedir.



Şekil 2.4 : Geri kazanılmış agrega granülometrisinin ASTM C33 sınır eğrileri ile ve Japon Geri Kazanılmış Agrega İçin Şartname Önerisi ile karşılaştırılması.

Geri kazanılmış agregaların depolanması ve taşınması: Geri kazanılmış agregalar ve geri kazanılmış agregalı betonun kullanımı için hazırlanan Japon Standardı'nda geri kazanılmış agregaların depolanması ve taşınması konusunda şu hususlara dikkat çekilmektedir: Farklı kalitedeki orijinal betondan üretilen geri kazanılmış agregalar ve farklı yöntemlerle üretilen geri kazanılmış agregalar ayrı ayrı depolanmalıdır. Geri kazanılmış iri ve ince agregalar ayrı saklanmalıdır. Geri kazanılmış agreganın kalitesinde bir değişme olmaması için kırılmayı ve segregasyonu önleyecek şekilde

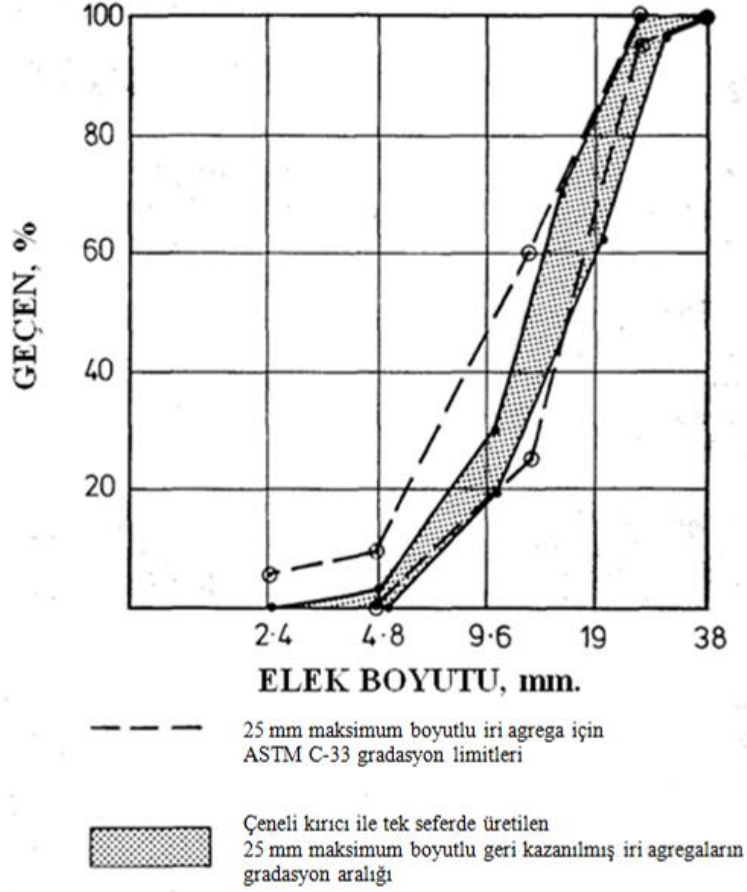
depolama yapılmalıdır. Geri kazanılmış iri agregaların su emme oranı yüksek olduğu için bu tip agregalar normalde doygun kuru yüzey durumunda kullanılmalıdır. Geri kazanılmış agrega depolama alanlarında su serpmeye imkanları sağlanmalıdır. Ancak, ince agregalarda bulunabilen hidrate olmamış Portland çimentosu ve hidrate kireçten dolayı bu agregaların katılaşması mümkün olduğundan, bu durumdaki ince agregalar artık depo sahasında tutulmamalıdır. Geri kazanılmış agregalar, diğer tipteki agregalardan ayrı saklanmalıdır. Eğer geri kazanım tesisinde farklı tipte ve kalitede geri kazanılmış agrega üretiliyorsa, beton molozu ile birlikte tuğla tozu gibi renkli malzeme işlenmemesi gerekmektedir; çünkü tuğladan betona geçerken ünitelerin temizlenmesi maliyeti arttıracaktır (B.C.S.J. 1977).

2.3.2 Geri kazanılmış beton agregasında kalite

Temiz, kırılmış, granülometrisi iyi ayarlanmış malzeme üretimi, verimli bir geri kazanımı garanti etmek için yeterli değildir. Geri kazanılan malzeme, özel uygulamalar için uygun olmalı, belli granülometri limitlerine uymalı, minimum kirlenici seviyelerine sahip olmalı ve diğer sağlamlık ve dayanıklılık şartlarını yerine getirmelidir. Beton kırıldıktan, elendikten ve gerekliyse zararlı ve tehlikeli maddelerden arındırıldıktan sonra genel dökme dolgu; drenaj projelerinde dolgu; yol inşaatında temel altı veya temel malzemesi; yeni beton için agrega olarak uygulama alanı bulabilmektedir.

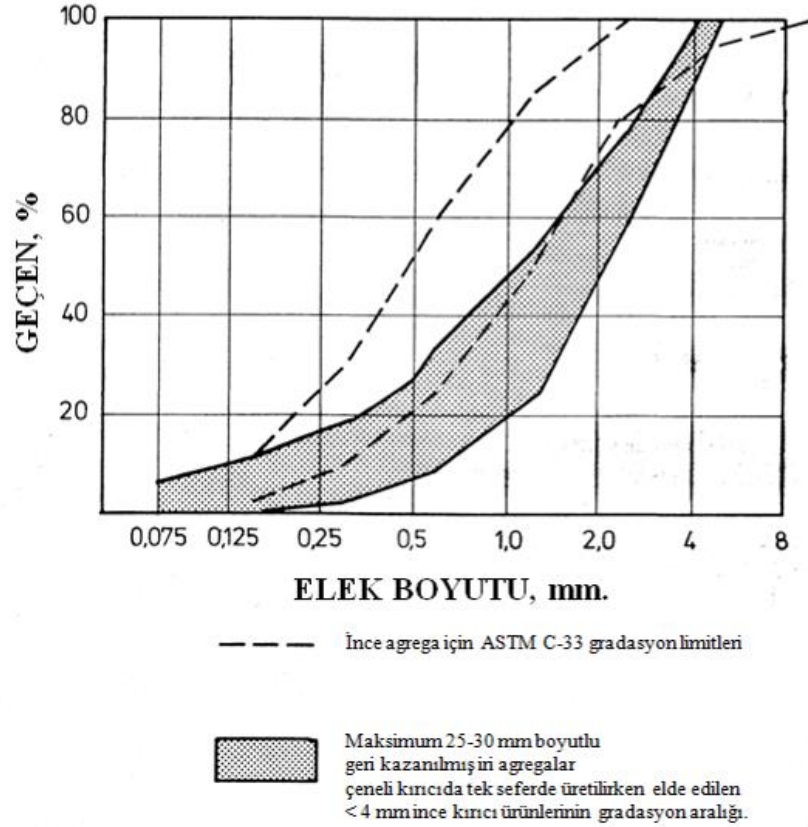
Geri kazanılmış agregaların gradasyonu, tane şekilleri ve yüzey dokusu: Şekil 2.5'te ortalama kırıcı ürünlerinin ASTM No. 4 (5 mm) elek üzerinde elendikten sonraki gradasyonu, 25 mm maksimum boyutlu agrega için ASTM C-33 gereksinimleri ile kıyaslanmaktadır (Hansen, 1992; Hansen ve Narud, 1983; Kawamura ve diğ., 1983;). Burada iri agregalar, orijinal betonun çeneli bir kırıcı ile kırılmasından elde edilmiştir.

Bu agregaların, kırıcı ağız açıklığında hafif ayarlamalarla ASTM gradasyon limitlerine uygun hale getirilebileceği bellidir. Çeneli bir kırıcı yardımıyla gradasyonu oldukça iyi ayarlanmış geri kazanılmış iri agrega üretiminin kolay olduğu anlaşılmaktadır (Hansen, 1992).



Şekil 2.5 : Çeneli kırıcı ile tek seferde üretilen 25 mm maksimum boyutlu geri kazanılmış iri agregaların gradasyon aralığı.

Şekil 2.6'da üç farklı çalışmadan alınan 5 mm altındaki ince kırıcı ürünleri için sonuçlar karşılaştırılmaktadır (Hansen, 1992; Hansen ve Narud, 1983; Kawamura ve diğ., 1983; Fergus, 1981). Tümü eski betonların çeneli kırıcıda kırılmasından elde edilmiştir. Tüm gradasyonlar, elek analizi diyagramının gölgeli alanına düşmektedir. Tüm gradasyonlar alt limite göre biraz iri kalmıştır. Buradan, geri kazanılmış ince agregaların kırıcıdan geldiği haliyle iyi bir beton karışımı hazırlanması için istenenden biraz daha iri ve daha köşeli olduğu sonucu çıkarılabilmektedir (Hansen, 1992).



Şekil 2.6 : Maksimum 25-30 mm boyutlu geri kazanılmış iri agregalar çeneli kırıcıda tek seferde üretilirken elde edilen < 4 mm ince kırıcı ürünlerinin gradasyon aralığı.

Geri kazanılmış ince agregalar köşeli taneciklerden de meydana geldiği için sadece iri ve ince geri kazanılmış agregalardan üretilen betonların sert ve işlenemez olması şaşırtıcı değildir. Ancak, bir miktar daha ince doğal kum karıştırıldığında, geri kazanılmış ince agregalar gereken limitlere getirmek ve aynı zamanda betonun işlenebilirliğini iyileştirmek mümkündür (Huisman ve Britson, 1981).

Geri kazanılmış agregalar, içinde bulundurduğu toz miktarı bakımından standartlara uygun olduğundan dolayı, çoğu durumda beton üretiminde yıkanmadan kullanılabilir (Hansen, 1992).

Yapılan bir çalışmada, geri kazanılmış beton agregalarının yeni beton üretimi için sadece 2 mm tane boyutunun altındaki kısmı elenip çıkarılırsa yeni beton üretimi için yeterli olabileceği sonucu çıkarılmıştır (Schulz, 1988). Ayrıca büyük bir geri kazanım projesinde yeni beton üretmek için kullanılan geri kazanılmış agregaların granülometri eğrileri çıkartılmış ve bu projede geri kazanılmış kum düşük dayanım değerleri verdiği için, geri kazanılmış iri agregası ile beraber doğal kum kullanılmıştır (Morlion ve diğ., 1988).

Yapışmış harç ve çimento hamuru: Eski beton kırıldığında, orijinal betondan belli bir miktar harç geri kazanılmış agregalardaki taş parçacıklarına yapışık olarak kalmaktadır. Doğal agregası taneleri üzerine yapışmış olan harç miktarı, yapılmış bir çalışmada, 16-32 mm boyutlarındaki geri kazanılmış iri agregalar için % 25-35 oranında; 8-16 mm boyutlarındaki geri kazanılmış iri agregalar için % 40 civarında ve 4-8 mm boyutlarındaki geri kazanılmış iri agregalar için % 60 civarında bulunmuştur. Ancak, aynı çimento ve orijinal agregası için orijinal betonun çok farklı su/çimento oranlarına rağmen, geri kazanılmış beton agregasındaki yapışmış olan harç miktarı çok fazla değişmemektedir (Hansen ve Narud, 1983).

Bir başka çalışmada, geri kazanılmış agregalar üzerine yapışan hidrate çimento hamuru, 20°C’de parçacıkları seyreltilmiş hidroklorik asit çözeltisine daldırmak suretiyle belirlenmiştir. Deney sırasında çimentonun çözünmesinden ötürü ağırlık kaybından belirlenen kum veya taş taneciklerine yapışan çimento hamurunun miktarı, agreganın tane boyutu küçüldükçe artmaktadır (B.C.S.J. 1978). Eski çimento hamuru ve harcı, geri kazanılmış betonların kalitesini birçok durumda olumsuz etkilemektedir ve 2 mm’nin altındaki kısımları kullanmaktan kaçınılmalıdır. Belki de, geri kazanılmış ince agregası kullanımından tamamıyla kaçınmak daha iyi olacaktır (Hansen, 1992).

Özgül ağırlık: Bir çalışmada, orijinal iri agregaların doygun kuru yüzey özgül ağırlıkları 2500 ila 2610 kg/m³ aralığında değişmekte iken, geri kazanılmış agregaların doygun kuru yüzey durumunda özgül ağırlıklarının orijinal betonun kalitesinden bağımsız olarak 2340 kg/m³’ten (4-8 mm için) 2490 kg/m³’e (16-32 mm için) değiştiği görülmüştür (Hansen ve Narud, 1983).

Yapılan bir başka araştırmada, orijinal iri agreganın özgül ağırlığı 2700 kg/m^3 , ince agreganın özgül ağırlığı 2590 kg/m^3 'tür. 5-25 mm boyutta geri kazanılmış iri agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı 2430 kg/m^3 civarında bulunmuştur. 5 mm altındaki geri kazanılmış ince agreganın özgül ağırlığı 2310 kg/m^3 olarak belirlenmiştir (Hasaba ve diğ., 1981).

Bir diğ er çalışma ise, çeşitli orijinal betonlardan elde edilen geri kazanılmış iri agregaların kuru özgül ağırlığının 2120 kg/m^3 ila 2430 kg/m^3 arasında değiştiğini, geri kazanılmış agregalar için doymun kuru yüzey özgül ağırlığının 2290 kg/m^3 ila 2510 kg/m^3 arasında değiştiğini göstermiştir. Geri kazanılmış ince agregaların kuru özgül ağırlığı 1970 kg/m^3 ila 2140 kg/m^3 arasında, doymun kuru yüzey özgül ağırlığı ise 2190 kg/m^3 ila 2320 kg/m^3 arasında değişmektedir (B.C.S.J., 1978).

Geri kazanılmış agregaların özgül ağırlığının, orijinal agrega tanelerine yapış an eski harcın nispeten daha düşük özgül ağırlığı olması nedeniyle, orijinal agregalarınkinden biraz daha düşük oldu ğ u görülmektedir. Ancak aynı ç imento ve orijinal agrega için, orijinal betonların oldukça farklı su-ç imento oranları için bile geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığı fazla değişmemektedir. Geri kazanılmış agregalı beton için herhangi bir karış im tasarımı yapılmadan önce, geri kazanılmış agreganın doymun kuru yüzey özgül ağırlığı belirlenmelidir. Geri kazanılmış ince agrega için bunu yapmak, ne zaman ince agreganın doymun kuru yüzey durumunda oldu ğ una karar vermenin zorlu ğ undan dolayı çok zordur. Beton üretimi sırasında geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığında sonradan ortaya çıkan herhangi bir değiş me, sadece karış im oranlarında ve dolayısıyla beton özelliklerinde de ğ il, aynı zamanda üretilen betonun veriminde de de ğ iş ikliğ e neden olmaktadır (Hansen, 1992).

Bir çalış mada, belli bir tür geri kazanılmış agrega için gevş ek birim ağırlık 1350 kg/m^3 bulunurken, aynı koşulda do ğ al ç akıl için 1440 kg/m^3 olarak bulunmuştur (Karaa, 1986).

Su emme miktarı: Geri kazanılmış agreganın geleneksel agregalardan en belirgin farkı, yüksek su emmesidir.

Geri kazanılmış iri agregaların su emmesinin orijinal betonun kalitesine bakılmaksızın 4-8 mm boyuttaki malzeme için % 8.7 ila 16-32 mm malzeme için % 3.7 arasında de ğ iş mekte oldu ğ unun bulundu ğ u bir çalış mada, orijinal agregaların su emmeleri % 3.7 ila 0.8 aralığında de ğ iş mektedir (Hansen ve Narud, 1983).

Bir başka çalışmada ise, 0,70 su-çimento oranına sahip bir orijinal betondan elde edilen geri kazanılmış ince agreganın su emmesi % 9,8 olarak belirlenmiştir (Narud, 1981).

Bir başka araştırmada, orijinal betonların kalitesinden bağımsız olarak 25-5 mm boyut aralığındaki geri kazanılmış iri agregaların su emmelerinin % 7 civarında olduğu tespit edilmiştir. Bu çalışmada, geri kazanılmış ince agregaların su emme değerleri, % 11 civarındadır (Hasaba ve diğ., 1981).

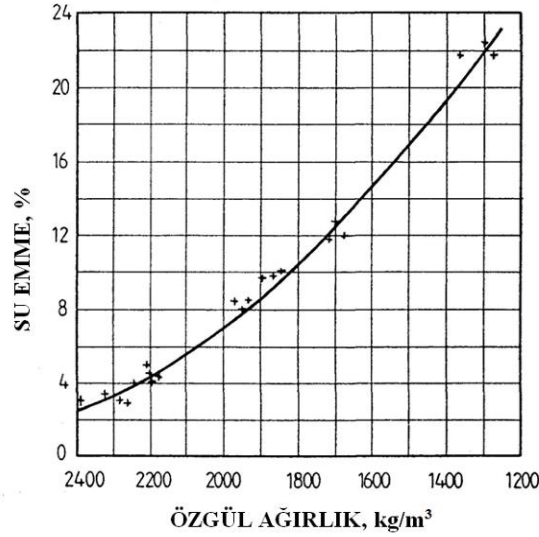
Rapor edilen bir diğer araştırmada, su emme değerleri geri kazanılmış iri agregalar için % 3,6-8,0 aralığında, geri kazanılmış ince agregalar için ise % 8,3-12,1 aralığında belirlenmiştir (B.C.S.J., 1978).

Geri kazanılmış agregaların su emmesinin, orijinal agregatanelerine yapışan harcın su emmesinin daha yüksek olmasından dolayı orijinal agregalarınkinden çok daha yüksek olduğu görülmektedir (Hansen, 1992).

Geri Kazanılmış Agregat ve Geri Kazanılmış Agregalı Betonun Kullanımı için Japon Şartname Önerisi'ne göre, su emme değeri geri kazanılmış iri agregat için % 7'den, geri kazanılmış ince agregat için % 13'ten büyük olursa geri kazanılmış agregalar beton üretiminde kullanılmamalıdır (B.C.S.J., 1977). Çoğu geri kazanılmış agreganın bu şartı sağladığı görülmektedir.

Geri kazanılmış agregalı beton için herhangi bir karışım tasarımı yapmadan önce, geri kazanılmış iri ve ince agregalar için su emmenin belirlenmesi gerekmektedir.

Bir çalışmada, Şekil 2.7'de görüldüğü gibi geri kazanılmış agregaların su emmesi le özgül ağırlığı arasında parabolik bir ilişki olduğu sonucu çıkmıştır (Kreijger, 1983).



Şekil 2.7 : Geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığının bir fonksiyonu olarak su emmesi (Kreijger, 1983).

Geri kazanılmış ince agreganın su emme kapasitesini ve su içeriğini belirlemek, geri kazanılmış iri agreganınkini belirlemekten daha zordur. Geri kazanılmış ince agregalar doygun kuru yüzey durumunda iken, ince agregalar için özgül ağırlık ve su emmeyi belirlemek için mevcut standart deney yöntemlerini kullanmak uygunsuz ve yetersiz kalmaktadır. Çünkü malzeme çok fazla yapışkan olmaktadır. Bu nedenle, laboratuvar, hazır beton tesisinde veya şantiyedeki bir beton üretiminde, beton geri kazanılmış ince agregalar ile üretilirse, efektif su-çimento oranını kontrol etmek zor olmaktadır. Geri kazanılmış ince agreganın, taze betonun su ihtiyacını da arttırdığı ve dayanımı düşürdüğü ve büyük olasılıkla sertleşmiş betonun dayanıklılığını azalttığı dikkate alınırsa, kaliteli beton üretiminde geri kazanılmış ince agregalar kullanımı önerilmemektedir (Hansen ve Marga, 1988).

Geri kazanılmış agregaların yüksek su emmesinden dolayı, beton üretimi sırasında aynı kaliteyi devam ettirmek için geri kazanılmış agregalı betonların üretimi için önceden ıslatılmış agregalar kullanımı tavsiye edilmektedir. Ancak, tam olarak doygun geri kazanılmış agreganın sertleşmiş geri kazanılmış betonun donma-çözünme direncini nasıl etkilediği araştırılmamıştır (Hansen, 1992).

Los Angeles aşınma kaybı: Bir çalışmada, Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi yüksek dayanımlı bir orijinal betondan üretilen 16-32 mm boyutundaki geri kazanılmış iri agregalar için % 22,4'ten, düşük dayanımlı bir orijinal betondan üretilen 4-8 mm boyutundaki geri kazanılmış iri agregalar için % 41,4'e kadar değişmektedir (E.R.L., 1979).

Oldukça farklı dayanımlarda, farklı şekillerde kırılan 15 farklı betondan elde edilen geri kazanılmış iri agregalar için Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi % 25,1'den % 35,1'e değişen değerlerde bulunmuştur (B.C.S.J., 1977).

Bir başka çalışmada ise, Los Angeles aşınma kaybı yüzdesinin yüksek dayanımlı (40 MPa) bir orijinal betondan üretilen 13-5 mm boyutundaki geri kazanılmış iri agregalar için % 20,1'den, düşük dayanımlı (16 MPa) bir orijinal betondan üretilen 13-5 mm boyutundaki geri kazanılmış iri agregalar için % 28,7'ye değişmekte olduğu bulunmuştur (Yoshikane, 1988).

Beton agregaları için olan ASTM C 33 standardında, agregaların Los Angeles aşınma kaybı yüzdesi % 50'yi geçmediği zaman beton üretiminde kullanılabileceği belirtilmektedir. Yol yapımı amacı için kullanılan kırma taşın da Los Angeles aşınma kaybı yüzdesinin % 40'ı geçmemesi gerekmektedir.

En kötü kalitedeki betondan üretilenlerin dışındaki geri kazanılmış agregaların, yüzeyi aşınan beton üretimi için bile kullanılmaya uygun olduğu görülmektedir (Hansen, 1992).

Sülfat dayanımı: Beton agregaları için sülfat dayanımı testi, geri kazanılmış agregaların durabilitesini değerlendirmek için yeterli olmamaktadır. Literatürde bu testin sonucunda geri kazanılmış agregalar ilavesinin betonun durabilitesi üzerinde hem olumlu, hem olumsuz etkilerinin olduğuna dair sonuçlar bulunmaktadır. Bu nedenle, durabilite özelliklerini belirlemek için ilave çalışmaların da yapılması gerekmektedir (Hansen, 1992).

Kirleticiler: Geri kazanılmış agregaların yeni beton üretiminde kullanılmasında doğal olarak var olan problemlerden biri, orijinal yıkım atığındaki kirleticilerin yeni betona geçebilme olasılığıdır. Bu kirleticiler kil toprakları, bitümlü derz fitilleri, genleşme derzi dolguları, alçı, periklaz ateşe dayanıklı tuğlalar, clorürler, organik malzemeler, kimyasal katkıları, çelik ve diğer metaller, cam, hafif tuğlalar ve beton, atmosfer şartlarından etkilenmiş veya yangın geçirmiş parçacıklar, dondan veya alkali reaksiyonlardan çabuk etkilenen parçacıklar, endüstriyel kimyasal kumlar, reaktif maddeler ve yüksek alüminatlı çimentolu beton olabilir (Hansen, 1992).

Kirleticiler, geri kazanılmış agregalı betonun dayanımının düşmesine neden olmaktadır (B.S.C.J., 1978).

Geri kazanılmış agregalı betonun tekrar geri kazanılması. Geri kazanılmış agregalı betondan geri kazanılan agrega ile üretilmiş beton üzerinde yapılan bir deneysel çalışmada, agrega özellikleri ve beton özellikleri açısından bakıldığında, tekrar geri kazanılan betonun her bakımdan hem dayanıklı, hem de iyi kalitede olduğu görülmüştür (Fergus, 1981).

Yeni beton üretimi haricinde başka amaçlar için geri kazanılmış beton agregaları. Beton kırıldıktan, elendikten ve gerekliyse kirleticilerden arındırıldıktan sonra, genel dolgu; drenaj projelerinde dolgu; yol inşaatında temel altı malzemesi ve yeni beton için agrega olarak kullanım alanı bulmaktadır (Hansen, 1992). Bunlar haricinde, kırılmış beton konutlar, garajlar ve diğer hafif binalar için temel olarak kullanılabilir. Daha alt nitelikte olan beton kırıkları da, yer altı sularının kirlenme riskinin olmadığı yerlerde; peyzaj düzenlemesi, düzleştirme veya akustik bariyerlerin yapımı gibi daha az çaba gerektiren uygulamalarda kullanılabilir (Mulheron, 1988). Kırılmış beton taneli dolgu, drenaj malzemesi ve yol temeli ve temel altı malzemesi olarak otoyol işlerinde kullanılabilir. Gradasyonu ve diğer özellikleri uygun olduğunda, kırılmış beton, çimento bağlayıcılı malzemelerin ve zayıf betonların üretiminde kullanılabilir (Hansen, 1992).

2.3.3 Geri kazanılmış beton agregasının mekanik özellikleri

Basınç dayanımı ve dayanım gelişim hızı: Birçok araştırmacı, doğal agrega ile hazırlanmış kontrol betonuna kıyasla, doğal agreganın yerine % 30 oranına kadar geri kazanılmış beton agregası konularak yeni betonların özelliklerinde önemli bir değişim olmadan üretim yapılabileceği konusunda hemfikirdir (Hansen, 1992).

Geri kazanılmış agregalı betonun basınç dayanımı doğal agregalı kontrol betonuna kıyasla biraz daha düşük olmaktadır (Nixon, 1978; B.C.S.J., 1978).

Geri kazanılmış iri agrega ve doğal kum ile üretilen geri kazanılmış agregalı betonlarda basınç dayanımı doğal agregalı kontrol betonu ile aynı veya daha yüksek olmaktadır (Hansen ve Narud, 1983).

Geri kazanılmış iri ve ince agregalı beton ile üretilen geri kazanılmış agregalı betonların basınç dayanımı geri kazanılmış iri ve doğal ince agrega ile üretilen kontrol betonuna göre düşük olmaktadır (Hansen, 1992).

Elastisite modülü, rutubetlenme kapasitesi ve gerilme-deformasyon ilişkisi: Geri kazanılmış agregadaki orijinal agrega tanelerine yapışmış çok miktardaki eski harç nedeniyle, geri kazanılmış agregalı betonların elastisite modülü, her zaman karşılaştırma yapılan geleneksel agregalı kontrol betonlarından daha düşük olmaktadır (Hansen, 1992). Geri kazanılmış beton agregalarının tane yoğunluğu ile geri kazanılmış agregalı betonun elastisite modülü arasında doğru orantı bulunmaktadır (Schulz, 1988).

Sünme: Geri kazanılmış agregalı betonda sünme, doğal agregalı kontrol betonuna göre daha yüksek olmaktadır. Betonun sünme değeri, betondaki harç ve çimento hamuru miktarı ile orantılıdır (Hansen, 1992).

Kuruma rötresi, geri kazanılmış agregalı betonda doğal agregalı betona göre oldukça yüksek olmaktadır (Hansen, 1992).

Çekme dayanımı, geri kazanılmış iri agrega ve doğal ince agrega ile üretilen betonlarda kontrol betonuna göre çok farklı sonuçlar vermemektedir. Ancak geri kazanılmış iri ve ince agrega kullanıldığında kontrol betonuna göre daha düşük sonuçlar elde edilmektedir (B.C.S.J., 1978).

Eğilme dayanımı, normal betonlarda olduğu gibi, geri kazanılmış betonlarda da basınç dayanımının $1/5$ 'i ile $1/8$ 'i arasındaki değerlerde olmaktadır (B.C.S.J., 1978).

Geri kazanılmış iri ve ince agrega kullanıldığında kontrol betonuna göre daha düşük makaslama dayanımı sonuçları elde edilmektedir (Ikeda ve diğ., 1988).

2.3.4 Geri kazanılmış beton agregasının durabilite özellikleri

Geri kazanılmış agregalı betonun su emmesi, doğal agregalı betonunkinin 2-5 katı kadardır (B.C.S.J., 1978).

Geri kazanılmış agregalı betonun don direnci, doğal agregalı betonunkinden daha yüksektir ve maksimum agrega boyutu küçüldükçe, don direnci artmaktadır (Hansen, 1992).

Geri kazanılmış agregalı betonun karbonatlaşması doğal agregalı betonunkine göre daha fazla olmaktadır ve geri kazanılmış agregalı betonun içindeki donatı daha hızlı korozyona uğrayacaktır (B.C.S.J., 1978).

Alkali-agrega reaksiyonu açısından geri kazanılmış agreganın araştırılması gerekmektedir. Reaksiyonu önlemek için geri kazanılmış agrega boyutu azaltılabilir, ancak geri kazanılmış agregalar için bir test metodu henüz yoktur (Hansen, 1992).

Geri kazanılmış agregalı betonun sülfat atağı altında veya deniz suyundaki durabilitesi, normal betonla aynı veya ondan çok az düşüktür (Nishiyabashi ve Yamura, 1988).

2.4 Betonda Geri Kazanımın Ekonomi ve Enerji Yönleri

Geri kazanılmış agrega tesislerinin başarılı şekilde işlemesi için gereken koşullar şöyle sıralanabilir (Hansen, 1992): Yıkım atıklarının bol miktarda ve sürekli tedarik edilmesi, yıkım atıklarını atık sahalarına dökme maliyetlerinin yüksek olması; ağır taşıtlar için kolay ulaşımın sağlanması, tercihen bir tıbbi atık depolama sahasına yakın olan uygun endüstriyel alanın bulunması; iyi kalitede doğal kum ve çakıl veya kırma taşın bulunamaması, azlığı ve bu nedenle yüksek maliyetli olması; ürünler için hazır pazar olması.

Geri kazanılmış beton agregası sadece rakibi olan doğal agrega ile olumlu şekilde rekabet edebilirse satılabilir (Hansen, 1992).

Geri kazanılmış agregalı beton üretimi ve daha önce hiç kullanılmamış doğal agregalı geleneksel beton üretimi için gerekli enerji kıyaslandığında, geri kazanılmış agregalı betonların enerji tasarrufu sağladığı anlaşılmaktadır. Her iki tip beton için de ortak ve kendine özgü enerji gereksinimleri düşünülerek bu hesaplama yapılmıştır. Geleneksel betonlara özgü olan enerji gereksinimleri eski betonun taşınması ve

boşaltılması, yeni agreganın üretilmesi ve agreganın taşınmasını kapsamaktadır. Geri kazanılmış agregalı betonlara özgü enerji gereksinimleri kırıcının iş sahasına taşınması, betonun kırılması ve elenmesi ve de eğer makinalar farklı sahalarda ise, atık betonun kırıcıya ve kırıcıdan tesise taşınmasını içermektedir (Copple, 1981).

3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu tezdeki deneysel çalışmalar, temel olarak doğal iri agregâ, doğal kum ve taş tozu ve ağırlıkça farklı oranlarda geri kazanılmış iri agregâ katılarak hazırlanan beton numuneler üzerinde yürütülen mekanik deneylerden oluşmaktadır. Bu mekanik deneyler, basınç dayanımı (f_c), yarmada çekme dayanımı (f_{ct}) ve elastisite modülünü (E_c) belirlemek amacıyla yapılan deneylerdir.

Farklı karışımlarda, toplam 6 seri beton üretilmiştir. Her seride 3., 7., 14, ve 28. günlerde basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü için ölçümler yapılmıştır. 5 seri betonun tümünde ince agregâ olarak doğal kum ve taş tozu kullanılmıştır. İri agregâ olarak referans betonu olan Seri 1’de tamamen doğal agregâ kullanılmış, Seri 2, 3, 4, 5’te sırasıyla ağırlıkça % 25, 50, 75, 100 oranlarında geri kazanılmış iri agregâ kullanılarak beton karışımları hazırlanmıştır. Seri 6 ise ince ve iri agregâ olarak tamamıyla geri kazanılmış agregâ kullanılarak hazırlanmış betondur. Deney programı kapsamında hazırlanan beton karışımlarının doğal ve geri kazanılmış agregâ oranları topluca Çizelge 3.1’de verilmektedir.

Çizelge 3.1 : Deney programı kapsamında hazırlanan beton karışımlarının doğal ve geri kazanılmış agregâ oranları.

KARIŞIM	İNCE AGREGA		İRİ AGREGA	
	Doğal kum+Taş tozu	Geri Kazanılmış	Doğal	Geri Kazanılmış
SERİ 1	% 100	% 0	% 100	% 0
SERİ 2	% 100	% 0	% 75	% 25
SERİ 3	% 100	% 0	% 50	% 50
SERİ 4	% 100	% 0	% 25	% 75
SERİ 5	% 100	% 0	% 0	% 100
SERİ 6	% 0	% 100	% 0	% 100

3.1 Malzeme Temini ve Özellikleri

Deneysel çalışmada, geri kazanılmış agrega kaynağı olarak prefabrikasyon atıkları, doğal agrega olarak Cendere'deki taş ocağından edinilen kırma taş (1 numaralı mıcır ve 2 numaralı mıcır ve taş tozu) ve doğal kum kullanılmıştır. Kompoze Portland çimento, dökülen tüm beton serilerinde bağlayıcı olarak kullanılmıştır.

3.1.1 Deneylerde kullanılan doğal agreganın özellikleri

Deneysel çalışmada kullanılan doğal agregalar, Cendere Havzası'nda üretim yapan Lafarge Agrega Tesisi'nden kırmataş (No 1, No 2 mıcır ve taş tozu) ve Akdağlar Üretim Tesisi'nden de dağ kumu olarak temin edilmiştir.

Deneylerde kullanılan doğal agregaların özgül ağırlıkları Çizelge 3.2'de görülmektedir.

Çizelge 3.2 : Doğal agregaların özgül ağırlıkları.

	Doğal Kum	Taş Tozu	No 1 Mıcır	No 2 Mıcır
Özgül ağırlık [g/cm³]	2.60	2.71	2.76	2.73

Taş üretim merkezinde varolan malzeme petrografik olarak mikalı kumtaşı olarak nitelendirilebilir. Petrografik ve teknolojik yönden Cendere Havzası'nda üretilen kırmataş çok özel niteliklere sahiptir. Esasen kuvarzo-feldspatik ince matriks içinde kuvars ve feldspat ve az oranda mika (serizit) mineralleri içeren, sertliği 6-7 Mohs düzeyinde, basınç dayanımı 1300-1500 kg/cm² gibi oldukça yüksek performansa sahip bir kırmataş malzemesi olan "kumtaşı"nın porozite (boşluk oranı) % 0.8, su emme oranı ise sıfır düzeyde olup, özgül ağırlığı ise 2.7 – 2.8 gr/cm³ yoğunluğa sahiptir. Bu mekanik özelliklere sahip malzemenin Los Angeles aşınma oranı 100 devir için % 8-9, 500 devir için ise % 28-29 kayıp vermektedir. Buradaki sert ve kompakt kırmataş malzemesinin basınç dayanımı çok yüksek, aşınma oranları ise oldukça düşük düzeydedir (Kaynarkan ve diğ., 1999). Deneysel çalışmada kullanılan doğal agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.3'te verilmektedir. Doğal agregaların fiziksel özellikleri ile ilgili olarak özgül ağırlık ve su emme, gevşek birim ağırlık ve sıkı birim ağırlık deneyleri laboratuvarında yapılmıştır. Diğer değerler, (Kaynarkan ve diğ., 1999) kaynağından alınmıştır.

Çizelge 3.3 : Doğal agregaların fiziksel özellikleri.

	No 1 Mıcır	No 2 Mıcır
Özgül Ağırlık [gr/cm³]	2.76	2.73
Su Emme [%]	0	0
Kirlilik Oranı [%]	0	0
İncelik Modülü	4,44	
Gevşek Birim Ağırlık [gr/cm³]	1.18	1.41
Sıkı Birim Ağırlık [gr/cm³]	1.55	1.63
Yassılık İndeksi [%]	1,2	1,2
Porozite [%]	0,83	0,80
Su Muhtevası [%]	0,05	0,05
Los Angeles (Aşınma) [%] 500 devir	28	28
Los Angeles (Aşınma) [%] 100 devir	8	8
Tek eksenli basınç dayanımı	1300-1500	1300-1500
Mohs Sertlik Derecesi	6-7	6-7

Doğal agregaların elek analizi deneyinde TS 3530 EN 933-1 standardı esas alınmıştır. Çizelge 3.4'te karışımdaki doğal agregaların granülometri bileşimleri görülmektedir.

Çizelge 3.4 : Karışımdaki doğal agregaların granülometri bileşimleri.

Elek Boyutu [mm]	31.5	16	8	4	2	1	0.5	0.25
Elekten Geçen Malzeme %								
No 2 mıcır	35	19.08	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
No 1 mıcır	30	30.00	8.07	0.11	0.11	0.11	0.11	0.11
Taş Tozu	10	10.00	10.00	9.17	7.40	5.32	3.73	1.39
Kum	25	25.00	25.00	25.00	24.97	24.93	23.08	2.80
Toplam	100	84.08	43.18	34.39	32.58	30.46	27.02	4.41

Doğal agregaların incelik modülü TS 706 EN 12620 Beton Agregaları standardına göre hesaplanmıştır. Bu hesapta Eşitlik (3.1) kullanılmıştır. Çizelge 3.5'te doğal agregaların incelik modülünün hesabına esas değerler verilmektedir.

$$\text{İncelik modülü (FM)} = \frac{\sum \{(> 4) + (> 2) + (> 1) + (> 0,5) + (> 0,25) + (> 0,125)\}}{100} \quad (3.1)$$

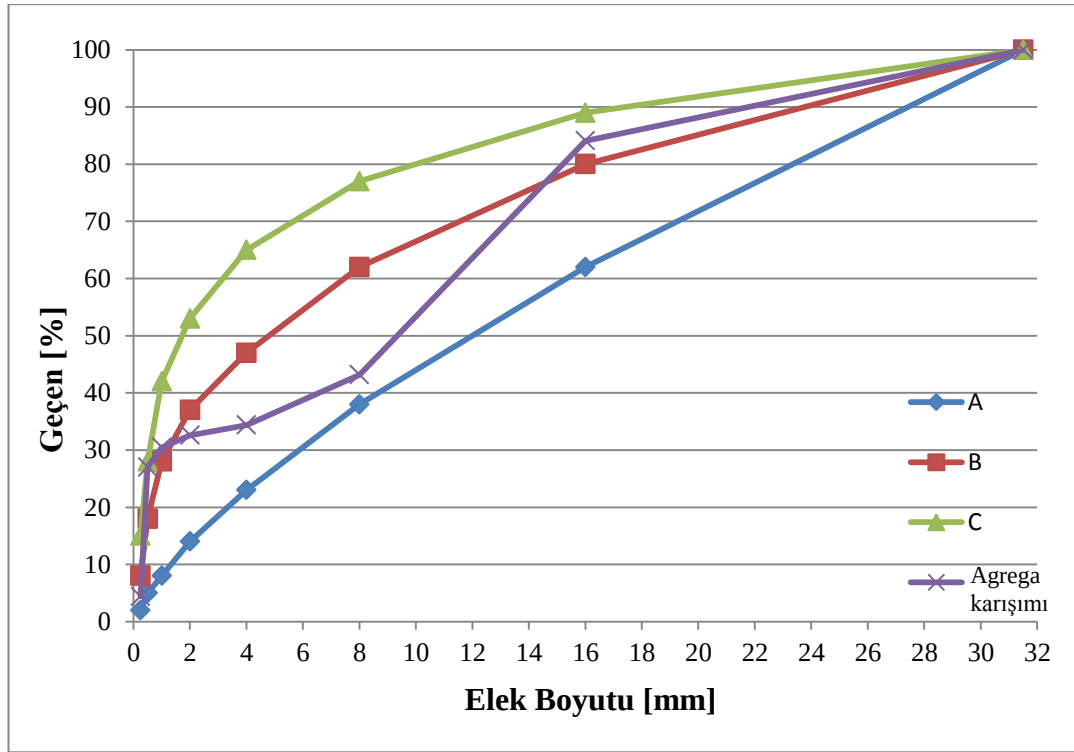
$$k = \frac{(100 - 100) + (100 - 84) + (100 - 43) + (100 - 34) + (100 - 33) + (100 - 30) + (100 - 27) + (100 - 4)}{100}$$

$$k = 4,44$$

Çizelge 3.5 : Karışımdaki doğal agregaların incelik modülü.

Elek Boyutu [mm]	A	B	C	Kümülatif Geçen %	Kümülatif Kalan %
31.5	100	100	100	100.00	0.00
16	62	80	89	84.08	15.92
8	38	62	77	43.18	56.82
4	23	47	65	34.39	65.61
2	14	37	53	32.58	67.42
1	8	28	42	30.46	69.54
0.5	5	18	28	27.02	72.98
0.25	2	8	15	4.41	95.59
Σ Kümülatif Kalan % =					444
İncelik Modülü =					4.44

Betonda kullanılan agrega karışımının granülometrisi, TS 802 Beton Karışımı Hesap Esasları standardında belirtilen A ve C eğrileri arasında kalacak şekilde seçilmiştir. Beton karışımında iri agrega olarak 0.35 oranında No 2 mıcır, 0.30 oranında No 1 mıcır kullanılmıştır. Karışımda ince agrega olarak 0.10 oranında taş tozu, 0.25 oranında dağ kumu kullanılmıştır. Agrega karışımının tasarımı Şekil 3.1'de görülmektedir.



Şekil 3.1 : Betonda kullanılan doğal agrega karışımının granülometrisi.

3.1.2 Geri kazanılmış agrega

Yapı Merkezi firmasının beton prefabrikasyon atıkları bu çalışmada yapılan deneylerde geri kazanılmış agrega kaynağı olarak kullanılmıştır. Stok sahasında biriken öngerilmeli boşluklu döşeme ve duvar paneli üretimlerinden çıkan hurdalar ve beton üretimleri için alınan kalite kontrol numuneleri temin edilerek İTÜ Maden Fakültesi Agrega Laboratuvarı'na nakledilmiştir.

3.1.2.1 Beton prefabrikasyon atıklarının temini-orijinal betonun özellikleri

Temin edilen hurda beton parçaları, ağırlıklı olarak öngerilmeli boşluklu döşeme ve duvar paneli üretimlerinden çıkan hurdalardır.

Bu paneller, kuru kıvamlı betonla üretilmektedir. Üretimlerde kireçtaşı agrega kullanılmaktadır. Agreganın maksimum dane çapı 12.7 mm'dir; yani en fazla 1 numaralı mıcır kullanılmaktadır. Üretimlerde sadece öngerme donatısı kullanılmakta, betonarme donatısı kullanılmamaktadır. Prefabrike paneller genellikle C30 sınıfı beton kullanılarak üretildiği için çekme dayanımı 2.5–3.0 MPa arasında değişmektedir.

Şekil 3.2'de beton prefabrikasyon atıkları görülmektedir.



Şekil 3.2 : Prefabrikasyon firması üretim tesisinin stok sahasındaki beton prefabrikasyon atıkları.

3.1.2.2 Beton prefabrikasyon atıklarının kırılması, agregaya haline getirilmesi

İTÜ Maden Fakültesi Agregat Laboratuvarı'na nakledilen beton prefabrikasyon atıkları burada birincil kırıcıdan geçirilmiş, daha büyük olan parçalar küçük boyutlara getirilmiştir. Daha sonra daha küçük boyutlardaki beton parçalar çeneli kırıcıdan geçirilerek boyutları küçültülmüş ve elenmiştir.

Büyük boyutta kalan agregalar tekrar çeneli kırıcıdan geçirilerek boyutları küçültülmüş ve sonrasında elenmiştir. Beton parçaların kırıldığı çeneli kırıcı Şekil 3.3'te görülmektedir.



Şekil 3.3 : İTÜ Maden Fakültesi Agregat Laboratuvarı'nda bulunan çeneli kırıcı.

3.1.2.3 Beton prefabrikasyon atıklarından geri kazanılmış agreganın özellikleri

Kırılarak agregat haline getirilen malzeme, daha sonra İTÜ Mimarlık Fakültesi Yapı Malzemesi Laboratuvarı'na getirilmiştir ve deneysel çalışmanın geri kalan bölümü burada tamamlanmıştır. Beton parçaları Şekil 3.4'te görülmektedir.



Şekil 3.4 : Birincil kırıcıdan geçirilen beton parçaları.

Yapışan harç nedeniyle, geri kazanılmış agregaların özgül ağırlığı, doğal agregaların özgül ağırlığından daha düşüktür. Özgül ağırlığın daha düşük olmasının geri kazanılmış agreganın boşluklu yapısından kaynaklandığı söylenebilir.

Geri kazanılmış iri agregaların aşınma direnci, TS EN 1097-2 Parçalanma Direncinin Tayini: Los Angeles Deneyi standardına uygun olarak İTÜ Maden Fakültesi Agregal Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Deney sonucunda % 30 olan Los Angeles aşınma kaybı değeri ile geri kazanılmış iri agregaların beton agregası olarak kullanılabilir olduğu görülmüştür. Beton prefabrikasyon atıklarından elde edilen geri kazanılmış agregaların fiziksel özellikleri Çizelge 3.6'da verilmektedir.

Geri kazanılmış agreganın gevşek ve sıkı birim ağırlık tayini TS EN 1097-3 Gevşek Yığın Yoğunluğu standardına göre, su emme ve özgül ağırlık değerleri TS EN 1097-6 Agregaların Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini standardına göre yapılmıştır. TS 3527 Beton Agregalarında İnce Madde Oranı Tayini standardına göre ince madde yüzdesi belirlenmiştir.

Çizelge 3.6 : Geri kazanılmış agreganın fiziksel özellikleri.

	No 1 Mıcır	No 2 Mıcır	Taş Tozu
Özgül ağırlık [g/cm³]	2.52	2.48	2.37
Su Emme [%]	5.19	4.82	9.79
İncelik Modülü	5.66	6.90	3.28
Gevşek Birim Ağırlık [gr/cm³]	1.31	1.16	1.41
Sıkı Birim Ağırlık [gr/cm³]	1.46	1.36	1.63
İnce Madde [%]	2.82	2.62	10.78
Los Angeles (Aşınma) [%] 500 devir	30	30	

Geri kazanılmış agregaların elek analizi deneyinde TS 3530 EN 933-1 standardı esas alınmıştır. Çizelge 3.7'de geri kazanılmış agreganın granülometri bileşimi görülmektedir.

Çizelge 3.7 : Geri kazanılmış agreganın granülometri bileşimi.

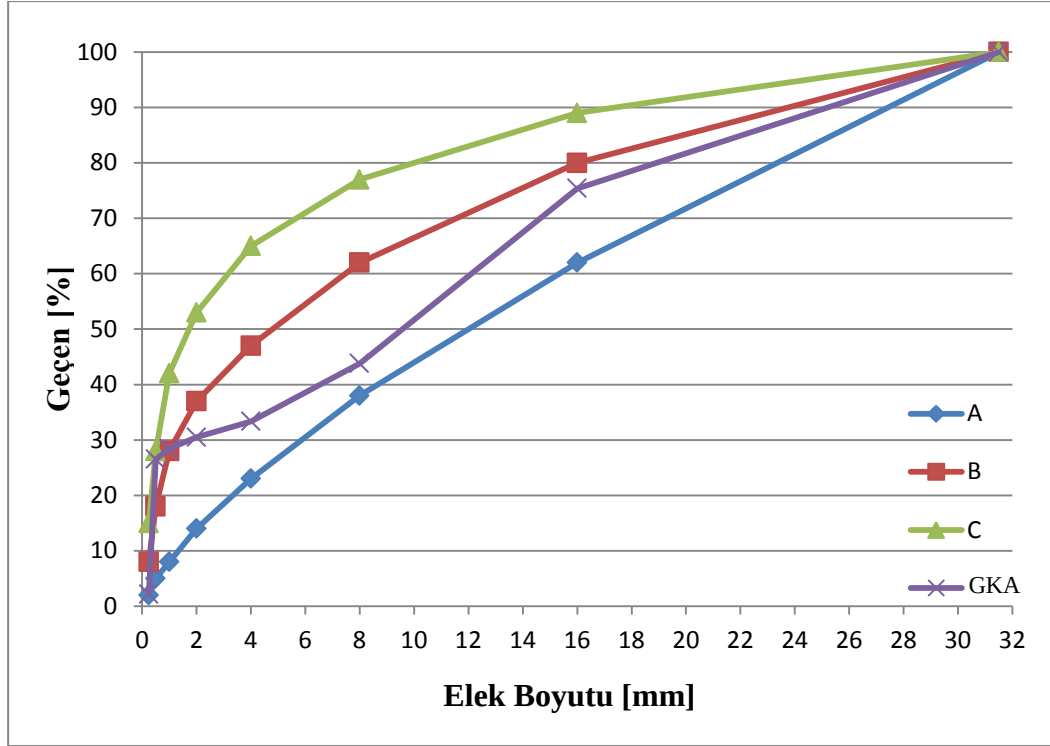
Elek boyutu [mm]	Kalan [gr]	Kümülatif Kalan [gr]	Elekten Geçen [%]
31.5	0	0	100.00
16	440.66	440.66	75.40
8	565.62	1006.28	43.81
4	187.40	1193.68	33.35
2	51.17	1244.85	30.49
1	37.20	1282.05	28.42
0.5	34.01	1316.06	26.52
0.25	436.50	1752.56	2.15
< 0.25	38.42	1790.98	-

Geri kazanılmış agreganın incelik modülü Eşitlik (3.1)'e göre hesaplanmıştır. Çizelge 3.8'de geri kazanılmış agreganın incelik modülü hesabına esas değerler verilmektedir.

Çizelge 3.8 : Geri kazanılmış agreganın incelik modülü.

Elek Boyutu [mm]	A	B	C	Kümülatif Geçen %	Kümülatif Kalan %
31.5	100	100	100	100.00	0.00
16	62	80	89	75.40	24.60
8	38	62	77	43.81	56.19
4	23	47	65	33.35	66.65
2	14	37	53	30.49	69.51
1	8	28	42	28.42	71.58
0.5	5	18	28	26.52	73.48
0.25	2	8	15	2.15	97.85
Σ Kümülatif Kalan % =					460
İncelik Modülü =					4.60

Çeneli kırıcıdan geçirilerek boyutları küçültülen sonrasında elenen geri kazanılmış agreganın granülometri eğrisinin standartta belirtilen A ve C eğrileri arasında kaldığı Şekil 3.5'te görülmektedir.



Şekil 3.5 : Beton prefabrikasyon atıklarından elde edilen geri kazanılmış agreganın granülometrisi.

Şekil 3.6’da geri kazanılmış agregalar ve doğal agregalar görülmektedir. Geri kazanılmış agregaların yapısındaki çimento hamuru ve orijinal betonun kırılmış agregaları görülebilmektedir.



Şekil 3.6 : Geri kazanılmış agregalar (üstte) ve doğal agregalar (altta).

3.1.3 Deneylerde kullanılan çimento ve suyun özellikleri

Üretilen betonlarda TS EN 197'ye uygun çimento kullanılmıştır. Yapılan tüm deneylerde karışımın hazırlanmasında şehir şebeke suyu ve Türkiye'de üretilen CEM II/A-M (S-L) 42.5R tipte torbalı kompoze portland çimento kullanılmıştır. Bu tip çimento, % 80 ila 94 arasında klinker ve % 6 ila 20 arasında yüksek fırın cürufu ile kalker içeren, 42.5 dayanım sınıfında, yüksek erken dayanımlı çimentodur. Her türlü hazır beton ve betonarme uygulamaları ile prefabrik ve endüstriyel ürünler için kullanılabilir. Çimentonun standart ve erken dayanımları TS EN 196-1'e göre belirlenmiştir. Çimentolar üzerinde kimyasal, fiziksel ve mekanik deneyler Lafarge Çimento Fabrikası'nda ve İTÜ Taşkılla Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda yapılmıştır. Taşkılla Yapı Malzemesi Laboratuvarı'nda Form-Test Seidner marka 20 ton basınç, 1 ton çekme kapasiteli çimento test presinde çimentonun mekanik özellikleri belirlenmiştir (Şekil 3.7). Şekil 3.8'de çimentonun basınç ve eğilme dayanımı tayini görülmektedir. Çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri Çizelge 3.9'da verilmektedir.



Şekil 3.7 : Form-Test Seidner marka çimento test presi.



Şekil 3.8 : Çimentonun basınç ve eğilme dayanımı tayini.

Standart kum, su ve çimentodan oluşan karışım, karıştırıcı ile mekanik olarak karıştırılmıştır. Karıştırma kabına su ve çimento eklendikten sonra, karıştırıcı düşük hızda çalıştırılmaya başlanmıştır. 30 s sonra kum, 30 s içinde sürekli olarak ilâve edilir. Karıştırıcı yüksek hıza ayarlanmış ve karıştırmaya 30 s daha devam edilmiş, karıştırıcı, 1 dakika 30 saniye sonra durdurulmuştur. İlk 15 s lastik sıyrıcı ile kabın çeperlerine ve tabanına yapışan harç sıyrılmış ve kabın ortasına toplanmıştır. Karıştırmaya yüksek hızda 60 s daha devam edilmiştir.

Çizelge 3.9 : Deneylerde kullanılan çimentonun kimyasal, fiziksel ve mekanik özellikleri.

ÇİMENTO KİMYASAL VE FİZİKSEL ANALİZ RAPORU	
Numune Tipi / Kaynak	CEM II/A-M (S-L) 42.5R
KİMYASAL ANALİZLER	
Toplam SiO₂ [%]	21.76
Çözünmeyen Kalıntı [%]	0.88
Al₂O₃ [%]	5.59
Fe₂O₃ [%]	2.78
CaO [%]	61.58
MgO [%]	1.97
SO₃ [%]	2.29
K₂O [%]	0.56
Na₂O [%]	-
Cl [%]	0.01
Kızdırma Kaybı [%]	3.30
Tayin Edilemeyen [%]	0.16
Cr VI [ppm]	-
S. CaO [%]	-
FİZİKSEL ANALİZLER	
Özgül Ağırlık [g/cm³]	3.11
Blaine [cm²/g]	4420
32 µ elek üzeri [%]	7.8
90 µ elek üzeri [%]	0.0
200 µ elek üzeri [%]	0.0
Su / Çimento [%]	28.5
Priz başı [dk]	145
Priz sonu [dk]	195
Le Chatelier [mm]	1.0
Dansite [g/L]	942
BASINÇ DAYANIMI [N/mm²]	
1 Gün	15.2
2 Gün	28.7
7 Gün	47.9
28 Gün	58.4
EĞİLMEDE ÇEKME DAYANIMI [N/mm²]	
3 Gün	5.4
7 Gün	7.8
14 Gün	8.1
28 Gün	8.8

Çimento karışımı 40 mm × 40 mm × 160 mm'lik prizma şeklinde kalıplara iki kademedede dökülerek ve her kademenin dökümünden sonra sarsma tablasında sarsılarak ve yüzeyi masterla düzeltilerek deney numuneleri hazırlanmıştır. 24 saat sonra kalıptan çıkarılarak suda kürlenene numuneler, deney günü geldiğinde sudan çıkarılarak eğilme ve basınç dayanımı deneyine tabi tutulmuştur. Çimentonun karıştırılması, kalıba dökülmesi ve suda kürlenmesi Şekil 3.9'da; çimentonun eğilme ve basınç dayanımı tayini Şekil 3.10'da görölmektedir.

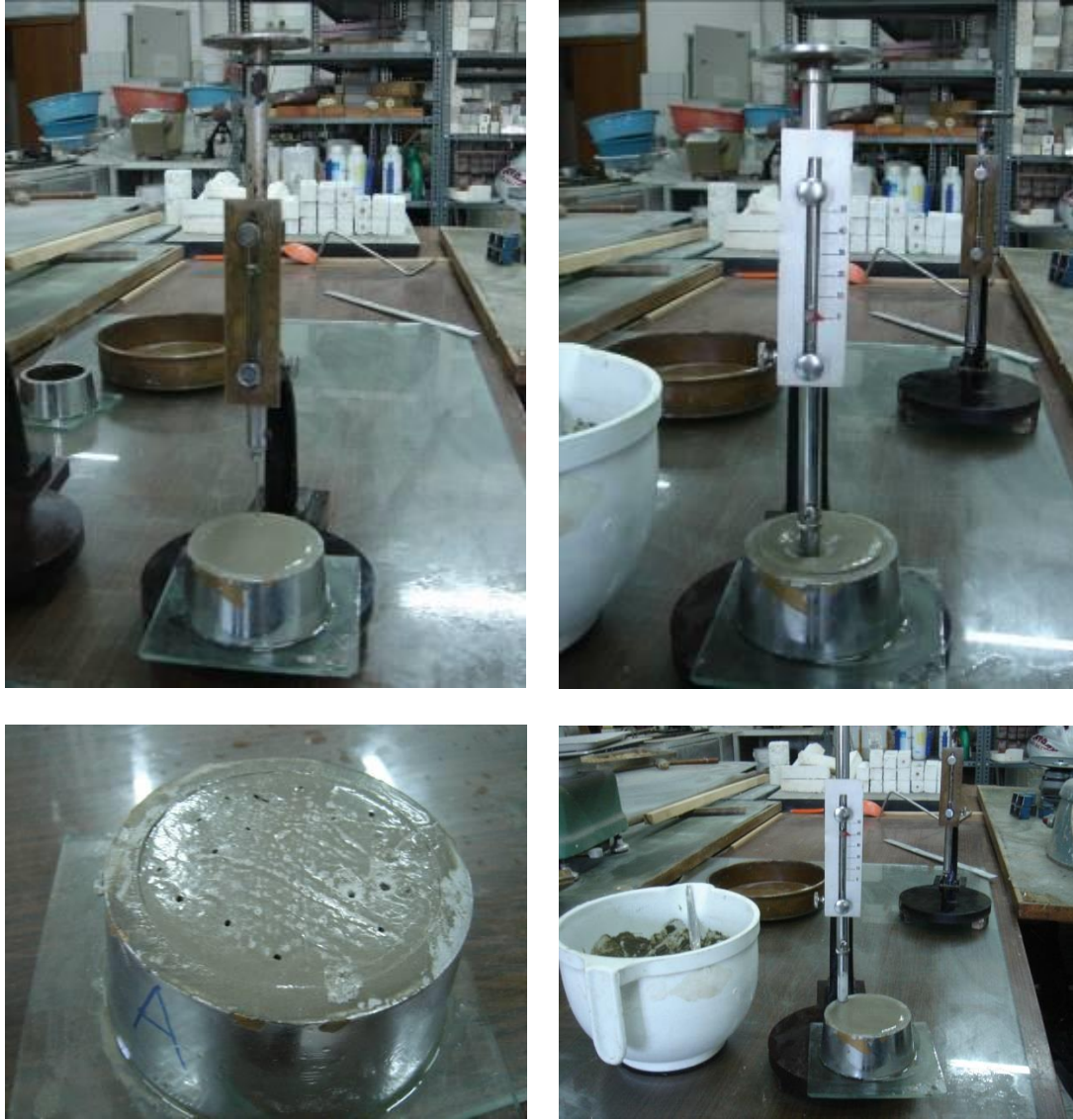


Şekil 3.9 : Çimentonun karıştırılması, kalıba yerleştirilmesi ve suda kürlenmesi.



Şekil 3.10 : Çimento eğilme ve basınç dayanımı tayini.

Çimento priz süresi ve kıvam tayini TS EN 196-3'e göre yapılmıştır. Priz süresi, iğnenin standard (normal) kıvamdaki çimento pastası içinde belirlenmiş bir derinliğe kadar girmesini gözlemek suretiyle tayin edilmiştir. Priz başlangıç süresi 1 saat 30 dakika, priz sonu süresi de 2 saat 50 dakika olarak ölçülmüştür. Çimento pastası için gereken su miktarı, farklı su miktarları ile hazırlanan pastaların içine sondanın girmesi denemeleri ile tayin edilmiştir ve standart kıvam için su oranı % 28 olarak bulunmuştur. Priz süresi ve kıvam tayini Şekil 3.11'de görülmektedir.



Şekil 3.11 : Çimento priz süresi ve kıvam tayini.

3.2 Beton Karışım Tasarımı

Deneysel çalışmanın ilk aşamasında C35 hedef dayanımı esas alınarak % 100 oranında doğal iri ve ince agregâ kullanılarak beton karışımı tasarlanmıştır. Hedeflenen çökme değeri, 5-7 cm'dir. Hava içeriği ise % 0.2 olarak hedeflenmiştir. Agregâ karışım oranları şu şekildedir: % 35 No 2 (12-22 mm) agregâ, % 30 No 1 (5-12 mm) agregâ, % 10 taş tozu (< 5 mm), % 25 kum (< 2 mm). Çizelge 3.10'da üretilen betonun karışım tasarımı görülmektedir.

Çizelge 3.10 : Beton karışım tasarımı.

	Çimento $M_{\text{çimento}}$	Su M_{su}	$M_{\text{su}}/M_{\text{çimento}}$	İri Agregâ M_k	İnce Agregâ M_i	M_i / M_k	$\Sigma M_a / M_c^*$
C35	400	206	0,515	1183	611	0,52	4,49

* Toplam Agregâ/Çimento oranı

Referans betonu olarak karışımı 0,515 su/çimento oranıyla tasarlanan betonun doğal iri agregâsı yerine, her bir gradasyon grubu için ağırlıkça sırasıyla % 25, 50, 75 ve 100 oranlarında geri kazanılmış iri agregâ gradasyon gruplarından konularak geri kazanılmış agregâlı beton dökülmüştür. Son seride de, doğal ince agregâ yerine ağırlıkça geri kazanılmış agregâ tozu olarak kullanılarak tamamı geri kazanılmış beton agregâsından üretilen beton dökülmüştür.

Bölüm 3.1'de bahsedilen malzemeler kullanılarak beton karışım hesapları Graf formülü çerçevesinde yapılmış, referans karışımı olan Seri 1 için malzeme karışımı belirlenmiştir. Aşağıda Graf formülünün ayrıntısı verilmektedir (Eşitlik 3.2).

$$f_c = \frac{f_{cc}}{K_G} \left(\frac{C}{S} \right)^2 \quad (\text{GRAF FORMÜLÜ}) \quad (3.2)$$

f_c : Beton hedef basınç dayanımı, MPa

f_{cc} : Çimento sınıf dayanımı, MPa

C : Çimento dozajı, kg

S : Karışımındaki su miktarı, kg

$$f_c = 35 + 5 = 40 \text{ MPa}$$

$$f_c = \frac{42,5}{4} \left(\frac{C}{206} \right)^2$$

$$C = 400 \text{ kg}$$

$$\frac{S}{C} = 0,515$$

$$1000 = \frac{400}{3,11} + 206 + V_T + 2$$

$$V_T = 663,4 \text{ dm}^3$$

$$\text{KABA No 2 Mıcır (5 – 12 mm)} \quad 0.35 \times 663.4 \times 2.73 = 634 \text{ kg}$$

$$\text{ORTA No 1 Mıcır (12 – 22 mm)} \quad 0.30 \times 663.4 \times 2.76 = 549.3 \text{ kg}$$

$$\text{TAŞ TOZU (0 – 4 mm)} \quad 0.10 \times 663.4 \times 2.71 = 180 \text{ kg}$$

$$\text{KUM (0 – 2 mm)} \quad 0.25 \times 663.4 \times 2.60 = 431.2 \text{ kg}$$

Yapılan karışım hesabına göre, doğal agregalı referans betonu karışımındaki malzeme miktarları Çizelge 3.11’de verilmektedir.

Çizelge 3.11 : 1000 dm³ referans betonu için karışımındaki malzeme miktarları.

Su	206 kg
Çimento	400 kg
No 1 mıcır	549.3 kg
No 2 mıcır	634 kg
Taş tozu	180 kg
Kum	431.2 kg

Bu karışımlarda referans betonuna paralel olarak 5 farklı karışım daha planlanmış, ilk 4 karışımında tüm değişkenler sabit tutularak iri agrega oranı “ağırlıkça” % 25 mertebelerde değiştirilerek 4 ayrı karışım ve bir de iri ve ince fazlarının tümü geri kazanılmış agrega ile değiştirilerek tümüyle geri kazanılmış agregalı karışım üretilmiştir.

Karışımı belirtilen referans betonu karışımında çimento dozajı 400 kg/m³ bulunmuş, su/bağlayıcı oranı 0.515 gibi oluşmuştur.

Geri kazanılmış agreganın ilk yarım saatlik su emme değerleri bulunarak agrega tarafından emileceği öngörülen bu su miktarı karışım suyuna ilave edilebilir veya karışımda doğrudan 30 dakikalık doygunluk seviyesinde agregalar kullanılabilir.

Laboratuvar koşullarında sağlanması son derece kolay olan bu su ilavesinin uygulama aşamasındaki “girdileri” ve giderek her bir karışımdaki değişen suya bağlı olarak farklılaşan koşullar da dikkate alınarak efektif su/çimento oranının değişeceği kabul edilmiştir. Bu değişkenlik iri agrega fazındaki geri kazanılmış agrega ikamesi oranlarına göre giderek azalan değerler almaktadır. Geri kazanılmış agreganın doygun haldeki su emme miktarına bağlı olarak hesaplanmış efektif su/çimento oranları ve karışımdaki malzeme miktarları çizelgesinde verilmektedir (Çizelge 3.12).

Geri kazanılmış agreganın doğal agregaya göre daha fazla su emdiği bilinmektedir. Referans betonunda kullanılan iri ve ince agreganın su emiciliğinin ihmal edilebilirliği olmasına karşın, geri kazanımla elde edilmiş olan agregaların belirgin bir su emiciliği olması, karışımlardaki geri kazanılmış agrega betonlarındaki su/çimento oranını etkilemiştir. Bu konuda yapılan ön deneylerden ve tedarikçi firma verilerinden hareketle geri dönüşümlü agreganın suyla temas ettiği ilk andan itibaren suyu hızla emdiği ve ilk yarım saatte su emme kapasitesinin yaklaşık % 95’inden fazlasını emdiği görülmektedir. Bu nedenle betonun priz başlangıcı ve gelişimi süreleri dikkate alınarak karışımların efektif su/çimento oranlarında geri kazanılmış agreganın 24 saatlik su emme değerleri esas alınmıştır. Beton karışımı, kısa sürede hazırlanarak kalıplara yerleştirilmiştir.

Bu çalışmada ele alınan şekliyle artan ikame geri kazanılmış iri agrega oranına bağlı olarak düşen efektif su/çimento oranının karışımların hazırlanması ve yerleştirilmesinde önem taşıyan ilk 20-30 dakikadaki değerlerinin ilgili karışımlar çizelgesinde hesaplanarak verilmiş olan efektif su/çimento oranları gibi olacağı açıktır.

Dolayısıyla burada sözü edilen değişen su/çimento oranının taze beton özelliklerine, çökme değerlerine, beton boşluk yapısına ve miktarına ve bağlayıcı hamurunun özelliklerine olan etkilerinin deneysel sonuçlara yansımaları ve bu konuların değerlendirilmesi çalışmanın 4. bölümünde ilgili kısımlarda yer almaktadır.

Burada artan geri kazanılmış agrega oranına bağlı olarak suyun agrega tarafından giderek artan miktarlarda emilmesi, taze beton karışımlarının kıvamını önemli ölçüde etkilemiştir. Bu durumda ileriki bölümlerde görüleceği şekilde 5 ve 6 numaralı karışımlarda çökme değerleri sıfıra kadar düşmüştür. Gerek üretim, gerek yerleştirme açılarından sorun yaratabilecek bu durumun telafi edilebilmesi için ön deneylerle saptanabilecek referans beton eşdeğer çökme değerlerini sağlayacak akışkanlaştırıcı kullanılması düşünülmüştür. Ancak akışkanlaştırıcıların beton reolojik özelliklerini iyileştirse de her bir karışımda adeta farklı betonlar oluşturulmuş gibi çeşitli özelliklere etkileri dikkate alınarak akışkanlaştırıcı kullanılmamasına karar verilmiştir. Böylece geri kazanılmış agrega tarafından emilen karma suyunun taze ve giderek sertleşmiş beton özelliklerinde etkileri kabul edilerek bir anlamda olabildiğince az değişkenle, hatta sabit su/çimento değerleriyle araştırılan değişimin sonuçlarının irdelenmesi hedeflenmiştir. Tezin 5. bölümünde vurgulandığı gibi bu çalışma paralelinde karma suyuna emme suyunun ilavesi ve/veya akışkanlaştırıcılar kullanılarak üretilecek karışımların özelliklerinin birlikte ele alınarak değerlendirilmesi uygulama açısından önemlidir.

Çizelge 3.12 : Beton üretiminde kullanılan malzeme karışım miktarları [kg/m³]

Seri No	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Seri 4	Seri 5	Seri 6
	%100 DA	%25 GKİA	%50 GKİA	%75 GKİA	%100 GKİA	%100 GKA
Çimento	400	400	400	400	400	400
Su	206	206	206	206	206	206
Efektif su	206	191.23	176.47	161.70	146.93	87.10
S/Ç	0.515	0.515	0.515	0.515	0.515	0.515
Efektif S/Ç	0.515	0.478	0.441	0.404	0.367	-
Doğal İnce Agregası (Taş Tozu+Kum)	611.20	611.20	611.20	611.20	611.20	0
Doğal İri Agregası (No 1 Mıcır)	549.30	411.98	274.65	137.33	0.00	0
Doğal İri Agregası (No 2 Mıcır)	634.00	475.50	317.00	158.50	0.00	0
İnce Geri Kazanılmış Agregası	0	0	0	0	0	611.20
İri Geri Kazanılmış Agregası (No 1)	0	137.33	274.65	411.98	549.30	549.30
İri Geri Kazanılmış Agregası (No 2)	0	158.50	317.00	475.50	634.00	634.00

3.3 Numunelerin Üretimi ve Kodlanması

Bu tez kapsamındaki deneyler için hazırlanan numuneler, TS EN 12390-2 Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Kürlenmesi standardına uygun olarak hazırlanmıştır.

Çalışmada 6 seri beton üretilmiştir. Bunlardan biri referans karışım, dördü % 25, 50, 75, 100 mertebelerde iri agreganın geri kazanılmış agregası ile karıştırıldığı karışımlar ve bir de agreganın tümünün de geri kazanılmış agregası olarak kullanıldığı karışımlardır. Burada yapılması öngörülen mekanik deneylere bağlı olarak 15x15x15 cm küp ve Ø15x30 cm silindir olmak üzere her karışımdan iki ayrı grup numune dökülmüştür. Her gruptan 3., 7., 14. ve 28. günler için üçer tane olmak üzere toplam 12 küp ve 24 silindir olmak üzere 36 örnek yapılmıştır. Dolayısıyla tüm çalışma 6 seri için 36'şar örnekten toplam 216 örnek üzerinde yapılan deneylerin sonuçlarına dayanmaktadır.

Üretimde her bir parti için numuneler üçerli küp ve silindir numune grupları halinde, el mikseriyle karıştırılmıştır ve ilk 20 dakika içerisinde plastik beton kalıplarına yerleştirilmiştir. Betonun kalıba yapışmasını önlemek üzere, doldurma öncesinde, kalıp iç yüzeyi çimento ile etkileşmeyen kalıp ayırıcı bir malzeme ile ince bir tabaka halinde kaplanmıştır. Şişlenerek sıkıştırılan taze beton, sarsma tablasında mekanik titreşim yoluyla kalıplara yerleştirilmiştir. Örnekler, ilk 24 saatte örtülerek muhafaza edilmiş, 24 saat sonra kalıptan çıkartılarak deney gününe kadar suda kürlenmiştir. Deney gününde sabah sudan çıkarılan numunelerin deneyleri öğleden sonra yapılmıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlar, laboratuvar koşullarında (20°C, % 65 bağıl nemli ortamda) sudan çıkartılarak beklemiş olan “tam kurumuş olmasını bekleyemeyeceğimiz” örneklerin sonuçlarıdır. Dolayısıyla sonuçların bu husus dikkate alınarak değerlendirilmesi yapılmıştır ve yapılmalıdır. Numunelerin kodlanmasında, grupların sınırlılığı ve değişkenin agregası fazına bağlı olarak tekilliği dikkate alınarak daha ifadeci olacağı düşünülen 6 serinin alt kodlamaları yapılmıştır. Burada 1 numaralı seri referans karışım, 2, 3, 4 ve 5 numaralı seriler sırasıyla iri agregası fazının geri kazanılmış iri agregasıyla “ağırlıkça” % 25, % 50, % 75 ve % 100 oranında değiştirildiği karışımlar ve 6 numaralı seri de ince ve iri agreganın tümüyle değiştirildiği karışımdır.

Numuneler (X-X-X-X) şeklinde kodlanmıştır. Burada ilk simge grubu karışımdaki agrega fazının niteliğini, ikinci simge grubu bu agreganın karışımda bulunma yüzdesi, üçüncü simge grubu numunenin tabi tutulduğu deneyin türü ve numunenin yaşı, dördüncü simge grubu ise numune numarasını göstermektedir. Örneğin, GKİA-75-E3-2 kodlamasında “GKİA” geri kazanılmış iri agregayı, “75” bu agreganın karışımda ağırlıkça bulunma yüzdesini, “E3” elastisite modülünü belirleme için deformasyon ölçüm deneyini ve numunenin dökümden 3 gün sonra deneye tabi tutulduğunu, “2” ise deney için dökülen 3 adet benzer numuneden ikincisini ifade etmektedir. Bahsi geçen kodlamanın tamamı, aşağıdaki çizelgede görülmektedir (Çizelge 3.13).

Çizelge 3.13 : Numune kodlaması.

Gruplar	Gün			
	3	7	14	28
Seri 1	DA-100-B3-(N.No)	DA-100-B7-(N.No)	DA-100-B14-(N.No)	DA-100-B28-(N.No)
Seri 2	GKİA-25-B3-(N.No)	GKİA-25-B7-(N.No)	GKİA-25-B14-(N.No)	GKİA-25-B28-(N.No)
Seri 3	GKİA-50-B3-(N.No)	GKİA-50-B7-(N.No)	GKİA-50-B14-(N.No)	GKİA-50-B28-(N.No)
Seri 4	GKİA-75-B3-(N.No)	GKİA-75-B7-(N.No)	GKİA-75-B14-(N.No)	GKİA-75-B28-(N.No)
Seri 5	GKİA-100-B3-(N.No)	GKİA-100-B7-(N.No)	GKİA-100-B14-(N.No)	GKİA-100-B28-(N.No)
Seri 6	GKA-100-B3-(N.No)	GKA-100-B7-(N.No)	GKA-100-B14-(N.No)	GKA-100-B28-(N.No)
Seri 1	DA-100-YÇ3-(N.No)	DA-100-YÇ7-(N.No)	DA-100-YÇ14-(N.No)	DA-100-YÇ28-(N.No)
Seri 2	GKİA-25-YÇ3-(N.No)	GKİA-25-YÇ7-(N.No)	GKİA-25-YÇ14-(N.No)	GKİA-25-YÇ28-(N.No)
Seri 3	GKİA-50-YÇ3-(N.No)	GKİA-50-YÇ7-(N.No)	GKİA-50-YÇ14-(N.No)	GKİA-50-YÇ28-(N.No)
Seri 4	GKİA-75-YÇ3-(N.No)	GKİA-75-YÇ7-(N.No)	GKİA-75-YÇ14-(N.No)	GKİA-75-YÇ28-(N.No)
Seri 5	GKİA-100-YÇ3-(N.No)	GKİA-100-YÇ7-(N.No)	GKİA-100-YÇ14-(N.No)	GKİA-100-YÇ28-(N.No)
Seri 6	GKA-100-YÇ3-(N.No)	GKA-100-YÇ7-(N.No)	GKA-100-YÇ14-(N.No)	GKA-100-YÇ28-(N.No)
Seri 1	DA-100-E3-(N.No)	DA-100-E7-(N.No)	DA-100-E14-(N.No)	DA-100-E28-(N.No)
Seri 2	GKİA-25-E3-(N.No)	GKİA-25-E7-(N.No)	GKİA-25-E14-(N.No)	GKİA-25-E28-(N.No)
Seri 3	GKİA-50-E3-(N.No)	GKİA-50-E7-(N.No)	GKİA-50-E14-(N.No)	GKİA-50-E28-(N.No)
Seri 4	GKİA-75-E3-(N.No)	GKİA-75-E7-(N.No)	GKİA-75-E14-(N.No)	GKİA-75-E28-(N.No)
Seri 5	GKİA-100-E3-(N.No)	GKİA-100-E7-(N.No)	GKİA-100-E14-(N.No)	GKİA-100-E28-(N.No)
Seri 6	GKA-100-E3-(N.No)	GKA-100-E7-(N.No)	GKA-100-E14-(N.No)	GKA-100-E28-(N.No)

DA : Doğal Agregası (İri+İnce)

GKİA : Geri Kazanılmış İri Agregası (Geri kalanı doğal agregası)

GKA : Geri Kazanılmış Agregası (İri+İnce)

B : Basınç Dayanımı

YÇ : Yarmada Çekme

E : Elastisite Modülü

Şekil 3.12’de beton karışım örneği görülmektedir. Şekil 3.13’te kalıba yerleştirilmiş ve yüzeyi düzeltilmiş taze beton numuneler yer almaktadır. Şekil 3.14’te taze beton örnekleri görülmektedir. Şekil 3.15’te silindir ve küp numuneler basınç, yarmada çekme ve statik elastisite modülünü belirlemek için deformasyon ölçüm deneylerinde kullanılmıştır.



Şekil 3.12 : Beton karışımının hazırlanması.



Şekil 3.13 : Betonun sarsma tablasında mekanik titreşim yoluyla kalıplara yerleştirilmesi.



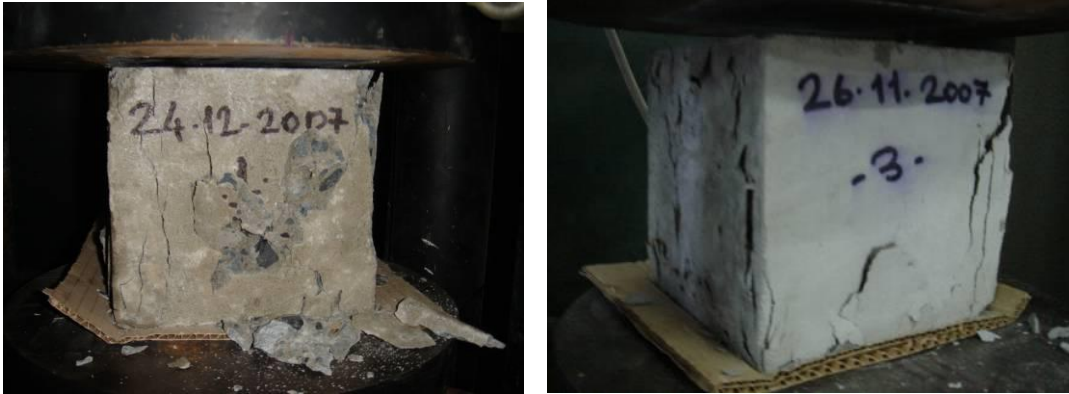
Şekil 3.14 : Taze beton örnekleri.



Şekil 3.15 : Sertleşmiş beton numuneler.

3.4 Mekanik ve Temel Fiziksel Özellikleri Belirleme Deneyleri

Çalışmada üretilen karışımlar üzerinde taze beton özelliklerini belirlemek amacıyla çökme ve taze beton birim hacim ağırlığı; sertleşmiş beton özelliklerini belirlemek üzere 3., 7., 14., ve 28. günlerde birim hacim ağırlık, basınç ve yarmada çekme dayanımları ve elastisite modülünü belirlemeye yönelik deneyler yapılmıştır. Mekanik deneyler için 15x15x15 cm boyutlarında küp numuneler ve Ø15x30 cm boyutlarında silindirler üretilmiştir. Standart küpler üzerinde basınç dayanımı belirleme deneyleri, silindir numuneler üzerinde yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü belirleme deneyleri 3., 7., 14., 28. günlerde ölçümler yapılarak yürütülmüştür. Numuneler üçerli gruplar halinde karıştırılarak kalıplara dökülmüş, sarsma tablasında sarsılmış, ölçüm gününe kadar suda kürlenmiştir. Şekil 3.16'da yapılan basınç dayanımı tayini deneylerinden, Şekil 3.17'de yarmada çekme dayanımı tayini deneylerinden, Şekil 3.18'de elastisite modülü tayini için deformasyon ölçüm deneylerinden örnek fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 3.16 : Basınç dayanımı tayini deneyi.



Şekil 3.17 : Yarmada çekme dayanımı tayini deneyi.



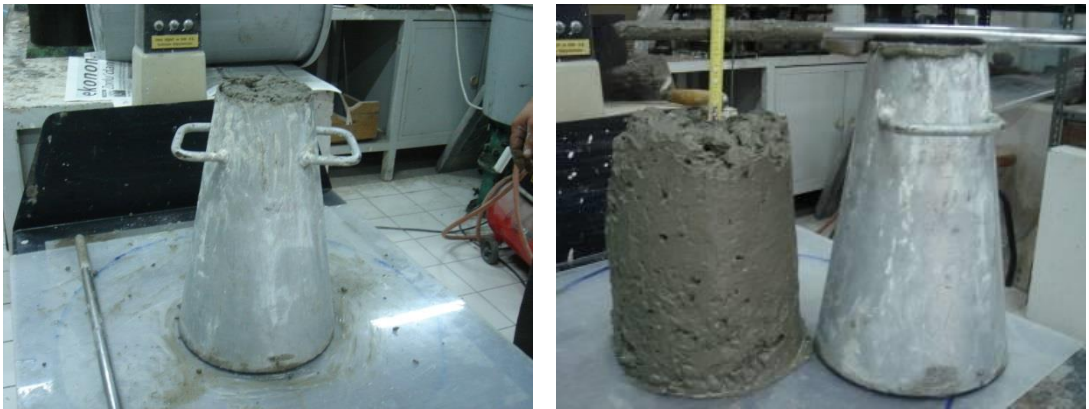
Şekil 3.18 : Elastisite modülü tayini için deformasyon ölçüm deneyi.

3.4.1 Taze Beton Deneyleri

Deneysel çalışmada, taze beton kıvamını tayin etmek amacıyla çökme deneyi ve sıkıştırılmış taze betonun birim hacim ağırlığını tayin etmek amacıyla da birim hacim ağırlık deneyi yapılmıştır.

3.4.1.1 Çökme deneyi

TS EN 12350-2 Çökme Deneyi standardına göre yapılmıştır. Taze beton, kesik huni şekilli kalıp içerisine sıkıştırılarak doldurulmuş; kalıbın yukarı doğru çekilerek alınmasından sonra, taze beton kütleindeki çökme mesafesi, betonun kıvam ölçüsü olarak kullanılmıştır (Şekil 3.19). Taze beton çökme değerleri Çizelge 3.14'teki gibi bulunmuştur.



Şekil 3.19 : Çökme deneyi.

Çizelge 3.14 : Taze beton çökme değerleri.

Seri No	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Seri 4	Seri 5	Seri 6
Çökme [mm]	70	60	35	5	0	0

3.4.1.2 Taze beton birim hacim ağırlık tayini

TS EN 12350-6 Taze Beton Deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk standardına göre yapılmıştır. Taze beton, hacmi ve kütlesi bilinen, rijit ve sızdırmaz küp ve silindir kalıplar içerisine sıkıştırılarak yerleştirilmiş ve daha sonra tartılmıştır. Taze beton birim hacim ağırlık değerleri, Eşitlik (3.3)'e göre hesaplanarak Çizelge 3.15'teki gibi bulunmuştur.

$$\Delta_T = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (3.3)$$

Δ_T : Taze betonun birim hacim ağırlığı, kg/m³

m_1 : Kabın kütlesi, kg

m_2 : Kabın, içindeki beton numune ile birlikte toplam kütlesi, kg

V : Kabın hacmi, m³

Çizelge 3.15 : Taze beton birim hacim ağırlıkları.

Seri No	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Seri 4	Seri 5	Seri 6
Taze Birim Ağırlık [gr/cm ³]	2.42	2.37	2.36	2.35	2.32	2.17

Şekil 3.20'de taze beton örnekleri ile ilgili olarak betonun kalıplara yerleştirilmesi, sarsma tablasında titreştirilmesi, kalıba yerleşmiş numunelerin yüzeyinin düzeltilmesine ilişkin fotoğraflar yer almaktadır.



Şekil 3.20 : Taze beton ile ilgili fotoğraflar.

3.4.2 Sertleşmiş Beton Deneyleri

Çalışmada üretilen beton karışımlarına ait, sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlık tayini ve hedeflenen yaşlardaki basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve statik elastisite modülünün tayini için deneyler yapılmıştır.

3.4.2.1 Birim hacim ağırlık tayini

Sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlıkları, TS EN 12390-7 Sertleşmiş Betonun Yoğunluğunun Tayini deney standardına uygun olarak belirlenmiştir. Sertleşmiş beton numunelerin kütlesi ve hacmi tayin edilerek belirlenen birim hacim ağırlıklarının deneysel çalışmadaki 6 seri karışım için ortalamaları alınmıştır. Sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri Çizelge 3.16'daki gibi bulunmuştur.

Çizelge 3.16 : Sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlıkları.

Seri No	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Seri 4	Seri 5	Seri 6
Birim ağırlık [gr/cm^3]	2.40	2.36	2.35	2.32	2.3	2.16

3.4.2.2 Basınç dayanımı tayini

Basınç deneyleri, 15x15x15 cm'lik standart küp numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Deneyler 3., 7., 14., 28. günlerde yapılmıştır. Numuneler, deneyin yapılacağı güne kadar suda bekletilmiştir. Deney tarihinde sabah sudan çıkarılan numuneler, öğleden sonra tek eksenli basınç deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler, TS EN 12390-3 Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinde Basınç Dayanımının Tayini standardına göre yapılmıştır. Basınç dayanımı değerleri Eşitlik (3.4) kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.17'da tüm serilerin basınç dayanımları verilmektedir.

$$f_c = \frac{F}{A_c} \quad (3.4)$$

f_c : Basınç dayanımı, MPa (N/mm²)

F : Kırılma anında ulaşılan en büyük yük, N

A_c : Numunenin, üzerine basınç yükünün uygulandığı en kesit alanı, mm²

Çizelge 3.17 : Basınç dayanımı değerleri.

Seri No	Agrega Bileşimi		Basınç Dayanımı [MPa]			
	İri Agreg	İnce Agreg	3 Gün	7 Gün	14 Gün	28 Gün
Seri 1	% 100 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	34.40	36.51	44.60	48.07
Seri 2	% 25 geri kazanılmış iri agreg + % 75 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	33.68	43.67	50.88	54.32
Seri 3	% 50 geri kazanılmış iri agreg + % 50 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	39.39	47.89	49.43	54.80
Seri 4	% 75 geri kazanılmış iri agreg + % 25 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	41.47	45.88	53.38	55.53
Seri 5	% 100 geri kazanılmış iri agreg	%100 doğal ince agreg	40.23	48.81	56.69	56.70
Seri 6	% 100 geri kazanılmış iri agreg	%100 geri kazanılmış ince agreg	30.92	34.13	34.36	46.67

Basınç dayanımı tayini Form-Test Seidner marka 300 ton basınç kapasiteli universal deney aletinde yapılmıştır (Şekil 3.21).



Şekil 3.21 : Basınç ve yarmada çekme deneylerinin yapıldığı Form-Test Seidner marka 300 ton basınç, 10 ton çekme kapasiteli universal deney aleti.

3.4.2.3 Yarmada çekme dayanımı tayini

Yarmada çekme dayanımını tayin etmek için deneyler, Ø15x30 cm'lik standart silindir numuneler üzerinde ve 3., 7., 14., 28. günlerde yapılmıştır. Deneyin yapılacağı güne kadar suda bekletilen ve deney gününde sabah sudan çıkarılan numuneler, öğleden sonra yarma deneyine tabi tutulmuştur. Deneyler, TS EN 12390-6: Sertleşmiş Beton Deneyleri-Yarmada Çekme Dayanımının Tayini standardına göre yapılmıştır. Yarmada çekme dayanımı değerleri Eşitlik (3.5) kullanılarak hesaplanmıştır. Çizelge 3.18'de tüm serilerin yarmada çekme dayanımı değerleri görülmektedir.

$$f_{ct} = \frac{2 \times F}{l \times L \times d} \quad (3.5)$$

f_{ct} : Yarmada çekme dayanımı, MPa (N/mm²)

F : En büyük yük, N

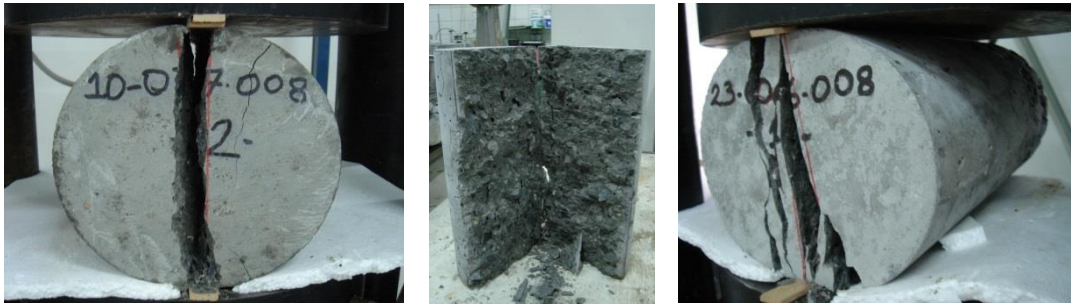
A_c : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d : Numunenin seçilen en kesit boyutu, mm

Çizelge 3.18 : Yarmada çekme dayanımı değerleri.

Seri No	Agrega Bileşimi		Yarmada Çekme Dayanımı [MPa]			
	İri Agreg	İnce Agreg	3 Gün	7 Gün	14 Gün	28 Gün
Seri 1	% 100 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	3.36	3.44	3.83	4.24
Seri 2	% 25 geri kazanılmış iri agreg + % 75 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	3.16	3.40	3.55	4.02
Seri 3	% 50 geri kazanılmış iri agreg + % 50 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	3.31	3.83	3.82	4.21
Seri 4	% 75 geri kazanılmış iri agreg + % 25 doğal iri agreg	%100 doğal ince agreg	3.50	3.93	3.41	4.54
Seri 5	% 100 geri kazanılmış iri agreg	%100 doğal ince agreg	3.42	3.70	4.02	4.64
Seri 6	% 100 geri kazanılmış iri agreg	%100 geri kazanılmış ince agreg	2.01	2.56	2.75	2.89

Yarmada çekme dayanımı tayini Form-Test Seidner marka 10 ton çekme kapasiteli universal deney aletinde yapılmıştır (Şekil 3.22). Şekil 3.22’de yarmada çekme dayanımı tayininde yarılmış silindir numuneler görülmektedir.



Şekil 3.22 : Yarmada çekme dayanımı tayini numunelerinden örnekler.

3.4.2.4 Elastisite modülü tayini

Deformasyon ölçümleri yoluyla statik elastisite modülünü tayin etmek için deneyler, TS 3502 Betonda Statik Elastisite Modülü ve Poisson Oranı Tayini standardına göre, Ø15x30 cm’lik standart silindir numuneler üzerinde ve 3., 7., 14., 28. günlerde yapılmıştır. Deneyin yapılacağı güne kadar suda bekletilen ve deney gününde sabah sudan çıkarılan numunelerin deformasyon ölçümleri öğleden sonra yapılmıştır.

Betonda statik elastisite modülü, beton deney numunelerinde elastik bölgede uygulanan kuvvetin oluşturduğu basınç gerilmelerinin numunelerde meydana getirdiği boyuna birim kısaltmaya oranıdır (E). Bu oran elastik bölgede çizilen gerilme deformasyon (birim boy değişimi) doğrusunun eğiminden belirlenir. Burada, statik elastisite modülü, elastisite modülü olarak ifade edilmiştir.

Bu çalışmada birim deformasyon değerleri, 0.001 hassasiyette okunmuştur. Elastisite modülü, gerilme-deformasyon eğrisi yardımıyla, gerilme-birim deformasyon diyagramında başlangıçtan numune dayanımının 1/3'üne (yaklaşık %35'ine) kadar olan bölgede (elastik bölgede) bulunan noktalara bilgisayar programıyla uygulanan en küçük kareler yöntemiyle uydurulan en uygun doğrunun eğimi hesaplanarak saptanmıştır. Geçirilen en uygun doğrunun eğimi elastisite modülünü gösterir. Ek A'da her numune için ölçülen deformasyon değerleri, silindir basınç dayanımları ve gerilme-deformasyon eğrisinden hesaplanan statik elastisite modülleri yer almaktadır. Şekil 3.23'de deformasyon ölçüm deneylerinden örnekler görülmektedir. Çizelge 3.19'da tüm serilerin statik elastisite modülü değerleri görülmektedir.



Şekil 3.23 : Deformasyon ölçüm deneylerinden örnekler.

Çizelge 3.19 : Statik elastisite modülü değerleri.

Seri No	Agrega Bileşimi		Elastisite Modülü [GPa]			
	İri Agreg	İnce Agreg	3 Gün	7 Gün	14 Gün	28 Gün
Seri 1	% 100 doğal iri agrega	%100 doğal ince agrega	25.64	26.51	28.21	33.98
Seri 2	% 25 geri kazanılmış iri agrega + % 75 doğal iri agrega	%100 doğal ince agrega	11.35	12.15	14.02	14.53
Seri 3	% 50 geri kazanılmış iri agrega + % 50 doğal iri agrega	%100 doğal ince agrega	11.52	11.78	12.91	14.69
Seri 4	% 75 geri kazanılmış iri agrega + % 25 doğal iri agrega	%100 doğal ince agrega	13.39	16.75	13.44	14.80
Seri 5	% 100 geri kazanılmış iri agrega	%100 doğal ince agrega	14.73	17.14	15.20	14.88
Seri 6	% 100 geri kazanılmış iri agrega	%100 geri kazanılmış ince agrega	12.36	11.27	12.50	12.65

Şekil 24’de silindir numunelerin kırılma şekillerinden örnekler görülmektedir.



Şekil 3.24 : Kırılmış silindir numunelerden örnekler.

3.4.3 Deney Sonuçları

Tüm deneysel çalışmada elde edilen sonuçlar, Çizelge 3.20’de toplu olarak verilmektedir.

Çizelge 3.20 : Tüm deney sonuçları.

Numune Kodu	Çökme Değeri [mm]	Taze Beton Birim Hacim Ağırlık Δ_T [gr/cm ³]	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık Δ_S [gr/cm ³]	Elastisite Modülü, E_c [MPa]								Basınç Dayanımı, f_c [MPa]								Yarmada Çekme Dayanımı, f_t [MPa]							
				3 gün		7 gün		14 gün		28 gün		3 gün		7 gün		14 gün		28 gün		3 gün		7 gün		14 gün		28 gün	
DA-100-XX *-1	70	2.42	2.40	26 826	25 640	26 335	26 512	29 130	28 205	47 555	33 976	33.96	34.40	32.15	36.51	45.01	44.60	47.95	48.07	3.53	3.36	3.38	3.44	3.53	3.83	4.17	4.24
DA-100-XX-2				21 509		25 411		28 922		35 270		33.88		37.83		43.40		48.34		3.28		3.12		4.00		4.22	
DA-100-XX-3				28 586		27 792		26 563		19 103		35.37		39.56		45.40		47.93		3.27		3.83		3.97		4.33	
GKİA-25-XX-1	60	2.37	2.36	9 812	11 345	11 120	12 148	13 051	14 015	14 909	14 526	30.23	33.66	44.65	43.67	51.61	50.88	54.83	54.32	3.10	3.16	3.65	3.40	3.52	3.55	4.09	4.02
GKİA-25-XX-2				14 110		11 765		14 808		15 996		35.34		41.50		49.98		50.85		3.41		3.29		3.73		3.99	
GKİA-25-XX-3				10 114		13 559		14 187		12 674		35.42		44.84		51.04		57.27		2.99		3.26		3.41		3.99	
GKİA-50-XX-1	35	2.36	2.35	11 563	11 520	13 141	11 783	11 413	12 911	16 401	14 691	40.06	39.39	52.36	47.89	46.54	49.43	54.57	54.78	3.53	3.31	4.52	3.83	3.66	3.82	4.79	4.21
GKİA-50-XX-2				11 477		10 004		14 160		13 635		37.88		46.45		50.22		53.99		3.28		2.85		4.27		3.86	
GKİA-50-XX-3				-		12 205		13 159		14 037		40.24		44.86		51.54		55.77		3.13		4.11		3.53		3.98	
GKİA-75-XX-1	5	2.35	2.32	13 260	13 394	17 103	16 749	15 008	13 441	16 169	14 802	41.66	41.48	46.88	45.88	52.85	53.38	56.81	55.53	3.10	3.50	4.52	3.93	3.25	3.41	3.95	4.54
GKİA-75-XX-2				11 313		17 880		11 422		15 053		41.15		47.79		53.75		55.88		3.57		3.86		3.43		4.71	
GKİA-75-XX-3				15 610		15 264		13 905		13 184		41.61		42.97		53.55		53.90		3.82		3.42		3.54		4.95	
GKİA-100-XX-1	0	2.32	2.30	13 520	14 727	16 520	17 136	14 030	15 196	14 688	14 882	41.84	40.23	52.11	48.81	54.86	56.69	57.99	56.70	3.42	3.42	3.85	3.70	4.24	4.02	4.55	4.65
GKİA-100-XX-2				16 017		12 955		17 292		15 495		41.02		48.29		57.60		55.09		3.14		3.71		4.25		4.57	
GKİA-100-XX-3				14 645		21 935		14 266		14 465		37.81		46.03		57.60		57.02		3.69		3.54		3.57		4.83	
GKA-100-XX-1	0	2.17	2.16	13 547	12 356	10 514	11 272	11 750	12 500	12 626	12 649	31.76	30.92	30.84	34.13	36.54	34.36	45.06	46.67	2.14	2.01	2.43	2.57	3.27	2.75	2.99	2.89
GKA-100-XX-2				11 982		10 444		14 087		12 279		30.44		35.34		33.04		45.50		2.28		2.57		2.29		2.56	
GKA-100-XX-3				11 539		12 860		11 661		13 043		30.55		36.21		33.51		49.45		1.63		2.70		2.70		3.12	

* XX : Deney türü ve yaşı

4. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

Bu çalışmada, atık betonların geri kazanılmış agregaya olarak yeni beton üretiminde kullanımı araştırılmıştır. Bu amaçla yüksek dayanımlı beton prefabrikasyon atıkları agregaya haline getirilmiş ve yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Kırılmış beton, yeni beton üretiminde belli oranlarda geri kazanılmış iri agregaya olarak doğal iri agregaya yerine ikame edilerek değerlendirilmiştir.

Geri kazanılmış agregaya ikame oranları değişen beton serilerinin taze beton özelliklerinden çökme ve taze beton birim hacim ağırlık değerlerine bağlı değerlendirilmesi yapılmıştır. Çökme değerleri ile basınç dayanımı değerleri arasındaki ilişki ve çökme değerlerinin su/çimento oranlarına bağlı değişimi irdelenmiştir.

Tüm seriler için sertleşmiş beton numunelerin birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili değerlendirme yapılmıştır. Sertleşmiş beton birim hacim ağırlıkları ile basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü arasındaki ilişkiler irdelenmiştir. 3., 7., 14. ve 28. günlerde ölçülen basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı ve elastisite modülü değerlerinin zamana bağlı değişimleri değerlendirilmiştir.

Tüm seriler için günlere göre değişen basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı ilişkisi ve basınç dayanımı ile elastisite modülü ilişkisi irdelenmiştir.

Uniform kalitede bir geri kazanılmış agregaya (prefabrikasyon atığı) kullanıldığında, karışımlar arası değişkenlikler normal betonlar gibi olmaktadır. Geri kazanılmış iri agregaya ve doğal ince agregaya ile üretilen betonların, basınç ve yarmada çekme dayanımı bakımından arzu edilen sonuçları sağlamıştır.

İşlenebilirlik açısından geri kazanılmış iri agregaya yüzdesi arttıkça daha kuru kıvamlı bir beton elde edilmiştir.

Geri kazanılmış agregalı betonların elastisite modüllerinin normal betonlara göre oldukça düşük olduğu sonucu açıkça görülmektedir.

Referans betonunun karışım tasarımında çökme değeri 5-7 cm olarak hedeflenmiştir. Geri kazanılmış agreganın miktarı arttıkça çökme değeri azalmış, işlenebilirlik azalmıştır. %75 ve % 100 geri kazanılmış iri agreganın + % 100 doğal ince agreganın karışımı ile ve tamamen geri kazanılmış agreganın ile hazırlanan beton karışımlarında çökme değeri sıfıra ulaşmıştır; kuru kıvamlı bir beton elde edilmiştir.

Üretilen geri kazanılmış agregalı betonlarda, basınç dayanımı ile su/çimento oranı arasında normal betonlarda olduğu gibi bir ilişki söz konusudur.

Geri kazanılmış agregalı betonlarda, yarmada çekme dayanımı/basınç dayanımı oranları normal betonlara göre biraz düşüktür.

4.1 Taze Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Taze beton özellikleri ile ilgili olarak tüm serilerin ölçülen çökme değerleri ile hesaplanan efektif su/çimento oranları ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

4.1.1 Çökme değerleri ile ilgili değerlendirmeler

Geri kazanılmış agreganın miktarı arttıkça çökme miktarının düştüğü gözlenmiştir. Beton karışım tasarımında hedeflenen 5-7 cm çökme miktarı, karışımda 7 cm olarak gerçekleşmiştir. Karışımdaki iri agreganın yerine artan oranlarda geri kazanılmış iri agreganın kullanıldığında ve son seride iri ve ince agreganın tamamı geri kazanılmış agreganın ile değiştirildiğinde çökme miktarının azaldığı ve sıfıra ulaştığı görülmüştür (Çizelge 4.1).

Çizelge 4.1 : Tüm serilerin geri kazanılmış agreganın oranları ve çökme değerleri..

Seri No	Seri 1	Seri 2	Seri 3	Seri 4	Seri 5	Seri 6
Çökme Değeri [mm]	70	60	35	5	0	0
Geri Kazanılmış İri Agreganın [%]	0	25	50	75	100	100
Geri Kazanılmış İnce Agreganın [%]	0	0	0	0	0	100

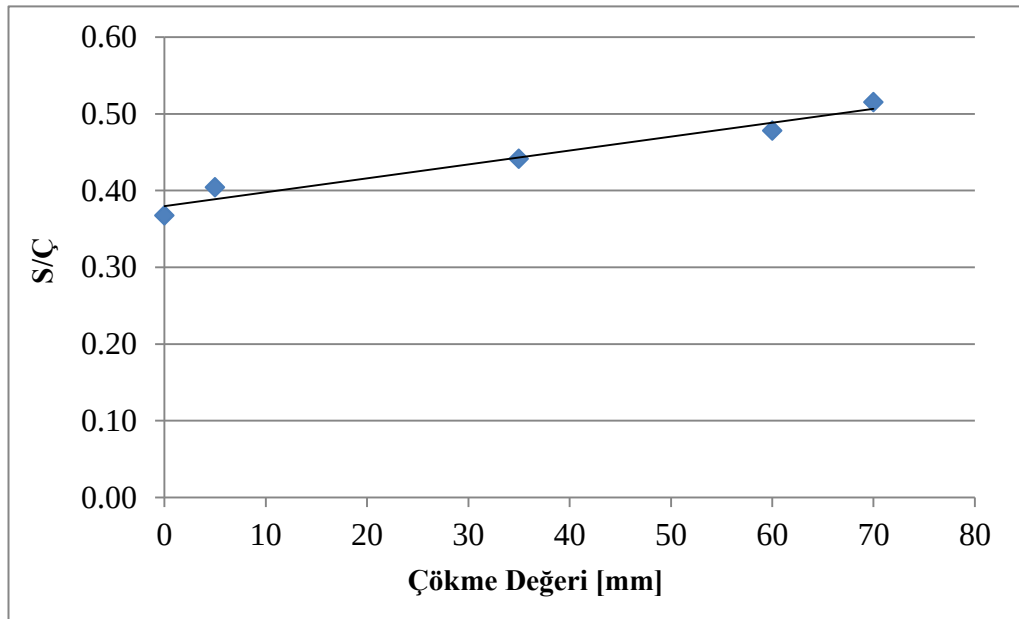
Beton karışımındaki su miktarının sabit olmasından dolayı, artan geri kazanılmış agreganın miktarına bağlı olarak her seri karışımda, geri kazanılmış agreganın emdiği su miktarı kadar karışım suyu miktarının azaldığı ve taze betonun çökme miktarının

azaldığı belirlenmiştir. İşlenebilirlik giderek azalmış, daha kuru kıvamlı beton elde edilmiştir.

Geri kazanılmış iri agrega oranı arttıkça, su ilave edilmemesi ve geri kazanılmış agreganın su emmesi nedeniyle, su/çimento oranı ve buna bağlı olarak çökme değerleri azalmıştır. Çizelge 4.2’de referans betonu olan Seri 1’in ve geri kazanılmış iri agrega içeren beton karışımlarının çökme değerleri ve efektif su/çimento oranları görülmektedir. Tamamı geri kazanılmış agregadan üretilmiş 6. seri beton karışımı, efektif su/çimento oranı açısından düşük olması nedeniyle değerlendirmeye alınmamıştır.

Çizelge 4.2 : Serilerin su/çimento oranları ve çökme değerleri.

Seri No	Çökme Değeri [mm]	S/Ç
Seri 1	70	0,52
Seri 2	60	0,48
Seri 3	35	0,44
Seri 4	5	0,40
Seri 5	0	0,37



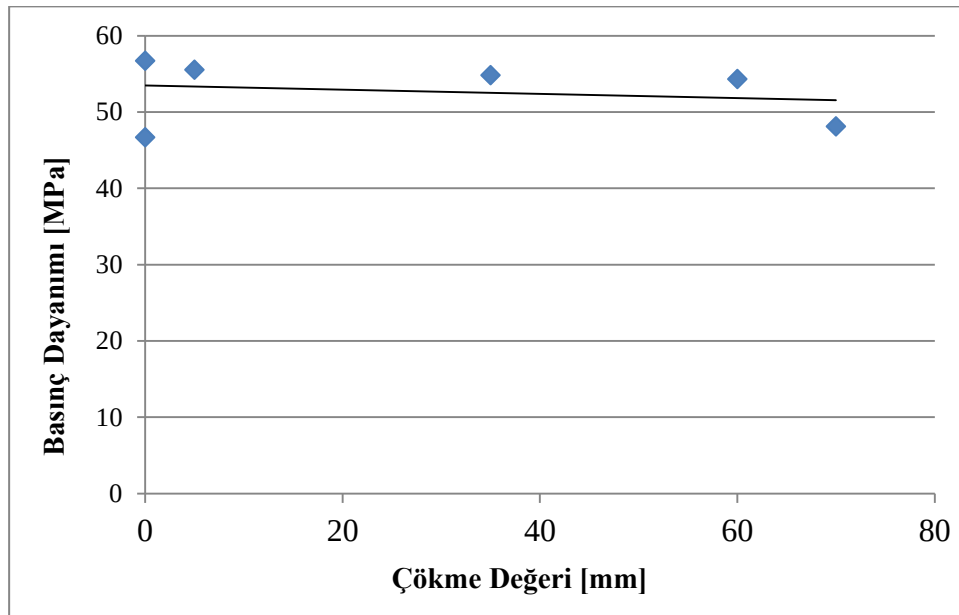
Şekil 4.1 : Seri 1-5'in su/çimento oranları ve çökme değerleri değişim grafiği.

Şekil 4.1’de görüldüğü gibi efektif su/çimento oranının azalmasıyla birlikte çökme değerleri düşmüştür. Çizelge 4.3’te tüm serilerin çökme miktarları ve 28 günlük basınç dayanımı değerleri verilmektedir.

Çizelge 4.3 : Tüm serilerin çökme ve basınç dayanımı değerleri.

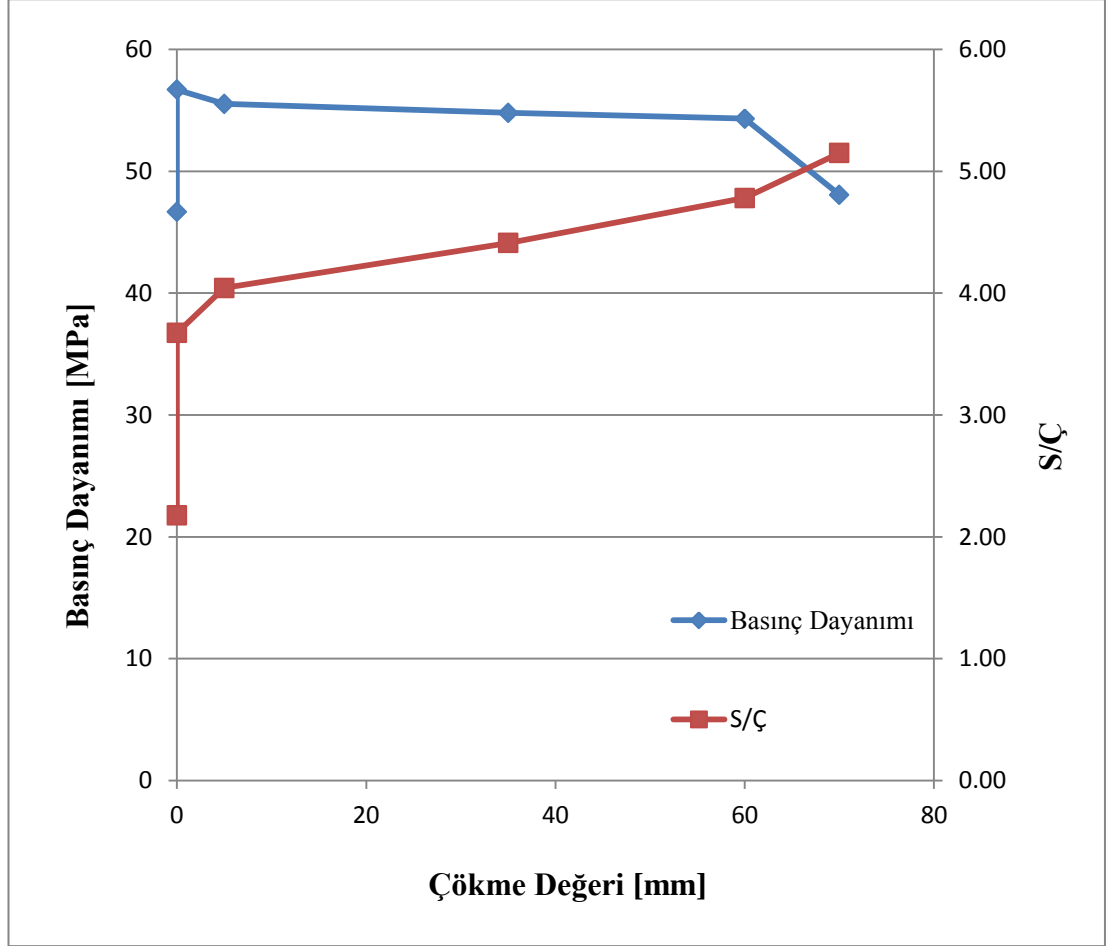
Seri No	Çökme Değeri [mm]	Basınç Dayanımı [MPa]
Seri 1	70	48.07
Seri 2	60	54.32
Seri 3	35	54.80
Seri 4	5	55.53
Seri 5	0	56.70
Seri 6	0	46.67

Şekil 4.2’de çalışmada üretilen 6 seri beton karışımının 28 günlük basınç dayanımının çökme değerlerine bağlı olarak değişimi görülmektedir. Çökme miktarının artan geri kazanılmış agrega ikame oranı arttıkça azaldığı ve karışımların basınç dayanımının arttığı görülmektedir. Basınç dayanımındaki artışın, geri kazanılmış agreganın ikame oranının artması ile karışım suyunun azalması sonucunda su/çimento oranının artmasına bağlı olduğu açıktır.



Şekil 4.2 : Tüm serilerin çökme değerleri ve 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.

Şekil 4.3’de tüm serilerin çökme miktarları, 28 günlük basınç dayanımı değerlerinin ve su/çimento oranlarının karşılaştırıldığı grafik verilmektedir. Grafikte, geri kazanılmış agreganın ikame oranı giderek artan beton karışımlarının su/çimento oranlarının azalması ve çökme değerinin düşmesi ile basınç dayanımlarının arttığı görülmektedir.



Şekil 4.3 : Tüm serilerin çökme, basınç dayanımı değerlerinin ve su/çimento oranlarının karşılaştırılması.

4.1.2 Taze beton birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili değerlendirmeler

Serilerin tamamında taze beton birim hacim ağırlığı 2.17 gr/cm^3 ile 2.42 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Üretilen betonlarda geri kazanılmış agreganın miktarı arttıkça taze beton birim hacim ağırlığı azalmıştır. TS EN 206-1 Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk standardına göre; etüv kurusu durumdaki yoğunluğu 2000 kg/m^3 ’ten büyük olup 2600 kg/m^3 ’ü geçmeyen betonlar, normal ağırlıklı beton sınıfına girmektedir. Bu çalışmada, beton karışımlarının tamamı normal ağırlıklı beton sınıfındadır.

Geri kazanılmış agregaların özgül ağırlığı, doğal agregaların özgül ağırlığından daha düşüktür. Bu nedenle, geri kazanılmış agregaya ilave edilen beton karışımlarının taze beton birim hacim ağırlığının doğal agregaya ile üretilen referans betonuna göre daha düşük olduğu görülmüştür.

4.2 Sertleşmiş Beton Özellikleri İle İlgili Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sertleşmiş beton özellikleri ile ilgili olarak çalışma kapsamında yapılan deneyler sonucunda ölçülen sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri ile basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı değerleri ve elastisite modülü değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sertleşmiş beton birim hacim ağırlıklarının değerlendirmesi yapılmış ve basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı, elastisite modülü değerlerinin zamana bağlı değişimleri incelenmiştir. Beton serilerinin 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile yarmada çekme dayanımı değerleri karşılaştırılmış; 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile elastisite modülü değerleri de karşılaştırılarak regresyon analizi yapılmış ve aralarındaki ilişki formülize edilmiştir.

4.2.1 Birim hacim ağırlık değerleri ile ilgili değerlendirmeler

Serilerin tamamında sertleşmiş beton birim hacim ağırlığı 2.16 gr/cm^3 ile 2.40 gr/cm^3 arasında değişmektedir. Geri kazanılmış agregaya miktarı arttıkça birim hacim ağırlık azalmıştır. TS EN 206-1 Beton – Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk standardına göre; etüv kurusu durumdaki yoğunluğu 2000 kg/m^3 'ten büyük olup 2600 kg/m^3 'ü geçmeyen betonlar, normal ağırlıklı beton sınıfına girmektedir. Bu çalışmada, beton karışımlarının tamamı normal ağırlıklı beton sınıfındadır.

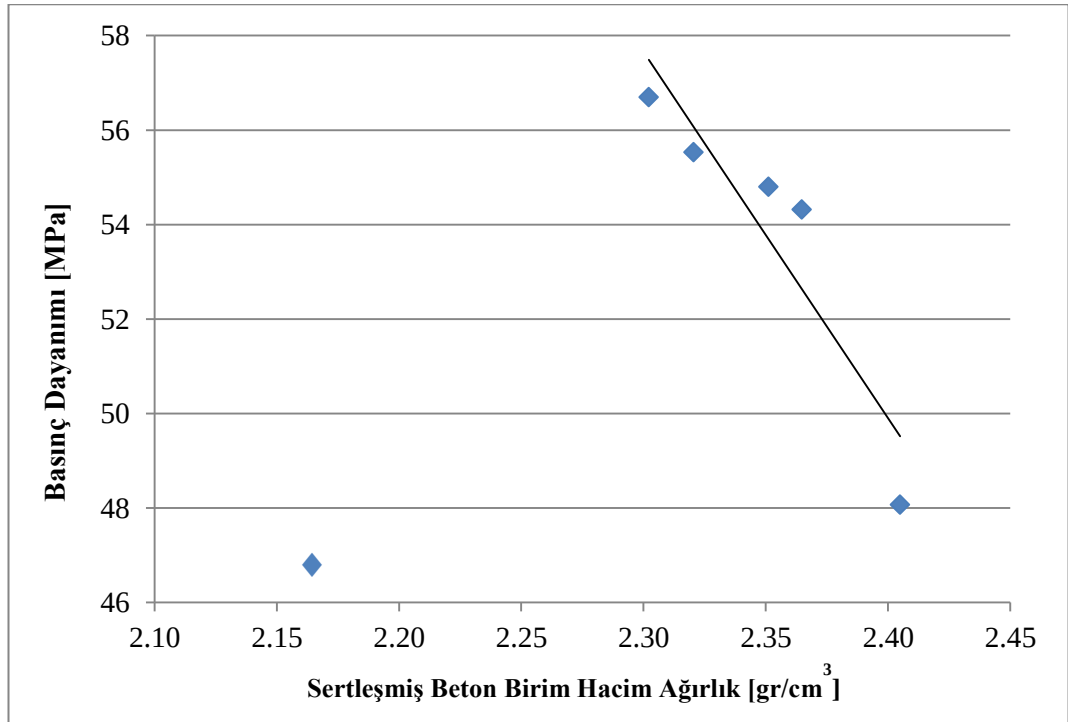
Doğal agregaya yerine giderek artan oranlarda geri kazanılmış agregaya konularak üretilen beton karışımlarının sertleşmiş beton birim hacim ağırlığının, doğal agregaya ile üretilen referans betonuna göre daha düşük olduğu görülmüştür. Özgül ağırlığı daha düşük olan geri kazanılmış agregaya kullanım miktarı arttıkça sertleşmiş beton karışımlarının birim hacim ağırlığı azalmıştır.

Tüm seriler için elde edilen sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri ile 28 günlük basınç dayanımı değerleri Çizelge 4.4'te verilmektedir.

Çizelge 4.4 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerleri.

Seri No	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık [gr/cm^3]	Basınç Dayanımı [MPa]
Seri 1	2.40	48.07
Seri 2	2.36	54.32
Seri 3	2.35	54.80
Seri 4	2.32	55.53
Seri 5	2.30	56.70
Seri 6	2.16	46.67

Şekil 4.4'te, üretilen beton serilerinde sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri azalırken basınç dayanımı değerlerinin arttığı görülmektedir. Tamamen geri kazanılmış agrega ile üretilen 6. seriye ait beton karışımında birim hacim ağırlık azalırken basınç dayanımının diğer karışımlardan daha az olduğu görülmüştür. Ayrı olarak değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle eğilime dahil edilmeden grafiğe konulmuştur.



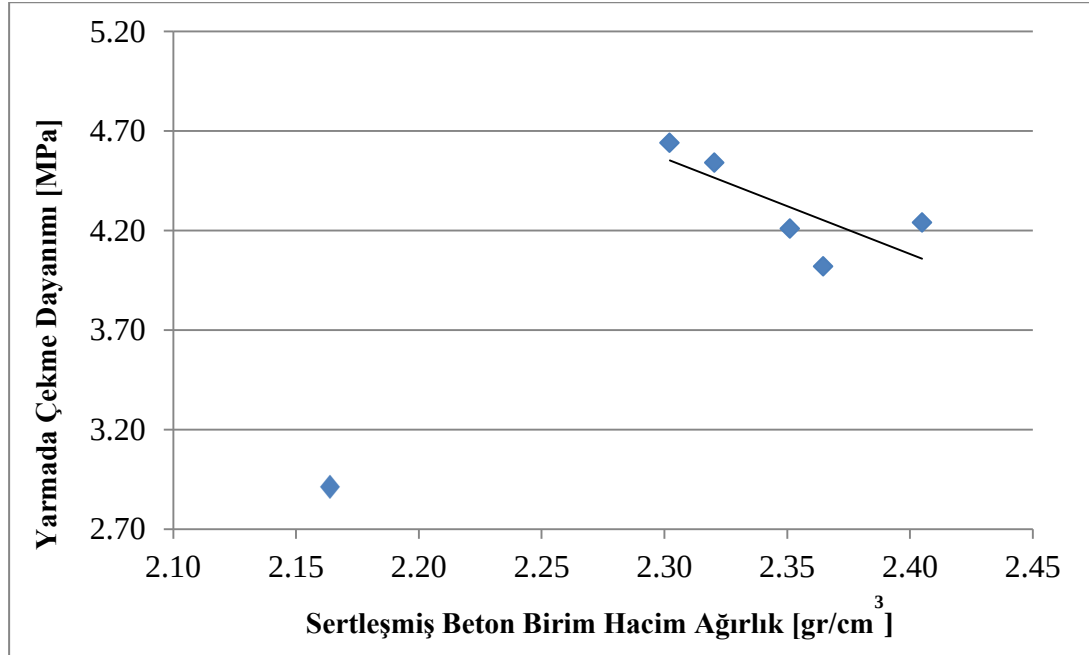
Şekil 4.4 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve basınç dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.

Tüm seriler için elde edilen sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri ile 28 günlük yarmada çekme dayanımı değerleri Çizelge 4.5'te verilmektedir.

Çizelge 4.5 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve yarmada çekme dayanımı değerleri.

Seri No	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık [gr/cm^3]	Yarmada Çekme Dayanımı [MPa]
Seri 1	2.40	4.24
Seri 2	2.36	4.02
Seri 3	2.35	4.21
Seri 4	2.32	4.54
Seri 5	2.30	4.64
Seri 6	2.16	2.89

Referans betonu olan Seri 1 ve geri kazanılmış iri agregası ikame edilerek üretilen Seri 2-5 betonlarında sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri azalırken yarmada çekme dayanımı değerlerinin arttığı Şekil 4.5'te görülmektedir. Geri kazanılmış iri ve ince agregası ile üretilen 6. seriye ait beton karışımında ise, birim hacim ağırlık azalırken yarmada çekme dayanımı değerinin de azaldığı görülmüştür. Bu nedenle Seri 6'ya ait değerler, bu grafikte de eğilime dahil edilmeden konulmuştur.



Şekil 4.5 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve yarmada çekme dayanımı değerlerinin karşılaştırılması.

Çalışmada üretilen tüm beton karışımları için sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri ile 28 günlük elastisite modülü değerleri Çizelge 4.6’da görülmektedir.

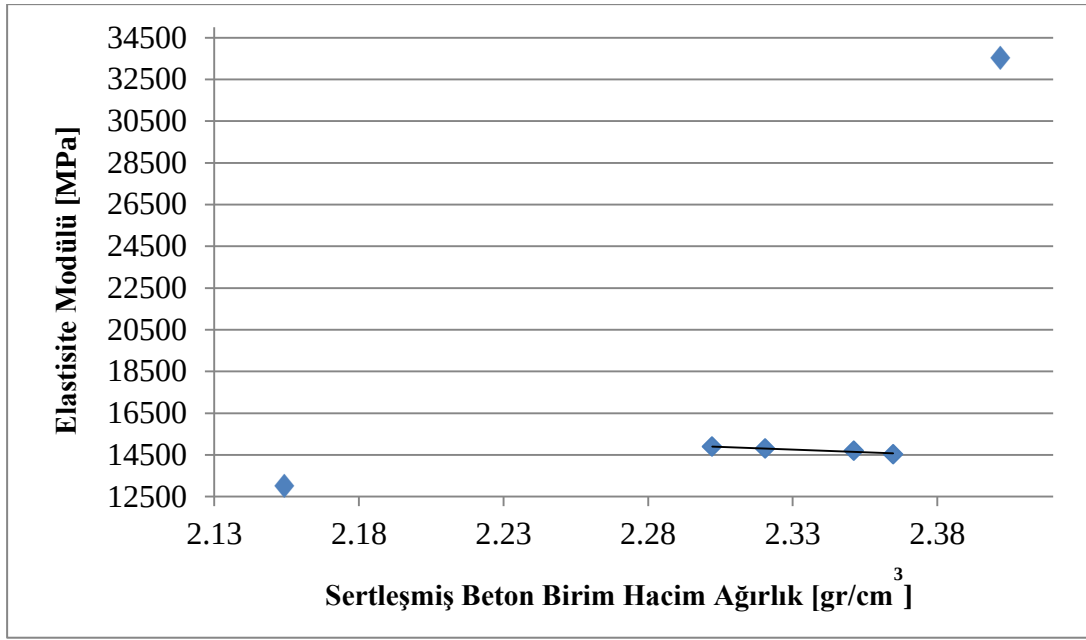
Çizelge 4.6 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve elastisite modülü değerleri.

Seri No	Sertleşmiş Beton Birim Hacim Ağırlık [gr/cm^3]	Elastisite Modülü [MPa]
Seri 1	2.40	33976
Seri 2	2.36	14526
Seri 3	2.35	14691
Seri 4	2.32	14802
Seri 5	2.30	14882
Seri 6	2.16	12649

Artan oranlarda geri kazanılmış agrega ikame edilerek üretilen Seri 2-5 betonlarının 28 günlük elastisite modülü değerleri, referans betonu olarak üretilen tamamen doğal agregalı Seri 1 betonunun elastisite modülü değerine göre düşük olarak bulunmuştur.

Geri kazanılmış iri agregalı Seri 2-5 betonlarının sertleşmiş beton birim hacim ağırlık değerleri azalırken elastisite modüllerinin artış gösterdiği, ancak bu artışın düşük seviyelerde olduğu görülmektedir (Şekil 4.6).

Seri 1’e ait referans betonunun birim hacim ağırlık değeri ile elastisite modülü değeri karşılaştırması açısından, geri kazanılmış iri agregalı betonların eğiliminin dışında tutularak ayrı değerlendirilmesi gerektiği düşünüldüğünden, eğilime dahil edilmeden grafiğe konulmuştur. Tamamen geri kazanılmış agrega ile üretilen 6. seriye ait beton karışımında ise, sertleşmiş beton birim hacim ağırlığı azalırken elastisite modülü değerinin de diğer karışımlardan daha az olduğu görülmüştür. Ayrı olarak değerlendirilmesi uygun görüldüğü için eğilime dahil edilmeden grafiğe yerleştirilmiştir.



Şekil 4.6 : Tüm serilerin sertleşmiş beton birim hacim ağırlık ve elastisite modülü değerlerinin karşılaştırılması.

4.2.2 Basınç dayanımı ile ilgili değerlendirmeler

Bu araştırmada yapılan deneysel çalışmada belirlenen basınç dayanımı değerleri, daha önceki bölümde basınç dayanımı tayini başlığı altında ve toplu deney sonuçları çizelgesinde verilmiştir (Şekil 4.4 ve Çizelge 4.4).

% 100 doğal ince agreg a ile hazırlanan tüm beton karışımlarında geri kazanılmış iri agreg a ikame yüzdesi arttıkça basınç dayanımının da arttığı sonucu çıkmıştır. Geri kazanılmış agreg aların su emme kapasitesi daha fazla olduğu için daha yüksek oranda katılan geri kazanılmış agreg a, karışım suyunun ve efektif su/çimento oranının azalmasına neden olmuştur. Bu da basınç dayanımında bir artış getirmiştir.

% 100 doğal agreg a kullanılarak üretilen referans betonlarının ortalama 7 günlük dayanımları 36.51 MPa ve 28 günlük dayanımları 48.07 MPa bulunmuştur.

% 25 geri kazanılmış iri agreg a + % 75 doğal iri agreg a + % 100 doğal ince agreg a kullanılarak üretilen betonların ortalama 7 günlük dayanımları 43.67 MPa ve 28 günlük dayanımları 54.32 MPa bulunmuştur.

% 50 geri kazanılmış iri agreg a + % 50 doğal iri agreg a + % 100 doğal ince agreg a kullanılarak üretilen betonların ortalama 7 günlük dayanımları 47.89 MPa ve 28 günlük dayanımları 54.80 MPa bulunmuştur.

% 75 geri kazanılmış iri agreg + % 25 doğal iri agreg + % 100 doğal ince agreg kullanılarak üretilen betonların ortalama 7 günlük dayanımları 45.88 MPa ve 28 günlük dayanımları 55.53 MPa bulunmuştur.

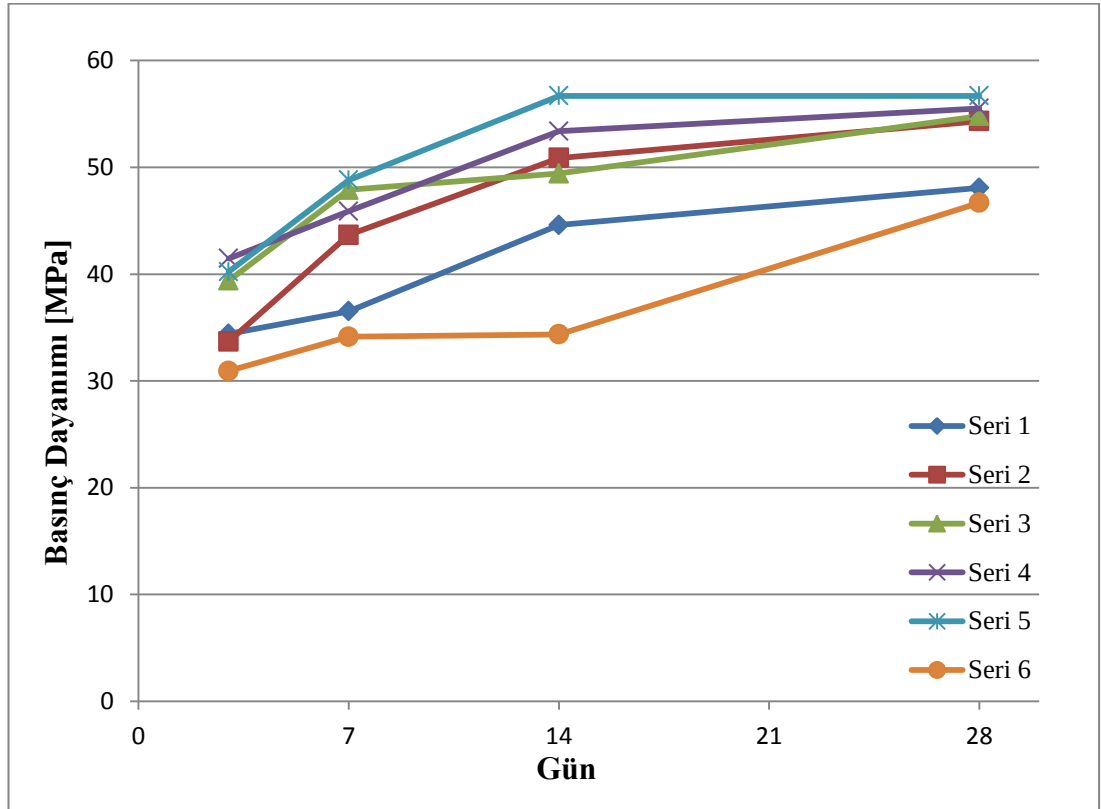
% 100 geri kazanılmış iri agreg + % 100 doğal ince agreg kullanılarak üretilen betonların ortalama 7 günlük dayanımları 48.81 MPa ve 28 günlük dayanımları 56.70 MPa bulunmuştur.

% 100 geri kazanılmış agreg kullanılarak üretilen betonların ortalama 7 günlük dayanımları 34.13 MPa ve 28 günlük dayanımları 46.67 MPa bulunmuştur.

En yüksek 28 günlük dayanım, % 100 geri kazanılmış iri agreg + % 100 doğal ince agreg kullanılarak üretilen betonlarda sağlanmıştır.

En düşük 28 günlük dayanım, % 100 geri kazanılmış agreg kullanılarak üretilen betonlarda elde edilmiştir.

Şekil 4.7’de tüm beton karışımlarının 28 günlük basınç dayanımlarının zamana bağlı değişim grafiği görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, basınç dayanımı artışı geri kazanılmış iri agregalı betonlarda doğal agregalı betona göre daha hızlı gerçekleşmektedir.



Şekil 4.7 : Tüm serilerin zamana bağlı basınç dayanımı değişimi.

4.2.3 Yarmada çekme dayanımı ile ilgili değerlendirmeler

Deneysel çalışmada belirlenen yarmada çekme dayanımı değerleri, daha önceki bölümde yarmada çekme dayanımı tayini başlığı altında ve toplu deney sonuçları çizelgesinde verilmiştir (Şekil 4.5 ve Çizelge 4.5).

% 100 doğal agrega kullanılarak üretilen referans betonlarının yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı 7 gün için 3.44 MPa ve 28 gün için 4.24 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranının ortalama % 9 ile sonuçlandığı görülmüştür.

% 25 geri kazanılmış iri agrega + % 75 doğal iri agrega + % 100 doğal ince agrega kullanılarak üretilen betonların yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı 7 gün için 3.40 MPa ve 28 gün için 4.02 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranı ortalama % 7 ile sonuçlanmıştır.

% 50 geri kazanılmış iri agrega + % 50 doğal iri agrega + % 100 doğal ince agrega kullanılarak üretilen betonların yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı ise 7 gün için 3.83 MPa ve 28 gün için 4.21 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranı ortalama % 8 ile sonuçlanmıştır.

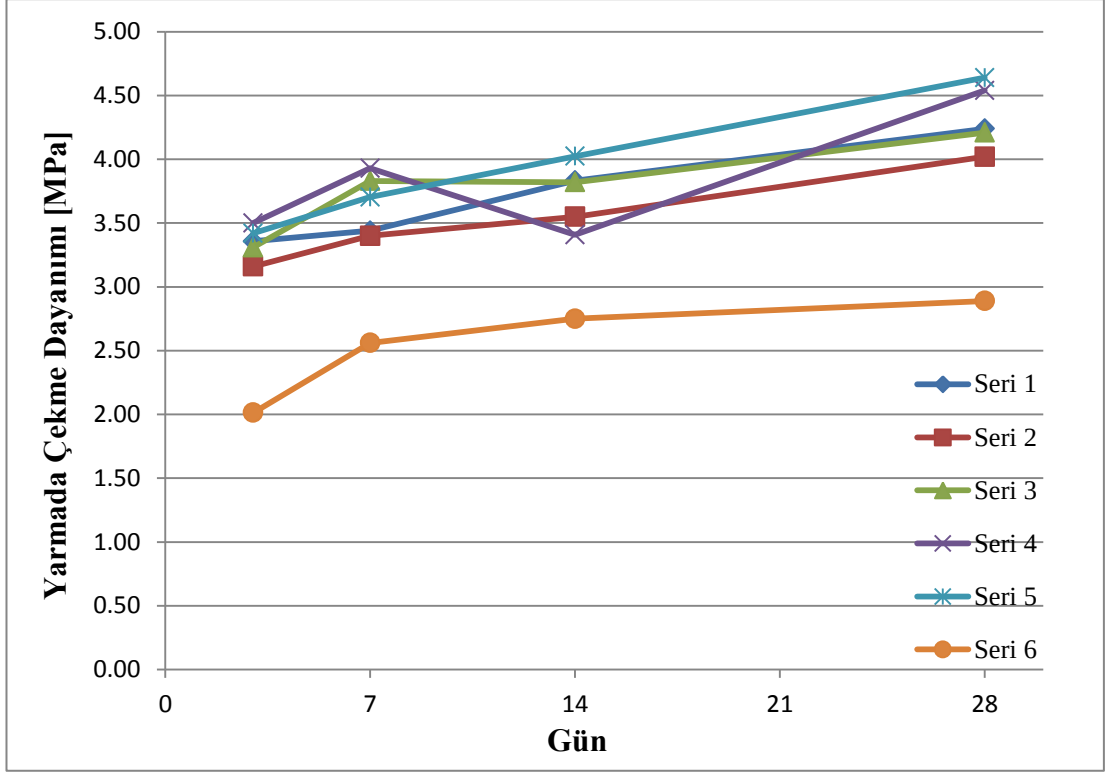
% 75 geri kazanılmış iri agrega + % 25 doğal iri agrega + % 100 doğal ince agrega kullanılarak üretilen betonların yarmada çekme deneyi sonucunda elde edilen çekme dayanımı ise 7 gün için 3.93 MPa ve 28 gün için 4.54 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranı ortalama % 8 ile sonuçlanmıştır.

% 100 geri kazanılmış iri agrega + % 100 doğal ince agrega kullanılarak üretilen betonların yarmada çekme dayanımı ise 7 gün için 3.70 MPa ve 28 gün için 4.64 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranı ortalama % 8 ile sonuçlanmıştır.

% 100 geri kazanılmış agrega kullanılarak üretilen betonların yarmada çekme dayanımı 7 gün için 2.56 MPa ve 28 gün için 2.89 MPa olup çekme/basınç dayanımı oranı ortalama % 6 ile sonuçlanmıştır.

Tüm seriler arasında en yüksek çekme dayanımı sonucu, % 100 geri kazanılmış iri agrega + % 100 doğal ince agrega ile karışımı hazırlanan betonlarda elde edilmiştir.

Şekil 4.8'deki grafikte 28 günlük yarmada çekme dayanımının zamana bağlı gelişimi görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere, geri kazanılmış iri agregalı betonlarda erken yaşta gerekli yarmada çekme dayanımı artışı sağlanmıştır.



Şekil 4.8 : Tüm serilerin zamana bağlı olarak yarmada çekme dayanımının gelişimi.

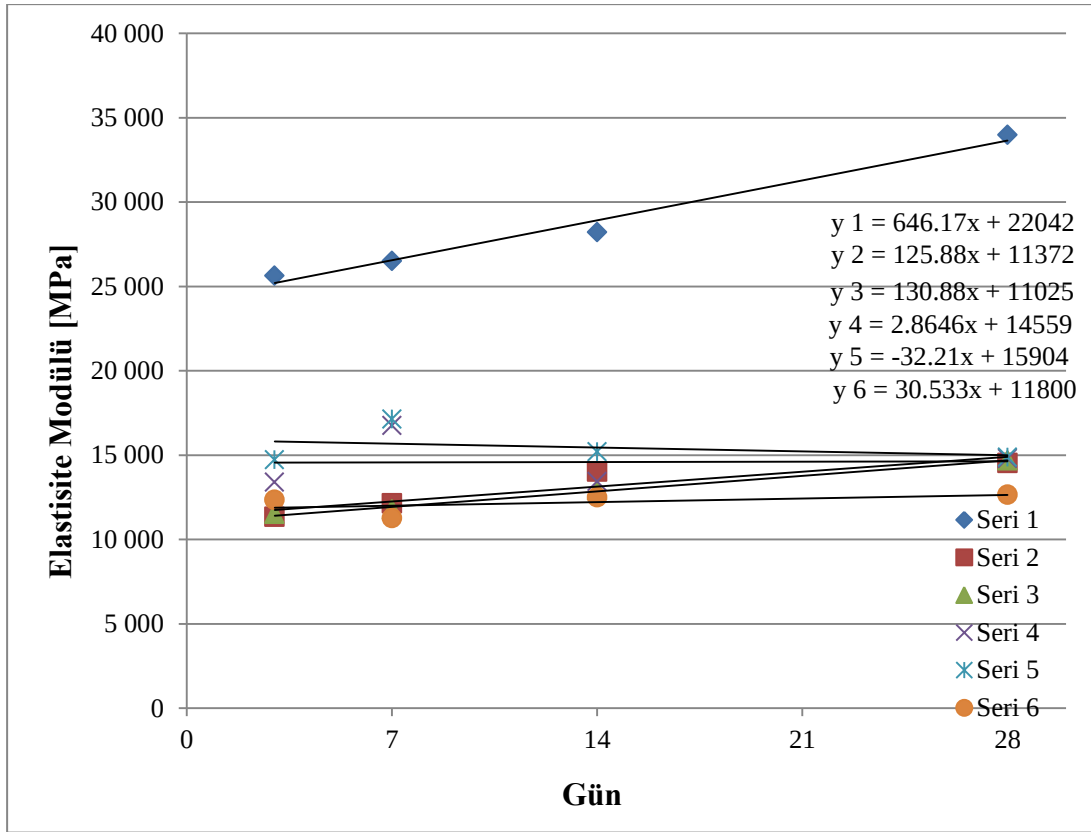
4.2.4 Elastisite modülü ile ilgili değerlendirmeler

Deneysel çalışmada belirlenen elastisite modülü değerleri, daha önceki bölümde elastisite modülü tayini başlığı altında ve toplu deney sonuçları çizelgesinde verilmiştir (Şekil 4.6 ve Çizelge 4.6).

Tüm seriler arasında en yüksek elastisite modülü değerinin % 100 doğal agregası ile hazırlanan referans betonu olduğu görülmektedir. Geri kazanılmış agregası ile üretilen betonların elastisite modülü, doğal agregası ile üretilen betona kıyasla çok düşük seviyelerde çıkmıştır. Elastisite modülü değerinin, geri kazanılmış iri agregası yüzdesinin artmasından pek fazla etkilenmediği gözlenmektedir.

% 100 geri kazanılmış agregası ile karışımı hazırlanan betonlarda ise elastisite modülünün biraz daha düştüğü görülmektedir. Geri kazanılmış agregalı betonların elastisite modülü doğal agregalı referans betonuna nazaran yaklaşık % 60 daha düşüktür. Tamamen geri kazanılmış agregalı beton karışımı için bu oran daha da artmaktadır.

Şekil 4.9’da birim deformasyonları ölçülerek gerilme-deformasyon eğrisinden elastisite modülleri çıkartılan tüm serilerin statik elastisite modüllerinin zamana bağlı artış gösterdiği görülmektedir.



Şekil 4.9 : Tüm serilerin zamana bağlı statik elastisite modülü gelişimi.

4.2.5 Belirlenen mekanik özellikler arasındaki ilişkiler ile ilgili değerlendirmeler

Deneyssel çalışmada elde edilen 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile yarmada çekme dayanımı değerleri karşılaştırılmış, regresyon analizi yapılmıştır. Çekme/basınç dayanımı oranları değerlendirilmiştir. 28 günlük basınç dayanımı değerleri ile elastisite modülü değerleri arasındaki ilişkiyi belirlemek amacıyla regresyon analizi yapılmıştır.

4.2.5.1 Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ilişkisi

Basınç dayanımı açısından, geri kazanılmış iri agregâ ikame oranı giderek arttırılan betonlar, doğal agregâ kullanılarak üretilen referans betonuna nazaran daha yüksek sonuçlar vermiştir. İri agregâ ikame oranı arttıkça basınç dayanımı da artmıştır.

Yarmada çekme dayanımı açısından, doğal agregâ kullanılarak üretilen referans betonuna nazaran, geri kazanılmış iri agregâ ikame oranı % 25 ve % 50 olan betonlar daha düşük; % 25 ve % 50 olan betonlar daha yüksek sonuçlar vermiştir. Geri kazanılmış iri agregâlı betonlarda, iri agregâ ikame oranı arttıkça yarmada çekme dayanımında da artış olmuştur.

Buna göre, referans betonu ve geri kazanılmış iri agregalı Seri 1, 2, 3, 4, ve 5 betonlarının çekme/basınç dayanımı oranları sırasıyla 0.088, 0.074, 0.077, 0.082, 0.082 olarak gerçekleşmiştir. Geri kazanılmış iri agregalı betonların çekme/basınç dayanımı oranları referans betonunkine nazaran daha düşük olmaktadır.

Tamamen geri kazanılmış agrega ile üretilen Seri 6 betonunun basınç dayanımı da, yarmada çekme dayanımı da referans betonundan ve geri kazanılmış iri agregalı betonlarinkinden daha düşük çıkmıştır. Bu betonların çekme/basınç dayanımı oranı 0.062 olmuştur.

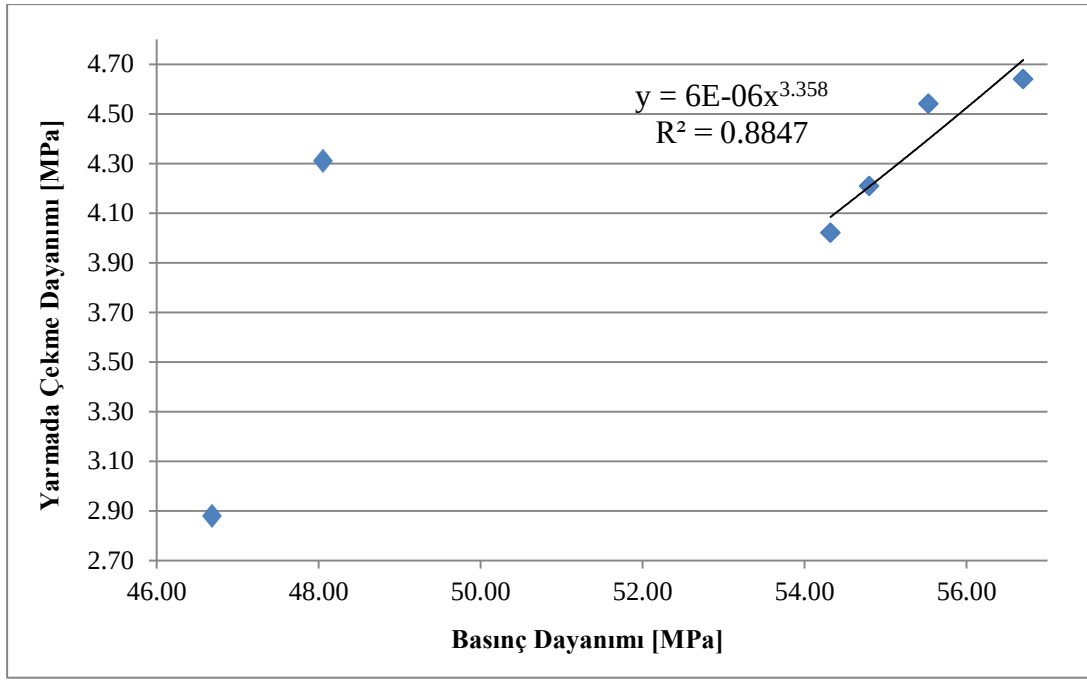
Çekme/basınç dayanımı oranı ile basınç dayanımı arasında anlamlı bir regresyon vardır. Açıktır ki, artan basınç dayanımı ile sözü edilen dayanım oranı azalmaktadır (Arioğlu ve diğ., 2002).

Tüm serilerin 28 günlük basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı değerleri ve çekme/basınç dayanımı oranları Çizelge 4.7’de görülmektedir.

Çizelge 4.7 : Tüm serilerin basınç dayanımı, yarmada çekme dayanımı değerleri ve çekme/basınç dayanımı oranları.

Seri No	Basınç Dayanımı [MPa]	Yarmada Çekme Dayanımı [MPa]	Çekme/Basınç
Seri 1	48.07	4.24	0.088
Seri 2	54.32	4.02	0.074
Seri 3	54.80	4.21	0.077
Seri 4	55.53	4.54	0.082
Seri 5	56.70	4.64	0.082
Seri 6	46.67	2.89	0.062

Şekil 4.10’da tüm serilerin basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ilişkisi görülmektedir. Regresyon analizi sonucunda bulunan bağıntı, geri kazanılmış iri agrega ikame edilen betonlar için bulunmuştur. Doğal agregalı beton olan Seri 1, regresyon analizine korelasyon katsayısını düşürdüğünden dolayı; Seri 6, tamamen geri kazanılmış agregalı beton olduğu için ayrı değerlendirilmesi gerektiği düşünüldüğünden analize dahil edilmeden grafiğe konulmuştur.



Şekil 4.10 : Basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı ilişkisi.

Betonun basınç ve çekme dayanımları birbiriyle yakından ilişkilidir. TS 500’de betonun yarmada çekme dayanımının, basınç dayanımının karekökü ile doğru orantılı olduğu aşağıdaki Eşitlik 4.1’de görülmektedir:

$$f_{ctk} = 0.53\sqrt{f_{ck}} \quad (4.1)$$

Burada, f_{ctk} , betonun yarmada çekme dayanımı ve f_{ck} ise betonun basınç dayanımıdır.

Bu çalışmada ise yapılan deneylerden elde edilen basınç dayanımı ve yarmada çekme dayanımı değerleri kullanılarak 6 adet seri için bir regresyon analizi yapılarak Şekil xx’te görüldüğü gibi korelasyon katsayısı 0.88 bulunmuştur. Bu analizden elde edilen basınç ve yarmada çekme dayanımı ilişkisinin TS 500’de belirtildiği gibi üssel olduğu aşağıdaki Eşitlik (4.2)’de görülmektedir:

$$f_{ctk} = 6 \times 10^{-6} \times f_{ck}^{3.35} \quad (4.2)$$

Deneylerden elde edilen ve (4.2) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen yarmada çekme dayanımı değerleri, birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir.

Bu deneysel çalışmadaki regresyon analizi sonucunda bulunan bağıntı, TS 500’de verilen bağıntı ile birlikte, betonun basınç dayanımından yola çıkılarak hesaplanan yarmada çekme dayanımını tahmin etmede gerçek değerlerle ve birbirine çok yakın sonuçlar vermektedir.

4.2.5.2 Basınç dayanımı ve elastisite modülü ilişkisi

Elastisite modülü, gerilme-deformasyon arasındaki orandır. Beton tam bir elastik malzeme olmadığından gerilme-deformasyon arasındaki oran sabit değildir. İdeal olarak elastisite modülü, basınca maruz beton numunelerin, gerilme-deformasyon eğrilerinin kaydedilmesinden elde edilmektedir. Ancak gerilme-deformasyon ilişkisini kaydetmek çok da kolay değildir. Elastisite modülünün deneysel olarak tespitinin, basınç dayanımının elde edilmesiyle karşılaştırıldığında çok komplike olması ve zaman alması, eldeki verilerden faydalanarak daha kısa süren ve yaklaşık sonuçlar veren yaklaşımlara sevk etmiştir. Tasarım hesaplarında kullanılacak betonun elastisite modülü değeri, genellikle TS 500’de verilen basınç dayanımı ile elastisite modülü arasındaki ampirik ilişki göz önünde tutularak hesaplanmaktadır.

Betonun elastisite modülü, betonun en önemli özelliklerinden biri olup, deneysel olarak tayini diğer dayanım özelliklerine göre daha zordur. Aynı zamanda betonun elastisite modülü, betonu oluşturan çimento hamuru, agregaların rijitliği, taze betonun sıkıştırılma işlemi ve elastisite modülünün tayininde kullanılan metot ile yakından ilişkilidir. Standartlarda, elastisite modülü basınç deneylerinden elde edilen basınç dayanımının bir fonksiyonu olarak tanımlanır (Türk ve diğ., 2010).

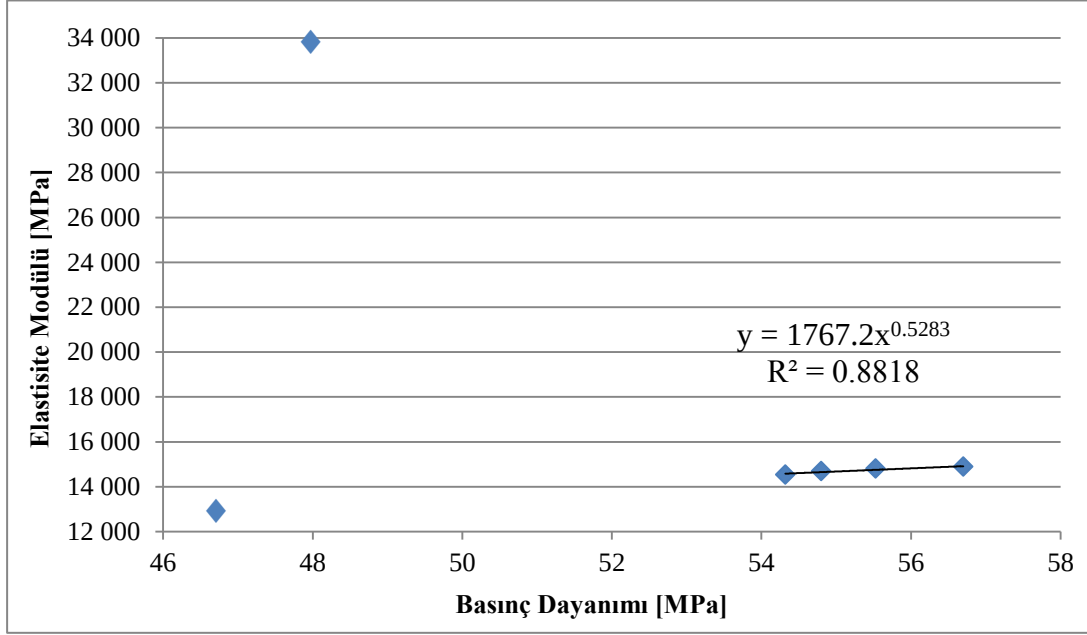
Bu çalışmada bulunan tüm serilere ait 28 günlük basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri Çizelge 4.8’de görülmektedir.

Çizelge 4.8 : Tüm serilerin basınç dayanımı ve elastisite modülü değerleri.

Seri No	Basınç Dayanımı [MPa]	Elastisite Modülü [MPa]
Seri 1	48.07	33 976
Seri 2	54.32	14 526
Seri 3	54.80	14 691
Seri 4	55.53	14 802
Seri 5	56.70	14 882
Seri 6	46.67	12 649

Şekil 4.11’de tüm serilerin basınç dayanımı ve elastisite modülü ilişkisi görülmektedir. Geri kazanılmış iri agregaya ikame oranı giderek arttırılan betonlar,

doğal agregaya kullanılarak üretilen referans betonuna nazaran çok düşük elastisite modülleri vermiştir. Regresyon analizi sonucunda bulunan bağıntı, geri kazanılmış iri agregaya ikame edilen betonlar için bulunmuştur. Doğal agregalı beton olan Seri 1 ve tamamen geri kazanılmış agregalı beton olan Seri 6 analize dahil edilmeden grafiğe konulmuştur. Geri kazanılmış iri agregaya içeren betonlar grup içinde değerlendirilmiştir.



Şekil 4.11 : Basınç dayanımı ve elastisite modülü ilişkisi.

Bu çalışmada yapılan deneylerde bulunan elastisite modülü değerlerinden faydalanarak elastisite modülünün basınç dayanımı ile olan ilişkisini veren bağıntı elde edilmiştir. Bu bağıntının, geri kazanılmış agregalı betonlar için geçerli olduğu görülmüştür. Geri kazanılmış agregalı betonların elastisite modüllerinin doğal agregalı betona göre çok düşük çıkması sebebiyle TS 500'deki ampirik bağıntı ile uyumluluk göstermediği tespit edilmiştir.

$$f_{ctk} = 6 \times 10^{-6} \times f_{ck}^{3.35} \quad (4.3)$$

Burada, f_{ctk} , betonun yarmada çekme dayanımı ve f_{ck} ise betonun basınç dayanımıdır.

Deneylerden elde edilen ve (4.3) bağıntısı kullanılarak tahmin edilen elastisite modülü değerleri, birbirine oldukça yakın sonuçlar vermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Malzeme ve enerji kaynaklarının küresel ısınmaya neden olacak şekilde savurgan tüketimi söz konusudur. Beton agregası için de durum böyledir. Atık malzeme kullanımı, uzun yıllardır ekonomik ve çevresel açıdan önem kazanmaktadır. Atık malzemenin hiç değerlendirilmeden atılması ile alan kaybı ve çevre kirliliği meydana gelmektedir. Ağır malzemenin taşınmasının getirdiği ekonomik yük ve enerji kaybı, depolama alanları için artan masraflar ve agregası olarak kullanılacak doğal kaynakların azlığı, inşaat sahalarından gelen atığın agregası kaynağı olarak kullanımını teşvik etmektedir. Atıkların değerlendirilmesi ve inşaat sektöründe sürdürülebilir kalkınmanın sağlanması için endüstriyel ölçekte bir geri kazanım, ekonomik ve çevresel açıdan olumlu bir sonuç doğuracaktır.

Agreganın uygun kalite, yeterli miktar ve makul fiyatla temin edilebilmesi gelecekte zorlaşacaktır. Çevre standartlarının getireceği yaptırımlar ile beton üretilen tesislerde artık agregaların geri kazanılması uzun dönemde kaçınılmaz olarak zorunlu hale gelecektir. Bu konuda yayınlanmış pek çok çalışma mevcuttur ve tüm dünyada her geçen gün geri kazanılmış agregası kullanımı ile ilgili yeni çalışmalar yoğun bir şekilde yürütülmektedir.

Bu çalışmada, öngermeli prefabrikasyon elemanların atıklarının değerlendirilmesi için donatıları ayıklanan beton parçaları kırılarak agregası boyutuna indirgendikten sonra geri kazanılmış agregası olarak yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Geri kazanılmış iri agregalar betonun iri agregası yerine kullanılmış, kum ve taş tozu literatür bilgileri doğrultusunda doğal kum ve doğal taş tozu olarak alınmıştır. Değişik ikame oranlarıyla iri agregası yerine kullanılan geri kazanılmış iri agreganın mekanik dayanıma etkisi araştırılmıştır. Bir seri karışım da, geri kazanılmış ince agreganın etkisini görebilmek için tamamen geri kazanılmış agregası ile üretilmiştir.

Üzerinde kalan, tam temizlenemeyen harç nedeniyle, geri kazanılmış agregaların özgül ağırlığı, orijinal betonda kullanılan doğal agregaların özgül ağırlığından daha düşüktür.

Geri kazanılmış agregaların su emme kapasitesi, yine üzerinden temizlenemeyen harç nedeniyle doğal agregalarınkinden daha yüksektir. Geri kazanılmış agreganın yüksek su emme kapasitesi, yeni beton üretiminde kullanıldığında karışımın efektif su/çimento oranını etkilediği için işlenebilirliği azaltmakta, çökme miktarının azalmasına neden olmaktadır.

Agregaların doygun kuru yüzeyli durumda kullanılmaları mümkündür. Ancak, bu tezdeki deneysel çalışmada, geri kazanılmış agregalar elde edildiği haliyle, kuru olarak yeni beton üretiminde kullanılmıştır. Böylece kuru kıvamlı beton elde edilmiştir. Zaten geri kazanılan prefabrikasyon (öngermeli boşluklu döşeme ve duvar paneli) atıklarının betonlarında da kuru kıvamlı üretim yapılmaktadır. Bu nedenle, endüstriyel ölçekte bu tip bir üretimde bir sorun yaşanmayacaktır.

Geri kazanılmış iri agregaları, doğal iri agregalar yerine kolaylıkla kullanmak mümkündür. Standart karışım tasarımı, bir değişiklik yapılmadan geri kazanılmış betonlarda kullanılmıştır. Geri kazanılmış agregalar, -ağırlıkça- doğal agregaların yerine geçmiştir. Doğal iri agrega, tamamen geri kazanılmış iri agregayla değiştirilebilmiştir.

Geri kazanılmış agreganın oranı arttıkça, taze betonun birim ağırlığı azalmıştır. Bunun nedeni, doğal agregaya göre geri kazanılmış agreganın özgül ağırlığının daha düşük olmasıdır.

Geri kazanılmış agregaların fiziksel özellikleri değerlendirildiğinde prefabrikasyon betonu üretiminde kullanılabilecek agrega şartlarını sağladığı görülmektedir. Agregaların geri kazanılmış halde iri agrega için 2.52 ve 2.48, ince agrega için 2.37 bulunan özgül ağırlıkları, doğal agrega için 2.73, 2.76 ve 2.71'dir. Su emme değerleri, ağırlıklı olarak temizlenemeyen, yapışık olan harç nedeniyle geri kazanılmış agregalarda sırasıyla % 5.19, % 4.82 ve % 9.79 iken, doğal agregalarda bu değerler düşük seviyelerdedir.

Geri kazanılmış agregaların granülometri eğrisi orijinal betonda kullanılan doğal agrega sınır eğrilerinin içinde tutulmuştur.

Prefabrikasyon atıklarından elde edilen agregaların özgül ağırlık ve su emme değerleri, geri kazanılmış agregalar için literatürdeki yoğunluk-su emme ilintilerine uygun düşmektedir.

Geri kazanılmış iri agrega ve doğal ince agrega ile üretilen betonların, basınç ve yarmada çekme dayanımı bakımından arzu edilen sonuçları sağladığı; işlenebilirlik açısından geri kazanılmış iri agrega yüzdesi arttıkça daha kuru kıvamlı bir beton elde edildiği; geri kazanılmış agregalı betonların elastisite modüllerinin normal betonlara göre düşük olduğu sonucu elde edilmiştir.

Literatürde geri kazanılmış iri agregalı betonların ikame oranı arttıkça basınç dayanımının düştüğü rapor edilmektedir. Ancak bu çalışmada geri kazanılmış iri agreganın emdiği su miktarı kadar karışım suyunun azalması nedeniyle efektif su/çimento oranının düşmesi sonucunda, basınç dayanımında artış olduğu gözlenmiştir.

Geri kazanılmış iri agregalı betonların çekme/basınç dayanımı oranları doğal agregalı betona nazaran daha düşük olmaktadır. Yani, geri kazanılmış iri agregalı betonların basınç dayanımlarının doğal agregalı olanlara nispeten daha yüksek olduğu görülmüştür.

Dayanım artışı geri kazanılmış iri agregalı betonda doğal agregalı betona göre daha hızlı gerçekleşmektedir.

Literatürdeki geri kazanılmış agrega betonu deneylerinden elde edilen sonuçlar, normal betondan daha az bir yarmada çekme dayanımına işaret etmesine rağmen, bu çalışmada yapılan deneylerde, normal beton seviyesinde, hatta daha yüksek yarmada çekme dayanımları elde edilmiştir. Çekme/basınç dayanımının basınç dayanımı ile değişimine bakıldığında da aynı sonuç açıkça görülmektedir. Buradan da, kullanılan agreganın ve agrega elde edilen betonun yüksek kaliteli olmasının, geri kazanılmış agreganın kalitesini ve böylece geri kazanılmış agrega betonunun kalitesini nasıl etkilediği ortaya çıkmaktadır.

Yüksek kaliteli prefabrikasyon atıklarının geri kazanılması ve öncelikle iri agregaların beton üretiminde yeniden kullanımı hemen uygulamaya geçebilecek bir konudur.

Geri kazanılmış ince agregaların betonda kullanımı, sadece geri kazanılmış iri agrega ve doğal ince agrega kullanılarak üretilen betondaki gibi başarılı olmamaktadır. Yüksek oranlarda geri kazanılmış ince agrega ile daha düşük performanslı ve başka alanlarda kullanılacak beton elde edilmesi mümkündür.

Geri kazanılmış agrega üretimi açısından prefabrikasyon atıklarının dayanım düzeyine ve tiplerine göre sınıflandırılarak depolanması, geri kazanım için önemli bir konudur.

Dayanım düzeyi düşük olan atık betonlar için geri kazanım imkanı da mümkündür. Düşük dayanımlı orijinal betonların atıklarının kullanım amacı ve beton dayanım düzeyine göre ne oranda kullanılabileceği araştırılabilir.

Geri kazanılmış iri agrega ile üretilen betonların basınç dayanımları arzulanan değerlerdedir. Ancak elastisite modülleri, doğal agrega ile üretilen betonlara nazaran çok düşük çıktığından dolayı eğilme rijitlikleri de çok düşük olacağından betonarme betonları üretiminde kullanılması uygun değildir.

%25 iri agrega ikame oranı hariç diğer tüm ikame oranlarında geri kazanılmış iri agrega ile üretilen betonların çökme değerleri sıfıra ulaştığından işlenilebilirliği mümkün değildir. Ancak geri kazanılmış agrega kaynağı olarak kullanılan prefabrikasyon atığı betonların da kuru kıvamlı, sıfır çökmeli ve tokmaklama yöntemi ile sıkıştırıldığı göz önünde tutulduğunda, kuru kıvamlı olan geri kazanılmış iri agregalı betonların yine prefabrikasyonda bu amaçla kullanılabileceği açıktır.

Geri kazanılmış iri agrega ile üretilen betonlar (%25 iri agrega karışım oranı) sadece prefabrik üretimde kullanılabilir.

Diğer karışım oranlarında (%50, %75, %100 iri GKA) üretilen betonlar yol betonu, bordür betonu, dolgu betonu v.s. olarak kullanılabilir.

Deneylerde tamamen geri dönüştürülmüş agregadan üretilen betonların basınç mukavemetleri, yarmada çekme dayanımları ve elastisite modülleri diğerlerinden düşük çıkmıştır.

KAYNAKLAR

- Ajdukiewicz, A. and Kliszczewicz, A.** (2002). Influence of Recycled Aggregates on Mechanical Properties of HS/HPC. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 24, No. 2, April, pp. 269-279.
- Arioğlu, E., Köylüoğlu, O. S. ve Arioğlu, N.** (1996). Dünyadaki Geri Kazanılmış Agrega Üretim ve Politikalarının Gözden Geçirilmesi ve Ülkemiz Açısından İrdelenmesi. *1. Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Arioğlu, N., Hatipoğlu, D. D., Arioğlu Salmona, M. Ö. ve Arioğlu, E.** (2004). Sürdürülebilirlik Kavramı Anlayışında Beton Endüstrisinin İrdelenmesi. *11. Beton Prefabrikasyon Sempozyumu - Prefabrikasyonda Tasarım Olanakları*, İzmir, 20 Kasım.
- Arioğlu, E., Girgin, C. ve Arioğlu N.** (2002). Betonda Çekme/Basınç Dayanımının İrdelenmesi. *Hazır Beton Dergisi*, Ocak-Şubat, 59-63.
- ASTM C 33** (2003). Specification for Concrete Aggregates. *American Society for Testing and Materials*. West Conshohocken, PA, USA : ASTM International, doi: 10.1520/C0033-03, Retrieved from www.astm.org.
- B.C.S.J.** (1977). Proposed Standard for the Use of Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Construction Waste* (English version published in June 1981).
- B.C.S.J.** (1978). Study on Recycled Aggregate and Recycled Aggregate Concrete. *Building Contractors Society of Japan. Committee on Disposal and Reuse of Concrete Construction Waste*. Summary in *Concrete Journal*, Japan, 16, No. 7, pp. 18-31 (in Japanese).
- Boesman, B.** (1985). Crushing and Separating Techniques for Demolition Material, *EDA/RILEM Demo-Recycling Conference, Proceedings*, Vol. 2, *Re-Use of Concrete and Brick Materials*, Rotterdam, European Demolition Association, Wassenaarseweg 80, 2596 CZ, Den Haag, The Netherlands.
- Casuccio, M., Tarrijos, M. C., Giaccio, G. and Zerbino, R.** (2008). Failure Mechanism of Recycled Aggregate Concrete. *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 7, July, pp. 1500-1506.
- Copple, F.** (1981). Costs and Energy Considerations. *Proceedings of the National Seminar on PCC Pavement Recycling and Rehabilitation*. Federal Highway Administration Report FHWA-TS-82-208, (pp. 134-139). St. Louis, Missouri, USA.

- CUR** (1986). Betonpuingranulaaten Metselwerkpuins Granulaat als Toeslagsmateriaal van Beton. *Commissie voor Uitvoering van Research ingesteld door de Betonvereniging, Rapport 125* (in Dutch), Available from Ir. P. Bloklandhuis, Büchnerweg 3, Postbus 420, 2800 AK, Gouda, The Netherlands.
- Çelik, B.** (2001). *Effect of Binding Material Composition on Bond Strength of Concrete Subjected to Different Exposure Conditions* (Yüksek Lisans Tezi). Boğaziçi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Fergus, J. S.** (1981). Laboratory Investigation and Mix Proportions for Utilizing Recycled Portland Cement Concrete as Aggregate. *Proceedings of the National Seminar on PCC Pavement Recycling and Rehabilitation*, Federal Highway Administration Report FHWA-TS-82-208, (pp. 144-160). St. Louis, Missouri, USA.
- Glavind, M. and Munch-Petersen, C.** (2000). Green Concrete in Denmark. *Structural Concrete*, V. 1, No. 1, March, pp. 19-25.
- Griffiths, P. I. J., Smith, R. A. and Kersey, J.** (2003). Resource Flow Analysis: Measuring Sustainability in Construction. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, Engineering Sustainability 156, Issue ES3, September, pp. 147-155.
- Güneyisi, E., Gesoğlu, M. and Özturan, T.** (2004). Properties of Rubberized Concretes Containing Silica Fume. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 12, December, pp. 2309-2317.
- Hansen, T. C.** (1986). Recycled Aggregates and Recycled Aggregate Concrete Second State-of-the-Art Report Developments 1945-1985. *Materials and Structures (RILEM Technical Committee 37-Demolition and Re-use of Concrete Committee)*, Vol. 19, No. 111, May, pp. 201-246.
- Hansen, T. C.** (Ed.) (1992). Recycling of Demolished Concrete and Masonry. *RILEM Report 6, Report of Technical Committee 37-DRC, Demolition and Reuse of Concrete*. London: E & FN Spon.
- Hansen, T. C. and Marga, M.** (1988). Strength of Recycled Concrete Made from Coarse and Fine Recycled Concrete Aggregates. In Y. Kasai (Ed.) *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition Waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, pp. 605-612). London: Chapman & Hall.
- Hansen, T. C. and Narud, H.** (1983). Strength of Recycled Concrete Made from Crushed Concrete Coarse Aggregate. *Concrete International – Design and Construction*, 5, No. 1, pp. 79-83.
- Hasaba, S., Kawamura, M., Toriik, K. et al.** (1981). Drying Shrinkage and Durability of Concrete Made of Recycled Concrete Aggregates. Translation of the Japan Concrete Institute, 3, pp. 55-60.
- Henrichsen, A.** (2000). Use of Recycled Aggregates in Europe. *Proceedings of International Seminar on Recycled Concrete*, Niigata, Japan, 29 September, pp 1-8.

- Holland, T. C.** (2003). Sustainability of the Concrete Industry-What Should Be ACI's Role? *Concrete International*, August.
- Huisman, C. L., and Briston, R. A.** (1981). Recycled Portland Cement Concrete – Specifications and Control, *Proceedings of the National Seminar on PCC Pavement Recycling and Rehabilitation*, Federal Highway Administration Report FHWA-TS-82-208, (pp. 140-143). St. Louis, Missouri, USA.
- Ikeda, T., Yamane, S. and Sakamoto, A.** (1988). Strengths of Concrete Containing Recycled Aggregate. In Y. Kasai (Ed.) *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, pp. 585-594). London: Chapman & Hall.
- Karaa, T.** (1986). *Evaluation technique des possibilites D'Emplois des dechets dans la construction – recherche experimentale applique au cas de beton fabrique a partir de granulats de betons recycles* (These de doctorat). Universite Paris 6, CSTB 4 Avenue du Recteur Poincaré 75782 Paris Cedex 16, France (in French).
- Katz, A.** (2003). Properties of Concrete Made with Recycled Aggregate from Partially Hydrated Old Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 33, No. 5, May, pp. 703-711.
- Kawamura, M., Toriik, K., Takemoto, K., et al.** (1983). Properties of Recycling Concrete Made with Aggregate Obtained from Demolished Pavement. *Journal of the Society of Materials Science*, 32, No. 353, Japan (in Japanese; abstract, tables, and figures in English).
- Kaynarkan, S., Uz, B. ve Dural, C.** (1999). Cendere (Kemerburgaz-Ayazağa-İstanbul) Kırmataş - Beton ve Asfalt Üretim Havzasında Etüd ve Değerlendirilmesi. 2. *Ulusal Kırmataş Sempozyumu*, İstanbul.
- Kreijger, P. C.** (1983). Hergebruik van Bouw- en Sloopafval als Toeslagmateriaal Beton. *TH-Eindhoven, Afdeling Bouwkunde, Rapport M83-1*.
- Lam, L., Poon, C. S. and Kou, S. C.** (2002). Use of Recycled Aggregates in Molded Concrete Bricks and Blocks. *Construction and Building Materials*, Vol. 16, No. 5, July, pp 281-289.
- Larrañaga, M.E.** (2004). *Experimental Study Microstructure and Structural Behaviour of Recycled Aggregate Concrete* (PhD Thesis). The Polytechnic University of Catalonia, Barcelona.
- Lin, Y. H., Tyan, Y. Y., Chang, T. P. and Chang, C. Y.** (2004). An Assessment of Optimal Mixture for Concrete Made with Recycled Concrete Aggregates. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 8, August, pp. 1373-1380.
- Mengi, A. ve Algan, N.** (2003). *Küreselleşme ve Yerelleşme Çağında Bölgesel Sürdürülebilir Gelişme – AB ve Türkiye Örneği*. Ankara: Siyasal Kitabevi.

- Morlion, D., Venstermans, J. and Vyncke, J.** (1988). Demolition of the Zandvliet Lock as Aggregates for Concrete. In Y. Kasai (Ed.) *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, pp. 709-718). London: Chapman & Hall.
- Mulheron, M.** (1988). The Recycling of Demolition Debris: Current Practice, Products and Standards in the United Kingdom. In Y. Kasai (Ed.) *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, pp. 510-519). London: Chapman & Hall.
- Nehdi, M., Rehan, R. and Simonovic, S.P.** (2004). System Dynamics Model for Sustainable Cement and Concrete: Novel Tool for Policy Analysis, *ACI Materials Journal*, V.101 No.3, May-June, American Concrete Institute.
- Neville, A. M.** (1975). *Properties of Concrete*. London: Pitman Publishing.
- Nishiyabashi, S. and Yamura, K.** (1988). Mechanical Properties and Durability of Concrete from Recycled Coarse Aggregate Prepared by Crushing Concrete. In Y. Kasai (Ed.) *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, pp. 652-659). London: Chapman & Hall.
- Nix, H.** (1984). Erfahrungen mit einer nassen Bauschutt – Aufbereitungsanlage. *Proceedings of the 4th International Recycling Congress*, Berlin, pp. 1028-1032.
- Nixon, P. J.** (2002). More Sustainable Construction: The Role of Concrete. *Proceedings of the International Conference on Sustainable Concrete Construction*, Scotland, UK: University of Dundee, September 9-11.
- Nixon, P. J.** (1978). Recycled Concrete as an Aggregate for Concrete – A Review. *Materials and Structures (RILEM Technical Committee 37-Demolition and Re-use of Concrete)*, Vol. 11, No. 65, September, pp. 371-378.
- Oikonomou, N. D.** (2005). Recycled Concrete Aggregates. *Cement and Concrete Composites*, Vol. 27, No. 2, February, pp. 315-318.
- Olivares, F. H., Barluenga, G., Bollati, M., Witoszek, B.** (2002). Static and Dynamic Behaviour of Recycled Tyre Rubber-Filled Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 32, No. 10, October, pp. 1587-1596.
- Palos, A., D'Souza, N. A., Snively, C. T. and Reidy III, R. F.** (2001). Modification of Cement Mortar with Recycled ABS. *Cement and Concrete Research*, Vol. 31, No. 7, July, pp. 1003-1007.
- Papakonstantinou, C. G. and Tobolski, M. J.** (2006). Use of Waste Tire Steel Beads in Portland Cement Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 36, No. 9, September, pp. 1686-1691.

- Park, S. B., Lee, B. C. and Kim, J. H.** (2004). Studies on Mechanical Properties of Concrete Containing Waste Glass Aggregate. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 12, December, pp.2181-2189.
- Penttala, V.** (1997). Concrete and Sustainable Development. *ACI Materials Journal*, V. 94, No. 5, September-October, pp. 409-416.
- RILEM 121 DRG** (1994). Specifications for Concrete with Recycled Aggregates. *Materials and Structures*, Vol. 27, No. 9, November, pp. 557-559.
- Shayan, A. and Xu, A.** (2004). Value-Added Utilization of Waste Glass in Concrete. *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, No. 1, January, pp. 81-89.
- Silva, D. A., Betioli, A. M., Gleize, P. J. P., Roman, H. R., Gomez, L. A. and Ribeiro, J. L. D.** (2005). Degradation of Recycled PET Fibers in Portland Cement-Based Materials. *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 9, September, pp. 1741-1746.
- Soroushian, P., Plasencia, J. and Ravanbakhsh, S.** (2003). Assessment of Reinforcing Effects of Recycled Plastic and Paper in Concrete. *ACI Materials Journal*, Vol. 100, No. 3, May-June, pp. 203-207.
- Schulz, R. R.** (1988). Concrete with Recycled Rubble - Developments in West Germany. In Y. Kasai (Ed.), *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, November 7-11, pp. 500-509). London: Chapman & Hall.
- Trevorrow, A., Joynes, H. and Wainwright, P. J.** (1988). Recycling of Concrete and Demolition Waste in the UK. In Y. Kasai (Ed.), *Proceedings of the Second International RILEM Symposium on Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, 2: Reuse of Demolition waste*. (Nihon Daigaku Kaikan, Tokyo, Japan, November 7-11, pp. 520-524). London: Chapman & Hall.
- Türk, K., Karataş, M., Turgut, P. ve Benli, A.** (2010). Farklı Tip ve Miktarda Puzolan İçeren Kendiliğinden Yerleşen Betonun Dayanımı ve Elastisite Modülü Arasındaki İlişki. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, Cilt 16, Sayı 3, s. 247-253.
- TS 500** (2000). Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 706 EN 12620** (2003). Beton agregaları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 802/T2** (2002). Beton karışımı hesap esasları, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 3502** (1981). Betonda statik elastisite modülü ve poisson oranı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS 3527** (1980). Beton agregalarında ince madde oranı tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.

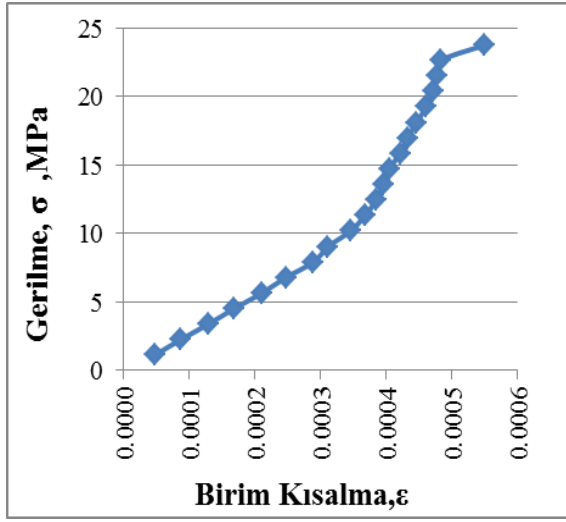
- TS 3530 EN 933-1** (1999). Agregaların geometrik özellikleri için deneyler - Bölüm 1: Tane büyüklüğü dağılımı tayini - Eleme metodu, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-1** (2002). Çimento deney metotları - Bölüm 1: Dayanım tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 196-3** (2002). Çimento deney metotları - Bölüm 3: Priz süresi ve hacim genleşme tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 197-1** (2002). Çimento- Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 206-1** (2002). Beton - Bölüm 1: Özellik, performans, imalat ve uygunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1097-2** (2000). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 2: Parçalanma direncinin tayini için metotlar, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1097-3** (1999). Agregaların fiziksel ve mekanik özellikleri için deneyler - Bölüm 3: Gevşek yığın yoğunluğunun ve boşluk hacminin tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 1097-6** (2002). Agregaların mekanik ve fiziksel özellikleri için deneyler - Bölüm 6: Tane yoğunluğu ve su emme oranının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12350-2** (2002). Beton- Taze beton deneyleri - Bölüm 2: Çökme (slamp) deneyi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12350-6** (2002). Beton- Taze beton deneyleri - Bölüm 6: Yoğunluk, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12350-7** (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 7: Sertleşmiş betonun yoğunluğunun tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-2** (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 2: Dayanım deneylerinde kullanılacak deney numunelerinin hazırlanması ve kürlenmesi, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-3** (2003). Beton-Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 3: Deney numunelerinde basınç dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- TS EN 12390-6** (2002). Beton - Sertleşmiş beton deneyleri - Bölüm 6: Deney numunelerinin yarmada çekme dayanımının tayini, *Türk Standartları Enstitüsü*, Ankara.
- Vyncke, J. and Rousseau, E.** (1994). Recycling of Construction and Demolition Waste in Belgium: Actual Situation and Future Evolution. In E. K. Lauritzen (Ed.) *Demolition and Reuse of Concrete and Masonry, Proceedings of the Third International RILEM Symposium*. (Odense, Denmark, 24-27 October 1993). London: E & FN Spon.
- Yoshikane, T.** (1988). Present Status of Recycling Waste Cement Concrete in Japan. *Private Communication Research Laboratory*, Taiyu Kensetsu Co. Ltd., Japan.

EKLER

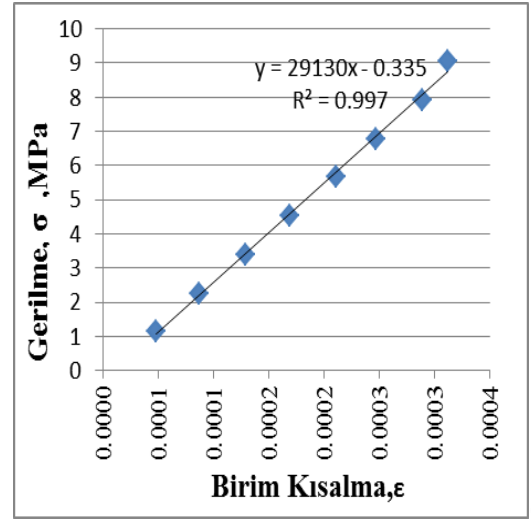
EK A: Elastisite Modülü Tayini Deney Sonuçları

Çizelge A.1 : DA-100-E28-1, DA-100-E28-2, DA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

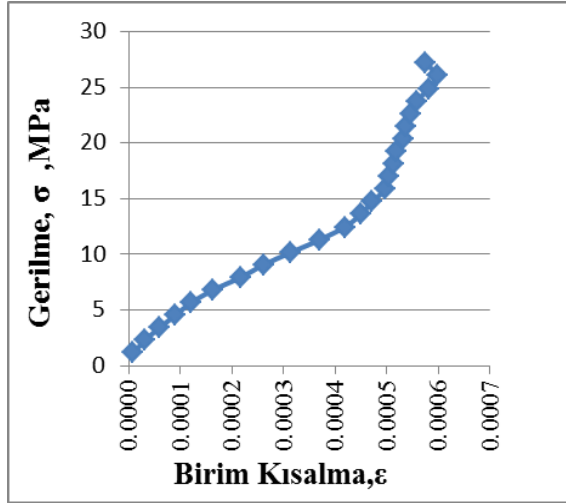
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)
20	0	0	1.13	20	0	0	1.13	20	0.047	1.84E-04	1.13
40	0.005	1.95E-05	2.26	40	0.004	1.56E-05	2.26	40	0.056	2.19E-04	2.26
60	0.010	3.91E-05	3.39	60	0.010	3.91E-05	3.39	60	0.064	2.50E-04	3.39
80	0.015	5.86E-05	4.53	80	0.015	5.86E-05	4.53	80	0.077	3.01E-04	4.53
100	0.022	8.59E-05	5.66	100	0.023	8.98E-05	5.66	100	0.089	3.48E-04	5.66
120	0.028	1.09E-04	6.79	120	0.031	1.21E-04	6.79	120	0.107	4.18E-04	6.79
140	0.035	1.37E-04	7.92	140	0.040	1.56E-04	7.92	140	0.123	4.80E-04	7.92
160	0.040	1.56E-04	9.05	160	0.050	1.95E-04	9.05	160	0.140	5.47E-04	9.05
180	0.049	1.91E-04	10.18	180	0.062	2.42E-04	10.18	180	0.158	6.17E-04	10.18
200	0.053	2.07E-04	11.31	200	0.071	2.77E-04	11.31	200	0.181	7.07E-04	11.31
220	0.060	2.34E-04	12.44	220	0.082	3.20E-04	12.44	220	0.201	7.85E-04	12.44
240	0.064	2.50E-04	13.58	240	0.093	3.63E-04	13.58	240	0.228	8.91E-04	13.58
260	0.071	2.77E-04	14.71	260	0.103	4.02E-04	14.71	260	0.248	9.69E-04	14.71
280	0.076	2.97E-04	15.84	280	0.115	4.49E-04	15.84	280	0.277	1.08E-03	15.84
300	0.079	3.09E-04	16.97	300	0.126	4.92E-04	16.97	300	0.309	1.21E-03	16.97
320	0.086	3.36E-04	18.10	320	0.137	5.35E-04	18.10	320	0.335	1.31E-03	18.10
340	0.092	3.59E-04	19.23	340	0.151	5.90E-04	19.23	340	0.362	1.41E-03	19.23
360	0.105	4.10E-04	20.36	360	0.163	6.37E-04	20.36	360	0.390	1.52E-03	20.36
380	0.114	4.45E-04	21.49	380	0.174	6.80E-04	21.49	380	0.415	1.62E-03	21.49
400	0.120	4.69E-04	22.63	400	0.186	7.27E-04	22.63	400	0.437	1.71E-03	22.63
420	0.126	4.92E-04	23.76	420	0.196	7.66E-04	23.76	420	0.468	1.83E-03	23.76
440	0.132	5.16E-04	24.89	440	0.206	8.05E-04	24.89	440	0.492	1.92E-03	24.89
460	0.145	5.66E-04	26.02	460	0.217	8.48E-04	26.02	460	0.523	2.04E-03	26.02
480	0.155	6.05E-04	27.15	480	0.230	8.98E-04	27.15	480	0.554	2.16E-03	27.15
500	0.172	6.72E-04	28.28	500	0.243	9.49E-04	28.28	500	0.588	2.30E-03	28.28
520	0.195	7.62E-04	29.41	520	0.257	1.00E-03	29.41	520	0.626	2.45E-03	29.41
540	0.215	8.40E-04	30.55	540	0.269	1.05E-03	30.55	540	0.655	2.56E-03	30.55
560	0.240	9.38E-04	31.68	560	0.276	1.08E-03	31.68	560	0.705	2.75E-03	31.68
580	0.266	1.04E-03	32.81					580	0.772	3.02E-03	32.81
600	0.287	1.12E-03	33.94					600	0.886	3.46E-03	33.94
620	0.316	1.23E-03	35.07								
640	0.349	1.36E-03	36.20								
660	0.374	1.46E-03	37.33								
DA-100-E28-1 P= 540 kN				DA-100-E28-2, P= 570 kN				DA-100-E28-3, P= 580 kN			



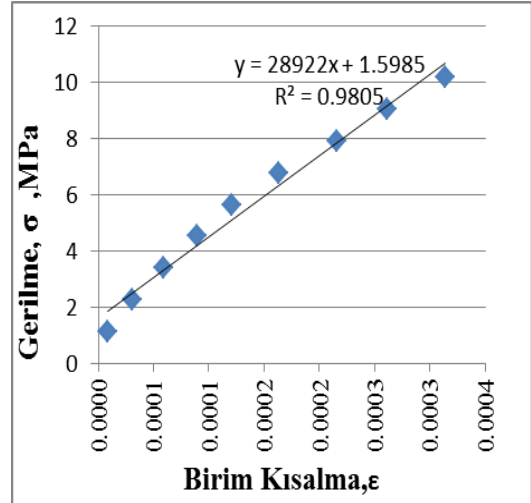
(a)



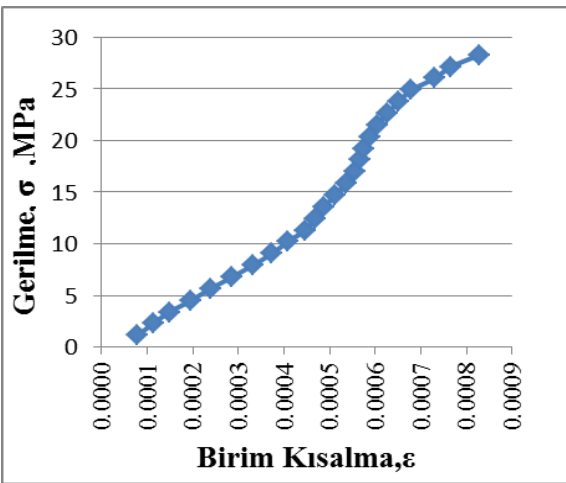
(b)



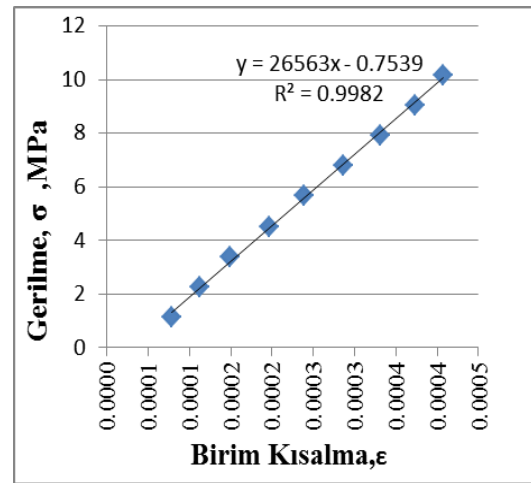
(c)



(d)



(e)

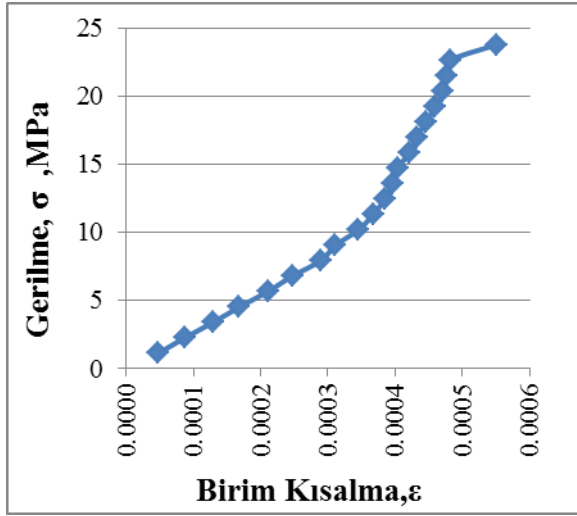


(f)

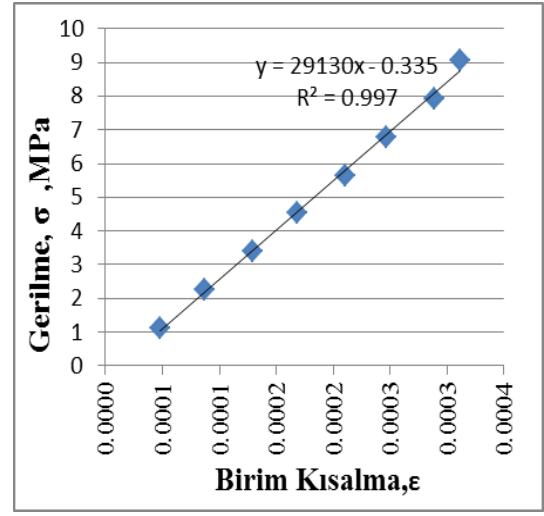
Şekil A.1 : (a,b) DA-100-E28-1, (c,d) DA-100-E28-2, (e,f) DA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.2 : DA-100-E14-1, DA-100-E14-2, DA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

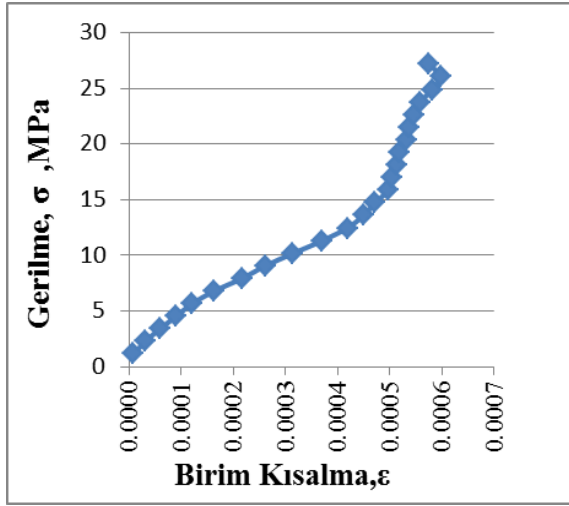
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)
20	0	0.00	1.13	20	0	0	1.13	20	0.020	7.86E-05	1.13
40	0.022	8.70E-05	2.26	40	0.008	3.09E-05	2.26	40	0.029	1.12E-04	2.26
60	0.033	1.29E-04	3.39	60	0.015	5.89E-05	3.39	60	0.038	1.49E-04	3.39
80	0.043	1.68E-04	4.53	80	0.023	8.98E-05	4.53	80	0.050	1.96E-04	4.53
100	0.054	2.10E-04	5.66	100	0.031	1.21E-04	5.66	100	0.061	2.39E-04	5.66
120	0.063	2.47E-04	6.79	120	0.042	1.63E-04	6.79	120	0.073	2.86E-04	6.79
140	0.074	2.89E-04	7.92	140	0.055	2.16E-04	7.92	140	0.085	3.31E-04	7.92
160	0.080	3.11E-04	9.05	160	0.067	2.61E-04	9.05	160	0.096	3.73E-04	9.05
180	0.088	3.45E-04	10.18	180	0.080	3.14E-04	10.18	180	0.104	4.07E-04	10.18
200	0.094	3.68E-04	11.31	200	0.095	3.70E-04	11.31	200	0.114	4.46E-04	11.31
220	0.098	3.84E-04	12.44	220	0.107	4.18E-04	12.44	220	0.120	4.69E-04	12.44
240	0.101	3.96E-04	13.58	240	0.115	4.49E-04	13.58	240	0.125	4.88E-04	13.58
260	0.103	4.04E-04	14.71	260	0.121	4.71E-04	14.71	260	0.131	5.11E-04	14.71
280	0.108	4.21E-04	15.84	280	0.127	4.97E-04	15.84	280	0.137	5.36E-04	15.84
300	0.111	4.32E-04	16.97	300	0.129	5.05E-04	16.97	300	0.142	5.56E-04	16.97
320	0.114	4.46E-04	18.10	320	0.131	5.14E-04	18.10	320	0.145	5.67E-04	18.10
340	0.118	4.60E-04	19.23	340	0.133	5.19E-04	19.23	340	0.147	5.75E-04	19.23
360	0.121	4.71E-04	20.36	360	0.136	5.33E-04	20.36	360	0.151	5.89E-04	20.36
380	0.122	4.77E-04	21.49	380	0.137	5.36E-04	21.49	380	0.154	6.03E-04	21.49
400	0.124	4.83E-04	22.63	400	0.140	5.47E-04	22.63	400	0.160	6.26E-04	22.63
420	0.141	5.50E-04	23.76	420	0.143	5.58E-04	23.76	420	0.167	6.51E-04	23.76
				440	0.149	5.81E-04	24.89	440	0.174	6.79E-04	24.89
				460	0.153	5.98E-04	26.02	460	0.187	7.30E-04	26.02
				480	0.147	5.75E-04	27.15	480	0.196	7.66E-04	27.15
								500	0.212	8.28E-04	28.28
DA-100-E14-1 P= 450 kN				DA-100-E14-2 P= 490 kN				DA-100-E14-3 P= 480 kN			



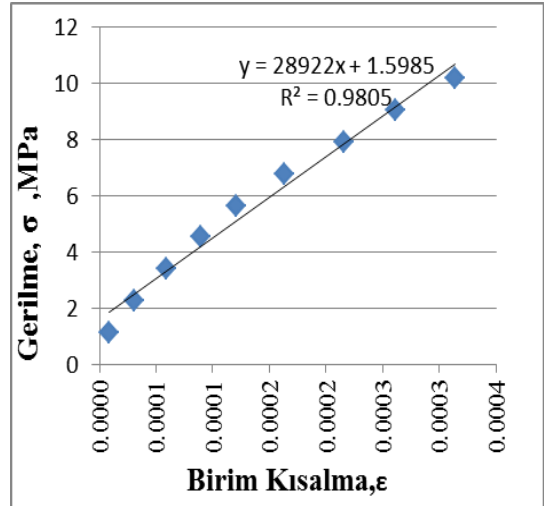
(a)



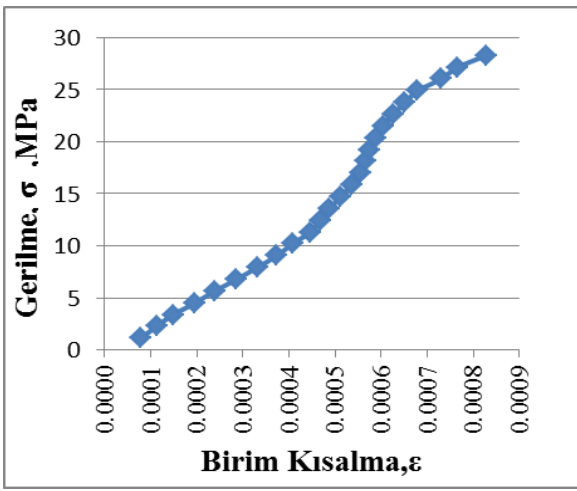
(b)



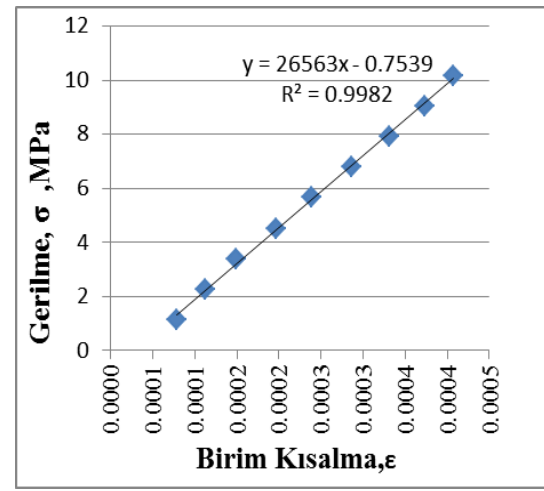
(c)



(d)



(e)

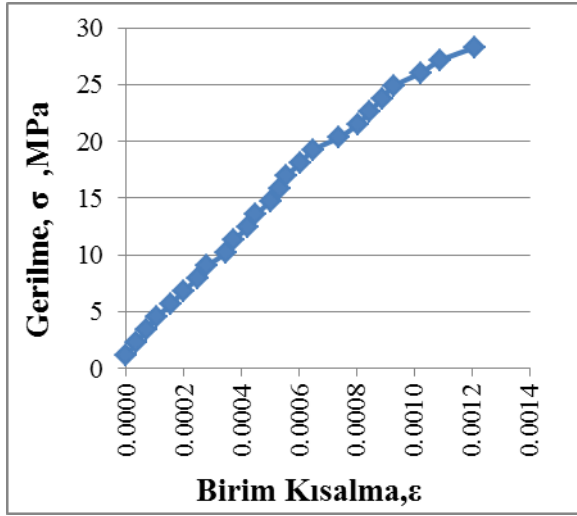


(f)

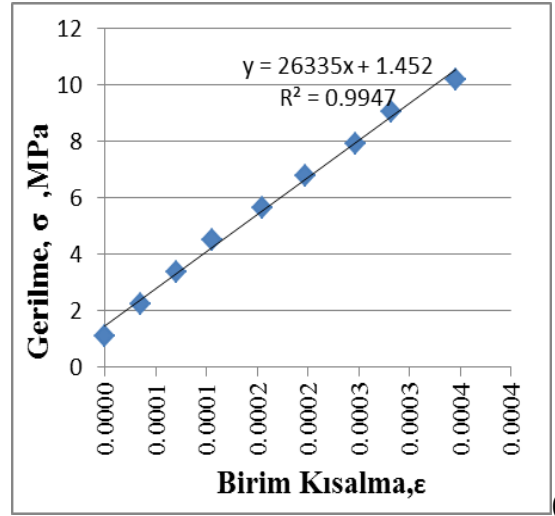
Şekil A.2 : (a,b) DA-100-E14-1, (c,d) DA-100-E14-2, (e,f) DA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.3 : DA-100-E7-1, DA-100-E7-2, DA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

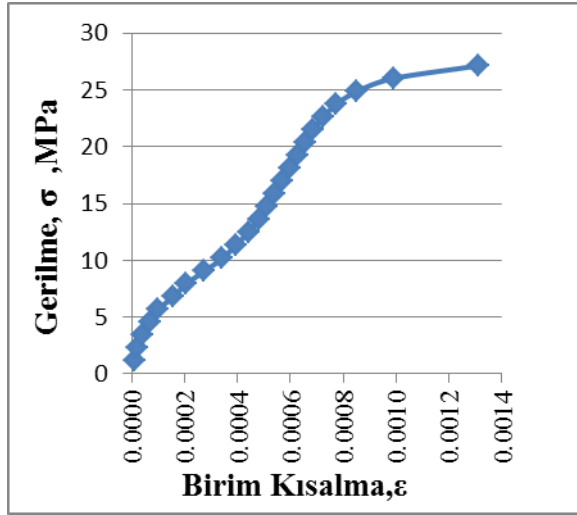
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=P/A$ (MPa)
20	0.000	0.00	1.13	20	0.003	9.80E-06	1.13	20	0.005	1.81E-05	1.13
40	0.009	3.52E-05	2.26	40	0.005	1.96E-05	2.26	40	0.009	3.61E-05	2.26
60	0.018	7.04E-05	3.39	60	0.010	3.92E-05	3.39	60	0.018	7.22E-05	3.39
80	0.027	1.06E-04	4.53	80	0.018	6.86E-05	4.53	80	0.028	1.08E-04	4.53
100	0.040	1.55E-04	5.66	100	0.025	9.80E-05	5.66	100	0.046	1.81E-04	5.66
120	0.050	1.97E-04	6.79	120	0.040	1.57E-04	6.79	120	0.060	2.35E-04	6.79
140	0.063	2.47E-04	7.92	140	0.053	2.06E-04	7.92	140	0.069	2.71E-04	7.92
160	0.072	2.82E-04	9.05	160	0.070	2.74E-04	9.05	160	0.074	2.89E-04	9.05
180	0.088	3.45E-04	10.18	180	0.088	3.43E-04	10.18	180	0.083	3.25E-04	10.18
200	0.096	3.73E-04	11.31	200	0.100	3.92E-04	11.31	200	0.088	3.43E-04	11.31
220	0.108	4.23E-04	12.44	220	0.113	4.41E-04	12.44	220	0.102	3.97E-04	12.44
240	0.115	4.51E-04	13.58	240	0.123	4.80E-04	13.58	240	0.111	4.33E-04	13.58
260	0.128	5.00E-04	14.71	260	0.130	5.10E-04	14.71	260	0.125	4.87E-04	14.71
280	0.137	5.35E-04	15.84	280	0.138	5.39E-04	15.84	280	0.143	5.60E-04	15.84
300	0.142	5.56E-04	16.97	300	0.146	5.68E-04	16.97	300	0.171	6.68E-04	16.97
320	0.155	6.06E-04	18.10	320	0.153	5.98E-04	18.10	320	0.199	7.76E-04	18.10
340	0.166	6.48E-04	19.23	340	0.161	6.27E-04	19.23	340	0.231	9.03E-04	19.23
360	0.189	7.40E-04	20.36	360	0.168	6.57E-04	20.36	360	0.254	9.93E-04	20.36
380	0.206	8.03E-04	21.49	380	0.176	6.86E-04	21.49	380	0.273	1.07E-03	21.49
400	0.216	8.45E-04	22.63	400	0.186	7.25E-04	22.63	400	0.291	1.14E-03	22.63
420	0.227	8.88E-04	23.76	420	0.198	7.74E-04	23.76	420	0.314	1.23E-03	23.76
440	0.238	9.30E-04	24.89	440	0.218	8.53E-04	24.89	440	0.328	1.28E-03	24.89
460	0.261	1.02E-03	26.02	460	0.253	9.90E-04	26.02	460	0.347	1.35E-03	26.02
480	0.279	1.09E-03	27.15	480	0.336	1.31E-03	27.15	480	0.365	1.43E-03	27.15
500	0.310	1.21E-03	28.28					500	0.393	1.53E-03	28.28
								520	0.425	1.66E-03	29.41
								540	0.448	1.75E-03	30.55
DA-100-E7-1		P=	520 kN	DA-100-E7-2		P=	485 kN	DA-100-E7-3		P=	560 kN



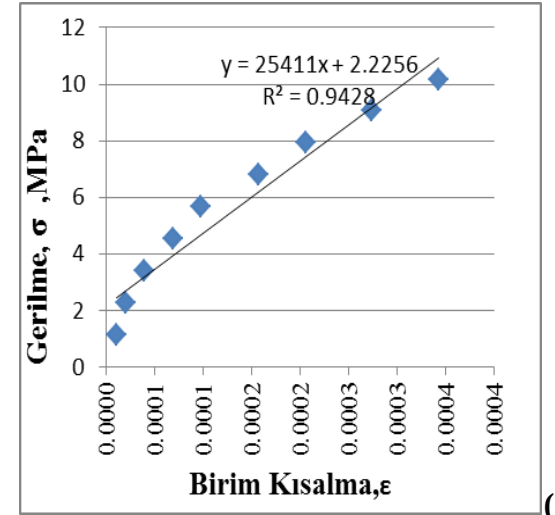
(a)



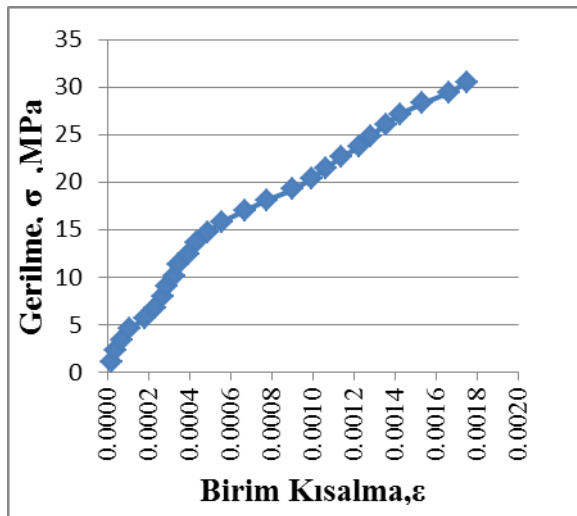
(b)



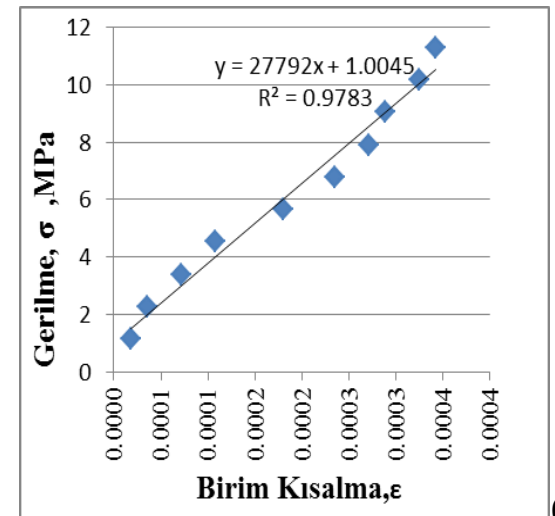
(c)



(d)



(e)

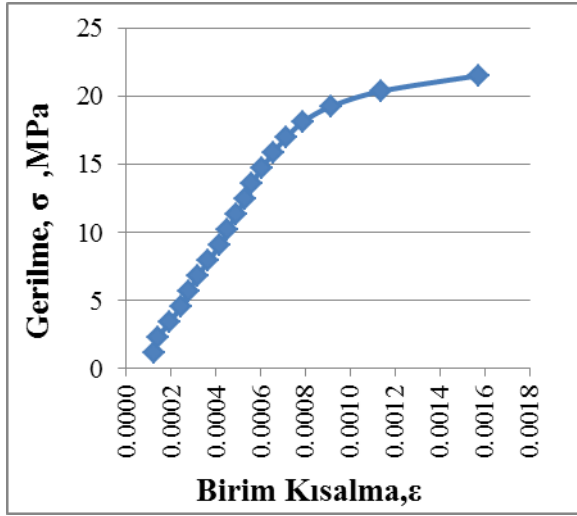


(f)

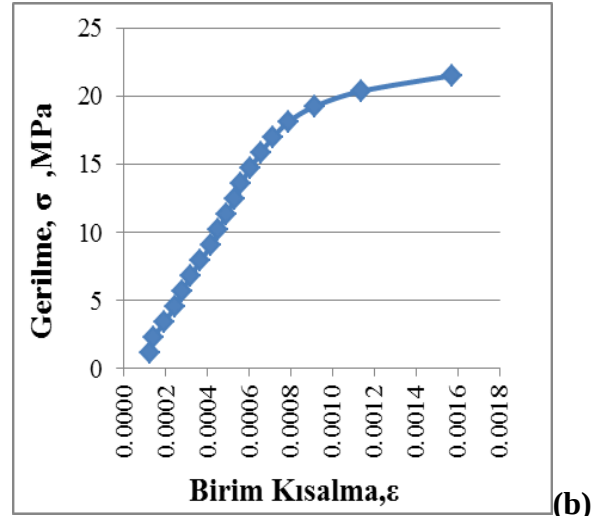
Şekil A.3 : (a,b) DA-100-E7-1, (c,d) DA-100-E7-2, (e,f) DA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.4 : DA-100-E3-1, DA-100-E3-2, DA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

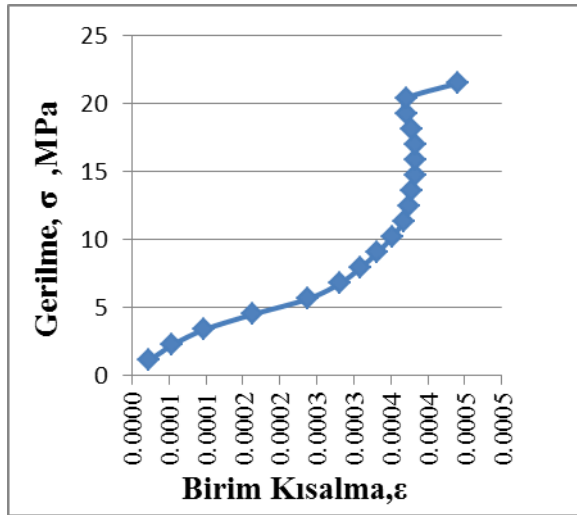
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)
20	0.032	0.00	1.13	20	0.006	2.34E-05	1.13	20	0.005	1.95E-05	1.13
40	0.036	1.41E-04	2.26	40	0.014	5.47E-05	2.26	40	0.014	5.47E-05	2.26
60	0.050	1.95E-04	3.39	60	0.025	9.77E-05	3.39	60	0.021	8.20E-05	3.39
80	0.062	2.42E-04	4.53	80	0.042	1.64E-04	4.53	80	0.031	1.21E-04	4.53
100	0.072	2.81E-04	5.66	100	0.061	2.38E-04	5.66	100	0.041	1.60E-04	5.66
120	0.082	3.20E-04	6.79	120	0.072	2.81E-04	6.79	120	0.050	1.95E-04	6.79
140	0.094	3.67E-04	7.92	140	0.079	3.09E-04	7.92	140	0.064	2.50E-04	7.92
160	0.107	4.18E-04	9.05	160	0.085	3.32E-04	9.05	160	0.076	2.97E-04	9.05
180	0.116	4.53E-04	10.18	180	0.090	3.52E-04	10.18	180	0.089	3.48E-04	10.18
200	0.126	4.92E-04	11.31	200	0.094	3.67E-04	11.31	200	0.103	4.02E-04	11.31
220	0.136	5.31E-04	12.44	220	0.096	3.75E-04	12.44	220	0.116	4.53E-04	12.44
240	0.144	5.63E-04	13.58	240	0.097	3.79E-04	13.58	240	0.131	5.12E-04	13.58
260	0.155	6.05E-04	14.71	260	0.098	3.83E-04	14.71	260	0.146	5.70E-04	14.71
280	0.168	6.56E-04	15.84	280	0.098	3.83E-04	15.84	280	0.162	6.33E-04	15.84
300	0.183	7.15E-04	16.97	300	0.098	3.83E-04	16.97	300	0.184	7.19E-04	16.97
320	0.202	7.89E-04	18.10	320	0.097	3.79E-04	18.10	320	0.203	7.93E-04	18.10
340	0.234	9.14E-04	19.23	340	0.095	3.71E-04	19.23	340	0.224	8.75E-04	19.23
360	0.292	1.14E-03	20.36	360	0.095	3.71E-04	20.36	360	0.250	9.77E-04	20.36
380	0.402	1.57E-03	21.49	380	0.113	4.41E-04	21.49	380	0.290	1.13E-03	21.49
DA-100-E3-1				P=	520 kN	DA-100-E3-2				P=	485 kN
						DA-100-E3-3				P=	560 kN



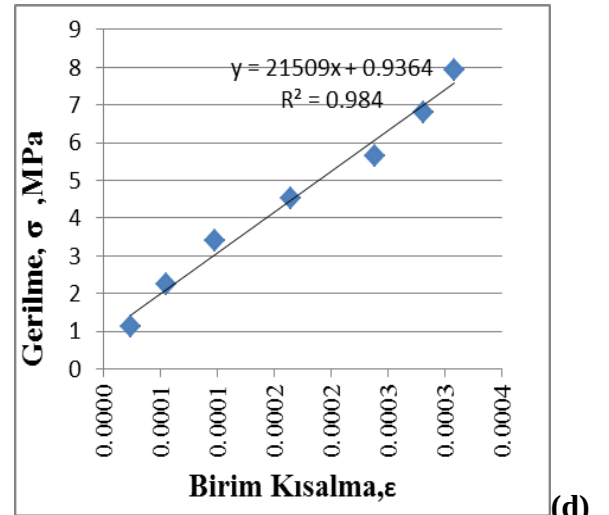
(a)



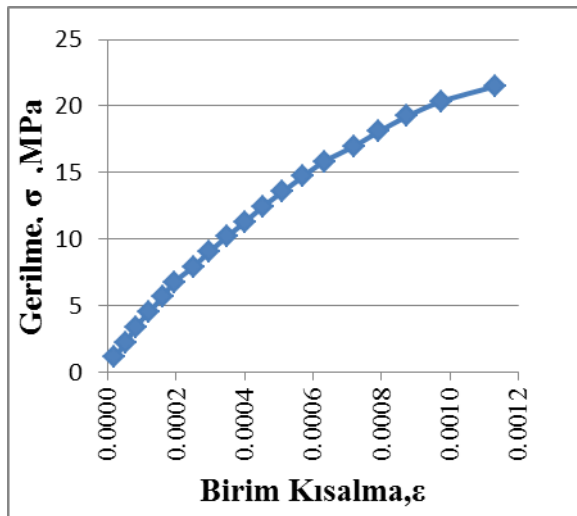
(b)



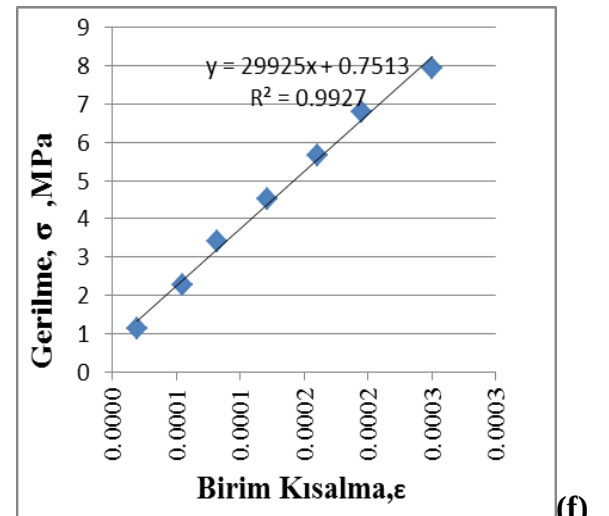
(c)



(d)



(e)

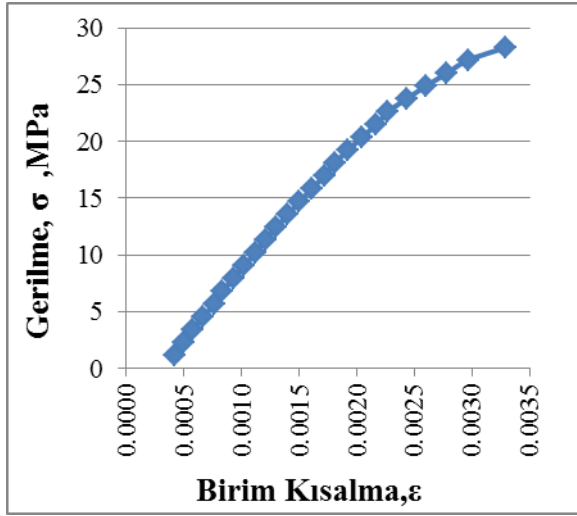


(f)

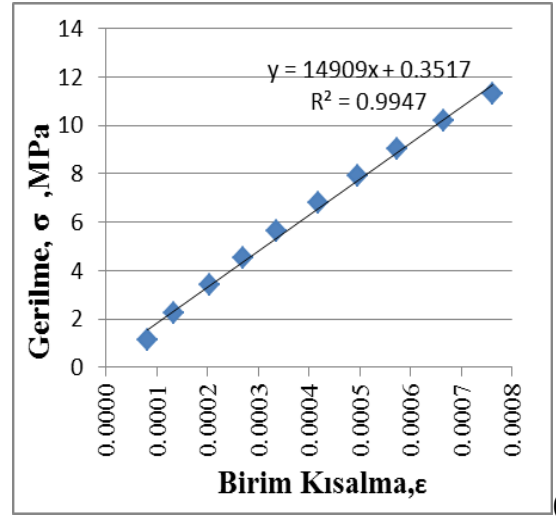
Şekil A.4 : (a,b) DA-100-E3-1, (c,d) DA-100-E3-2, (e,f) DA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.5 : GKİA-25-E28-1, GKİA-25-E28-2, GKİA-25-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

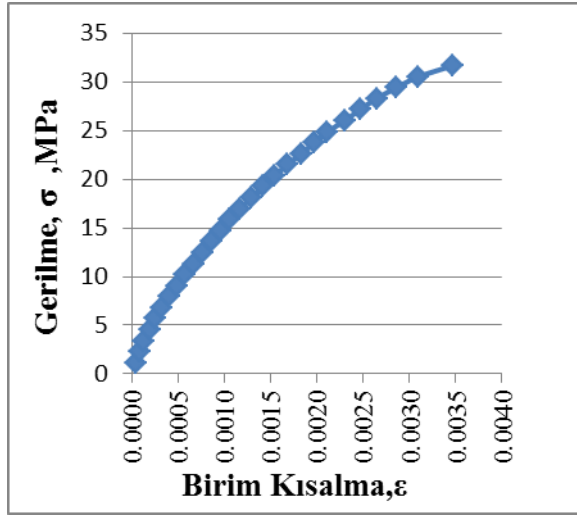
P (kN)	Δt	ε=Δt/t	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δt	ε=Δt/t	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δt	ε=Δt/t	σ= P/A (MPa)
20	0.021	8.20E-05	1.13	20	0.012	4.69E-05	1.13	20	0.030	1.17E-04	1.13
40	0.034	1.33E-04	2.26	40	0.021	8.20E-05	2.26	40	0.047	1.84E-04	2.26
60	0.052	2.03E-04	3.39	60	0.034	1.33E-04	3.39	60	0.071	2.77E-04	3.39
80	0.069	2.70E-04	4.53	80	0.049	1.91E-04	4.53	80	0.093	3.63E-04	4.53
100	0.086	3.36E-04	5.66	100	0.066	2.58E-04	5.66	100	0.116	4.53E-04	5.66
120	0.107	4.18E-04	6.79	120	0.082	3.20E-04	6.79	120	0.135	5.27E-04	6.79
140	0.127	4.96E-04	7.92	140	0.102	3.98E-04	7.92	140	0.161	6.29E-04	7.92
160	0.147	5.74E-04	9.05	160	0.124	4.84E-04	9.05	160	0.185	7.23E-04	9.05
180	0.170	6.64E-04	10.18	180	0.146	5.70E-04	10.18	180	0.213	8.32E-04	10.18
200	0.195	7.62E-04	11.31	200	0.172	6.72E-04	11.31	200	0.240	9.38E-04	11.31
220	0.213	8.32E-04	12.44	220	0.197	7.70E-04	12.44	220	0.270	1.05E-03	12.44
240	0.238	9.30E-04	13.58	240	0.219	8.55E-04	13.58	240	0.295	1.15E-03	13.58
260	0.261	1.02E-03	14.71	260	0.245	9.57E-04	14.71	260	0.325	1.27E-03	14.71
280	0.287	1.12E-03	15.84	280	0.272	1.06E-03	15.84	280	0.357	1.39E-03	15.84
300	0.309	1.21E-03	16.97	300	0.299	1.17E-03	16.97	300	0.387	1.51E-03	16.97
320	0.334	1.30E-03	18.10	320	0.332	1.30E-03	18.10	320	0.418	1.63E-03	18.10
340	0.359	1.40E-03	19.23	340	0.363	1.42E-03	19.23	340	0.451	1.76E-03	19.23
360	0.385	1.50E-03	20.36	360	0.395	1.54E-03	20.36	360	0.485	1.89E-03	20.36
380	0.412	1.61E-03	21.49	380	0.430	1.68E-03	21.49	380	0.522	2.04E-03	21.49
400	0.440	1.72E-03	22.63	400	0.469	1.83E-03	22.63	400	0.559	2.18E-03	22.63
420	0.463	1.81E-03	23.76	420	0.505	1.97E-03	23.76	420	0.600	2.34E-03	23.76
440	0.493	1.93E-03	24.89	440	0.542	2.12E-03	24.89	440	0.636	2.48E-03	24.89
460	0.523	2.04E-03	26.02	460	0.589	2.30E-03	26.02	460	0.673	2.63E-03	26.02
480	0.556	2.17E-03	27.15	480	0.631	2.46E-03	27.15	480	0.721	2.82E-03	27.15
500	0.582	2.27E-03	28.28	500	0.677	2.64E-03	28.28	500	0.772	3.02E-03	28.28
520	0.623	2.43E-03	29.41	520	0.732	2.86E-03	29.41	520	0.838	3.27E-03	29.41
540	0.666	2.60E-03	30.55	540	0.794	3.10E-03	30.55	540	0.945	3.69E-03	30.55
560	0.713	2.79E-03	31.68	560	0.888	3.47E-03	31.68				
580	0.759	2.96E-03	32.81								
600	0.844	3.30E-03	33.94								
GKÍA-25-E28-1			P= 600 kN	GKÍA-25-E28-2			P= 570 kN	GKÍA-25-E28-3			P= 540 kN



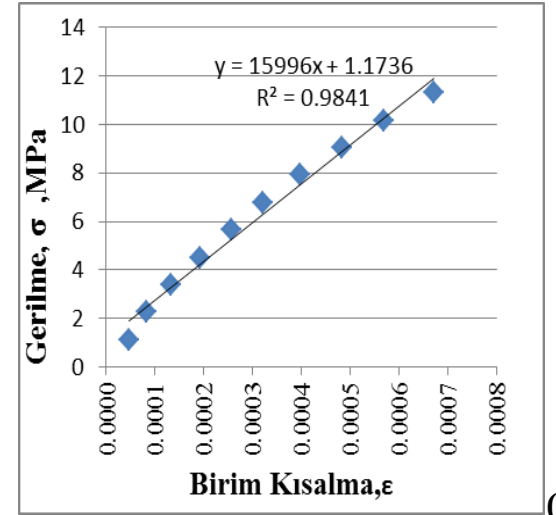
(a)



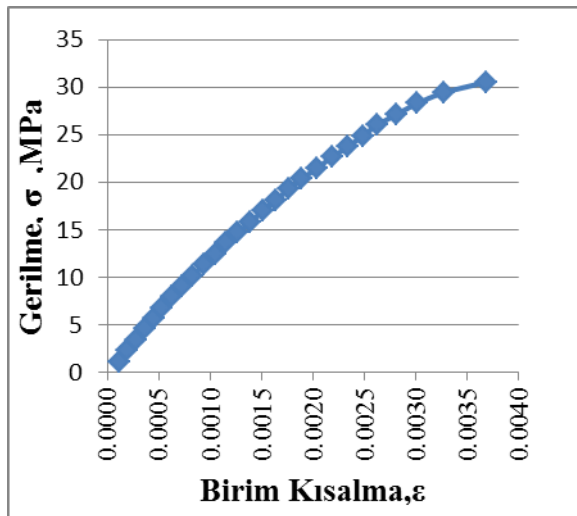
(b)



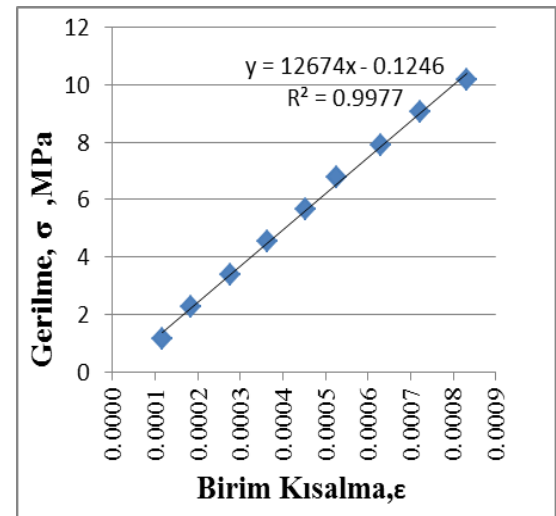
(c)



(d)



(e)

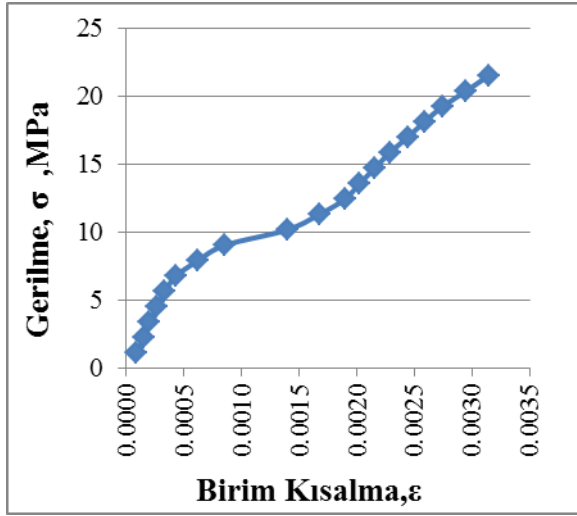


(f)

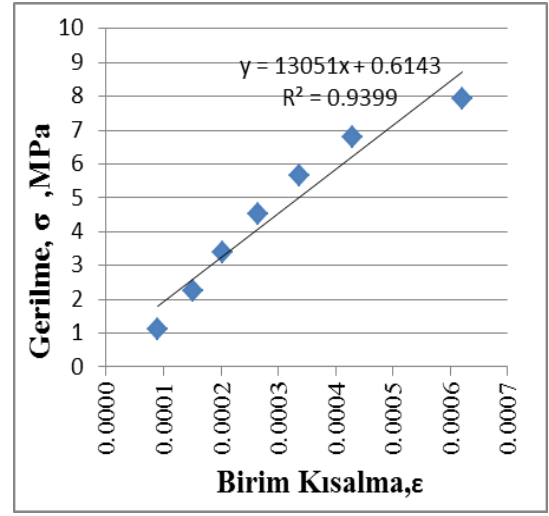
Şekil A.5 : (a,b) GKİA-25-E28-1, (c,d) GKİA-25-E28-2, (e,f) GKİA-25-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.6 : GKİA-25-E14-1, GKİA-25-E14-2, GKİA-25-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

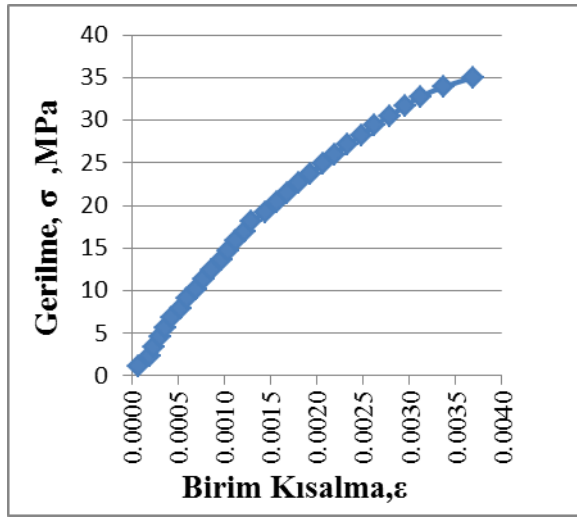
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)
20	0.023	8.98E-05	1.13	20	0.020	7.81E-05	1.13	20	0.018	7.03E-05	1.13
40	0.039	1.52E-04	2.26	40	0.049	1.91E-04	2.26	40	0.033	1.29E-04	2.26
60	0.052	2.03E-04	3.39	60	0.061	2.38E-04	3.39	60	0.049	1.91E-04	3.39
80	0.068	2.66E-04	4.53	80	0.078	3.05E-04	4.53	80	0.068	2.66E-04	4.53
100	0.086	3.36E-04	5.66	100	0.092	3.59E-04	5.66	100	0.088	3.44E-04	5.66
120	0.110	4.30E-04	6.79	120	0.112	4.38E-04	6.79	120	0.109	4.26E-04	6.79
140	0.159	6.21E-04	7.92	140	0.135	5.27E-04	7.92	140	0.130	5.08E-04	7.92
160	0.219	8.55E-04	9.05	160	0.154	6.02E-04	9.05	160	0.155	6.05E-04	9.05
180	0.357	1.39E-03	10.18	180	0.178	6.95E-04	10.18	180	0.180	7.03E-04	10.18
200	0.429	1.68E-03	11.31	200	0.199	7.77E-04	11.31	200	0.208	8.13E-04	11.31
220	0.486	1.90E-03	12.44	220	0.219	8.55E-04	12.44	220	0.235	9.18E-04	12.44
240	0.518	2.02E-03	13.58	240	0.249	9.73E-04	13.58	240	0.267	1.04E-03	13.58
260	0.552	2.16E-03	14.71	260	0.266	1.04E-03	14.71	260	0.299	1.17E-03	14.71
280	0.585	2.29E-03	15.84	280	0.288	1.13E-03	15.84	280	0.341	1.33E-03	15.84
300	0.625	2.44E-03	16.97	300	0.313	1.22E-03	16.97	300	0.374	1.46E-03	16.97
320	0.662	2.59E-03	18.10	320	0.330	1.29E-03	18.10	320	0.415	1.62E-03	18.10
340	0.703	2.75E-03	19.23	340	0.370	1.45E-03	19.23	340	0.458	1.79E-03	19.23
360	0.755	2.95E-03	20.36	360	0.403	1.57E-03	20.36	360	0.504	1.97E-03	20.36
380	0.805	3.14E-03	21.49	380	0.430	1.68E-03	21.49	380	0.552	2.16E-03	21.49
				400	0.463	1.81E-03	22.63	400	0.603	2.36E-03	22.63
				420	0.494	1.93E-03	23.76	420	0.662	2.59E-03	23.76
				440	0.530	2.07E-03	24.89	440	0.710	2.77E-03	24.89
				460	0.560	2.19E-03	26.02	460	0.777	3.04E-03	26.02
				480	0.598	2.34E-03	27.15	480	0.852	3.33E-03	27.15
				500	0.635	2.48E-03	28.28	500	0.954	3.73E-03	28.28
				520	0.672	2.63E-03	29.41				
				540	0.714	2.79E-03	30.55				
				560	0.756	2.95E-03	31.68				
				580	0.799	3.12E-03	32.81				
				600	0.863	3.37E-03	33.94				
				620	0.946	3.70E-03	35.07				
GKİA-25-E14-1 P= 390 kN				GKİA-25-E14-2 P= 630 kN				GKİA-25-E14-3 P= 510 kN			



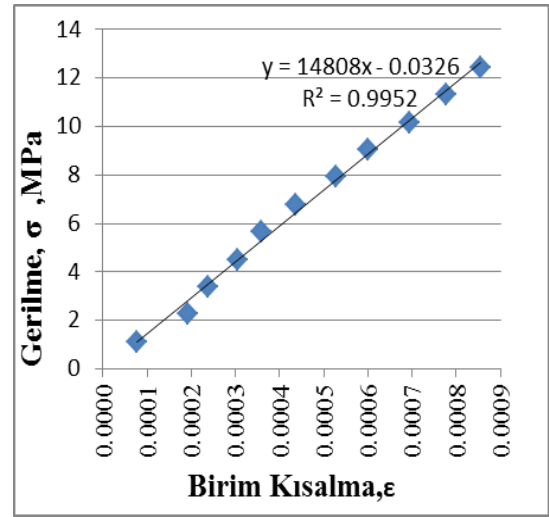
(a)



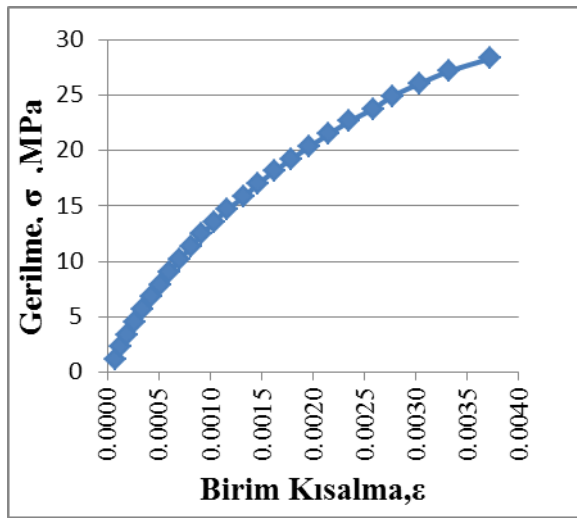
(b)



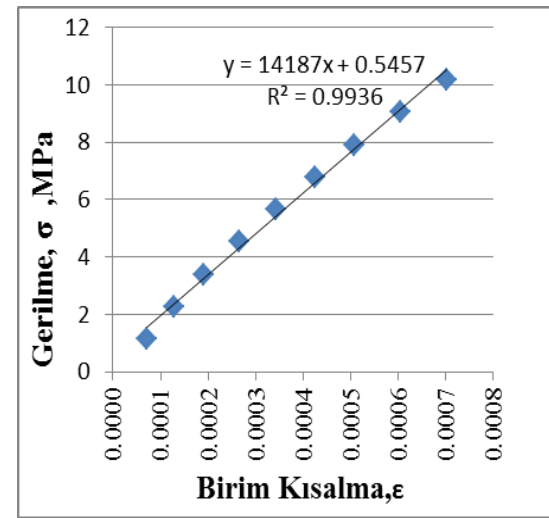
(c)



(d)



(e)

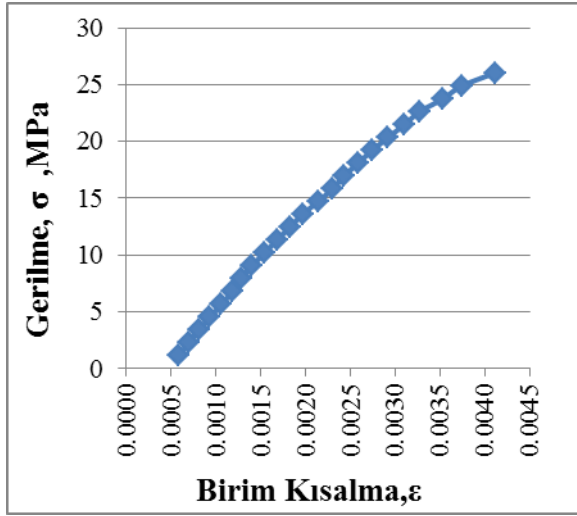


(f)

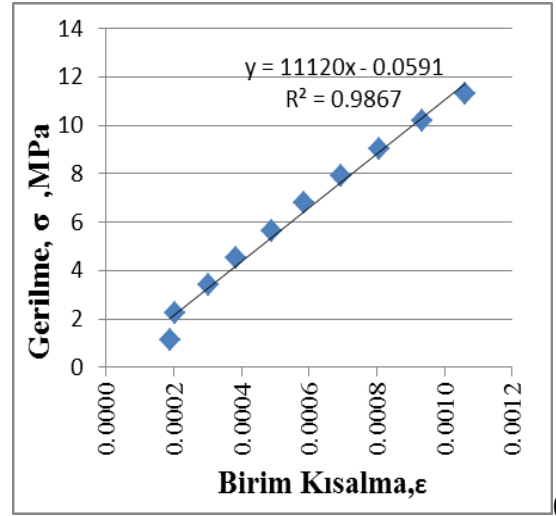
Şekil A.6 : (a,b) GKİA-25-E14-1, (c,d) GKİA-25-E14-2, (e,f) GKİA-25-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.7 : GKİA-25-E7-1, GKİA-25-E7-2, GKİA-25-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

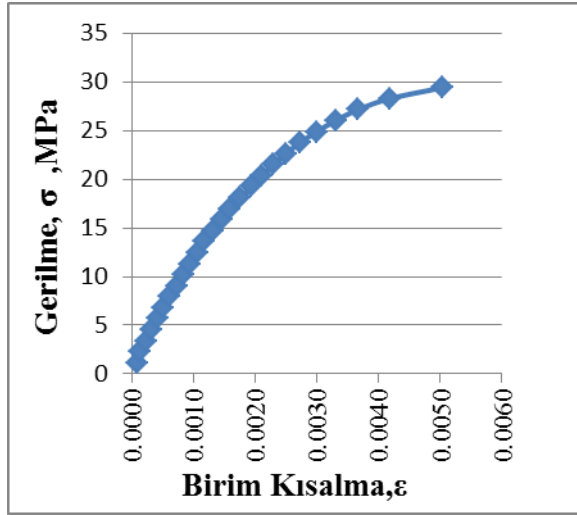
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)						
20	0.048	1.88E-04	1.13	20	0.024	9.38E-05	1.13	20	0.019	7.42E-05	1.13						
40	0.052	2.03E-04	2.26	40	0.033	1.29E-04	2.26	40	0.032	1.25E-04	2.26						
60	0.077	3.01E-04	3.39	60	0.057	2.23E-04	3.39	60	0.051	1.99E-04	3.39						
80	0.098	3.83E-04	4.53	80	0.083	3.24E-04	4.53	80	0.071	2.77E-04	4.53						
100	0.125	4.88E-04	5.66	100	0.107	4.18E-04	5.66	100	0.092	3.59E-04	5.66						
120	0.150	5.86E-04	6.79	120	0.131	5.12E-04	6.79	120	0.114	4.45E-04	6.79						
140	0.178	6.95E-04	7.92	140	0.157	6.13E-04	7.92	140	0.138	5.39E-04	7.92						
160	0.207	8.09E-04	9.05	160	0.186	7.27E-04	9.05	160	0.159	6.21E-04	9.05						
180	0.239	9.34E-04	10.18	180	0.214	8.36E-04	10.18	180	0.188	7.34E-04	10.18						
200	0.272	1.06E-03	11.31	200	0.241	9.41E-04	11.31	200	0.212	8.28E-04	11.31						
220	0.303	1.18E-03	12.44	220	0.273	1.07E-03	12.44	220	0.238	9.30E-04	12.44						
240	0.328	1.28E-03	13.58	240	0.298	1.16E-03	13.58	240	0.261	1.02E-03	13.58						
260	0.359	1.40E-03	14.71	260	0.337	1.32E-03	14.71	260	0.285	1.11E-03	14.71						
280	0.395	1.54E-03	15.84	280	0.373	1.46E-03	15.84	280	0.309	1.21E-03	15.84						
300	0.430	1.68E-03	16.97	300	0.408	1.59E-03	16.97	300	0.338	1.32E-03	16.97						
320	0.467	1.82E-03	18.10	320	0.450	1.76E-03	18.10	320	0.367	1.43E-03	18.10						
340	0.503	1.96E-03	19.23	340	0.496	1.94E-03	19.23	340	0.396	1.55E-03	19.23						
360	0.548	2.14E-03	20.36	360	0.537	2.10E-03	20.36	360	0.429	1.68E-03	20.36						
380	0.589	2.30E-03	21.49	380	0.589	2.30E-03	21.49	380	0.463	1.81E-03	21.49						
400	0.623	2.43E-03	22.63	400	0.639	2.50E-03	22.63	400	0.501	1.96E-03	22.63						
420	0.662	2.59E-03	23.76	420	0.698	2.73E-03	23.76	420	0.534	2.09E-03	23.76						
440	0.703	2.75E-03	24.89	440	0.767	3.00E-03	24.89	440	0.573	2.24E-03	24.89						
460	0.748	2.92E-03	26.02	460	0.846	3.30E-03	26.02	460	0.614	2.40E-03	26.02						
480	0.795	3.11E-03	27.15	480	0.938	3.66E-03	27.15	480	0.677	2.64E-03	27.15						
500	0.838	3.27E-03	28.28	500	1.070	4.18E-03	28.28	500	0.744	2.91E-03	28.28						
520	0.905	3.54E-03	29.41	520	1.289	5.04E-03	29.41	520	0.829	3.24E-03	29.41						
540	0.958	3.74E-03	30.55					540	0.970	3.79E-03	30.55						
560	1.053	4.11E-03	31.68														
GKİA-25-E7-1				P=	560 kN	GKİA-25-E7-2				P=	520 kN	GKİA-25-E7-3				P=	540 kN



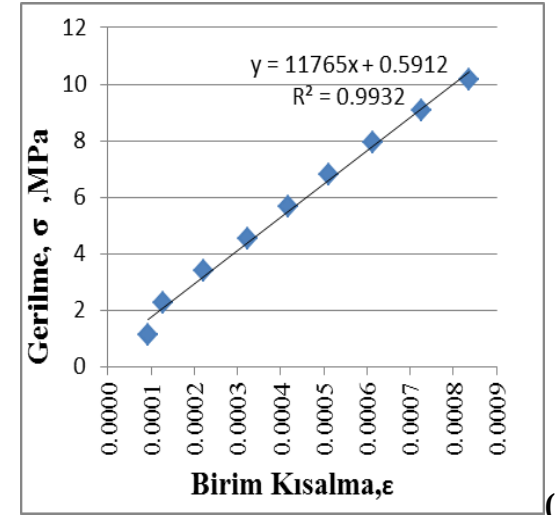
(a)



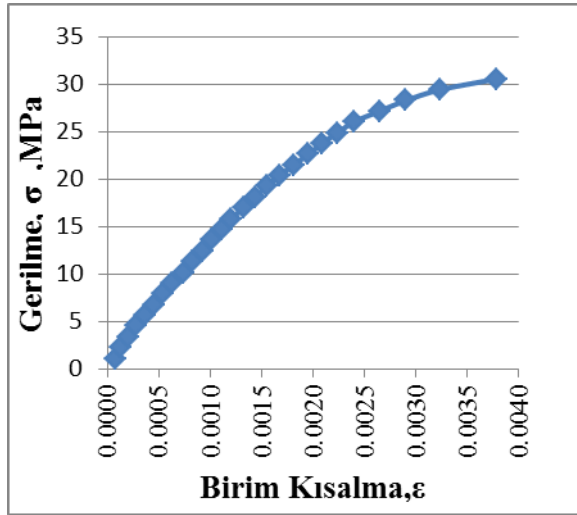
(b)



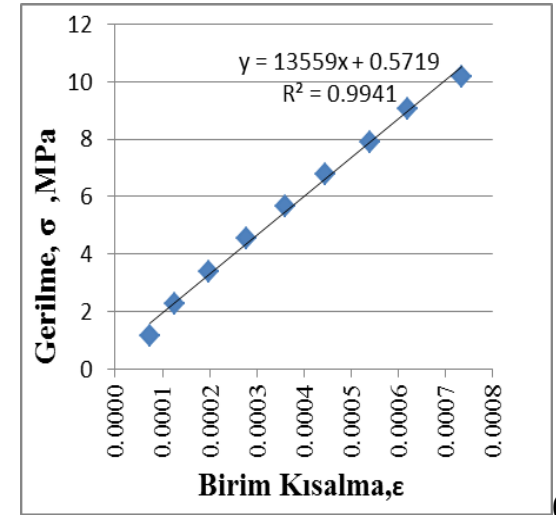
(c)



(d)



(e)

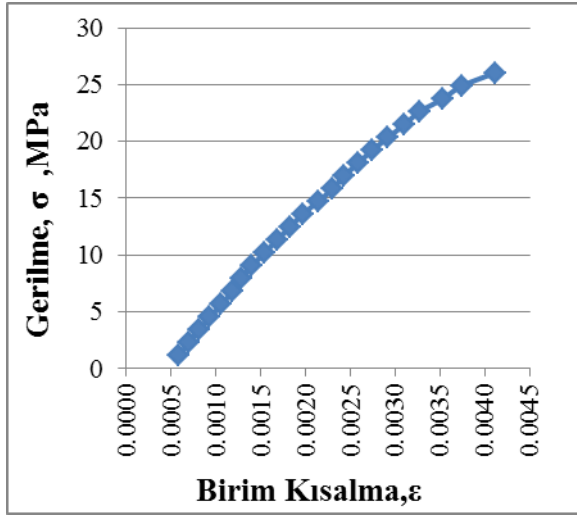


(f)

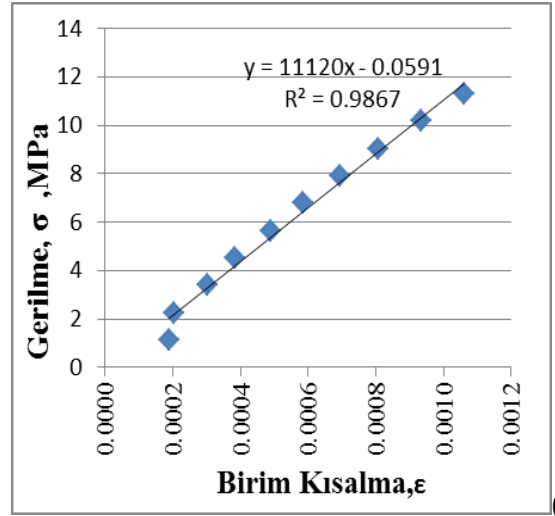
Şekil A.7 : (a,b) GKİA-25-E7-1, (c,d) GKİA-25-E7-2, (e,f) GKİA-25-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.8 : GKİA-25-E3-1, GKİA-25-E3-2, GKİA-25-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

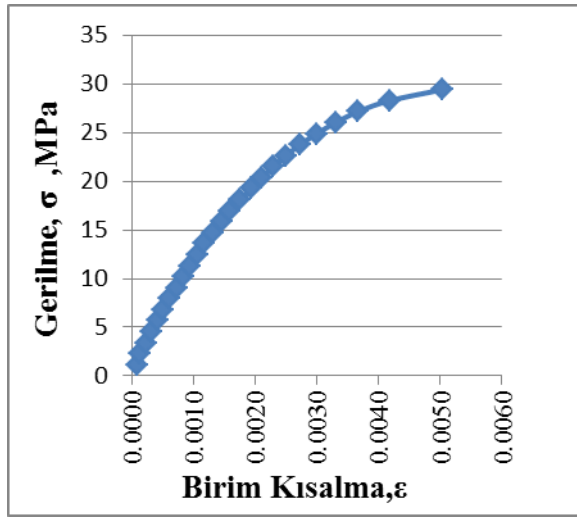
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)
20	0.024	9.38E-05	1.13	20	0.020	7.81E-05	1.13	20	0.040	1.56E-04	1.13
40	0.046	1.80E-04	2.26	40	0.029	1.13E-04	2.26	40	0.069	2.70E-04	2.26
60	0.075	2.93E-04	3.39	60	0.045	1.76E-04	3.39	60	0.099	3.87E-04	3.39
80	0.104	4.06E-04	4.53	80	0.064	2.50E-04	4.53	80	0.123	4.80E-04	4.53
100	0.129	5.04E-04	5.66	100	0.084	3.28E-04	5.66	100	0.153	5.98E-04	5.66
120	0.160	6.25E-04	6.79	120	0.106	4.14E-04	6.79	120	0.182	7.11E-04	6.79
140	0.192	7.50E-04	7.92	140	0.131	5.12E-04	7.92	140	0.214	8.36E-04	7.92
160	0.226	8.83E-04	9.05	160	0.160	6.25E-04	9.05	160	0.240	9.38E-04	9.05
180	0.258	1.01E-03	10.18	180	0.187	7.30E-04	10.18	180	0.266	1.04E-03	10.18
200	0.286	1.12E-03	11.31	200	0.216	8.44E-04	11.31	200	0.299	1.17E-03	11.31
220	0.316	1.23E-03	12.44	220	0.248	9.69E-04	12.44	220	0.333	1.30E-03	12.44
240	0.348	1.36E-03	13.58	240	0.278	1.09E-03	13.58	240	0.365	1.43E-03	13.58
260	0.382	1.49E-03	14.71	260	0.311	1.21E-03	14.71	260	0.401	1.57E-03	14.71
280	0.417	1.63E-03	15.84	280	0.339	1.32E-03	15.84	280	0.433	1.69E-03	15.84
300	0.449	1.75E-03	16.97	300	0.378	1.48E-03	16.97	300	0.467	1.82E-03	16.97
320	0.487	1.90E-03	18.10	320	0.424	1.66E-03	18.10	320	0.507	1.98E-03	18.10
340	0.522	2.04E-03	19.23	340	0.468	1.83E-03	19.23	340	0.544	2.13E-03	19.23
360	0.563	2.20E-03	20.36	360	0.529	2.07E-03	20.36	360	0.592	2.31E-03	20.36
380	0.601	2.35E-03	21.49	380	0.588	2.30E-03	21.49	380	0.632	2.47E-03	21.49
400	0.643	2.51E-03	22.63	400	0.651	2.54E-03	22.63	400	0.678	2.65E-03	22.63
420	0.684	2.67E-03	23.76	420	0.733	2.86E-03	23.76	420	0.724	2.83E-03	23.76
440	0.724	2.83E-03	24.89	440	0.829	3.24E-03	24.89	440	0.783	3.06E-03	24.89
460	0.777	3.04E-03	26.02	460	1.013	3.96E-03	26.02	460	0.849	3.32E-03	26.02
480	0.826	3.23E-03	27.15					480	0.965	3.77E-03	27.15
500	0.888	3.47E-03	28.28								
520	0.962	3.76E-03	29.41								
540	1.052	4.11E-03	30.55								
GKİA-25-E3-1 P= 540 kN				GKİA-25-E3-2 P= 450 kN				GKİA-25-E3-3 P= 480 kN			



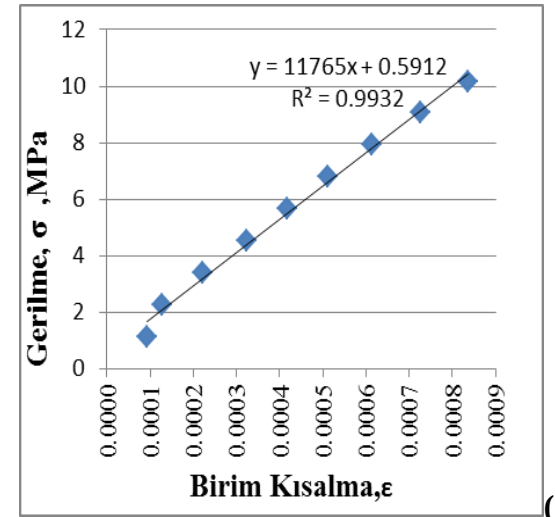
(a)



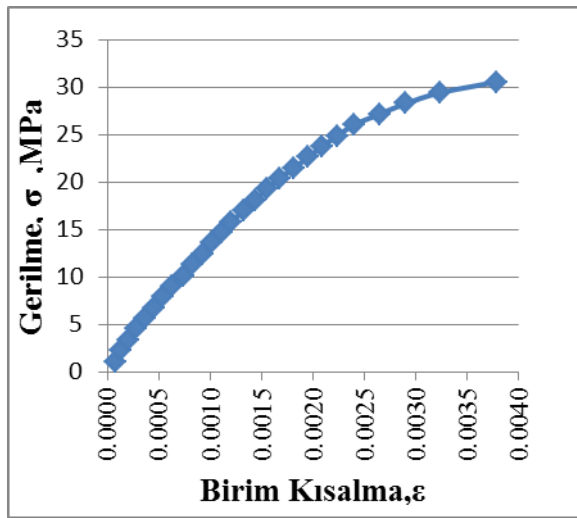
(b)



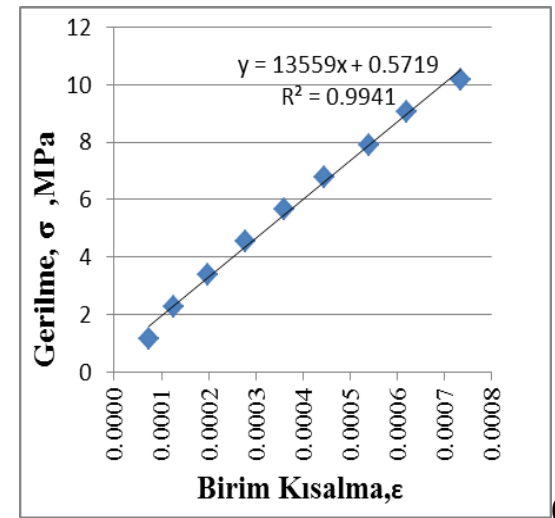
(c)



(d)



(e)

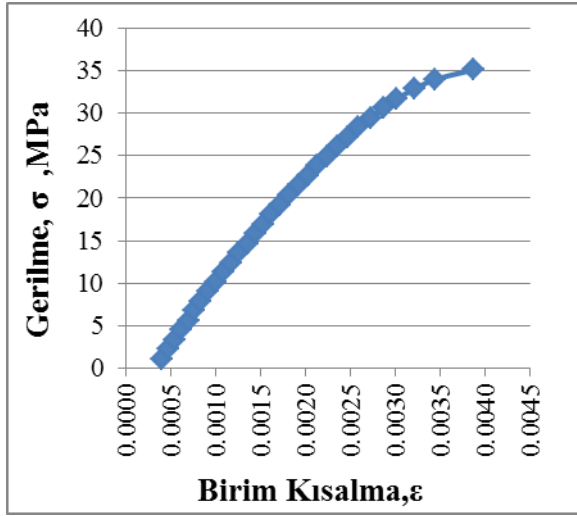


(f)

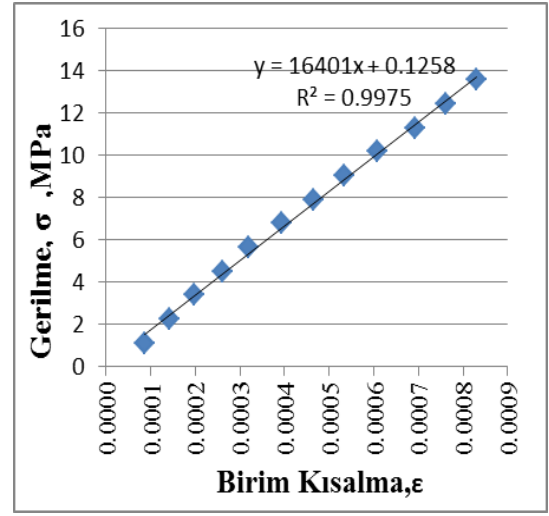
Şekil A.8 : (a,b) GKİA-25-E3-1, (c,d) GKİA-25-E3-2, (e,f) GKİA-25-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.9 : GKİA-50-E28-1, GKİA-50-E28-2, GKİA-50-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

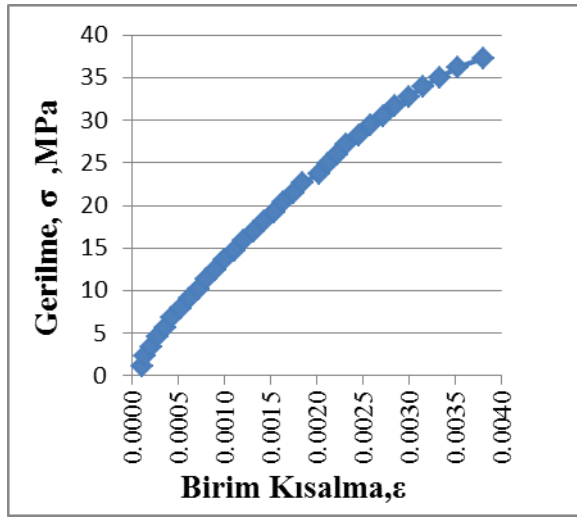
P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)						
20	0.022	8.55E-05	1.13	20	0.029	1.13E-04	1.13	20	0.024	9.38E-05	1.13						
40	0.036	1.41E-04	2.26	40	0.035	1.37E-04	2.26	40	0.045	1.76E-04	2.26						
60	0.050	1.97E-04	3.39	60	0.055	2.15E-04	3.39	60	0.064	2.50E-04	3.39						
80	0.067	2.61E-04	4.53	80	0.073	2.85E-04	4.53	80	0.080	3.13E-04	4.53						
100	0.082	3.21E-04	5.66	100	0.092	3.59E-04	5.66	100	0.100	3.91E-04	5.66						
120	0.101	3.93E-04	6.79	120	0.110	4.30E-04	6.79	120	0.118	4.61E-04	6.79						
140	0.119	4.66E-04	7.92	140	0.135	5.27E-04	7.92	140	0.138	5.39E-04	7.92						
160	0.137	5.34E-04	9.05	160	0.159	6.21E-04	9.05	160	0.160	6.25E-04	9.05						
180	0.155	6.07E-04	10.18	180	0.185	7.23E-04	10.18	180	0.184	7.19E-04	10.18						
200	0.177	6.93E-04	11.31	200	0.207	8.09E-04	11.31	200	0.208	8.13E-04	11.31						
220	0.195	7.61E-04	12.44	220	0.233	9.10E-04	12.44	220	0.234	9.14E-04	12.44						
240	0.212	8.29E-04	13.58	240	0.255	9.96E-04	13.58	240	0.256	1.00E-03	13.58						
260	0.233	9.11E-04	14.71	260	0.283	1.11E-03	14.71	260	0.281	1.10E-03	14.71						
280	0.257	1.00E-03	15.84	280	0.309	1.21E-03	15.84	280	0.305	1.19E-03	15.84						
300	0.278	1.09E-03	16.97	300	0.338	1.32E-03	16.97	300	0.334	1.30E-03	16.97						
320	0.300	1.17E-03	18.10	320	0.365	1.43E-03	18.10	320	0.362	1.41E-03	18.10						
340	0.322	1.26E-03	19.23	340	0.393	1.54E-03	19.23	340	0.389	1.52E-03	19.23						
360	0.347	1.36E-03	20.36	360	0.421	1.64E-03	20.36	360	0.417	1.63E-03	20.36						
380	0.369	1.44E-03	21.49	380	0.447	1.75E-03	21.49	380	0.446	1.74E-03	21.49						
400	0.392	1.53E-03	22.63	400	0.472	1.84E-03	22.63	400	0.475	1.86E-03	22.63						
420	0.415	1.62E-03	23.76	420	0.518	2.02E-03	23.76	420	0.505	1.97E-03	23.76						
440	0.439	1.71E-03	24.89	440	0.543	2.12E-03	24.89	440	0.540	2.11E-03	24.89						
460	0.466	1.82E-03	26.02	460	0.567	2.21E-03	26.02	460	0.573	2.24E-03	26.02						
480	0.494	1.93E-03	27.15	480	0.593	2.32E-03	27.15	480	0.598	2.34E-03	27.15						
500	0.519	2.03E-03	28.28	500	0.629	2.46E-03	28.28	500	0.643	2.51E-03	28.28						
520	0.544	2.12E-03	29.41	520	0.662	2.59E-03	29.41	520	0.678	2.65E-03	29.41						
540	0.575	2.24E-03	30.55	540	0.695	2.71E-03	30.55	540	0.718	2.80E-03	30.55						
560	0.605	2.36E-03	31.68	560	0.730	2.85E-03	31.68	560	0.756	2.95E-03	31.68						
580	0.635	2.48E-03	32.81	580	0.768	3.00E-03	32.81	580	0.799	3.12E-03	32.81						
600	0.662	2.59E-03	33.94	600	0.807	3.15E-03	33.94	600	0.885	3.46E-03	33.94						
620	0.699	2.73E-03	35.07	620	0.853	3.33E-03	35.07	620	1.018	3.98E-03	35.07						
640	0.735	2.87E-03	36.20	640	0.903	3.53E-03	36.20										
660	0.773	3.02E-03	37.33	660	0.973	3.80E-03	37.33										
680	0.823	3.21E-03	38.46														
700	0.882	3.45E-03	39.60														
710	0.992	3.87E-03	40.16														
GKİA-50-E28-1				P=	710 kN	GKİA-50-E28-2				P=	660 kN	GKİA-50-E28-3				P=	620 kN



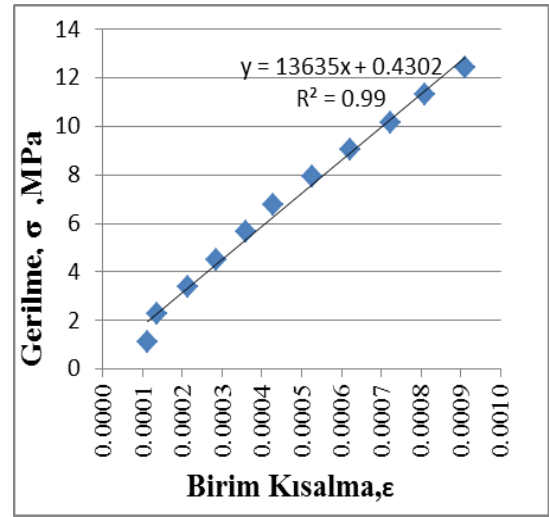
(a)



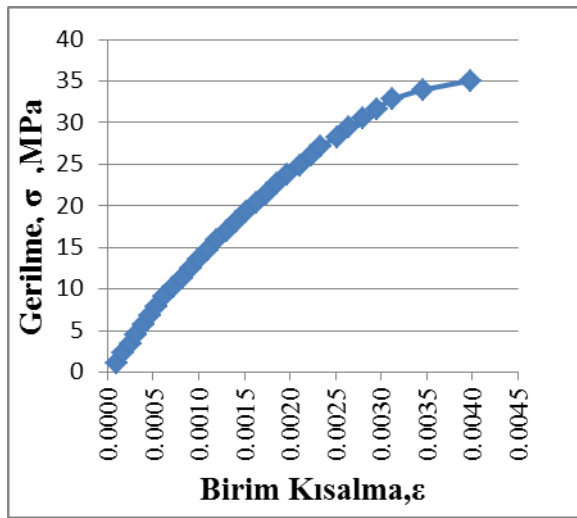
(b)



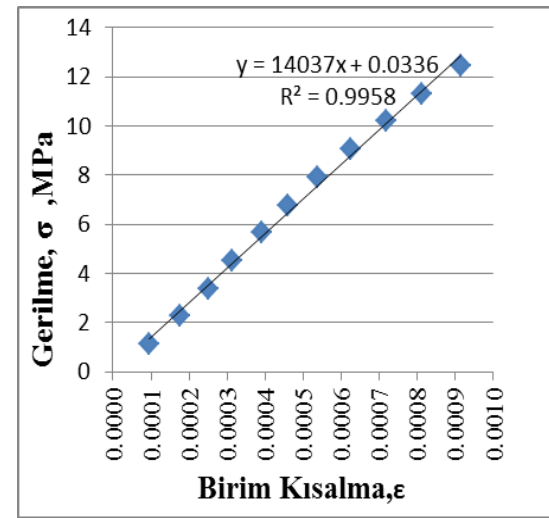
(c)



(d)



(e)

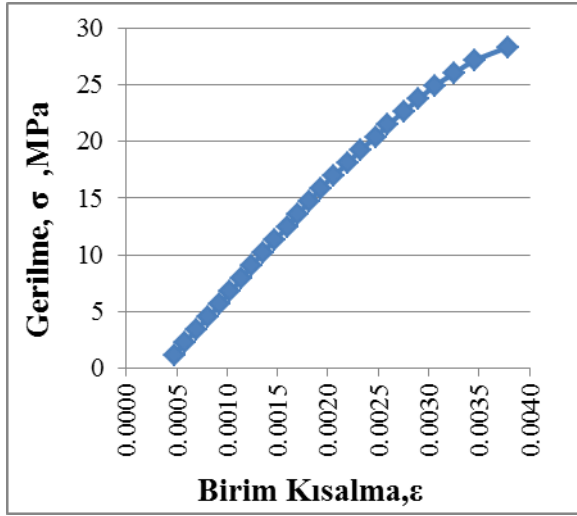


(f)

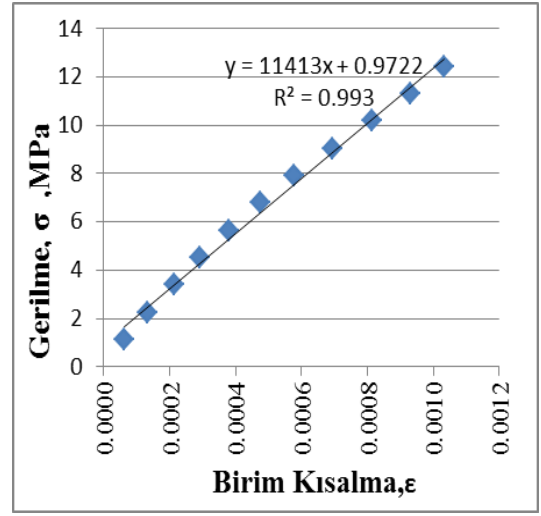
Şekil A.9 : (a,b) GKİA-50-E28-1, (c,d) GKİA-50-E28-2, (e,f) GKİA-50-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.10 : GKİA-50-E14-1, GKİA-50-E14-2, GKİA-50-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

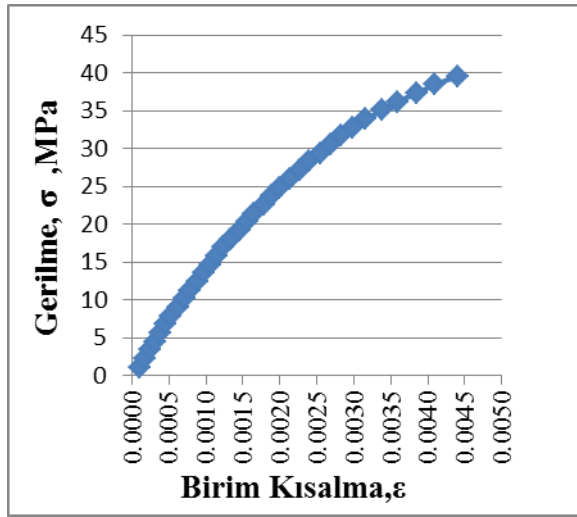
P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)						
20	0.016	6.25E-05	1.13	20	0.028	1.09E-04	1.13	20	0.030	1.17E-04	1.13						
40	0.034	1.33E-04	2.26	40	0.044	1.72E-04	2.26	40	0.042	1.64E-04	2.26						
60	0.055	2.15E-04	3.39	60	0.061	2.38E-04	3.39	60	0.063	2.46E-04	3.39						
80	0.075	2.93E-04	4.53	80	0.079	3.09E-04	4.53	80	0.083	3.24E-04	4.53						
100	0.097	3.79E-04	5.66	100	0.098	3.83E-04	5.66	100	0.102	3.98E-04	5.66						
120	0.122	4.77E-04	6.79	120	0.116	4.53E-04	6.79	120	0.122	4.77E-04	6.79						
140	0.148	5.78E-04	7.92	140	0.135	5.27E-04	7.92	140	0.144	5.63E-04	7.92						
160	0.178	6.95E-04	9.05	160	0.159	6.21E-04	9.05	160	0.169	6.60E-04	9.05						
180	0.208	8.13E-04	10.18	180	0.182	7.11E-04	10.18	180	0.194	7.58E-04	10.18						
200	0.238	9.30E-04	11.31	200	0.201	7.85E-04	11.31	200	0.219	8.55E-04	11.31						
220	0.264	1.03E-03	12.44	220	0.225	8.79E-04	12.44	220	0.248	9.69E-04	12.44						
240	0.294	1.15E-03	13.58	240	0.249	9.73E-04	13.58	240	0.270	1.05E-03	13.58						
260	0.317	1.24E-03	14.71	260	0.270	1.05E-03	14.71	260	0.292	1.14E-03	14.71						
280	0.347	1.36E-03	15.84	280	0.294	1.15E-03	15.84	280	0.322	1.26E-03	15.84						
300	0.376	1.47E-03	16.97	300	0.318	1.24E-03	16.97	300	0.349	1.36E-03	16.97						
320	0.409	1.60E-03	18.10	320	0.343	1.34E-03	18.10	320	0.378	1.48E-03	18.10						
340	0.435	1.70E-03	19.23	340	0.372	1.45E-03	19.23	340	0.409	1.60E-03	19.23						
360	0.465	1.82E-03	20.36	360	0.400	1.56E-03	20.36	360	0.441	1.72E-03	20.36						
380	0.493	1.93E-03	21.49	380	0.422	1.65E-03	21.49	380	0.470	1.84E-03	21.49						
400	0.526	2.05E-03	22.63	400	0.456	1.78E-03	22.63	400	0.502	1.96E-03	22.63						
420	0.563	2.20E-03	23.76	420	0.484	1.89E-03	23.76	420	0.535	2.09E-03	23.76						
440	0.594	2.32E-03	24.89	440	0.513	2.00E-03	24.89	440	0.569	2.22E-03	24.89						
460	0.633	2.47E-03	26.02	460	0.547	2.14E-03	26.02	460	0.602	2.35E-03	26.02						
480	0.665	2.60E-03	27.15	480	0.582	2.27E-03	27.15	480	0.638	2.49E-03	27.15						
500	0.705	2.75E-03	28.28	500	0.615	2.40E-03	28.28	500	0.678	2.65E-03	28.28						
520	0.743	2.90E-03	29.41	520	0.655	2.56E-03	29.41	520	0.713	2.79E-03	29.41						
540	0.783	3.06E-03	30.55	540	0.688	2.69E-03	30.55	540	0.755	2.95E-03	30.55						
560	0.833	3.25E-03	31.68	560	0.725	2.83E-03	31.68	560	0.808	3.16E-03	31.68						
580	0.886	3.46E-03	32.81	580	0.766	2.99E-03	32.81	580	0.863	3.37E-03	32.81						
600	0.968	3.78E-03	33.94	600	0.810	3.16E-03	33.94	600	0.922	3.60E-03	33.94						
				620	0.864	3.38E-03	35.07	620	1.007	3.93E-03	35.07						
				640	0.918	3.59E-03	36.20	640	1.097	4.29E-03	36.20						
				660	0.985	3.85E-03	37.33										
				680	1.048	4.09E-03	38.46										
				700	1.126	4.40E-03	39.60										
GKİA-50-E14-1				P=	600 kN	GKİA-50-E14-2				P=	720 kN	GKİA-50-E14-3				P=	640 kN



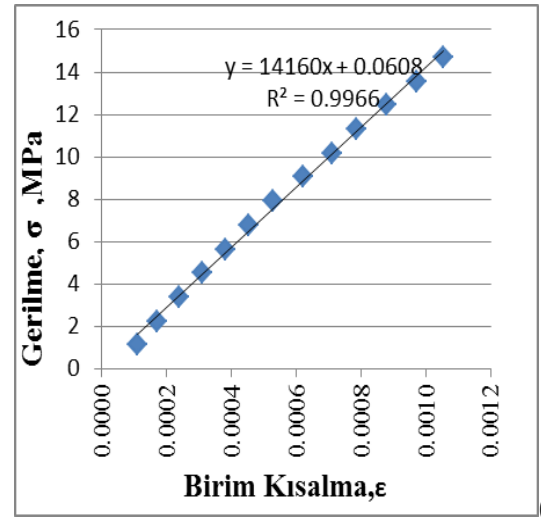
(a)



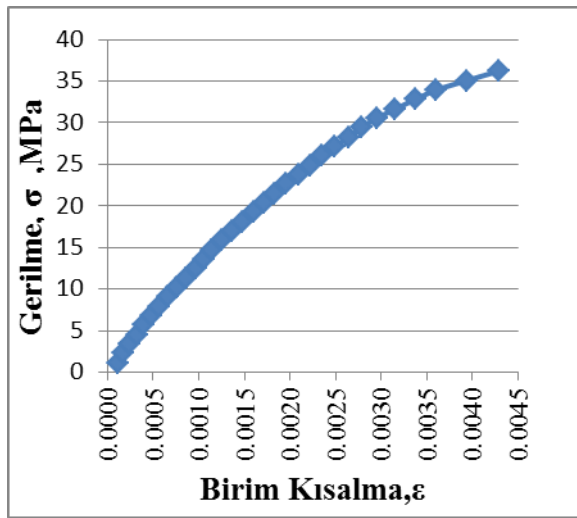
(b)



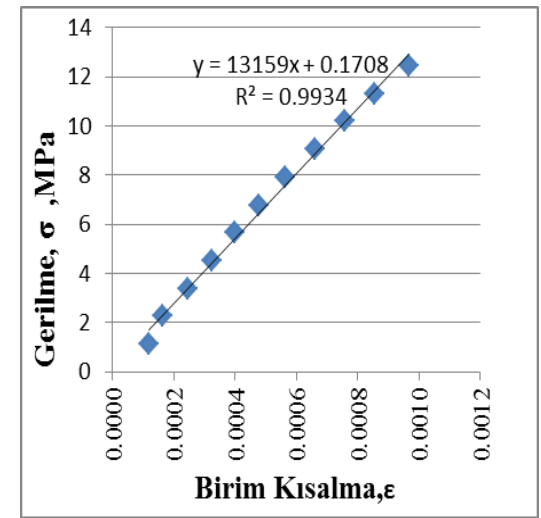
(c)



(d)



(e)

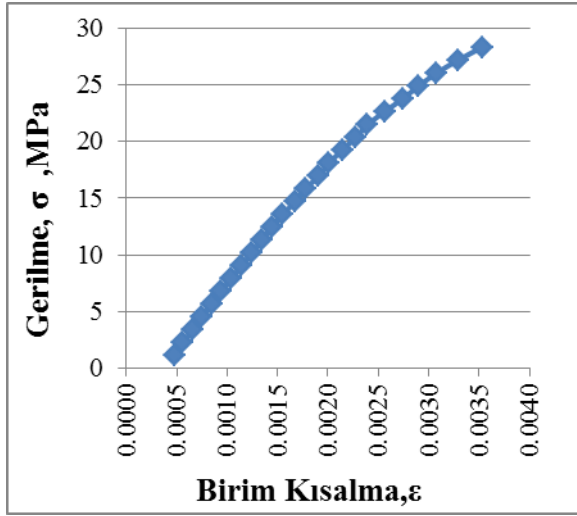


(f)

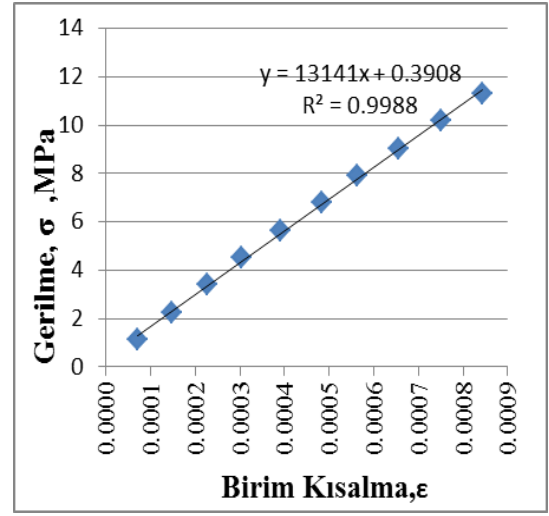
Şekil A.10 : (a,b) GKİA-50-E14-1, (c,d) GKİA-50-E14-2, (e,f) GKİA-50-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.11 : GKİA-50-E7-1, GKİA-50-E7-2, GKİA-50-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

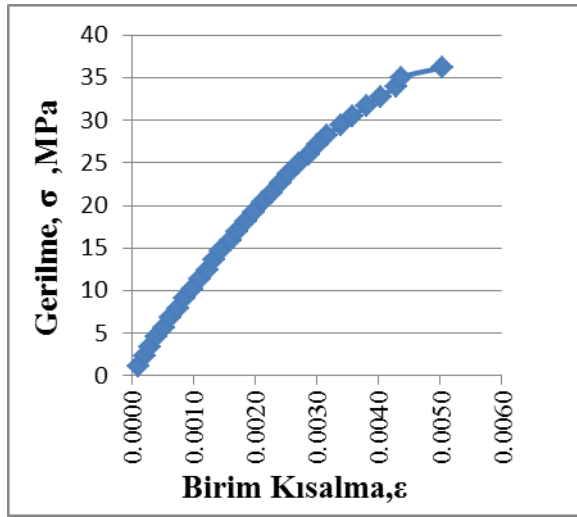
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=$ P/A (MPa)		
20	0.018	7.03E-05	1.13	20	0.025	9.77E-05	1.13	20	0.025	9.77E-05	1.13		
40	0.038	1.48E-04	2.26	40	0.052	2.03E-04	2.26	40	0.047	1.84E-04	2.26		
60	0.058	2.27E-04	3.39	60	0.078	3.05E-04	3.39	60	0.066	2.58E-04	3.39		
80	0.078	3.05E-04	4.53	80	0.103	4.02E-04	4.53	80	0.088	3.44E-04	4.53		
100	0.100	3.91E-04	5.66	100	0.133	5.20E-04	5.66	100	0.112	4.38E-04	5.66		
120	0.124	4.84E-04	6.79	120	0.161	6.29E-04	6.79	120	0.134	5.23E-04	6.79		
140	0.144	5.63E-04	7.92	140	0.193	7.54E-04	7.92	140	0.162	6.33E-04	7.92		
160	0.168	6.56E-04	9.05	160	0.220	8.59E-04	9.05	160	0.187	7.30E-04	9.05		
180	0.192	7.50E-04	10.18	180	0.251	9.80E-04	10.18	180	0.210	8.20E-04	10.18		
200	0.216	8.44E-04	11.31	200	0.284	1.11E-03	11.31	200	0.238	9.30E-04	11.31		
220	0.240	9.38E-04	12.44	220	0.313	1.22E-03	12.44	220	0.264	1.03E-03	12.44		
240	0.266	1.04E-03	13.58	240	0.340	1.33E-03	13.58	240	0.290	1.13E-03	13.58		
260	0.293	1.14E-03	14.71	260	0.371	1.45E-03	14.71	260	0.315	1.23E-03	14.71		
280	0.318	1.24E-03	15.84	280	0.410	1.60E-03	15.84	280	0.343	1.34E-03	15.84		
300	0.345	1.35E-03	16.97	300	0.438	1.71E-03	16.97	300	0.370	1.45E-03	16.97		
320	0.369	1.44E-03	18.10	320	0.475	1.86E-03	18.10	320	0.398	1.55E-03	18.10		
340	0.398	1.55E-03	19.23	340	0.508	1.98E-03	19.23	340	0.430	1.68E-03	19.23		
360	0.428	1.67E-03	20.36	360	0.544	2.13E-03	20.36	360	0.455	1.78E-03	20.36		
380	0.455	1.78E-03	21.49	380	0.580	2.27E-03	21.49	380	0.482	1.88E-03	21.49		
400	0.489	1.91E-03	22.63	400	0.618	2.41E-03	22.63	400	0.513	2.00E-03	22.63		
420	0.515	2.01E-03	23.76	420	0.652	2.55E-03	23.76	420	0.543	2.12E-03	23.76		
440	0.548	2.14E-03	24.89	440	0.692	2.70E-03	24.89	440	0.578	2.26E-03	24.89		
460	0.583	2.28E-03	26.02	460	0.735	2.87E-03	26.02	460	0.613	2.39E-03	26.02		
480	0.613	2.39E-03	27.15	480	0.774	3.02E-03	27.15	480	0.655	2.56E-03	27.15		
500	0.656	2.56E-03	28.28	500	0.811	3.17E-03	28.28	500	0.693	2.71E-03	28.28		
520	0.702	2.74E-03	29.41	520	0.867	3.39E-03	29.41	520	0.738	2.88E-03	29.41		
540	0.742	2.90E-03	30.55	540	0.918	3.59E-03	30.55	540	0.789	3.08E-03	30.55		
560	0.788	3.08E-03	31.68	560	0.974	3.80E-03	31.68	560	0.828	3.23E-03	31.68		
580	0.842	3.29E-03	32.81	580	1.032	4.03E-03	32.81	580	0.900	3.52E-03	32.81		
600	0.903	3.53E-03	33.94	600	1.098	4.29E-03	33.94	600	1.028	4.02E-03	33.94		
				620	1.118	4.37E-03	35.07						
				640	1.288	5.03E-03	36.20						
GKİA-50-E7-1				P=	610 kN	GKİA-50-E7-2		P=	650 kN	GKİA-50-E7-3		P=	600 kN



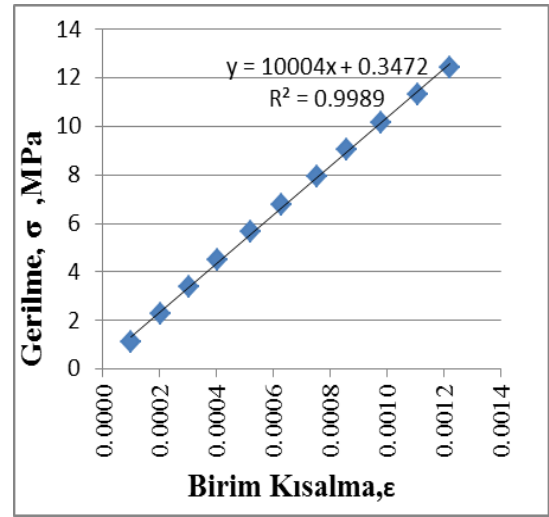
(a)



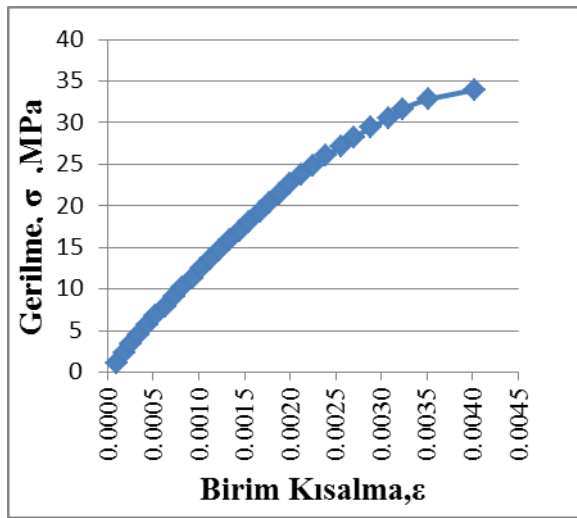
(b)



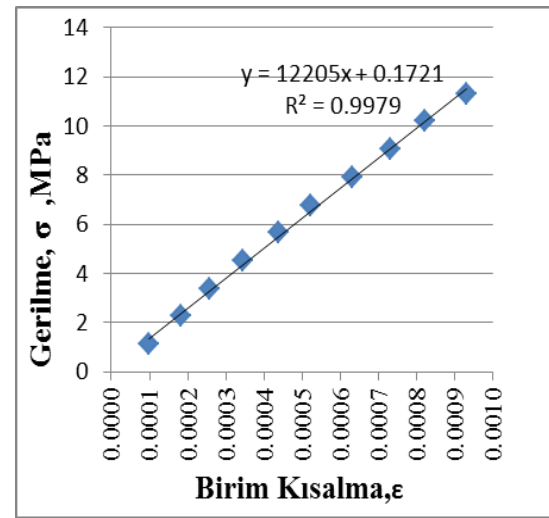
(c)



(d)



(e)

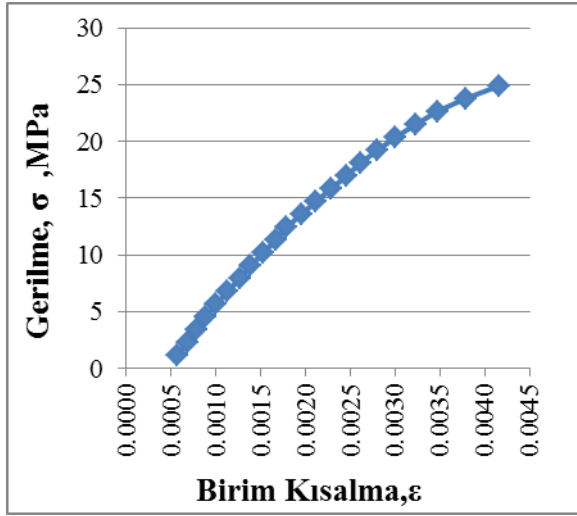


(f)

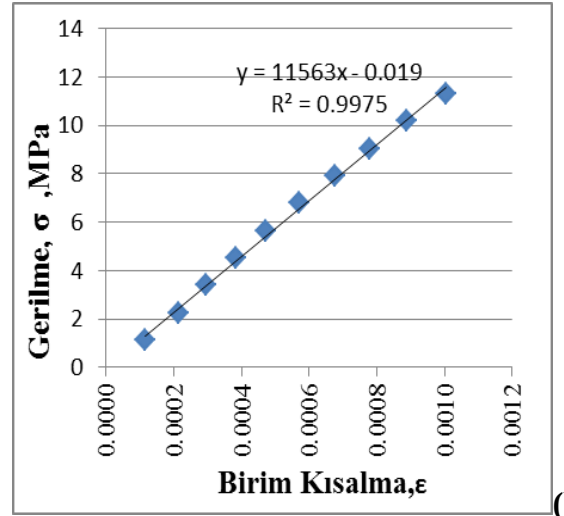
Şekil A.11 : (a,b) GKİA-50-E7-1, (c,d) GKİA-50-E7-2, (e,f) GKİA-50-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.12 : GKİA-50-E3-1, GKİA-50-E3-2, GKİA-50-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

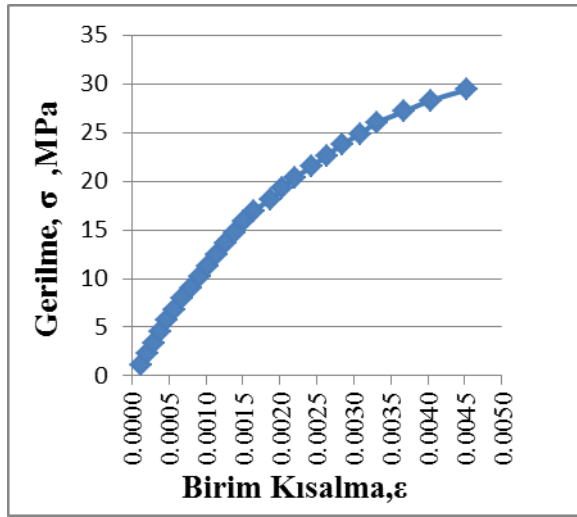
P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)
20	0.030	1.16E-04	1.13	20	0.034	1.32E-04	1.13	20	0.00E+00		1.13
40	0.055	2.14E-04	2.26	40	0.055	2.16E-04	2.26	40	0.00E+00		2.26
60	0.075	2.94E-04	3.39	60	0.076	2.95E-04	3.39	60	0.00E+00		3.39
80	0.098	3.83E-04	4.53	80	0.099	3.85E-04	4.53	80	0.00E+00		4.53
100	0.121	4.72E-04	5.66	100	0.122	4.75E-04	5.66	100	0.00E+00		5.66
120	0.146	5.71E-04	6.79	120	0.146	5.70E-04	6.79	120	0.00E+00		6.79
140	0.173	6.78E-04	7.92	140	0.174	6.80E-04	7.92	140	0.00E+00		7.92
160	0.200	7.80E-04	9.05	160	0.205	8.02E-04	9.05	160	0.00E+00		9.05
180	0.227	8.87E-04	10.18	180	0.236	9.23E-04	10.18	180	0.00E+00		10.18
200	0.257	1.00E-03	11.31	200	0.261	1.02E-03	11.31	200	0.00E+00		11.31
220	0.289	1.13E-03	12.44	220	0.293	1.14E-03	12.44	220	0.00E+00		12.44
240	0.324	1.27E-03	13.58	240	0.327	1.28E-03	13.58	240	0.00E+00		13.58
260	0.356	1.39E-03	14.71	260	0.357	1.39E-03	14.71	260	0.00E+00		14.71
280	0.390	1.52E-03	15.84	280	0.389	1.52E-03	15.84	280	0.00E+00		15.84
300	0.427	1.67E-03	16.97	300	0.423	1.65E-03	16.97	300	0.00E+00		16.97
320	0.459	1.79E-03	18.10	320	0.478	1.87E-03	18.10	320	0.00E+00		18.10
340	0.500	1.95E-03	19.23	340	0.521	2.04E-03	19.23	340	0.00E+00		19.23
360	0.542	2.12E-03	20.36	360	0.564	2.21E-03	20.36	360	0.00E+00		20.36
380	0.584	2.28E-03	21.49	380	0.621	2.43E-03	21.49	380	0.00E+00		21.49
400	0.630	2.46E-03	22.63	400	0.674	2.63E-03	22.63	400	0.00E+00		22.63
420	0.669	2.61E-03	23.76	420	0.727	2.84E-03	23.76	420	0.00E+00		23.76
440	0.719	2.81E-03	24.89	440	0.790	3.09E-03	24.89	440	0.00E+00		24.89
460	0.769	3.00E-03	26.02	460	0.848	3.31E-03	26.02	460	0.00E+00		26.02
480	0.827	3.23E-03	27.15	480	0.940	3.67E-03	27.15	480	0.00E+00		27.15
500	0.889	3.47E-03	28.28	500	1.033	4.04E-03	28.28	500	0.00E+00		28.28
520	0.969	3.78E-03	29.41	520	1.159	4.53E-03	29.41	520	0.00E+00		29.41
540	1.065	4.16E-03	30.55					540	0.00E+00		30.55
								560	0.00E+00		31.68
								580	0.00E+00		32.81
								600	0.00E+00		33.94
GKİA-50-E3-1 P= 550 kN				GKİA-50-E3-2 P= 530 kN				GKİA-50-E3-3 P= 0 kN			



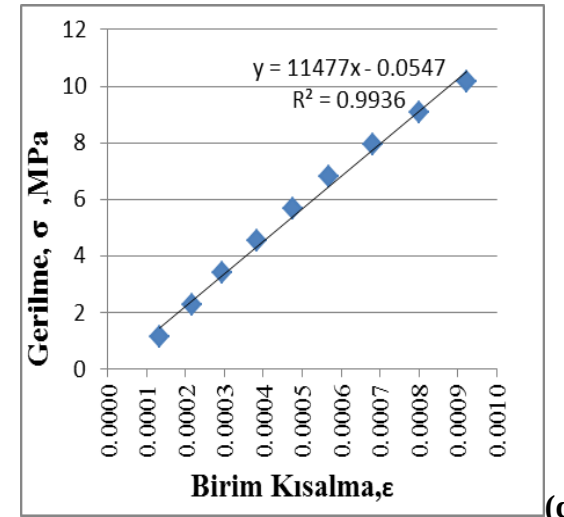
(a)



(b)



(c)

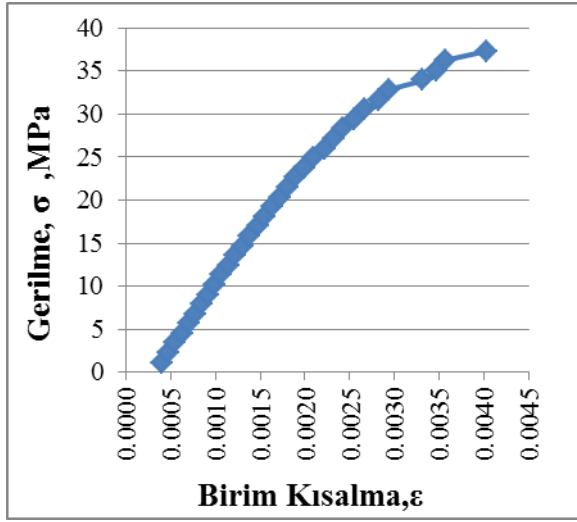


(d)

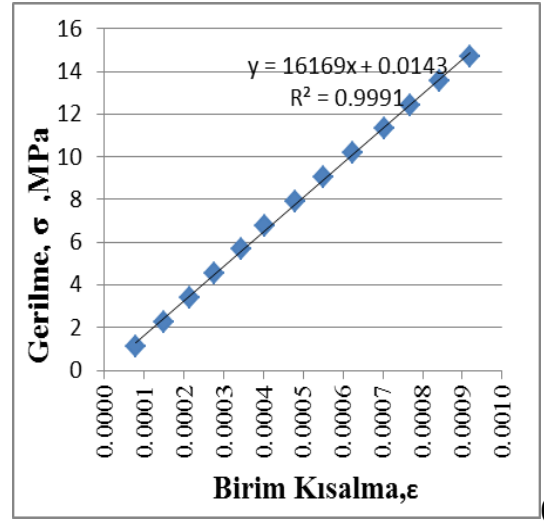
Şekil A.12 : (a,b) GKİA-50-E3-1, (c,d) GKİA-50-E3-2 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.13 : GKİA-75-E28-1, GKİA-75-E28-2, GKİA-75-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

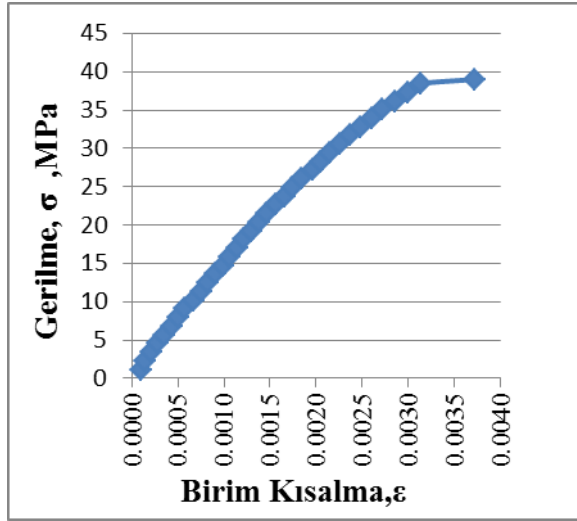
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)						
20	0.020	7.81E-05	1.13	20	0.027	1.05E-04	1.13	20	0.028	1.09E-04	1.13						
40	0.038	1.48E-04	2.26	40	0.037	1.45E-04	2.26	40	0.038	1.48E-04	2.26						
60	0.055	2.15E-04	3.39	60	0.056	2.19E-04	3.39	60	0.056	2.19E-04	3.39						
80	0.071	2.77E-04	4.53	80	0.071	2.77E-04	4.53	80	0.075	2.93E-04	4.53						
100	0.088	3.44E-04	5.66	100	0.090	3.52E-04	5.66	100	0.095	3.71E-04	5.66						
120	0.103	4.02E-04	6.79	120	0.111	4.34E-04	6.79	120	0.115	4.49E-04	6.79						
140	0.123	4.80E-04	7.92	140	0.129	5.04E-04	7.92	140	0.139	5.43E-04	7.92						
160	0.141	5.51E-04	9.05	160	0.148	5.78E-04	9.05	160	0.160	6.25E-04	9.05						
180	0.160	6.25E-04	10.18	180	0.171	6.68E-04	10.18	180	0.185	7.23E-04	10.18						
200	0.180	7.03E-04	11.31	200	0.192	7.50E-04	11.31	200	0.212	8.28E-04	11.31						
220	0.197	7.70E-04	12.44	220	0.213	8.32E-04	12.44	220	0.238	9.30E-04	12.44						
240	0.216	8.44E-04	13.58	240	0.232	9.06E-04	13.58	240	0.262	1.02E-03	13.58						
260	0.235	9.18E-04	14.71	260	0.254	9.92E-04	14.71	260	0.288	1.13E-03	14.71						
280	0.253	9.88E-04	15.84	280	0.272	1.06E-03	15.84	280	0.315	1.23E-03	15.84						
300	0.273	1.07E-03	16.97	300	0.292	1.14E-03	16.97	300	0.338	1.32E-03	16.97						
320	0.293	1.14E-03	18.10	320	0.312	1.22E-03	18.10	320	0.364	1.42E-03	18.10						
340	0.314	1.23E-03	19.23	340	0.333	1.30E-03	19.23	340	0.395	1.54E-03	19.23						
360	0.334	1.30E-03	20.36	360	0.355	1.39E-03	20.36	360	0.428	1.67E-03	20.36						
380	0.354	1.38E-03	21.49	380	0.376	1.47E-03	21.49	380	0.460	1.80E-03	21.49						
400	0.377	1.47E-03	22.63	400	0.399	1.56E-03	22.63	400	0.488	1.91E-03	22.63						
420	0.398	1.55E-03	23.76	420	0.424	1.66E-03	23.76	420	0.518	2.02E-03	23.76						
440	0.418	1.63E-03	24.89	440	0.448	1.75E-03	24.89	440	0.574	2.24E-03	24.89						
460	0.441	1.72E-03	26.02	460	0.472	1.84E-03	26.02	460	0.624	2.44E-03	26.02						
480	0.464	1.81E-03	27.15	480	0.503	1.96E-03	27.15	480	0.668	2.61E-03	27.15						
500	0.486	1.90E-03	28.28	500	0.525	2.05E-03	28.28	500	0.720	2.81E-03	28.28						
520	0.509	1.99E-03	29.41	520	0.549	2.14E-03	29.41	520	0.766	2.99E-03	29.41						
540	0.536	2.09E-03	30.55	540	0.578	2.26E-03	30.55	540	0.808	3.16E-03	30.55						
560	0.569	2.22E-03	31.68	560	0.606	2.37E-03	31.68	560	0.854	3.34E-03	31.68						
580	0.596	2.33E-03	32.81	580	0.635	2.48E-03	32.81	580	0.893	3.49E-03	32.81						
600	0.621	2.43E-03	33.94	600	0.666	2.60E-03	33.94	600	0.945	3.69E-03	33.94						
620	0.652	2.55E-03	35.07	620	0.694	2.71E-03	35.07	620	0.982	3.84E-03	35.07						
640	0.683	2.67E-03	36.20	640	0.732	2.86E-03	36.20	640	1.023	4.00E-03	36.20						
660	0.723	2.82E-03	37.33	660	0.766	2.99E-03	37.33	650	1.143	4.46E-03	36.77						
680	0.754	2.95E-03	38.46	680	0.803	3.14E-03	38.46										
700	0.849	3.32E-03	39.60	690	0.950	3.71E-03	39.03										
720	0.889	3.47E-03	40.73														
740	0.916	3.58E-03	41.86														
760	1.033	4.04E-03	42.99														
GKİA-75-E28-1				P=	760 kN	GKİA-75-E28-2				P=	690 kN	GKİA-75-E28-3				P=	650 kN



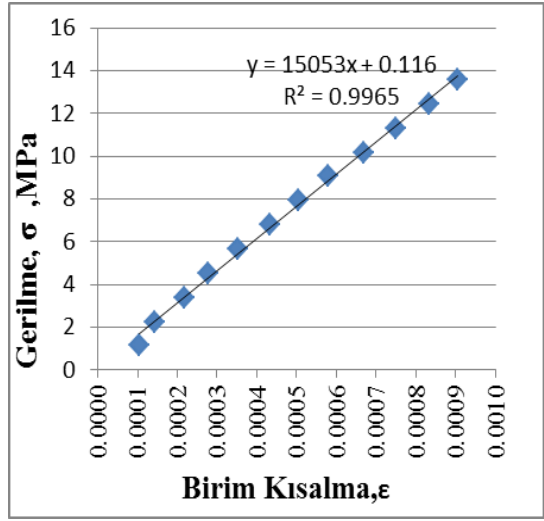
(a)



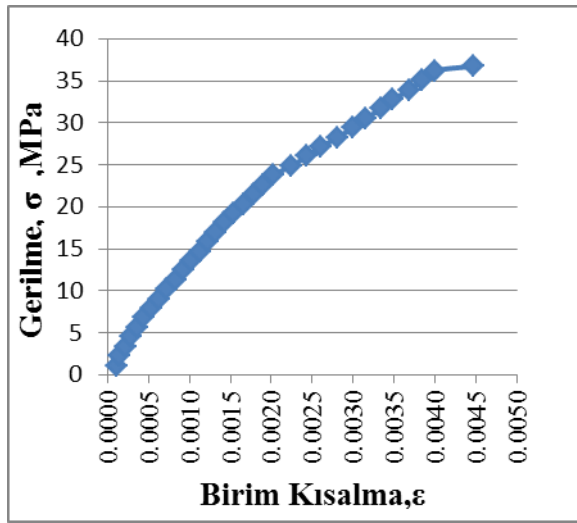
(b)



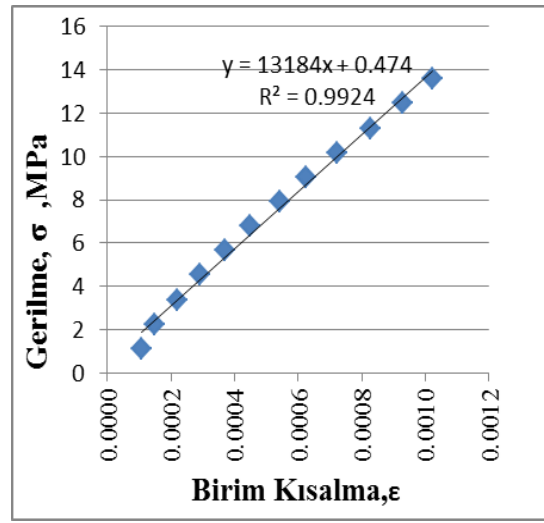
(c)



(d)



(e)

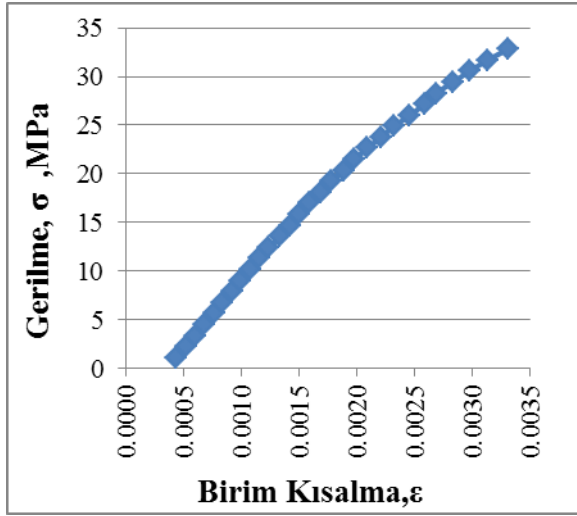


(f)

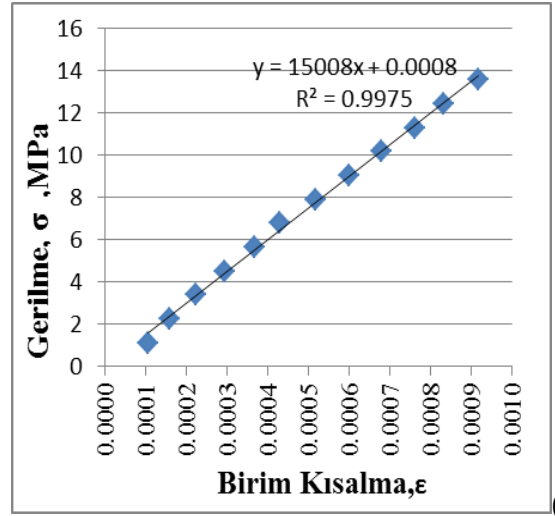
Şekil A.13 : (a,b) GKİA-75-E28-1, (c,d) GKİA-75-E28-2, (e,f) GKİA-75-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.14 : GKİA-75-E14-1, GKİA-75-E14-2, GKİA-75-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

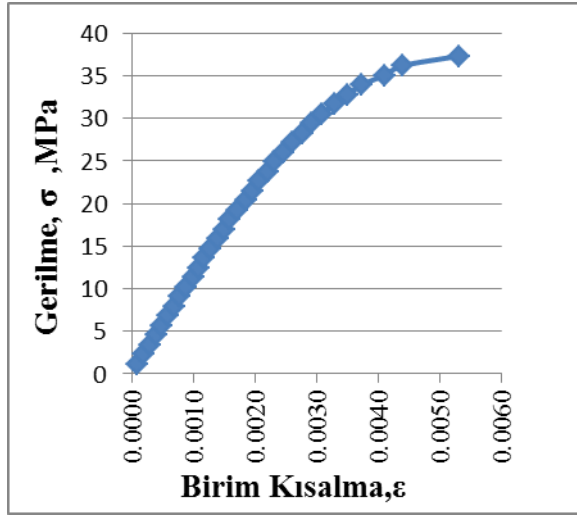
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.027	1.05E-04	1.13	20	0.022	8.59E-05	1.13	20	0.025	9.77E-05	1.13
40	0.040	1.56E-04	2.26	40	0.051	1.99E-04	2.26	40	0.041	1.60E-04	2.26
60	0.057	2.23E-04	3.39	60	0.078	3.05E-04	3.39	60	0.058	2.27E-04	3.39
80	0.075	2.93E-04	4.53	80	0.100	3.91E-04	4.53	80	0.077	3.01E-04	4.53
100	0.094	3.67E-04	5.66	100	0.122	4.77E-04	5.66	100	0.096	3.75E-04	5.66
120	0.110	4.30E-04	6.79	120	0.148	5.78E-04	6.79	120	0.116	4.53E-04	6.79
140	0.132	5.16E-04	7.92	140	0.175	6.84E-04	7.92	140	0.137	5.35E-04	7.92
160	0.153	5.98E-04	9.05	160	0.198	7.73E-04	9.05	160	0.158	6.17E-04	9.05
180	0.174	6.80E-04	10.18	180	0.226	8.83E-04	10.18	180	0.182	7.11E-04	10.18
200	0.195	7.62E-04	11.31	200	0.258	1.01E-03	11.31	200	0.206	8.05E-04	11.31
220	0.213	8.32E-04	12.44	220	0.279	1.09E-03	12.44	220	0.228	8.91E-04	12.44
240	0.235	9.18E-04	13.58	240	0.299	1.17E-03	13.58	240	0.251	9.80E-04	13.58
260	0.254	9.92E-04	14.71	260	0.328	1.28E-03	14.71	260	0.275	1.07E-03	14.71
280	0.275	1.07E-03	15.84	280	0.356	1.39E-03	15.84	280	0.303	1.18E-03	15.84
300	0.295	1.15E-03	16.97	300	0.383	1.50E-03	16.97	300	0.324	1.27E-03	16.97
320	0.317	1.24E-03	18.10	320	0.408	1.59E-03	18.10	320	0.351	1.37E-03	18.10
340	0.342	1.34E-03	19.23	340	0.438	1.71E-03	19.23	340	0.379	1.48E-03	19.23
360	0.363	1.42E-03	20.36	360	0.473	1.85E-03	20.36	360	0.405	1.58E-03	20.36
380	0.385	1.50E-03	21.49	380	0.499	1.95E-03	21.49	380	0.434	1.70E-03	21.49
400	0.406	1.59E-03	22.63	400	0.529	2.07E-03	22.63	400	0.464	1.81E-03	22.63
420	0.432	1.69E-03	23.76	420	0.563	2.20E-03	23.76	420	0.492	1.92E-03	23.76
440	0.454	1.77E-03	24.89	440	0.593	2.32E-03	24.89	440	0.521	2.04E-03	24.89
460	0.483	1.89E-03	26.02	460	0.629	2.46E-03	26.02	460	0.550	2.15E-03	26.02
480	0.507	1.98E-03	27.15	480	0.669	2.61E-03	27.15	480	0.586	2.29E-03	27.15
500	0.535	2.09E-03	28.28	500	0.710	2.77E-03	28.28	500	0.620	2.42E-03	28.28
520	0.565	2.21E-03	29.41	520	0.745	2.91E-03	29.41	520	0.654	2.55E-03	29.41
540	0.595	2.32E-03	30.55	540	0.788	3.08E-03	30.55	540	0.696	2.72E-03	30.55
560	0.630	2.46E-03	31.68	560	0.845	3.30E-03	31.68	560	0.737	2.88E-03	31.68
580	0.662	2.59E-03	32.81	580	0.898	3.51E-03	32.81	580	0.782	3.05E-03	32.81
600	0.689	2.69E-03	33.94	600	0.954	3.73E-03	33.94	600	0.828	3.23E-03	33.94
620	0.725	2.83E-03	35.07	620	1.048	4.09E-03	35.07	620	0.88	3.44E-03	35.07
640	0.763	2.98E-03	36.20	640	1.125	4.39E-03	36.20	640	0.975	3.81E-03	36.20
660	0.802	3.13E-03	37.33	660	1.358	5.30E-03	37.33	650	1.086	4.24E-03	36.77
680	0.849	3.32E-03	38.46								
GKİA-75-E14-1 P= 690 kN				GKİA-75-E14-2 P= 660 kN				GKİA-75-E14-3 P= 660 kN			



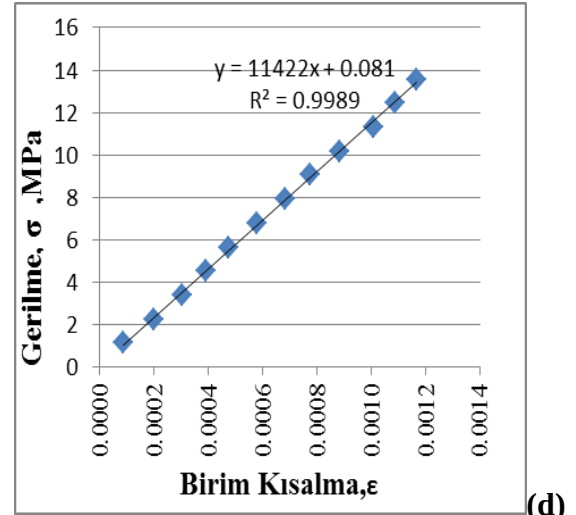
(a)



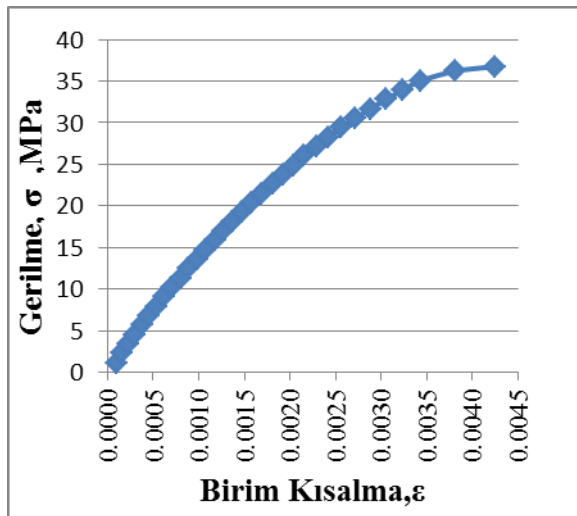
(b)



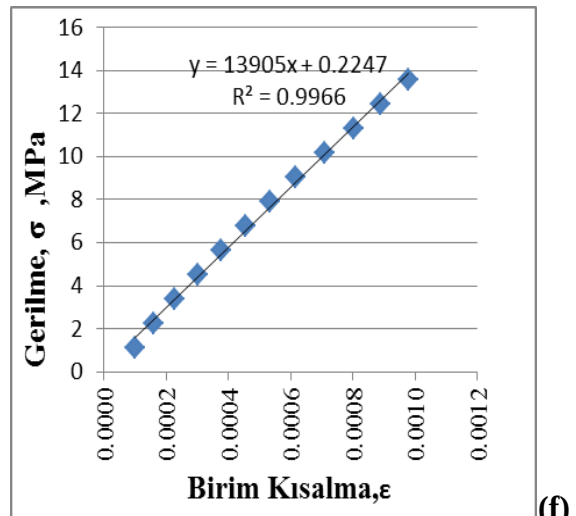
(c)



(d)



(e)

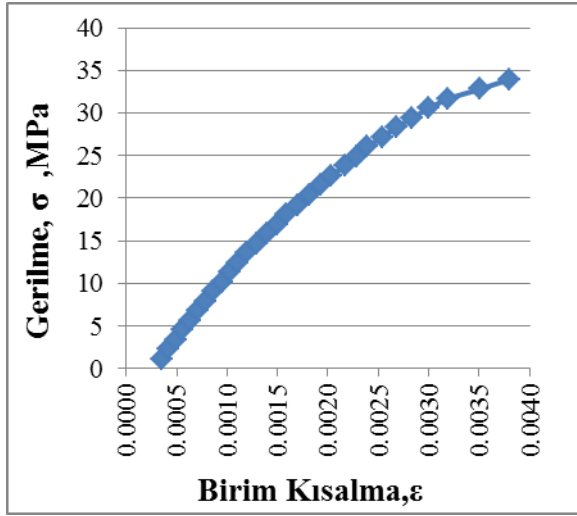


(f)

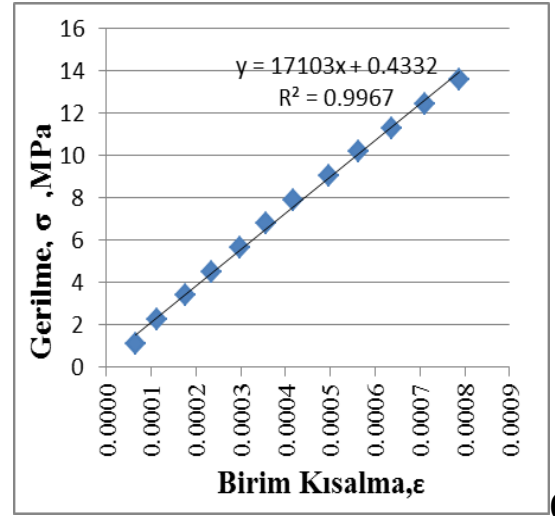
Şekil A.14 : (a,b) GKİA-75-E14-1, (c,d) GKİA-75-E14-2, (e,f) GKİA-75-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.15 : GKİA-75-E7-1, GKİA-75-E7-2, GKİA-75-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

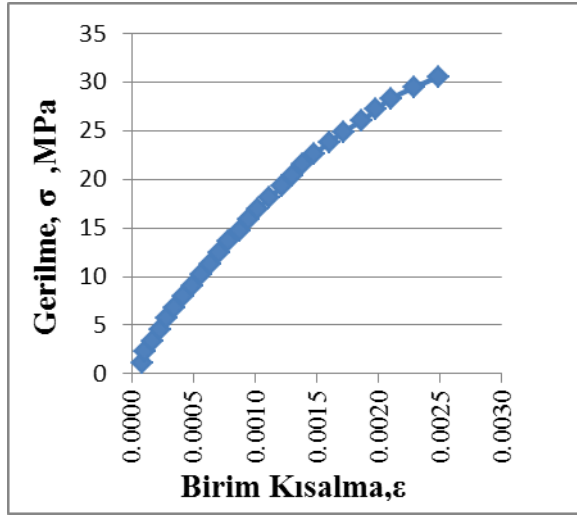
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma=\frac{P}{A}$ (MPa)
20	0.017	6.64E-05	1.13	20	0.022	8.59E-05	1.13	20	0.020	7.81E-05	1.13
40	0.029	1.13E-04	2.26	40	0.027	1.05E-04	2.26	40	0.040	1.56E-04	2.26
60	0.045	1.76E-04	3.39	60	0.043	1.68E-04	3.39	60	0.058	2.27E-04	3.39
80	0.060	2.34E-04	4.53	80	0.058	2.27E-04	4.53	80	0.076	2.97E-04	4.53
100	0.076	2.97E-04	5.66	100	0.072	2.81E-04	5.66	100	0.093	3.63E-04	5.66
120	0.091	3.55E-04	6.79	120	0.088	3.44E-04	6.79	120	0.114	4.45E-04	6.79
140	0.107	4.18E-04	7.92	140	0.106	4.14E-04	7.92	140	0.131	5.12E-04	7.92
160	0.127	4.96E-04	9.05	160	0.125	4.88E-04	9.05	160	0.152	5.94E-04	9.05
180	0.144	5.63E-04	10.18	180	0.144	5.63E-04	10.18	180	0.173	6.76E-04	10.18
200	0.163	6.37E-04	11.31	200	0.162	6.33E-04	11.31	200	0.189	7.38E-04	11.31
220	0.182	7.11E-04	12.44	220	0.181	7.07E-04	12.44	220	0.211	8.24E-04	12.44
240	0.202	7.89E-04	13.58	240	0.199	7.77E-04	13.58	240	0.232	9.06E-04	13.58
260	0.221	8.63E-04	14.71	260	0.223	8.71E-04	14.71	260	0.254	9.92E-04	14.71
280	0.242	9.45E-04	15.84	280	0.244	9.53E-04	15.84	280	0.279	1.09E-03	15.84
300	0.262	1.02E-03	16.97	300	0.262	1.02E-03	16.97	300	0.301	1.18E-03	16.97
320	0.282	1.10E-03	18.10	320	0.286	1.12E-03	18.10	320	0.329	1.29E-03	18.10
340	0.307	1.20E-03	19.23	340	0.311	1.21E-03	19.23	340	0.355	1.39E-03	19.23
360	0.332	1.30E-03	20.36	360	0.332	1.30E-03	20.36	360	0.388	1.52E-03	20.36
380	0.359	1.40E-03	21.49	380	0.355	1.39E-03	21.49	380	0.418	1.63E-03	21.49
400	0.383	1.50E-03	22.63	400	0.379	1.48E-03	22.63	400	0.449	1.75E-03	22.63
420	0.406	1.59E-03	23.76	420	0.410	1.60E-03	23.76	420	0.483	1.89E-03	23.76
440	0.435	1.70E-03	24.89	440	0.439	1.71E-03	24.89	440	0.523	2.04E-03	24.89
460	0.464	1.81E-03	26.02	460	0.478	1.87E-03	26.02	460	0.571	2.23E-03	26.02
480	0.493	1.93E-03	27.15	480	0.507	1.98E-03	27.15	480	0.613	2.39E-03	27.15
500	0.519	2.03E-03	28.28	500	0.538	2.10E-03	28.28	500	0.649	2.54E-03	28.28
520	0.556	2.17E-03	29.41	520	0.585	2.29E-03	29.41	520	0.704	2.75E-03	29.41
540	0.587	2.29E-03	30.55	540	0.636	2.48E-03	30.55	540	0.758	2.96E-03	30.55
560	0.613	2.39E-03	31.68					560	0.816	3.19E-03	31.68
580	0.649	2.54E-03	32.81					580	0.888	3.47E-03	32.81
600	0.685	2.68E-03	33.94					600	1.019	3.98E-03	33.94
620	0.725	2.83E-03	35.07								
640	0.769	3.00E-03	36.20								
660	0.818	3.20E-03	37.33								
680	0.898	3.51E-03	38.46								
690	0.972	3.80E-03	39.03								
GKİA-75-E7-1 P= 690 kN				GKİA-75-E7-2 P= 550 kN				GKİA-75-E7-3 P= 600 kN			



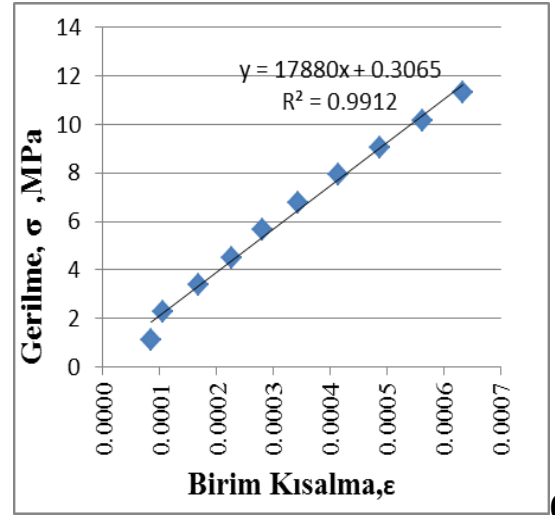
(a)



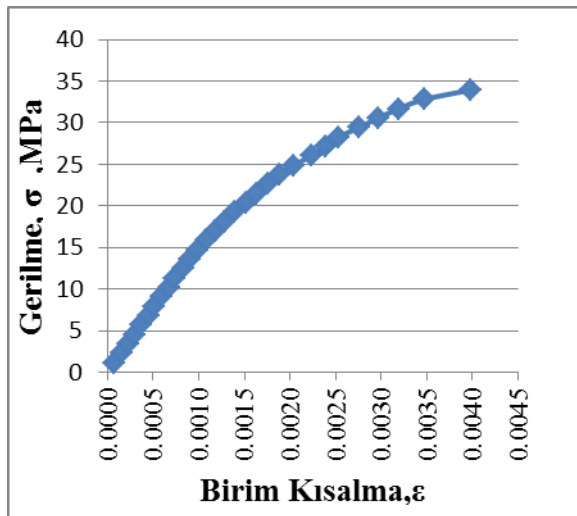
(b)



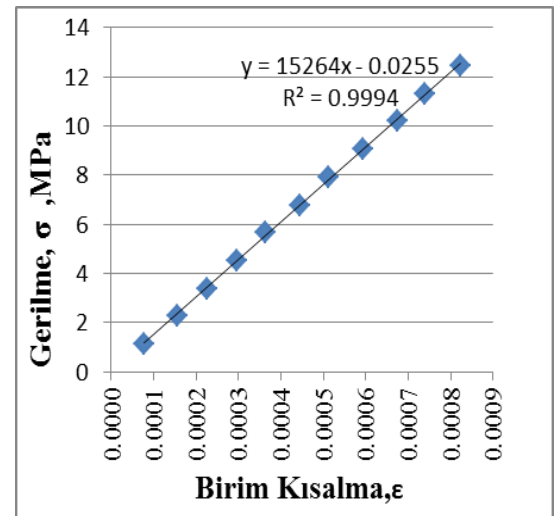
(c)



(d)



(e)

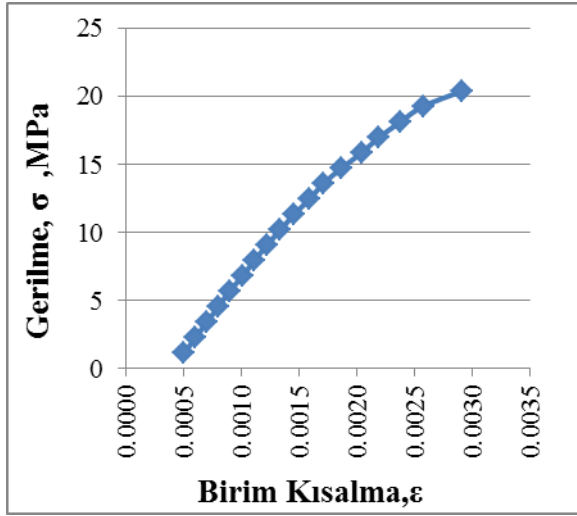


(f)

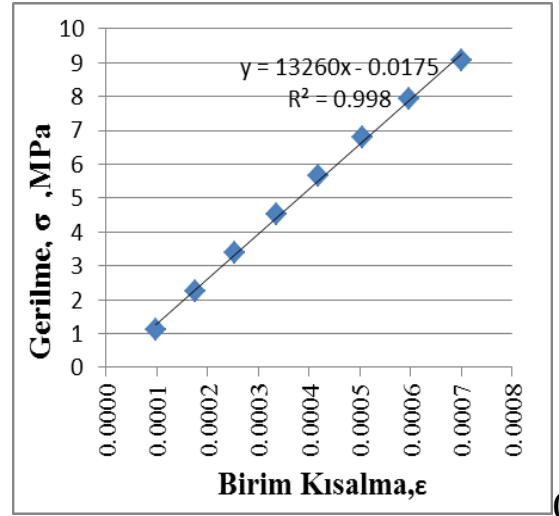
Şekil A.15 : (a,b) GKİA-75-E7-1, (c,d) GKİA-75-E7-2, (e,f) GKİA-75-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.16 : GKİA-75-E3-1, GKİA-75-E3-2, GKİA-75-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

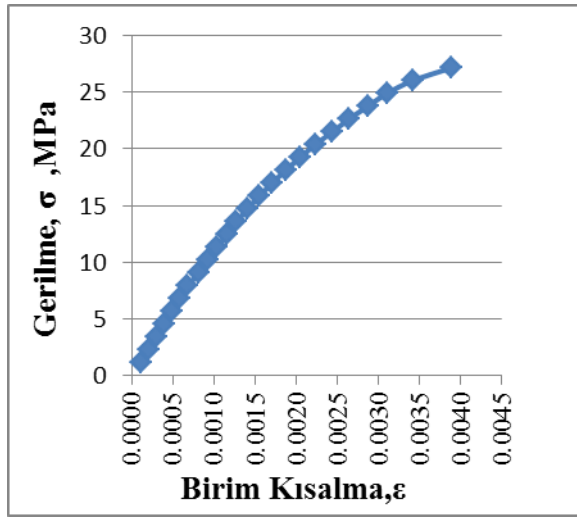
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.025	9.77E-05	1.13	20	0.030	1.17E-04	1.13	20	0.030	1.17E-04	1.13
40	0.045	1.76E-04	2.26	40	0.053	2.07E-04	2.26	40	0.044	1.72E-04	2.26
60	0.065	2.54E-04	3.39	60	0.076	2.97E-04	3.39	60	0.062	2.42E-04	3.39
80	0.086	3.36E-04	4.53	80	0.100	3.91E-04	4.53	80	0.075	2.93E-04	4.53
100	0.107	4.18E-04	5.66	100	0.124	4.84E-04	5.66	100	0.096	3.75E-04	5.66
120	0.129	5.04E-04	6.79	120	0.149	5.82E-04	6.79	120	0.124	4.84E-04	6.79
140	0.153	5.98E-04	7.92	140	0.174	6.80E-04	7.92	140	0.134	5.23E-04	7.92
160	0.179	6.99E-04	9.05	160	0.207	8.09E-04	9.05	160	0.157	6.13E-04	9.05
180	0.204	7.97E-04	10.18	180	0.236	9.22E-04	10.18	180	0.179	6.99E-04	10.18
200	0.229	8.95E-04	11.31	200	0.263	1.03E-03	11.31	200	0.198	7.73E-04	11.31
220	0.258	1.01E-03	12.44	220	0.298	1.16E-03	12.44	220	0.222	8.67E-04	12.44
240	0.284	1.11E-03	13.58	240	0.326	1.27E-03	13.58	240	0.245	9.57E-04	13.58
260	0.312	1.22E-03	14.71	260	0.359	1.40E-03	14.71	260	0.269	1.05E-03	14.71
280	0.342	1.34E-03	15.84	280	0.397	1.55E-03	15.84	280	0.292	1.14E-03	15.84
300	0.373	1.46E-03	16.97	300	0.436	1.70E-03	16.97	300	0.320	1.25E-03	16.97
320	0.407	1.59E-03	18.10	320	0.478	1.87E-03	18.10	320	0.343	1.34E-03	18.10
340	0.438	1.71E-03	19.23	340	0.524	2.05E-03	19.23	340	0.366	1.43E-03	19.23
360	0.478	1.87E-03	20.36	360	0.570	2.23E-03	20.36	360	0.391	1.53E-03	20.36
380	0.523	2.04E-03	21.49	380	0.625	2.44E-03	21.49	380	0.418	1.63E-03	21.49
400	0.562	2.20E-03	22.63	400	0.676	2.64E-03	22.63	400	0.446	1.74E-03	22.63
420	0.609	2.38E-03	23.76	420	0.735	2.87E-03	23.76	420	0.480	1.88E-03	23.76
440	0.659	2.57E-03	24.89	440	0.795	3.11E-03	24.89	440	0.514	2.01E-03	24.89
460	0.746	2.91E-03	26.02	460	0.876	3.42E-03	26.02	460	0.576	2.25E-03	26.02
				480	0.997	3.89E-03	27.15				
GKİA-75-E3-1 P= 470 kN				GKİA-75-E3-2 P= 490 kN				GKİA-75-E3-3 P= 460 kN			



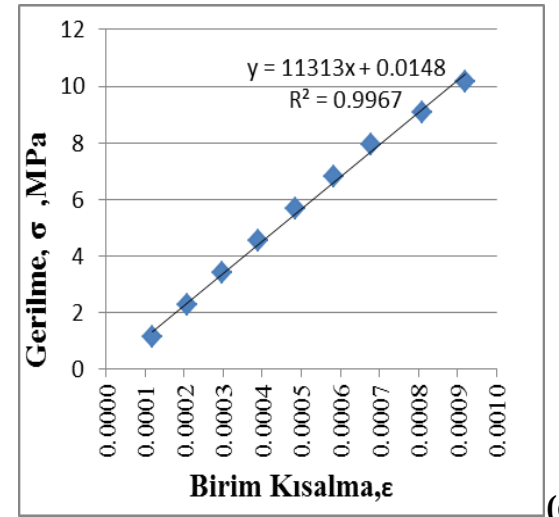
(a)



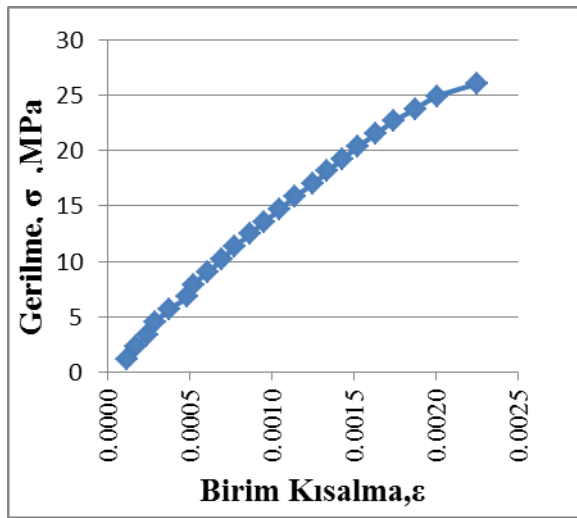
(b)



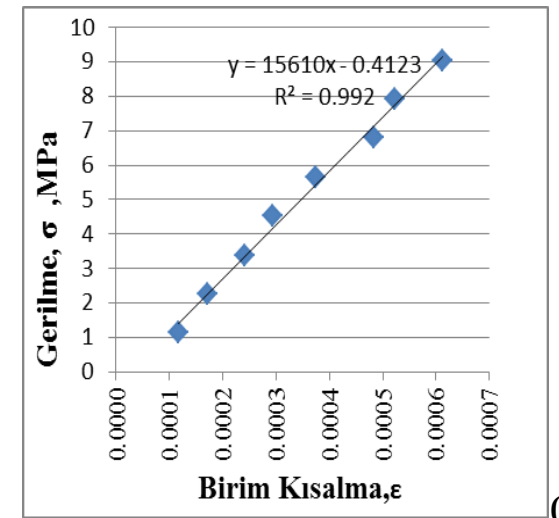
(c)



(d)



(e)

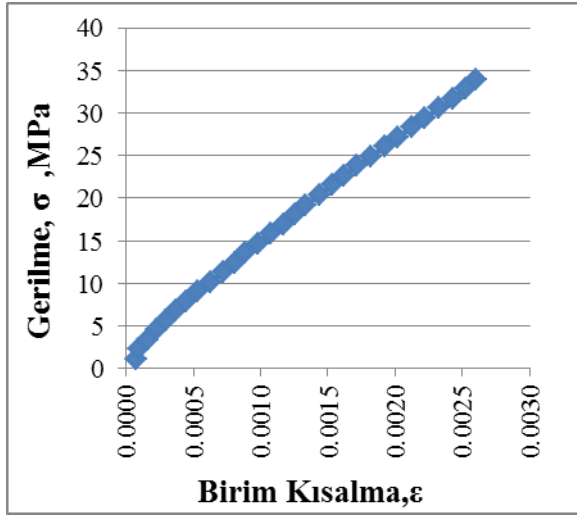


(f)

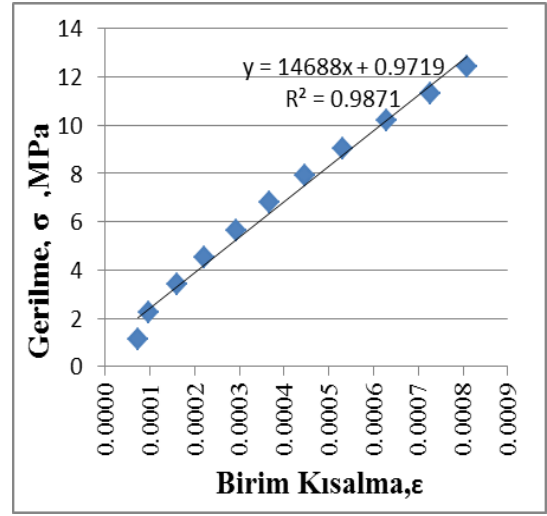
Şekil A.16 : (a,b) GKİA-75-E3-1, (c,d) GKİA-75-E3-2, (e,f) GKİA-75-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.17 : GKİA-100-E28-1, GKİA-100-E28-2, GKİA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

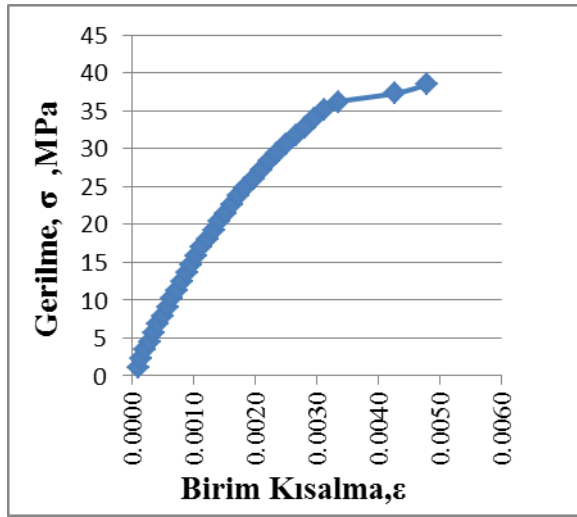
P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)	P (kN)	Δt	$\varepsilon=\Delta t/t$	$\sigma=$ P/A (MPa)
20	0.019	7.42E-05	1.13	20	0.030	1.17E-04	1.13	20	0.017	6.64E-05	1.13
40	0.025	9.77E-05	2.26	40	0.038	1.48E-04	2.26	40	0.034	1.33E-04	2.26
60	0.041	1.60E-04	3.39	60	0.054	2.11E-04	3.39	60	0.051	1.99E-04	3.39
80	0.057	2.23E-04	4.53	80	0.073	2.85E-04	4.53	80	0.064	2.50E-04	4.53
100	0.075	2.93E-04	5.66	100	0.091	3.55E-04	5.66	100	0.084	3.28E-04	5.66
120	0.094	3.67E-04	6.79	120	0.110	4.30E-04	6.79	120	0.102	3.98E-04	6.79
140	0.114	4.45E-04	7.92	140	0.129	5.04E-04	7.92	140	0.120	4.69E-04	7.92
160	0.136	5.31E-04	9.05	160	0.148	5.78E-04	9.05	160	0.140	5.47E-04	9.05
180	0.161	6.29E-04	10.18	180	0.168	6.56E-04	10.18	180	0.164	6.41E-04	10.18
200	0.186	7.27E-04	11.31	200	0.189	7.38E-04	11.31	200	0.187	7.30E-04	11.31
220	0.207	8.09E-04	12.44	220	0.209	8.16E-04	12.44	220	0.213	8.32E-04	12.44
240	0.227	8.87E-04	13.58	240	0.228	8.91E-04	13.58	240	0.238	9.30E-04	13.58
260	0.251	9.80E-04	14.71	260	0.246	9.61E-04	14.71	260	0.266	1.04E-03	14.71
280	0.275	1.07E-03	15.84	280	0.269	1.05E-03	15.84	280	0.295	1.15E-03	15.84
300	0.300	1.17E-03	16.97	300	0.290	1.13E-03	16.97	300	0.319	1.25E-03	16.97
320	0.321	1.25E-03	18.10	320	0.315	1.23E-03	18.10	320	0.353	1.38E-03	18.10
340	0.342	1.34E-03	19.23	340	0.340	1.33E-03	19.23	340	0.384	1.50E-03	19.23
360	0.369	1.44E-03	20.36	360	0.365	1.43E-03	20.36	360	0.423	1.65E-03	20.36
380	0.392	1.53E-03	21.49	380	0.389	1.52E-03	21.49	380	0.463	1.81E-03	21.49
400	0.415	1.62E-03	22.63	400	0.416	1.63E-03	22.63	400	0.505	1.97E-03	22.63
420	0.439	1.71E-03	23.76	420	0.444	1.73E-03	23.76	420	0.569	2.22E-03	23.76
440	0.466	1.82E-03	24.89	440	0.472	1.84E-03	24.89	440	0.649	2.54E-03	24.89
460	0.492	1.92E-03	26.02	460	0.505	1.97E-03	26.02	460	0.709	2.77E-03	26.02
480	0.517	2.02E-03	27.15	480	0.539	2.11E-03	27.15	480	0.766	2.99E-03	27.15
500	0.543	2.12E-03	28.28	500	0.571	2.23E-03	28.28	500	0.818	3.20E-03	28.28
520	0.569	2.22E-03	29.41	520	0.604	2.36E-03	29.41	520	0.863	3.37E-03	29.41
540	0.596	2.33E-03	30.55	540	0.642	2.51E-03	30.55	540	0.913	3.57E-03	30.55
560	0.623	2.43E-03	31.68	560	0.681	2.66E-03	31.68	560	0.953	3.72E-03	31.68
580	0.646	2.52E-03	32.81	580	0.719	2.81E-03	32.81	580	1.004	3.92E-03	32.81
600	0.666	2.60E-03	33.94	600	0.756	2.95E-03	33.94	600	1.053	4.11E-03	33.94
				620	0.802	3.13E-03	35.07	620	1.108	4.33E-03	35.07
				640	0.859	3.36E-03	36.20	640	1.162	4.54E-03	36.20
				660	1.095	4.28E-03	37.33	660	1.226	4.79E-03	37.33
				680	1.225	4.79E-03	38.46	680	1.319	5.15E-03	38.46
GKİA-100-E28-1 P= 610 kN				GKİA-100-E28-2 P= 680 kN				GKİA-100-E28-3 P= 680 kN			



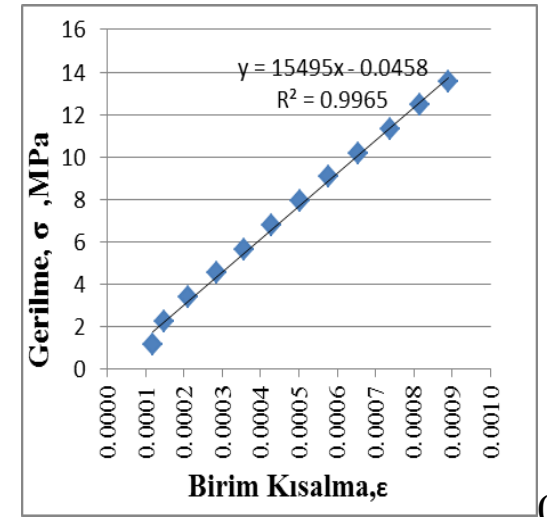
(a)



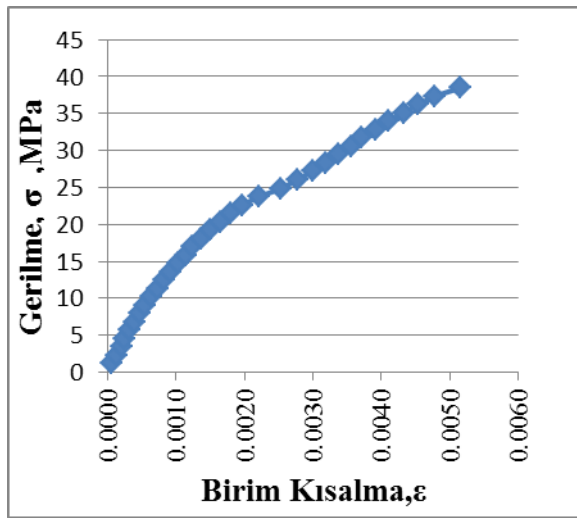
(b)



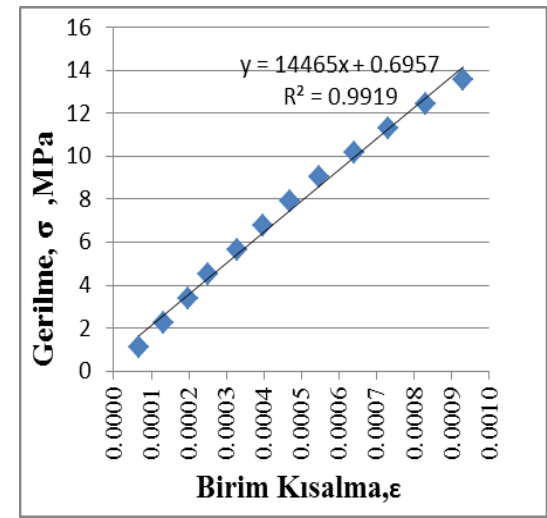
(c)



(d)



(e)

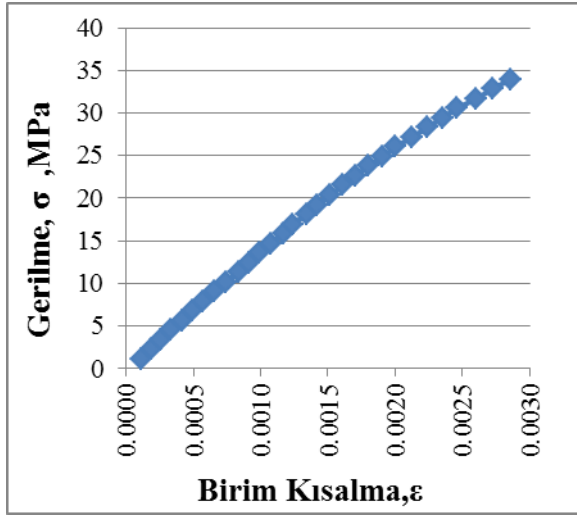


(f)

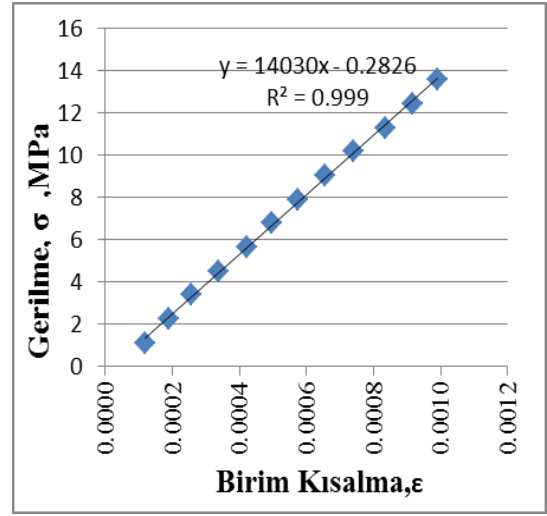
Şekil A.17 : (a,b) GKİA-100-E28-1, (c,d) GKİA-100-E28-2, (e,f) GKİA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.18 : GKİA-100-E14-1, GKİA-100-E14-2, GKİA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme değerleri

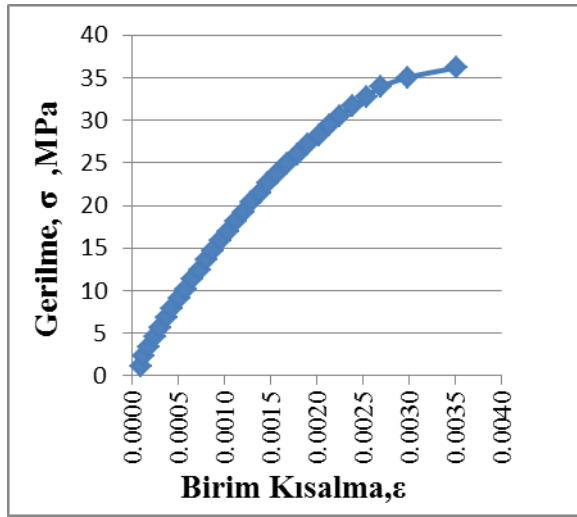
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.030	1.17E-04	1.13	20	0.026	1.02E-04	1.13	20	0.017	6.64E-05	1.13
40	0.048	1.88E-04	2.26	40	0.033	1.29E-04	2.26	40	0.032	1.25E-04	2.26
60	0.066	2.58E-04	3.39	60	0.048	1.88E-04	3.39	60	0.049	1.91E-04	3.39
80	0.086	3.36E-04	4.53	80	0.063	2.46E-04	4.53	80	0.064	2.50E-04	4.53
100	0.108	4.22E-04	5.66	100	0.079	3.09E-04	5.66	100	0.082	3.20E-04	5.66
120	0.127	4.96E-04	6.79	120	0.096	3.75E-04	6.79	120	0.100	3.91E-04	6.79
140	0.147	5.74E-04	7.92	140	0.112	4.38E-04	7.92	140	0.121	4.73E-04	7.92
160	0.168	6.56E-04	9.05	160	0.132	5.16E-04	9.05	160	0.148	5.78E-04	9.05
180	0.189	7.38E-04	10.18	180	0.150	5.86E-04	10.18	180	0.168	6.56E-04	10.18
200	0.214	8.36E-04	11.31	200	0.169	6.60E-04	11.31	200	0.191	7.46E-04	11.31
220	0.235	9.18E-04	12.44	220	0.188	7.34E-04	12.44	220	0.213	8.32E-04	12.44
240	0.254	9.92E-04	13.58	240	0.206	8.05E-04	13.58	240	0.236	9.22E-04	13.58
260	0.275	1.07E-03	14.71	260	0.224	8.75E-04	14.71	260	0.261	1.02E-03	14.71
280	0.300	1.17E-03	15.84	280	0.246	9.61E-04	15.84	280	0.284	1.11E-03	15.84
300	0.318	1.24E-03	16.97	300	0.268	1.05E-03	16.97	300	0.311	1.21E-03	16.97
320	0.343	1.34E-03	18.10	320	0.288	1.13E-03	18.10	320	0.337	1.32E-03	18.10
340	0.364	1.42E-03	19.23	340	0.310	1.21E-03	19.23	340	0.364	1.42E-03	19.23
360	0.388	1.52E-03	20.36	360	0.331	1.29E-03	20.36	360	0.395	1.54E-03	20.36
380	0.413	1.61E-03	21.49	380	0.356	1.39E-03	21.49	380	0.423	1.65E-03	21.49
400	0.436	1.70E-03	22.63	400	0.378	1.48E-03	22.63	400	0.449	1.75E-03	22.63
420	0.462	1.80E-03	23.76	420	0.403	1.57E-03	23.76	420	0.476	1.86E-03	23.76
440	0.489	1.91E-03	24.89	440	0.431	1.68E-03	24.89	440	0.508	1.98E-03	24.89
460	0.513	2.00E-03	26.02	460	0.458	1.79E-03	26.02	460	0.536	2.09E-03	26.02
480	0.544	2.13E-03	27.15	480	0.488	1.91E-03	27.15	480	0.570	2.23E-03	27.15
500	0.573	2.24E-03	28.28	500	0.519	2.03E-03	28.28	500	0.602	2.35E-03	28.28
520	0.602	2.35E-03	29.41	520	0.548	2.14E-03	29.41	520	0.633	2.47E-03	29.41
540	0.630	2.46E-03	30.55	540	0.576	2.25E-03	30.55	540	0.663	2.59E-03	30.55
560	0.666	2.60E-03	31.68	560	0.613	2.39E-03	31.68	560	0.702	2.74E-03	31.68
580	0.697	2.72E-03	32.81	580	0.651	2.54E-03	32.81	580	0.742	2.90E-03	32.81
600	0.731	2.86E-03	33.94	600	0.690	2.70E-03	33.94	600	0.786	3.07E-03	33.94
				620	0.765	2.99E-03	35.07	620	0.833	3.25E-03	35.07
				640	0.899	3.51E-03	36.20	640	0.882	3.45E-03	36.20
								660	0.925	3.61E-03	37.33
GKİA-100-E14-1 P= 670 kN				GKİA-100-E14-2 P= 640 kN				GKİA-100-E14-3 P= 670 kN			



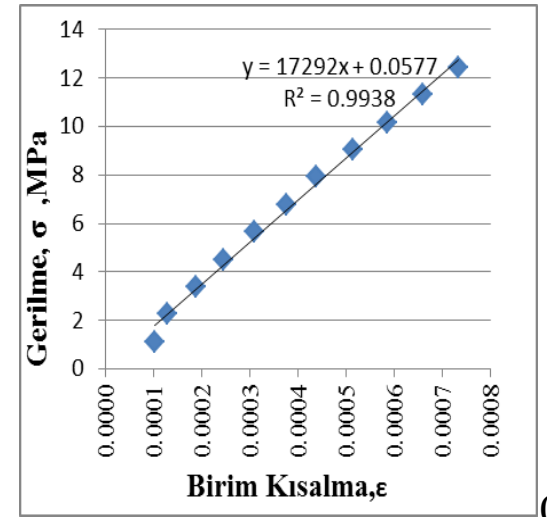
(a)



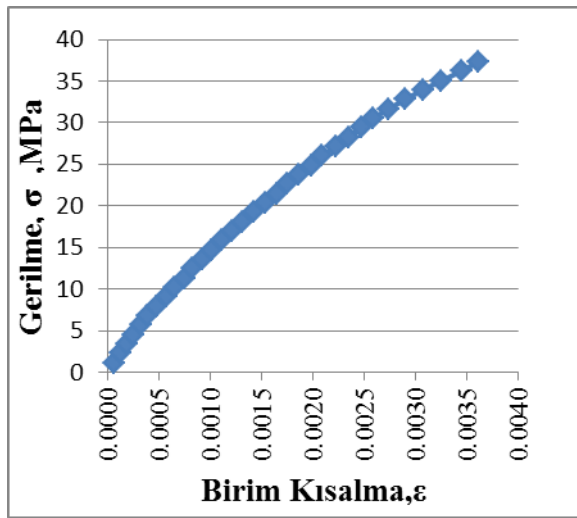
(b)



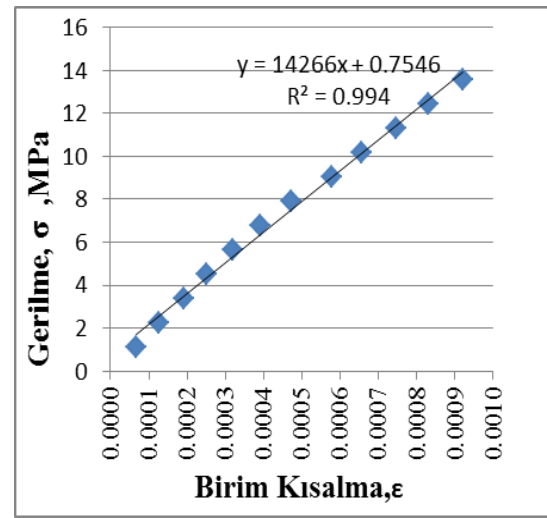
(c)



(d)



(e)

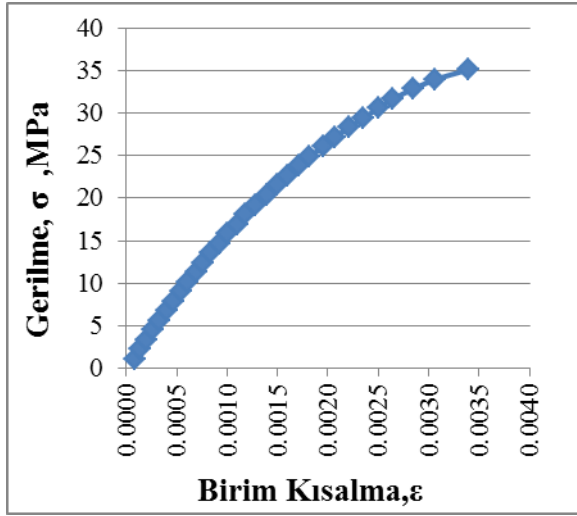


(f)

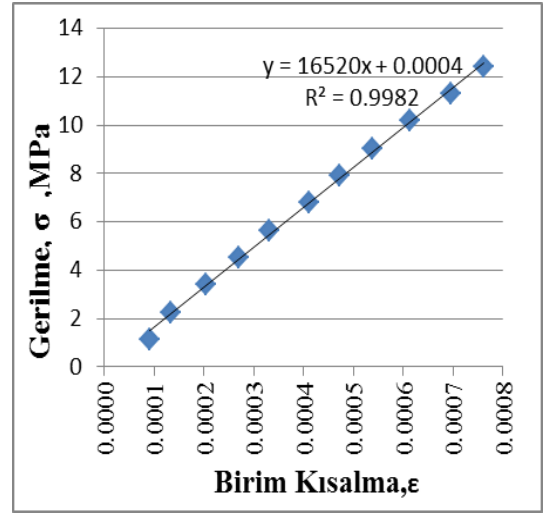
Şekil A.18 : (a,b) GKİA-100-E14-1, (c,d) GKİA-100-E14-2, (e,f) GKİA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.19 : GKİA-100-E7-1, GKİA-100-E7-2, GKİA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

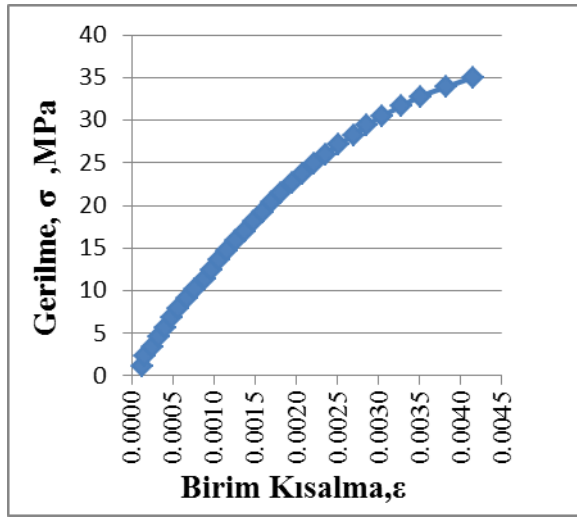
P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)	P (kN)	Δℓ	ε=Δℓ/ℓ	σ= P/A (MPa)		
20	0.023	8.98E-05	1.13	20	0.032	1.25E-04	1.13	20	0.018	7.03E-05	1.13		
40	0.034	1.33E-04	2.26	40	0.042	1.64E-04	2.26	40	0.028	1.09E-04	2.26		
60	0.052	2.03E-04	3.39	60	0.063	2.46E-04	3.39	60	0.035	1.37E-04	3.39		
80	0.069	2.70E-04	4.53	80	0.084	3.28E-04	4.53	80	0.046	1.80E-04	4.53		
100	0.085	3.32E-04	5.66	100	0.103	4.02E-04	5.66	100	0.059	2.30E-04	5.66		
120	0.105	4.10E-04	6.79	120	0.126	4.92E-04	6.79	120	0.074	2.89E-04	6.79		
140	0.121	4.73E-04	7.92	140	0.146	5.70E-04	7.92	140	0.089	3.48E-04	7.92		
160	0.138	5.39E-04	9.05	160	0.173	6.76E-04	9.05	160	0.107	4.18E-04	9.05		
180	0.157	6.13E-04	10.18	180	0.197	7.70E-04	10.18	180	0.120	4.69E-04	10.18		
200	0.178	6.95E-04	11.31	200	0.227	8.87E-04	11.31	200	0.141	5.51E-04	11.31		
220	0.195	7.62E-04	12.44	220	0.248	9.69E-04	12.44	220	0.158	6.17E-04	12.44		
240	0.215	8.40E-04	13.58	240	0.273	1.07E-03	13.58	240	0.179	6.99E-04	13.58		
260	0.236	9.22E-04	14.71	260	0.297	1.16E-03	14.71	260	0.193	7.54E-04	14.71		
280	0.258	1.01E-03	15.84	280	0.325	1.27E-03	15.84	280	0.210	8.20E-04	15.84		
300	0.281	1.10E-03	16.97	300	0.352	1.38E-03	16.97	300	0.233	9.10E-04	16.97		
320	0.302	1.18E-03	18.10	320	0.379	1.48E-03	18.10	320	0.252	9.84E-04	18.10		
340	0.327	1.28E-03	19.23	340	0.408	1.59E-03	19.23	340	0.270	1.05E-03	19.23		
360	0.358	1.40E-03	20.36	360	0.438	1.71E-03	20.36	360	0.294	1.15E-03	20.36		
380	0.385	1.50E-03	21.49	380	0.465	1.82E-03	21.49	380	0.314	1.23E-03	21.49		
400	0.408	1.59E-03	22.63	400	0.498	1.95E-03	22.63	400	0.343	1.34E-03	22.63		
420	0.438	1.71E-03	23.76	420	0.530	2.07E-03	23.76	420	0.378	1.48E-03	23.76		
440	0.465	1.82E-03	24.89	440	0.566	2.21E-03	24.89	440	0.402	1.57E-03	24.89		
460	0.500	1.95E-03	26.02	460	0.602	2.35E-03	26.02	460	0.480	1.88E-03	26.02		
480	0.529	2.07E-03	27.15	480	0.643	2.51E-03	27.15	480	0.578	2.26E-03	27.15		
500	0.565	2.21E-03	28.28	500	0.691	2.70E-03	28.28						
520	0.602	2.35E-03	29.41	520	0.732	2.86E-03	29.41						
540	0.640	2.50E-03	30.55	540	0.780	3.05E-03	30.55						
560	0.678	2.65E-03	31.68	560	0.839	3.28E-03	31.68						
580	0.728	2.84E-03	32.81	580	0.898	3.51E-03	32.81						
600	0.785	3.07E-03	33.94	600	0.979	3.82E-03	33.94						
620	0.868	3.39E-03	35.07	620	1.063	4.15E-03	35.07						
GKİA-100-E7-1				P=	640 kN	GKİA-100-E7-2		P=	630 kN	GKİA-100-E7-3		P=	490 kN



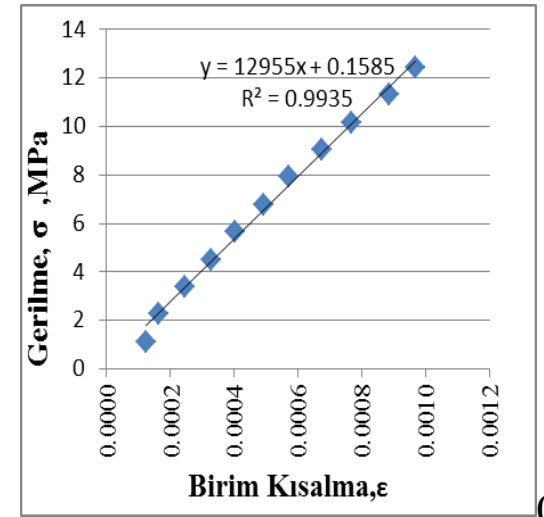
(a)



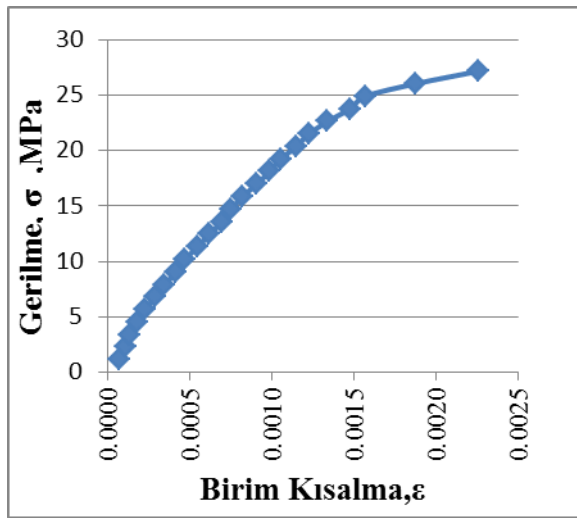
(b)



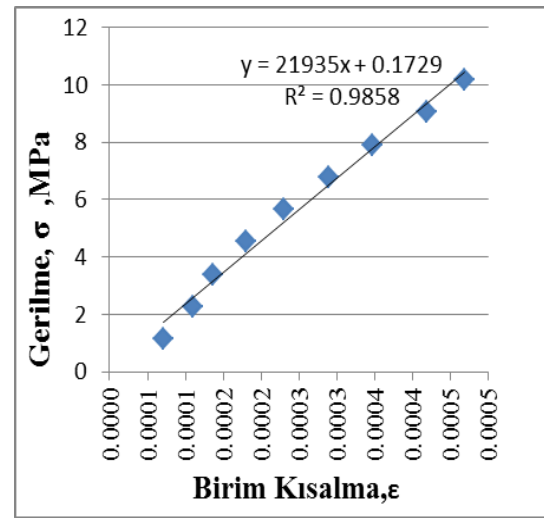
(c)



(d)



(e)

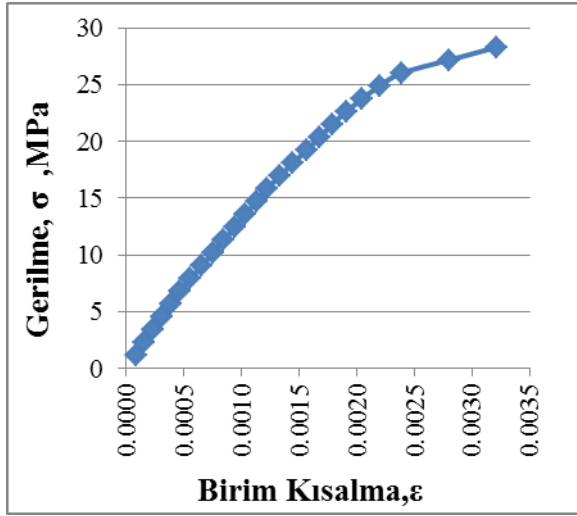


(f)

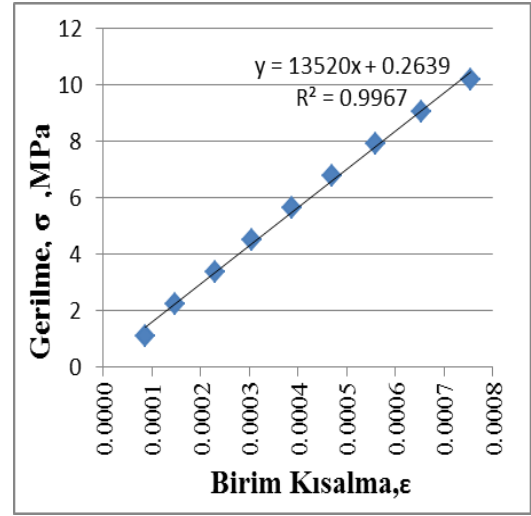
Şekil A.19 : (a,b) GKİA-100-E7-1, (c,d) GKİA-100-E7-2, (e,f) GKİA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.20 : GKİA-100-E3-1, GKİA-100-E3-2, GKİA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

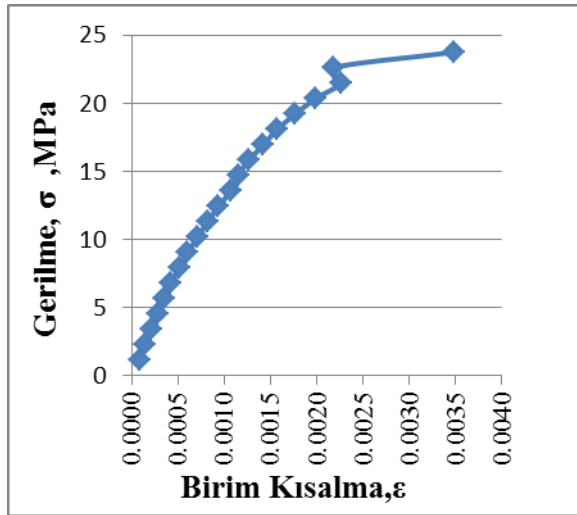
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.022	8.59E-05	1.13	20	0.023	8.98E-05	1.13	20	0.027	1.05E-04	1.13
40	0.038	1.48E-04	2.26	40	0.035	1.37E-04	2.26	40	0.044	1.72E-04	2.26
60	0.059	2.30E-04	3.39	60	0.055	2.15E-04	3.39	60	0.061	2.38E-04	3.39
80	0.078	3.05E-04	4.53	80	0.072	2.81E-04	4.53	80	0.079	3.09E-04	4.53
100	0.099	3.87E-04	5.66	100	0.089	3.48E-04	5.66	100	0.100	3.91E-04	5.66
120	0.120	4.69E-04	6.79	120	0.108	4.22E-04	6.79	120	0.120	4.69E-04	6.79
140	0.143	5.59E-04	7.92	140	0.131	5.12E-04	7.92	140	0.141	5.51E-04	7.92
160	0.167	6.52E-04	9.05	160	0.155	6.05E-04	9.05	160	0.163	6.37E-04	9.05
180	0.193	7.54E-04	10.18	180	0.182	7.11E-04	10.18	180	0.186	7.27E-04	10.18
200	0.216	8.44E-04	11.31	200	0.210	8.20E-04	11.31	200	0.211	8.24E-04	11.31
220	0.243	9.49E-04	12.44	220	0.240	9.38E-04	12.44	220	0.236	9.22E-04	12.44
240	0.265	1.04E-03	13.58	240	0.273	1.07E-03	13.58	240	0.264	1.03E-03	13.58
260	0.289	1.13E-03	14.71	260	0.294	1.15E-03	14.71	260	0.294	1.15E-03	14.71
280	0.312	1.22E-03	15.84	280	0.324	1.27E-03	15.84	280	0.321	1.25E-03	15.84
300	0.342	1.34E-03	16.97	300	0.364	1.42E-03	16.97	300	0.351	1.37E-03	16.97
320	0.370	1.45E-03	18.10	320	0.403	1.57E-03	18.10	320	0.386	1.51E-03	18.10
340	0.401	1.57E-03	19.23	340	0.452	1.77E-03	19.23	340	0.419	1.64E-03	19.23
360	0.430	1.68E-03	20.36	360	0.509	1.99E-03	20.36	360	0.462	1.80E-03	20.36
380	0.457	1.79E-03	21.49	380	0.578	2.26E-03	21.49	380	0.503	1.96E-03	21.49
400	0.489	1.91E-03	22.63	400	0.559	2.18E-03	22.63	400	0.551	2.15E-03	22.63
420	0.524	2.05E-03	23.76	420	0.890	3.48E-03	23.76	420	0.654	2.55E-03	23.76
440	0.563	2.20E-03	24.89					440	0.684	2.67E-03	24.89
460	0.612	2.39E-03	26.02					460	0.758	2.96E-03	26.02
480	0.716	2.80E-03	27.15								
500	0.822	3.21E-03	28.28								
GKİA-100-E3-1 P= 500 kN				GKİA-100-E3-2 P= 420 kN				GKİA-100-E3-3 P= 465 kN			



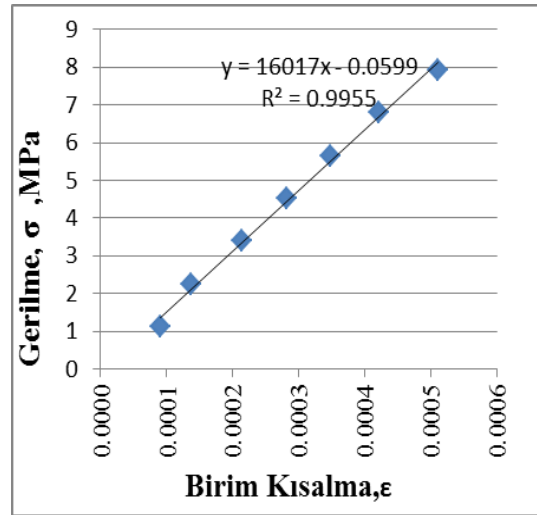
(a)



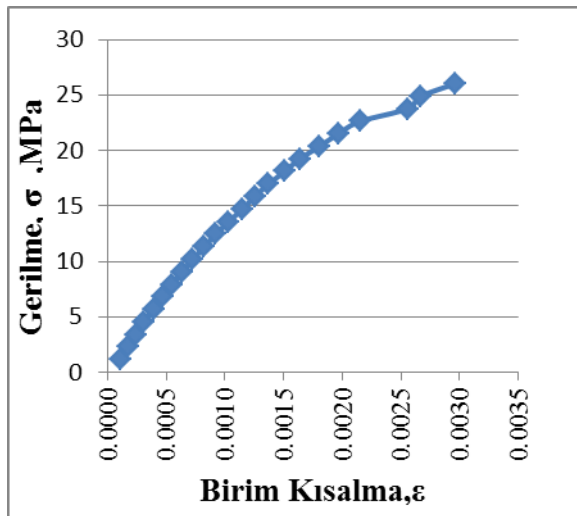
(b)



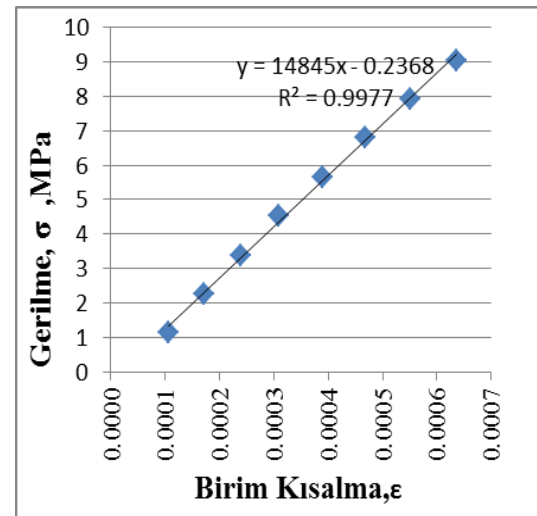
(c)



(d)



(e)

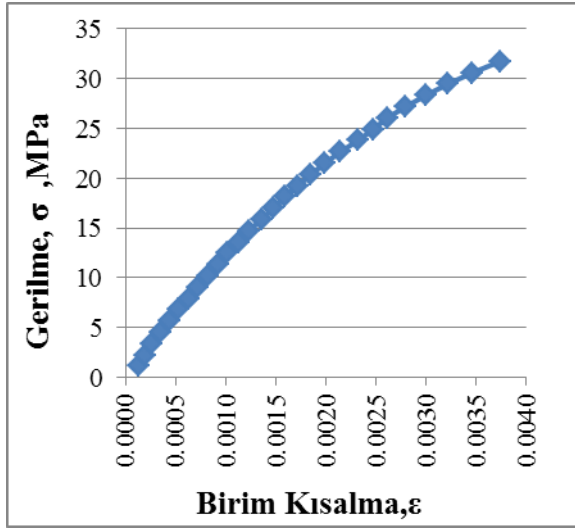


(f)

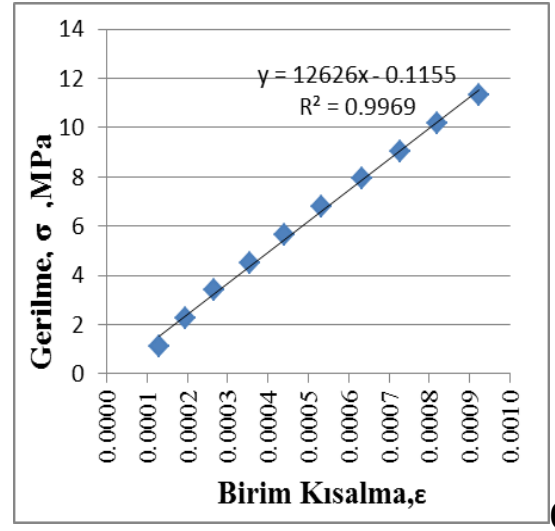
Şekil A.20 : (a,b) GKİA-100-E3-1, (c,d) GKİA-100-E3-2, (e,f) GKİA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.21 : GKA-100-E28-1, GKA-100-E28-2, GKA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

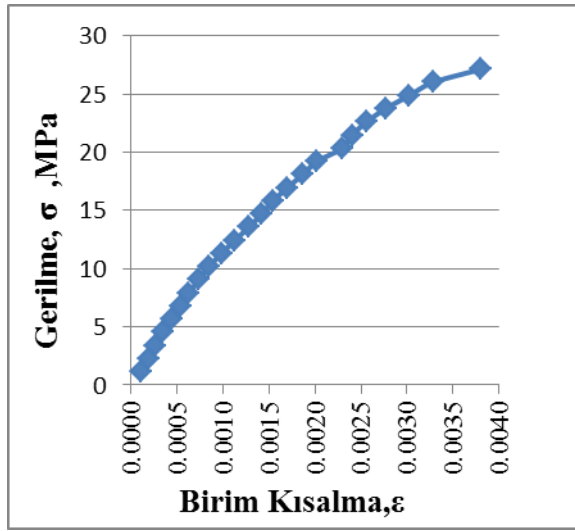
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.033	1.29E-04	1.13	20	0.029	1.13E-04	1.13	20	0.028	1.09E-04	1.13
40	0.050	1.95E-04	2.26	40	0.048	1.88E-04	2.26	40	0.040	1.56E-04	2.26
60	0.068	2.66E-04	3.39	60	0.068	2.66E-04	3.39	60	0.060	2.34E-04	3.39
80	0.091	3.55E-04	4.53	80	0.089	3.48E-04	4.53	80	0.082	3.20E-04	4.53
100	0.113	4.41E-04	5.66	100	0.112	4.38E-04	5.66	100	0.104	4.06E-04	5.66
120	0.136	5.31E-04	6.79	120	0.137	5.35E-04	6.79	120	0.126	4.92E-04	6.79
140	0.162	6.33E-04	7.92	140	0.161	6.29E-04	7.92	140	0.148	5.78E-04	7.92
160	0.186	7.27E-04	9.05	160	0.189	7.38E-04	9.05	160	0.176	6.88E-04	9.05
180	0.210	8.20E-04	10.18	180	0.217	8.48E-04	10.18	180	0.202	7.89E-04	10.18
200	0.236	9.22E-04	11.31	200	0.251	9.80E-04	11.31	200	0.229	8.95E-04	11.31
220	0.261	1.02E-03	12.44	220	0.288	1.13E-03	12.44	220	0.254	9.92E-04	12.44
240	0.289	1.13E-03	13.58	240	0.328	1.28E-03	13.58	240	0.282	1.10E-03	13.58
260	0.314	1.23E-03	14.71	260	0.363	1.42E-03	14.71	260	0.319	1.25E-03	14.71
280	0.347	1.36E-03	15.84	280	0.395	1.54E-03	15.84	280	0.348	1.36E-03	15.84
300	0.377	1.47E-03	16.97	300	0.435	1.70E-03	16.97	300	0.374	1.46E-03	16.97
320	0.406	1.59E-03	18.10	320	0.478	1.87E-03	18.10	320	0.404	1.58E-03	18.10
340	0.440	1.72E-03	19.23	340	0.518	2.02E-03	19.23	340	0.433	1.69E-03	19.23
360	0.473	1.85E-03	20.36	360	0.588	2.30E-03	20.36	360	0.469	1.83E-03	20.36
380	0.510	1.99E-03	21.49	380	0.615	2.40E-03	21.49	380	0.502	1.96E-03	21.49
400	0.548	2.14E-03	22.63	400	0.656	2.56E-03	22.63	400	0.532	2.08E-03	22.63
420	0.593	2.32E-03	23.76	420	0.708	2.77E-03	23.76	420	0.573	2.24E-03	23.76
440	0.633	2.47E-03	24.89	440	0.775	3.03E-03	24.89	440	0.608	2.38E-03	24.89
460	0.668	2.61E-03	26.02	460	0.841	3.29E-03	26.02	460	0.655	2.56E-03	26.02
480	0.716	2.80E-03	27.15	480	0.975	3.81E-03	27.15	480	0.695	2.71E-03	27.15
500	0.766	2.99E-03	28.28					500	0.751	2.93E-03	28.28
520	0.823	3.21E-03	29.41								
540	0.885	3.46E-03	30.55								
560	0.956	3.73E-03	31.68								
GKA-100-E28-1 P= 570 kN				GKA-100-E28-2 P= 490 kN				GKA-100-E28-3 P= 510 kN			



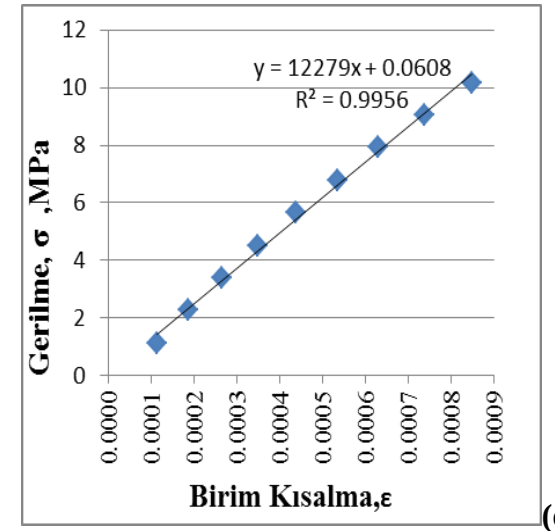
(a)



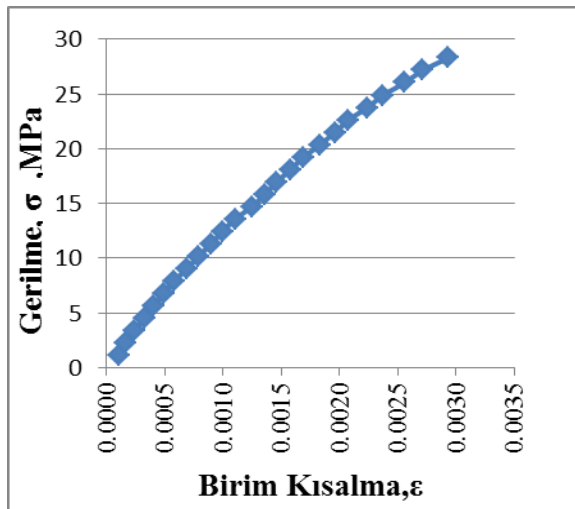
(b)



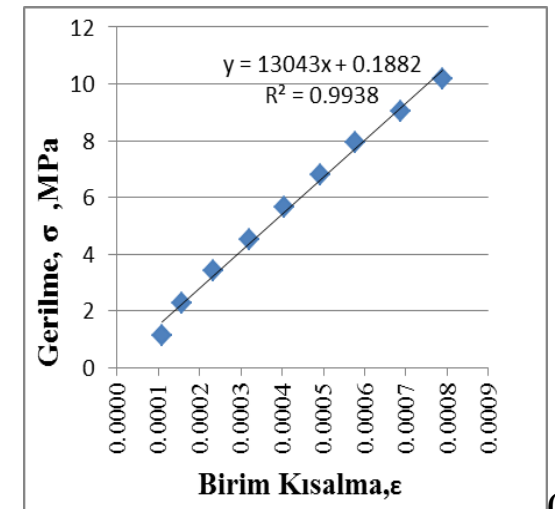
(c)



(d)



(e)

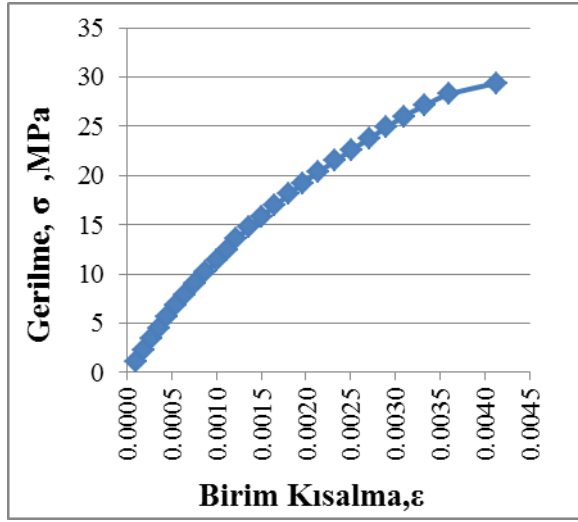


(f)

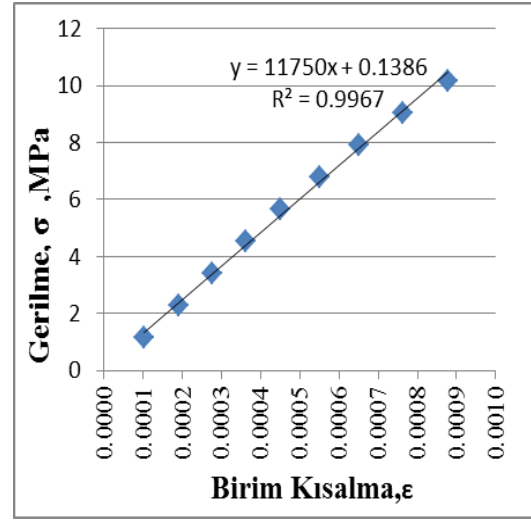
Şekil A.21 : (a,b) GKA-100-E28-1, (c,d) GKA-100-E28-2, (e,f) GKA-100-E28-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.22 : GKA-100-E14-1, GKA-100-E14-2, GKA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

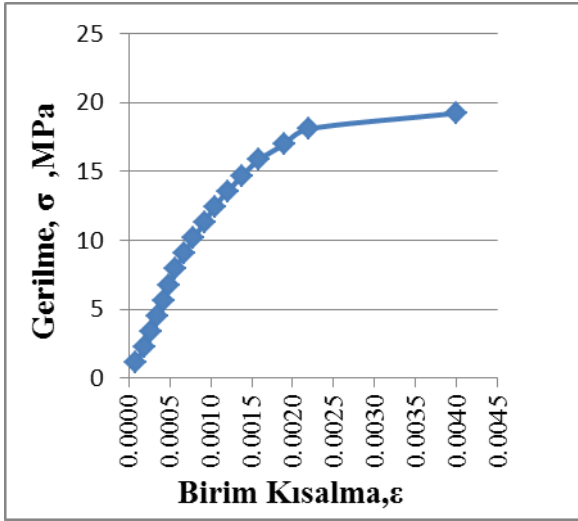
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.026	1.02E-04	1.13	20	0.023	8.98E-05	1.13	20	0.021	8.20E-05	1.13
40	0.049	1.91E-04	2.26	40	0.049	1.91E-04	2.26	40	0.042	1.64E-04	2.26
60	0.071	2.77E-04	3.39	60	0.071	2.77E-04	3.39	60	0.068	2.66E-04	3.39
80	0.093	3.63E-04	4.53	80	0.090	3.52E-04	4.53	80	0.089	3.48E-04	4.53
100	0.115	4.49E-04	5.66	100	0.108	4.22E-04	5.66	100	0.121	4.73E-04	5.66
120	0.141	5.51E-04	6.79	120	0.127	4.96E-04	6.79	120	0.132	5.16E-04	6.79
140	0.167	6.52E-04	7.92	140	0.146	5.70E-04	7.92	140	0.146	5.70E-04	7.92
160	0.195	7.62E-04	9.05	160	0.174	6.80E-04	9.05	160	0.174	6.80E-04	9.05
180	0.225	8.79E-04	10.18	180	0.203	7.93E-04	10.18	180	0.203	7.93E-04	10.18
200	0.256	1.00E-03	11.31	200	0.237	9.26E-04	11.31	200	0.237	9.26E-04	11.31
220	0.287	1.12E-03	12.44	220	0.268	1.05E-03	12.44	220	0.268	1.05E-03	12.44
240	0.314	1.23E-03	13.58	240	0.309	1.21E-03	13.58	240	0.309	1.21E-03	13.58
260	0.349	1.36E-03	14.71	260	0.355	1.39E-03	14.71	260	0.355	1.39E-03	14.71
280	0.386	1.51E-03	15.84	280	0.406	1.59E-03	15.84	280	0.406	1.59E-03	15.84
300	0.424	1.66E-03	16.97	300	0.485	1.89E-03	16.97	300	0.485	1.89E-03	16.97
320	0.464	1.81E-03	18.10	320	0.564	2.20E-03	18.10				
340	0.502	1.96E-03	19.23	340	1.022	3.99E-03	19.23				
360	0.548	2.14E-03	20.36								
380	0.596	2.33E-03	21.49								
400	0.643	2.51E-03	22.63								
420	0.693	2.71E-03	23.76								
440	0.742	2.90E-03	24.89								
460	0.792	3.09E-03	26.02								
480	0.853	3.33E-03	27.15								
500	0.923	3.61E-03	28.28								
520	1.057	4.13E-03	29.41								
GKA-100-E14-1 P= 520 kN				GKA-100-E14-2 P= 330 kN				GKA-100-E14-3 P= 300 kN			



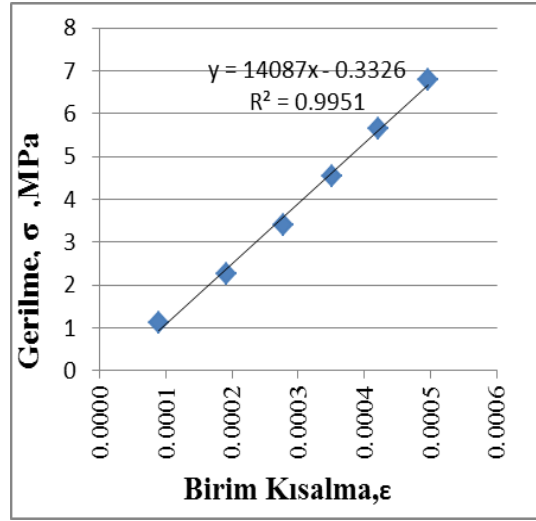
(a)



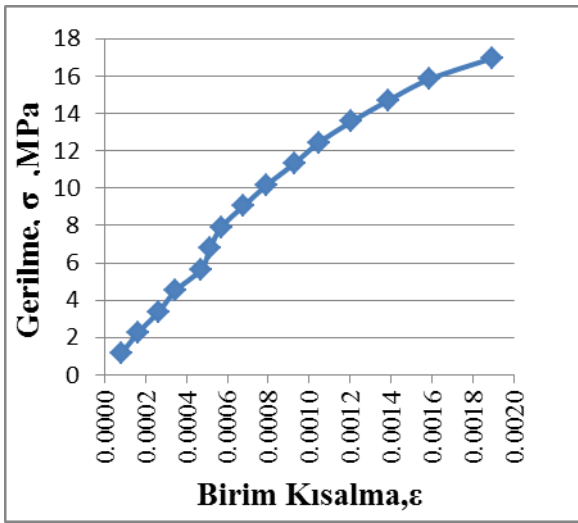
(b)



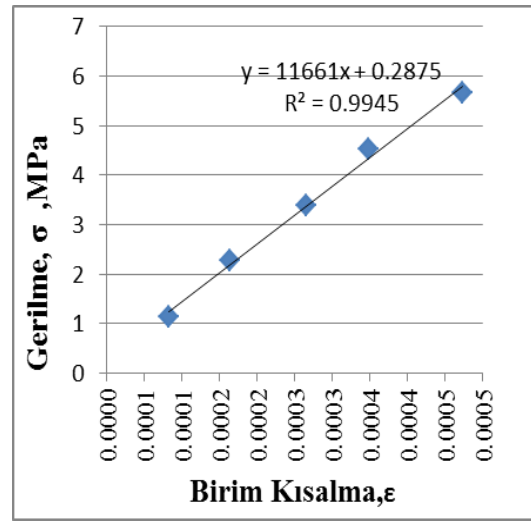
(c)



(d)



(e)

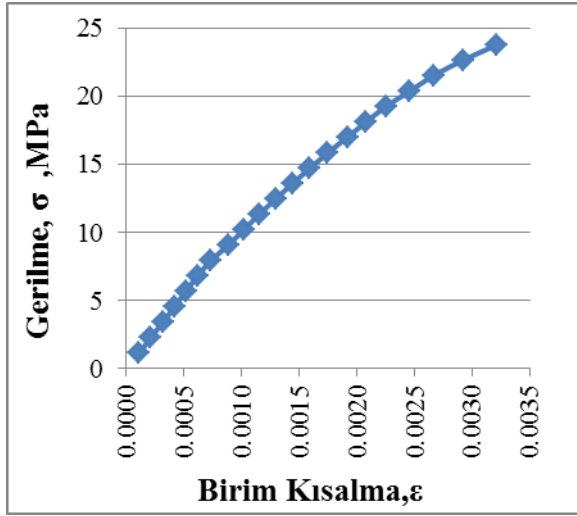


(f)

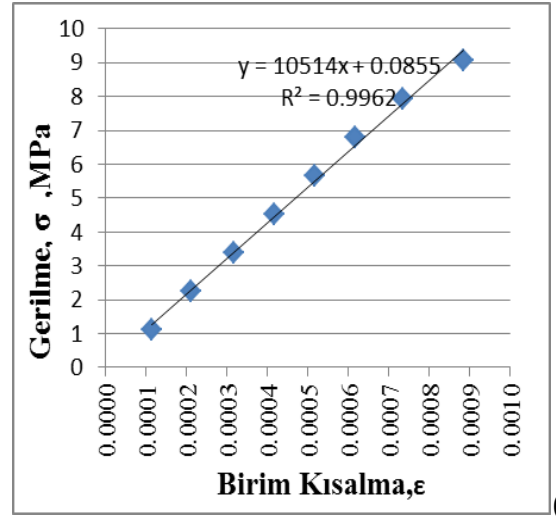
Şekil A.22 : (a,b) GKA-100-E14-1, (c,d) GKA-100-E14-2, (e,f) GKA-100-E14-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.23 : GKA-100-E7-1, GKA-100-E7-2, GKA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

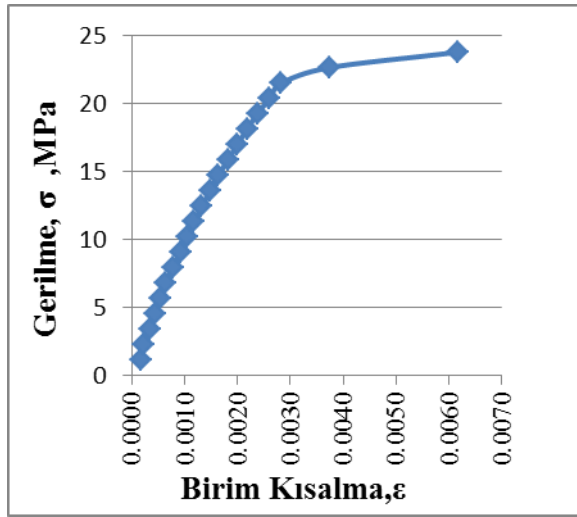
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.029	1.13E-04	1.13	20	0.046	1.80E-04	1.13	20	0.028	1.09E-04	1.13
40	0.054	2.11E-04	2.26	40	0.059	2.30E-04	2.26	40	0.040	1.56E-04	2.26
60	0.081	3.16E-04	3.39	60	0.085	3.32E-04	3.39	60	0.061	2.38E-04	3.39
80	0.107	4.18E-04	4.53	80	0.112	4.38E-04	4.53	80	0.081	3.16E-04	4.53
100	0.132	5.16E-04	5.66	100	0.135	5.27E-04	5.66	100	0.105	4.10E-04	5.66
120	0.158	6.17E-04	6.79	120	0.165	6.45E-04	6.79	120	0.127	4.96E-04	6.79
140	0.188	7.34E-04	7.92	140	0.197	7.70E-04	7.92	140	0.155	6.05E-04	7.92
160	0.226	8.83E-04	9.05	160	0.238	9.30E-04	9.05	160	0.182	7.11E-04	9.05
180	0.261	1.02E-03	10.18	180	0.269	1.05E-03	10.18	180	0.213	8.33E-04	10.18
200	0.295	1.15E-03	11.31	200	0.302	1.18E-03	11.31	200	0.242	9.45E-04	11.31
220	0.332	1.30E-03	12.44	220	0.339	1.32E-03	12.44	220	0.276	1.08E-03	12.44
240	0.369	1.44E-03	13.58	240	0.379	1.48E-03	13.58	240	0.312	1.22E-03	13.58
260	0.408	1.59E-03	14.71	260	0.418	1.63E-03	14.71	260	0.352	1.38E-03	14.71
280	0.448	1.75E-03	15.84	280	0.466	1.82E-03	15.84	280	0.394	1.54E-03	15.84
300	0.491	1.92E-03	16.97	300	0.510	1.99E-03	16.97	300	0.435	1.70E-03	16.97
320	0.533	2.08E-03	18.10	320	0.558	2.18E-03	18.10	320	0.478	1.87E-03	18.10
340	0.577	2.25E-03	19.23	340	0.607	2.37E-03	19.23	340	0.529	2.07E-03	19.23
360	0.630	2.46E-03	20.36	360	0.667	2.61E-03	20.36	360	0.596	2.33E-03	20.36
380	0.683	2.67E-03	21.49	380	0.724	2.83E-03	21.49	380	0.663	2.59E-03	21.49
400	0.748	2.92E-03	22.63	400	0.955	3.73E-03	22.63	400	0.748	2.92E-03	22.63
420	0.824	3.22E-03	23.76	420	1.578	6.16E-03	23.76	420	0.856	3.34E-03	23.76
								440	1.015	3.96E-03	24.89
GKA-100-E7-1 P= 520 kN				GKA-100-E7-2 P= 330 kN				GKA-100-E7-3 P= 300 kN			



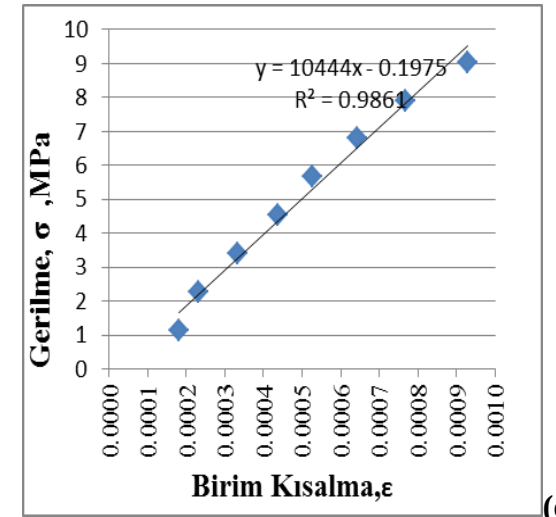
(a)



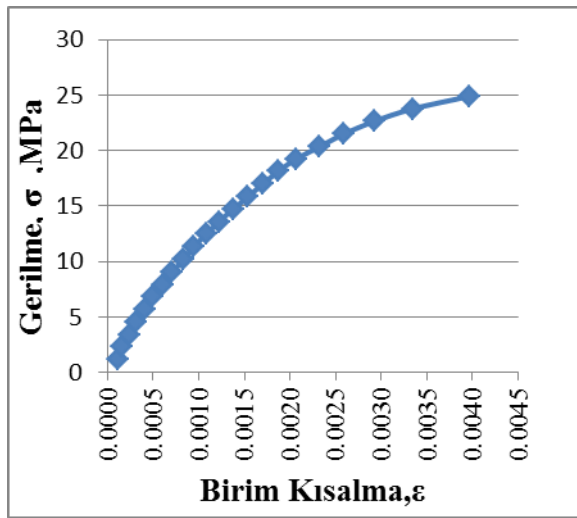
(b)



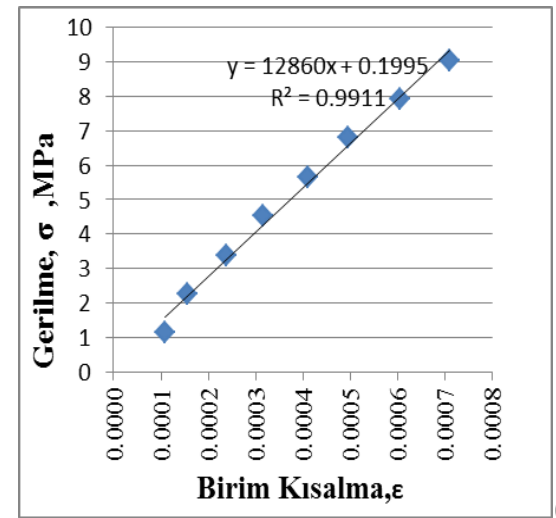
(c)



(d)



(e)

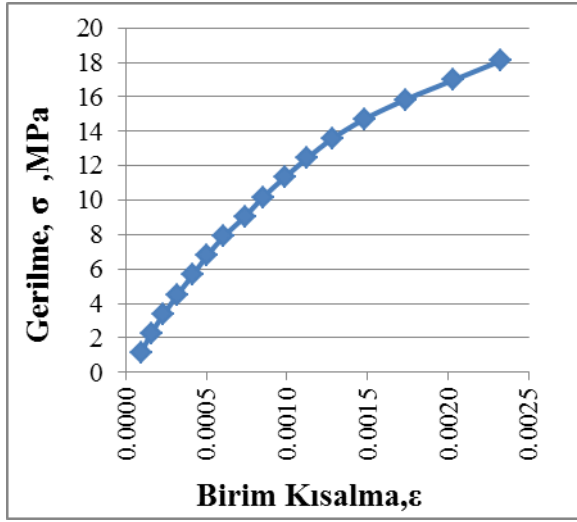


(f)

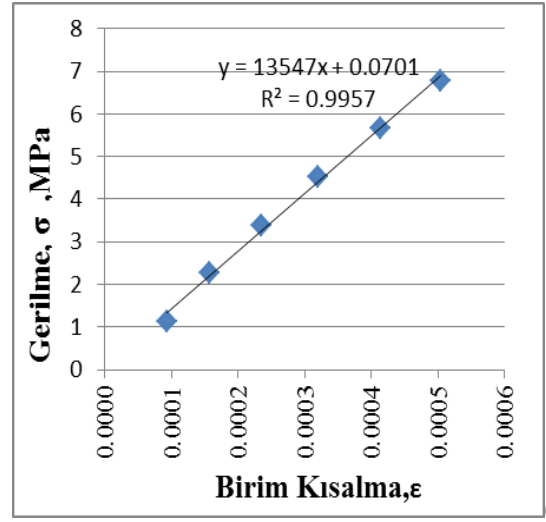
Şekil A.23 : (a,b) GKA-100-E7-1, (c,d) GKA-100-E7-2, (e,f) GKA-100-E7-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

Çizelge A.24 : GKA-100-E3-1, GKA-100-E3-2, GKA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değıştirme değeri

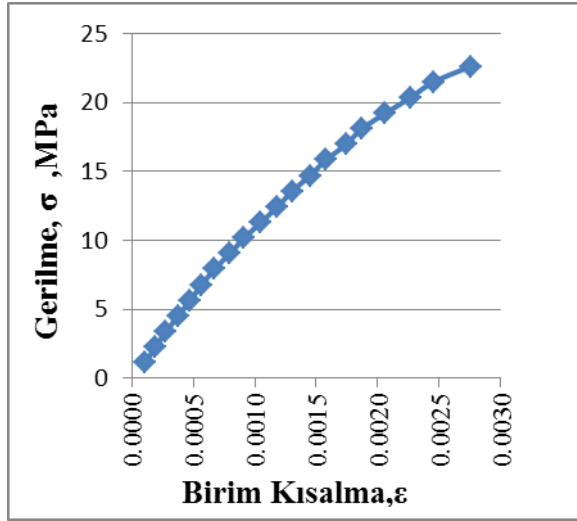
P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)	P (kN)	Δl	$\varepsilon=\Delta l/l$	$\sigma= P/A$ (MPa)
20	0.024	9.38E-05	1.13	20	0.028	1.09E-04	1.13	20	0.040	1.56E-04	1.13
40	0.040	1.56E-04	2.26	40	0.049	1.91E-04	2.26	40	0.053	2.07E-04	2.26
60	0.060	2.34E-04	3.39	60	0.071	2.77E-04	3.39	60	0.078	3.05E-04	3.39
80	0.082	3.20E-04	4.53	80	0.097	3.79E-04	4.53	80	0.103	4.02E-04	4.53
100	0.106	4.14E-04	5.66	100	0.121	4.73E-04	5.66	100	0.130	5.08E-04	5.66
120	0.129	5.04E-04	6.79	120	0.146	5.70E-04	6.79	120	0.155	6.05E-04	6.79
140	0.156	6.09E-04	7.92	140	0.172	6.72E-04	7.92	140	0.187	7.30E-04	7.92
160	0.189	7.38E-04	9.05	160	0.204	7.97E-04	9.05	160	0.222	8.67E-04	9.05
180	0.218	8.52E-04	10.18	180	0.234	9.14E-04	10.18	180	0.254	9.92E-04	10.18
200	0.252	9.84E-04	11.31	200	0.269	1.05E-03	11.31	200	0.292	1.14E-03	11.31
220	0.288	1.13E-03	12.44	220	0.303	1.18E-03	12.44	220	0.330	1.29E-03	12.44
240	0.328	1.28E-03	13.58	240	0.334	1.30E-03	13.58	240	0.372	1.45E-03	13.58
260	0.379	1.48E-03	14.71	260	0.371	1.45E-03	14.71	260	0.410	1.60E-03	14.71
280	0.444	1.73E-03	15.84	280	0.404	1.58E-03	15.84	280	0.448	1.75E-03	15.84
300	0.520	2.03E-03	16.97	300	0.446	1.74E-03	16.97	300	0.497	1.94E-03	16.97
320	0.596	2.33E-03	18.10	320	0.479	1.87E-03	18.10	320	0.536	2.09E-03	18.10
				340	0.528	2.06E-03	19.23	340	0.597	2.33E-03	19.23
				360	0.580	2.27E-03	20.36	360	0.642	2.51E-03	20.36
				380	0.628	2.45E-03	21.49	380	0.698	2.73E-03	21.49
				400	0.705	2.75E-03	22.63	400	0.778	3.04E-03	22.63
								420	0.918	3.59E-03	23.76
GKA-100-E3-1	P=		330 kN	GKA-100-E3-2	P=		410 kN	GKA-100-E3-3	P=		420 kN



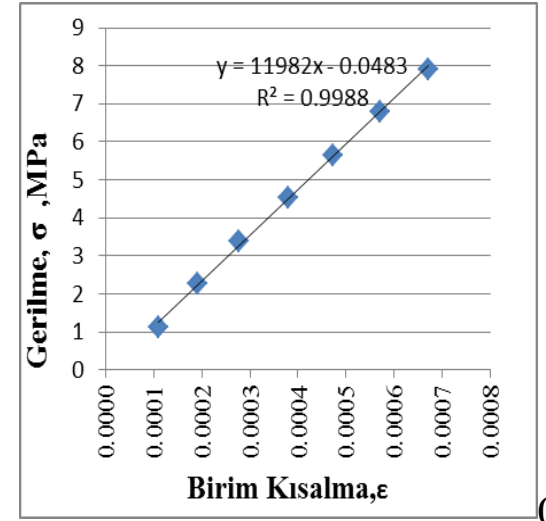
(a)



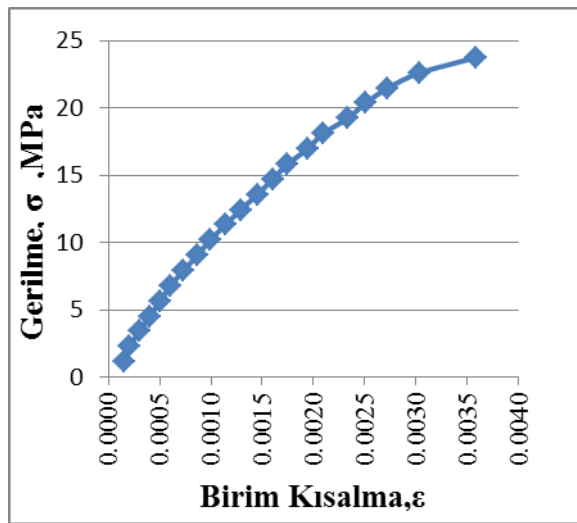
(b)



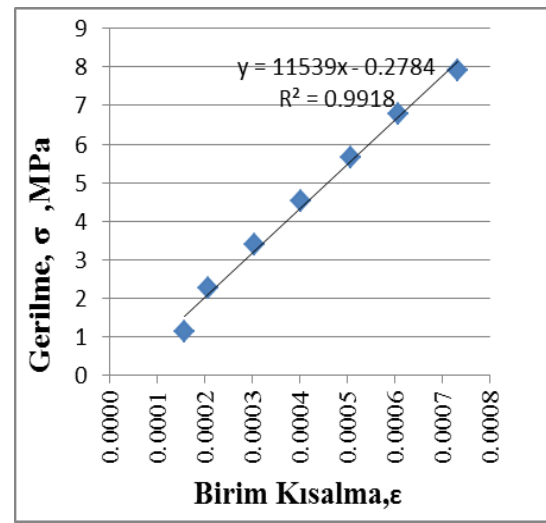
(c)



(d)



(e)



(f)

Şekil A.24 : (a,b) GKA-100-E3-1, (c,d) GKA-100-E3-2, (e,f) GKA-100-E3-3 kodlu numunelerin gerilme-şekil değiştirme ve elastik bölge grafikleri

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad:	Dilek Dilhan Altınışık
Doğum Yeri ve Tarihi:	Altındağ/Ankara, 01.01.1976
E-Posta:	dilekdilhan@hotmail.com
Lisans:	İTÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü (1994-1999)
Yüksek Lisans:	İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Mimarlık ABD, Yapı Bilgisi Programı (1999-2001)
Çalıştığı Kurum:	MSGSÜ Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü Yapı Fiziği ve Malzeme Bilim Dalı

