

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONDAN ÜRETİLEN BİR KONSOL KİRİŞİN
MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

HASAN DİLBAS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MESUT ŞİMŞEK**

**EŞ DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜR ÇAKIR**

İSTANBUL, 2014

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONDAN ÜRETİLEN BİR KONSOL KİRİŞİN
MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ**

HASAN DİLBAS

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
MEKANİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
DOÇ. DR. MESUT ŞİMŞEK**

**EŞ DANIŞMAN
YRD. DOÇ. DR. ÖZGÜR ÇAKIR**

İSTANBUL, 2014

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONDAN ÜRETİLEN BİR KONSOL KİRİŞİN
MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hasan DİLBAS tarafından hazırlanan tez çalışması 19.06.2014 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Yrd. Doç. Dr. Özgür Çakır
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Kadir GÜLER
İstanbul Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Alpay ORAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Yrd. Doç. Dr. Çağrı MOLLAMAHMUTOĞLU
Yıldız Teknik Üniversitesi

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması esnasında emeğini hiç esirgemeyen tez danışmanım sayın Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK'e ve eş danışmanım sayın Yrd. Doç. Dr. Özgür ÇAKIR'a sonsuz şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim. Bilgisayar modellemede yardımcı olan sayın Yrd. Doç. Dr. Fatih ALEMDAR'a da teşekkürlerimi iletmeyi borç bilirim. Deneysel çalışma sürecinde yardımlarını esirgemeyen Araş. Gör. Mansur TÜFEKÇİ'ye Araş. Gör. Serhan ULUKAYA'ya, Teknisyen Halil YAVAŞCI'ya, Çimento teminindeki yardımlarından dolayı Akçansa Çimento San. A.Ş.'ye teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışmasında büyük katkısı olan ve isimleri aşağıda sunulan 2012-2013 Bahar Dönemi bitirme öğrencileri ile 2013-2014 Güz Dönemi bitirme öğrencilerine şükranlarımı sunmayı borç bilirim. Ayrıca ilgisinden dolayı deneysel çalışmalara katılan ve emeğini esirgemedi katkıda bulunan İnşaat Mühendisliği Bölümü öğrencisi sayın Saygın ERCAN'a da şükranlarımı sunmayı bir borç bilirim.

2012-2013 Bahar Dönemi ve 2013-2014 Güz Dönemi Bitirme Öğrencileri (Alfabetik sıra)

Cenk İŞKARA, Ebru İNAN, Faruk BULUT, Ferhat ÇAKMAK, Hamza ERMAN, İsmail KAYNAK, Melih GENÇDAL, Mustafa AKCAN, Rauf YILMAZ, Rıdvan TURAN, Sinan KARAKURT,
Tuba OK.

Haziran, 2014

Hasan DİLBAS

İÇİNDEKİLER

Sayfa

SİMGE LİSTESİ.....	vii
KISALTMA LİSTESİ.....	viii
ŞEKİLLER LİSTESİ	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xii
ÖZET	xiii
ABSTRACT.....	xv
BÖLÜM 1	
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	2
1.2 Tezin Amacı	3
1.3 Tezin Yöntemi	3
BÖLÜM 2	
BETON HAKKINDA GENEL BİLGİLER	5
2.1 Beton.....	5
2.2 Betonu Oluşturan Malzemeler	6
2.3 Agreganın Beton Özelliklerine Etkisi	7
2.4 Çimentonun Beton Özelliklerine Etkisi	8
2.5 Karışım Suyunun Beton Özelliklerine Etkisi	9
2.6 Beton Özelliklerini Etkileyen Diğer Etkenler	11
BÖLÜM 3	
GERİ KAZANILMIŞ AGREGA HAKKINDA BİLGİLER.....	12
3.1 Geri Dönüşüm	12
3.1.1 Geri Kazanımın Amacı ve Önemi	12
3.1.2 Geri Dönüşüm ve Geri Kazanımda Mevcut Durum	13

3.1.3	Geri Dönüşüm Sistemi Basamakları.....	15
3.1.4	Yapım ve Yıkıntı Atığı Kaynağı ve Özellikleri	15
3.1.5	İnşaat Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Tekrar Kazanımı.....	17
3.1.6	Geri Kazanılmış Agreganın Kullanım Alanları.....	19
3.1.7	Geri Kazanılmış Agreganın Betonda Kullanımını Engelleyen Nedenler	21

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA	22
4.1 Malzemeler	22
4.1.1 Çimento ve Silis Dumanı	22
4.1.2 Agregalar.....	22
4.1.3 Süper akışkanlaştırıcı	25
4.2 Beton Karışımı.....	26
4.3 Numunelerin Kürü	28
4.4 Deneyler.....	28
4.4.1 Çökme Deneyi.....	28
4.4.2 Basınç ve Yarmada Çekme Deneyi.....	28
4.4.3 Statik Elastisite Modülü	29
4.4.4 Yoğunluk ve Su Emme	29
4.4.5 Deneysel Verilerin Analizi	30
4.4.5.1 Basınç ve Yarmada Çekme Deneyi	30
4.4.5.2 Statik Elastisite Modülü	31
Deneysel Analiz	31
Teorik Analiz.....	33
4.4.5.3 Enerji kapasitesi.....	38
4.4.5.4 Yoğunluk Ve Su Emme	39
4.5 Deneysel Çalışma Sonuçları	39
4.5.1 Basınç Dayanımı.....	39
4.5.2 Yarmada Çekme Dayanımı.....	40
4.5.3 Basınç Dayanımı ile Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki	42
4.5.4 Elastisite Modülü	44
4.5.5 Yoğunluk ve Su Emme	45
4.5.6 Enerji kapasitesi	45

BÖLÜM 5

ABAQUS PAKET PROGRAMINDA MODELLEME.....	50
5.1 Giriş	50
5.2 Konsol Kirişin Geometrisi	50
5.3 Abaqus Paket Programı Sonuçlarının Tutarlılığının Tespiti.....	51
5.4 Konsol Kirişe Ait Elastik Eğri İfadesinin Çıkartılması	52
5.5 Konsol Kirişin Modellenmesi.....	54
5.5.1 Model Ağacı	54
5.5.2 Parts Menüsü.....	55
5.5.3 Materials Menüsü.....	59

5.5.4	Sections ve Section Assignment Menüleri	60
5.5.5	Assembly Menüsü	62
5.5.6	Steps Menüsü	63
5.5.7	Boundary Conditions Menüsü	65
5.5.8	Loads Menüsü.....	67
5.5.9	Mesh Menüsü	69
5.5.10	Set Menüsü	75
5.5.11	History Output Requests Menüsü.....	76
5.5.12	Analysis Menüleri	78
5.5.13	Jobs Menüsü	78
5.5.14	Analiz Sonuçlarının Gösterimi	81
5.6	Kiriş Modellerinin Yük-Yer Değiştirme Sonuçları	81
5.6.1	Modellemede Boyut ve Uzunluk Etkisinin Kiriş Yük-Yer Değiştirme Eğrileri Üzerindeki Etkisi	82
5.6.1.1	Kirişlerde Boyut ve Uzunluk Değerlerinin Karşılaştırılması	82
5.6.1.2	Kiriş Boy/Yükseklik Oranının Yük-Yer Değiştirme Eğrisi Üzerine Etkisi	90
5.6.2	Silis Dumanı ve Geri Kazanılmış Agreganın Özelliklerinin Kiriş Yük-Yer Değiştirme Eğrisi Üzerine Etkisi	92
BÖLÜM 6		
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....		95
KAYNAKLAR.....		99
ÖZGEÇMİŞ.....		104

SİMGE LİSTESİ

f_c	Beton basınç dayanımı
f_{cm}	Ortalama beton basınç dayanımı
$f_{c,min}$	Gruptaki en küçük beton basınç dayanımı
f_{ck}	Karakteristik beton basınç dayanımı
f_{ctd}	Beton çekme dayanımı
F, P	Kuvvet
A	Kesit alanı
L	Uzunluk
d	Çap
π	Pi sayısı
σ	Gerilme
ε	Birim şekil değiştirme
A, B	Katsayı
E	Elastisite modülü
w_c, ρ, D	Yoğunluk
w_{SH}	Yüzey kuru suya doymun havadaki ağırlık
w_{SS}	Sudaki ağırlık
w_o	Fırın kuru ağırlık
Δ	Yer değiştirme
I	Atalet momenti
ν	Poisson oranı

KISALTMA LİSTESİ

ACI	American Concrete Institute
AS	Australian Standard
CSA	Canadian Standards Association
EN	European Norms
SP	Russian Standard
TS	Türk Standardı

ŞEKİLLER LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 3.1	Yıkıntı atıklarının geri kazanmadaki yaklaşım [39] 18
Şekil 4.1	Geri kazanılmış agregada içeren bir betonun yarmada çekme deneyi sonucu yarılmaması ve iç yüzeyinin görülmesi (çeşitli kirlilikler çeşitli renklere sahiptir) 24
Şekil 4.2	Bir numuneye ait gerilme-şekil değiştirme noktaları, teğet ile giriş doğruları 32
Şekil 4.3	İki kırıklı ve üç kırıklı gerilme şekil değiştirme grafiği (SP 52-101-2003 Rus Standardı [51]’ından alınmıştır) 36
Şekil 4.4	Elastik enerji, plastik enerji ve tokluk kapasitesi [8] 38
Şekil 4.5	Tüm numunelerin basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki 43
Şekil 4.6	Numunelerin basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişkisi (NA, RA1, RA2 ve RA12 içeren numunelerin korelasyon katsayıları sırasıyla 0,70, 0,28, 0,27, ve 0.38 dir) 44
Şekil 4.7	Plastik enerji ve elastik enerji kapasitesi arasındaki ilişki 47
Şekil 4.8	Elastik enerji ile geri kazanılmış agregada oranı ilişkisi 48
Şekil 4.9	Plastik enerji ile geri kazanılmış agregada oranı ilişkisi 48
Şekil 4.10	Tokluk ile geri kazanılmış agregada oranı ilişkisi 49
Şekil 5.1	Konsol girişin geometrisi, yükleme ve mesnetlenme durumu 50
Şekil 5.2	Abaqus paket programında model ağacı 55
Şekil 5.3	Model bilgi girişi 56
Şekil 5.4	Başlangıç (a) ve bitiş (b) koordinatların girişi 57
Şekil 5.5	Model bilgi girişi 58
Şekil 5.6	Malzemeye ait bilgi girişi 59
Şekil 5.7	Betona ait plastik gerilme plastik şekil değiştirme değerlerinin girişi 60
Şekil 5.8	Kiriş kesitinin düzenlenmesi 61
Şekil 5.9	Section assingment 62
Şekil 5.10	Assembly (modelin birleştirilmesi) 63
Şekil 5.11	Edit Step bölümünün düzenlenmesi 64
Şekil 5.12	Sınır şartlarının belirlenmesi 65
Şekil 5.13	1 boyutlu (a) ve 2 boyutlu (b) modeller için sınır şartlarının seçimi 66
Şekil 5.14	Sınır şartların seçimi 67
Şekil 5.15	Yük parametrelerinin girişi 68

Şekil 5.16	Yük değerlerinin girişi.....	69
Şekil 5.17	Mesh>>Element Type sekmesi.....	71
Şekil 5.18	Sonlu eleman kütüphanesinden 1 boyutlu modeller için (a) ve 2 boyutlu modeller için (c) eleman tipi parametreleri ve part komutunun seçimi (e) (Sonlu eleman görünümüleri ise sırasıyla (b) ve (d) şeklindedir).....	73
Şekil 5.19	Parçalara ayrılmış 1 boyutlu (a) ve 2 boyutlu (b) model.....	74
Şekil 5.20	Part modülünün seçimi	75
Şekil 5.21	Set yapma işlemi	75
Şekil 5.22	Set yapılacak noktanın seçimi	76
Şekil 5.23	History output request penceresi genel görünüm.....	77
Şekil 5.24	Model Ağacı'ndaki Analysis ikonu ve alt kısımları.....	78
Şekil 5.25	Çözümün tanımlanması.....	78
Şekil 5.26	Edit Job penceresi	79
Şekil 5.27	Job manager	79
Şekil 5.28 (b)	1 metrelik kiriş modelleri için Mises gerilme dağılımı sonuçlarının görsel olarak gösterimi: 1 boyutlu ve 2 boyutlu kiriş modelleri	81
Şekil 5.29 (a)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	84
Şekil 5.29 (b)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	84
Şekil 5.29 (c)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	85
Şekil 5.29 (d)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	85
Şekil 5.29 (e)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	86
Şekil 5.29 (f)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	86
Şekil 5.30 (a)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	87
Şekil 5.30 (b)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	87
Şekil 5.30 (c)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	88
Şekil 5.30 (d)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	88
Şekil 5.30 (e)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	89
Şekil 5.30 (f)	1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri	89
Şekil 5.31 (a)	L/h=2, L/h=4 ve L/h=8 olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için).....	90
Şekil 5.31 (b)	L/h=2, L/h=4 ve L/h=8 olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için).....	91
Şekil 5.31 (c)	L/h=2, L/h=4 ve L/h=8 olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için).....	91

Şekil 5.32	%0 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri	92
Şekil 5.33	%5 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri	93
Şekil 5.34	%10 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri	94

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1	Beton karışım suyunda kabul edilebilir yabancı madde miktarları [34]..	10
Çizelge 3.1	Doğal afetler sonucu oluşan yıkıntıların bileşenleri	17
Çizelge 3.2	İnşaat/yıkıntı atıklarından geri kazanılabilir malzemelerin kullanıldığı yerler [39]	20
Çizelge 4.1	Çimento ve silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri	23
Çizelge 4.2	Geri kazanılmış agreların bileşenleri	24
Çizelge 4.3	Doğal ve geri kazanılmış agregaların fiziksel özellikleri.....	25
Çizelge 4.4	Süper akışkanlaştırıcı özellikleri	26
Çizelge 4.5	Beton karışımlarına ait notasyonlar ve açılımları.....	27
Çizelge 4.6	Beton karışım oranları	27
Çizelge 4.7	Numunelere ait deney sonuçları	30
Çizelge 4.8	Numunelerin A ve B denklem sabitleri ile denklemlerin uygunluk katsayıları.	33
Çizelge 4.9	Teorik ve deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleri	37
Çizelge 4.10	Elastik enerji, plastik enerji ve tokluk kapasiteleri	38
Çizelge 4.11	Yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranı, silis dumanı katkısı ile kullanılmış geri kazanılmış agrega oranları	41
Çizelge 4.12	Numunelere ait elastik ve plastik enerji kapasitelerinin tokluk oranları ve geri kazanılmış agrega ile silis dumanı oranları.....	47
Çizelge 5.1	P=500 kN yük altında konsol kiriş uç noktasının yer değiştirme değerleri	54
Çizelge 5.2	1 boyutlu kirişte yakınsama analizi (P=200 kN, E=30 GPa, poisson oranı 0.2) (n kiriş boyunca eleman sayısı ve v düşey yer değiştirme değeri, mm)	70
Çizelge 5.3	2 boyutlu kirişte yakınsama analizi (P=200 kN, E=30 GPa, poisson oranı 0.2) (a kiriş boyunca eleman sayısı, b kiriş enince eleman sayısı ve v düşey yer değiştirme değeri, mm)	70

GERİ KAZANILMIŞ AGREGALI BETONDAN ÜRETİLEN BİR KONSOL KİRİŞİN MEKANİK DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Hasan DİLBAS

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mesut ŞİMŞEK

Eş Danışman: Yrd.Doç. Dr. Özgür ÇAKIR

Toplum taleplerinin aşırı tüketim yönünde değişimi nedeniyle daha fazla kaynağa ihtiyaç duyulmaktadır ve dünyada kaynakların aşırı tüketimine neden olmaktadır. Son yıllarda, tüketim toplumunun bir sonucu olarak kentleşmenin ivmelenmesi yıkım ve yapım aktivitelerinin aşırı çalışmasına önderlik etmektedir ve geçmişte kentleşme yüksek miktarlarda yapı ve yıkım atığı üretilmesiyle sonuçlanmıştır. Bunun yanında değişik ülkelerin kentsel dönüşüm planları atık miktarlarının artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla bu çalışma geri dönüşüm atıkları ve silis dumanının betonda kullanılabilirliğini araştırmayı amaçlamaktadır. Bu çalışmada yıkılmış bir binadan arta kalan molozlar geri kazanılmış agrega olarak kullanılmış, mineral katkı maddesi olarak silis dumanı içeriği %0-5-10 olarak seçilerek geri kazanılmış agreganın betonda kullanılabilirliği irdelenmiştir. Doğal agrega ve geri kazanılmış agrega değişik oranlarda karışımlarda kullanılmıştır. Netice itibarıyla üç grup halinde onbeş beton karışımı üretilmiş ve betonun mekanik ve fiziksel özellikleri incelenmiştir. Elastisite modülü elde edilmesinde kullanılan teorik formülleri içeren çeşitli ülke Standartları kullanılmış ve neticede elde edilen sonuçların değerlendirmesi yapılmıştır. Ayrıca betona ait özellikler kullanılarak, bir paket program üzerinde bir konsol kiriş modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kirişin mekanik davranışı incelenmiştir. Beton

serilerinde çeşitli oranlarda silis dumanı ve değişik miktarlarda geri kazanılmış agrega ile doğal agrega kullanımının bir yapı elemanı olan konsol kirişin mekanik davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Beton, sürdürülebilirlik, geri dönüşüm, kentsel dönüşüm, geri kazanılmış agrega, fiziksel ve mekanik özellikler, silis dumanı, sonlu elemanlar yöntemi

ABSTRACT

AN EXAMINATION ON MECHANICAL BEHAVIOUR OF A CANTILEVER BEAM PRODUCED WITH RECYCLED AGGREGATE CONCRETE

Hasan DİLBAS

Department of Civil Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Assoc. Prof. Dr. Mesut ŞİMŞEK

Co-Adviser: Assist. Prof. Dr. Özgür ÇAKIR

The change in the demands of society through overconsumption needs more resources, and it causes excessive utilization of resources in the world. In recent years, as a result of consumption society, the accelerating urbanization has spearheaded excessive works of destruction and construction activities, and in the past the urbanization gave results in the production of large-scale of construction and demolition (C&D) waste. Also, urban renewal plans of different countries have affected this situation increasing the amount of C&D waste. Hence the aim of this study is to research the properties of RA concrete (RAC) containing silica fume (SF) to show usability of RA in concrete. In this study, a demolished building waste is used as RA in concrete with and without SF to examine the usability of RA and SF content 0%, 5%, and 10% in RAC. The natural aggregate and recycled aggregate are used in the concrete mixtures at various ratios. Hence fifteen concrete mixtures in three groups are produced, and mechanical and physical properties of RAC are investigated. Some codes, offers theoretical equations of elasticity modulus, are employed and the results are evaluated in the thesis. Also, using the some test results, a cantilever beam is modeled in a program which uses the finite element method to obtain the mechanical

behaviour of the beam. Hence, the effects of silica fume, recycled aggregate and natural aggregate content at various proportions in the concretes on the mechanical behaviour of the beam is examined.

Keywords: Concrete, sustainability, recycling, urban renewal, recycled aggregate, physical and mechanical properties of concrete, silica fume, finite element method

GİRİŞ

Geleneksel üretim toplumundan tüketim toplumuna geçiş, dünya çapında son yüzyılda artış göstermiştir. Toplumda taleplerin fazla tüketme yönünde değişmesi daha çok kaynağa ihtiyaç duyulmasına neden olmakta ve bu durum dünya çapında aşırı kaynak kullanımına yol açmaktadır. Buna ek olarak aşırı tüketim, ürünlerin israf edilmesiyle artmaktadır. Ayrıca, endüstriyel zararlı maddelerin doğaya salınmasıyla doğa her geçen gün kirletilmektedir. Bu sebeple birçok ülke, günümüzde kaynakların kıtlığı ile yüz yüze kamış ve mevcut atıkları yeni çözümler geliştirerek bertaraf etme yoluna gitmektedir.

Son yıllarda tüketim toplumunun sonucu olarak şehirleşme hız kazanmakta, yapım aktivitelerinde ve yıkım işlerinde artış gözlenmektedir. Kentleşme çoğu ülkede, yüksek ölçekli yapı ve yıkım atığı ürünleri oluşmasına ve beton üretiminde agrega kaynağı kıtlığına yol açmıştır. Bundan ötürü, yapım ve yıkım atığı potansiyeli şu an çeşitli yapısal ve yapısal olmayan uygulamalarda agrega kaynağı olarak servis edilmek için beton üretiminde önemli bir hale gelmiştir. Buna ek olarak, çoğu ülkede yüksek miktarda yapım ve yıkım atığı yer dolgularında kullanılarak bertaraf edilmiş ve molozlardan geri kazanılmış agrega üretmek üzere yapı ve yıkım atığı geri dönüşüm tesisleri kurulmuştur. Sonuç itibarıyla, dünya çapında sürdürülebilir toplum kavramının sonucu olarak çoğu ülke yapısal ve yapısal olmayan alanlarda geri kazanılmış agreganın kullanımı için yasalar, yönetmelikler, araştırma programları ve politika tedbirleri ile tanışmışlardır.

1.1 Literatür Özeti

Avrupa Agregası Birliği (UEPG)'nin yıllık incelemesinde Birleşik Krallık, Almanya'dan sonra ikinci sırada geri kazanılmış agrega üreten ülke konumundadır [1]. Bu incelemede, Alman geri kazanılmış agrega üretimi yıllık yaklaşık olarak 60 milyon ton ile birinci sırada yer alırken, Birleşik Krallık yıllık üretimi 49 milyon ton ile ikinci sırada yer almaktadır. Avrupa Birliği'nde geri kazanılmış agrega oranı tüm agregalar içerisinde %5'lik bir paya sahiptir. Avrupa Birliği'nin yenilenmiş direktifleri doğrultusunda, 2020 yıllarında yıkıntı atığı geri kazanım oranı en az %70 olarak belirlenmiştir [2].

Türkiye'de 6306 sayılı 16 Mayıs 2012 tarihli "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun" mevcut yapıların kalıcılığını düzenlemektedir. Bu kanun gereği, yapının sahip olduğu mühendislik hizmeti durumu ve/veya kentsel plana uygunluk durumu ve/veya afet riskine maruz kalma durumu açısından bir eksiklik bulunması, o yapının veya yapıların yıkılması, mevcut Türk Standartları çerçevesinde tekrar inşası gerekmektedir. Mart 2006'da İstanbul Büyükşehir Belediyesi ve İstanbul Çevre Yönetimi San. ve Tic. A.Ş. bir plan hazırlamış ve bu plan "Yapı ve Yıkıntı Atıkları Yönteim Planı" olarak isimlendirilmiştir. Bu plana göre, herbir belediyede yerel atıkları toplamak üzere aktarma merkezleri kurulacaktır. Bu aktarma merkezleri atıklarını, İstanbul'un Anadolu ve Avrupa yakasında yerleştirilecek olan yapı atığı tesislerine gönderecektir [3]. Bu tesislerden ilki Anadolu yakasında Tuzla'da kurulmuş ve faaliyete başlamıştır.

Geri kazanılmış agrega ile ilgili çalışmalar Türkiye'de son zamanlarda hızlanmıştır [3-8]. Diğer ülkelerde, geri kazanılmış agrega üzerine detaylı çalışmalar yapmış ve ortak bilgi birikimi bu yeni konu üzerinde oluşmaya başlamıştır [9-26]. Yapılan çalışmalarda varılan ortak görüş, genellikle geri kazanılmış agrega oranının beton içerisinde artışı ile basınç ve çekme dayanımlarının düştüğü, elastisite modüllerinin azaldığı, buna ek olarak yoğunluklarının düştüğü ve su emme oranlarının arttığı şeklindedir. Geri kazanılmış agregaların sahip olduğu özellikler arasında su emme oranı yüksekliği ve yoğunluklarının düşüklüğü kullanıldıkları betondaki yoğunluk ve su emme özelliklerini aynı şekilde değiştirmektedir. Betonda kullanıldıkları vakit oluşan düşük fiziksel ve

mekanik özelliklerin iyileştirilmesi değişik oranlarda mineral katkı kullanımı ile düzeltilebilmektedir [12], [13], [24].

Bu tez çalışmasında, modelleme aşamasında kullanılan analiz programı (ABAQUS) çeşitli araştırma çalışmalarında kullanılmış ve içerdiği çözüm adımları bakımından kullanışlılık göstermektedir [27-31]. Programın hesap yöntemi sonlu elemanlar metodudur. Gerilme-gerinim eğrisi gibi malzemeye deneysel ait parametreler de programa girilebilmekte ve deneysel verilere yakın sonuçlar vermektedir [27-31].

1.2 Tezin Amacı

Türkiye’de 6306 Numaralı, toplum arasında “Kentsel Dönüşüm Kanunu” olarak bilinen kanun neticesinde yapıların mühendislik hizmeti alıp almadığı durumunun değerlendirilmesi zorunlu hale getirilmiştir. Kanun gereği oluşacak yıkımlar neticesinde elde edilen molozların saklanması ve çeşitli yollarla bertaraf edilmesi (söz konusu molozların mühendislik yapılarında kullanılabilirliğinin tespiti, bu tez çalışmasının konusudur) şu an ülke çapında yeni ve güncel bir konu olarak gündemde yer almaktadır.

1.3 Tezin Yöntemi

Bu çerçevede bu tez çalışmasında, yapısal ve yıkım atıklarının mevcut durumunun ve mühendislik yapılarında kullanılabilirliğinin tespiti için örnek olması bakımından söz konusu Kanun çerçevesinde yıkılan bir binaya ait molozlar, öncelikle laboratuvar tipi kırıcı ile dane boyutları küçültülmüş ve beton karışımı gradasyonuna uygun hale getirilmiştir. Molozlar geri kazanılmış agrega (32mm, 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm ve <0,25mm dane çaplı) olarak doğal agrega ile birebir yer değiştirilerek bu tez çalışmasında kullanılmış ve örnek beton numuneleri hazırlanmıştır.

İlk etapta doğal kum yerine, ikinci etapta doğal ince agrega yerine ve son etapta doğal iri agrega yerine geri kazanılmış agrega kullanılmış, sonraki adımlarda hem ince hem de iri doğal agrega ve tüm doğal agrega yerine geri kazanılmış agrega kullanılmıştır. Bu yer değiştirme işlemleri, dane çapı boyutları dikkate alınarak yapılmıştır. Beton üretiminde mutlak hacim karışım hesabı kullanılmıştır. Toplamda beş adet agrega yer değiştirme

kombinasyonu ile beton karışımlarında mineral katkı olarak %0, 5% ve %10 oranlarında silis dumanı kullanılarak toplamda 3 grup halinde 15 adet beton serisi üretilmiştir. Deneyler ilgili Türk Standartlarına uygun olarak yapılmıştır. Çalışmada; normal beton ve geri kazanılmış agregalı beton serileri mekanik ve fiziksel deney sonuçları 28. günde yapılmış ve yorumlanarak geri kazanılmış agregaların ve/veya silis dumanının betonda uygun katılabilirlik oranları belirlenmiştir.

Elastisite modülü elde edilmesinde kullanılan teorik formülleri içeren çeşitli ülke standartları (TS 500, ACI 318-M-05, CSA A23.3-04, SP 52-101-2003, EN 1992-1-1, AS-3600-2001) kullanılmış ve neticede elde edilen sonuçların değerlendirilmesi yapılmıştır. Ayrıca, betona özellikleri kullanılarak, ABAQUS v.6.10 paket programında bir konsol kiriş modellenmiş ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak kirişin mekanik davranışı incelenmiştir. Beton serilerinde silis dumanı ve geri kazanılmış agregası ile doğal agregası kullanımının ve bunların betonda kullanılan oranlarının bir yapı elemanı olan konsol kirişin mekanik davranışı üzerine etkisi araştırılmıştır. Model konsol kiriş elemanının uç noktasında tekil bir yük uygulanarak uç noktasında yük-yer değiştirme eğrileri elde edilmiştir.

BÖLÜM 2

BETON HAKKINDA GENEL BİLGİLER

2.1 Beton

İnsan tarih sahnesine çıkışı ile yaşamını devam ettirmesi ve ihtiyaçlarını karşılaması için çeşitli bilgi birikimleri edinmiş, bunun yanında bu birikim ile çeşitli ilerlemeler kaydetmiştir. Bilgi birikimlerini yazılarla, resimlerle ve sözlü olarak kuşaktan kuşağa aktarmışlardır. Günümüz bilgisi ile isimlendirilecek olursa, insanlar medeniyetlerini-kültürlerini-yaşam tarzlarını oluşturmuşlardır. İnsanlar yetenekleri ve bilgileri kabiliyetinde, doğada bulunan malzemelerle (taş, ağaç, vs.) kendi yaşam alanlarını kurmuşlardır.

İnsanoğlu varlığını sürdürebilmesi açısından ilk temel ihtiyaç olarak beslenme gelmektedir ve bunu barınma ve ortak yaşam alanları oluşturma gereksinimi izlemektedir. Bunun için eski çağlarda insanoğlu barınma ihtiyacını gidermek için o zamanlarda sağlam ve dayanıklı bir malzeme olan taşlardan yararlanmışlardır. Zamanla ihtiyaçların çeşitlenmesi ve artması, teknolojinin zamanla gelişmesi ile insanoğlu gereksinimlerini tedarik edici yapıları sürekli geliştirmişler ve medeniyetler arasında bu kategoride bir yarış da başlamıştır.

Beton betonarme yekpare taşıyıcı sistemlerin inşasına olanak sağlaması, betonun kolay şekil alabilen bir malzeme olması ile çevre etkilerine ve mekanik aşınmaya karşı dayanıklı olması ve tüm bunların yanında maliyetinin de çok yüksek olmaması bakımından günümüz yapılarında, kullanım alanı geniş yer tutan malzemesi olarak kabul edilebilir.

Betonun muhtevastındaki imento hamurunun işlevi, agrega tanelerinin yüzeyini örtmek, beton içerisinde agregalar arasında oluşan boşlukları doldurmak ve agrega tanelerini bağlayacak bir arada tutacak ortamı sağlamaktır. O bakımdan, beton; imento, beton agregası, su ve gerektiğinde katkı maddelerinin belirli oranlarda homojen olarak karıştırılması ile elde edilen, başlangıçta plastik kıvamda olup zamanla çimentonun hidratasyonu sebebiyle katılaşıp, istenilen şekli alarak sertleşen kompozit bir yapı malzemesidir olarak da tanımlanabilir [7].

Her malzemenin kendine özgü karakteristikleri olduğu gibi betonun karakteristikleri de vardır. Bu parametreleri olumlu ve olumsuz yönleri olarak iki kısma ayıracak olursak, kısaca bu özelliklerden birkaçı şöylece olacaktır:

Betonun olumlu yönleri;

- Dkldğ kabın şeklini alır,
- Dış etkilere karşı (yangın, su, vs.) dayanıklıdır,
- Sertleştikten sonra dayanımı yüksektir,
- Yapım süresi kısadır [7].

Betonun olumsuz yönleri;

- Ahşap, elik gibi malzemelere göre yoğunluğu yüksektir,
- Yıkımı zordur,
- Sonradan ek yapılması güçtür,
- Ses, ısı, nem vs geçirir [7].

2.2 Betonun Oluşturan Malzemeler

Bileşenlerinin belli oranlarda bir araya gelmesiyle oluşumu sağlanan beton, bileşenlerinin özelliklerini muhteva etmesi dolayısıyla bileşenlerinin özelliklerini aksettirecektir. Kuşkusuz burada oranların büyük etkisi de olacaktır. Buna istinaden bileşenlerin özelliklerini bilmek, bileşen özellikleri ve karışım miktarları ile betonu oluşturmak –aşının yemeğine tad vermesi bu hususa iyi bir örnektir- sağlıklı ve istenen özelliklere sahip betonun oluşmasına zemin hazırlayacaktır. Burada, malzeme

özelliklerinin istatistiki sapmaları da söz konusu duruma müdahil olacaktır. Ancak şu an için bu tez çalışmasında kullanılan beton bileşenlerinin beton özelliklerine etkisini irdelemek yeterli olacaktır.

2.3 Agreganın Beton Özelliklerine Etkisi

Agrega, betonun hacimsel olarak yaklaşık %70-75'lik kısmını oluşturan ve dayanım üzerinde etkisi büyük olan bir bileşendir [6]. Bu karışım oranı ile beton üzerindeki etkisinin kontrol altına alınabilmesi ülkelerin ilgili standartlarınca düzenlenerek sağlanmaktadır. Bu standartlar, malzeme karakteristiklerini belirlemektedirler [örneğin ilgili standartlara bkz: www.tse.org.tr].

Agrega olarak bu sınıfa kum ve çakıl bunlara ek olarak da kırma taş eklenmektedir [32]. Bu sınıflandırmada kullanılan malzemeler, doğal ve yapay olarak da ikiye ayrılırlar [6]. Doğallık kesbeden agregalar mekanik işlemler haricinde hiçbir duruma maruz bırakılmamış agregalar olup, mineral kaynaklardan elde edilmektedirler ve yapay agregalar ise endüstriyel ürünlerin ardından yan ürün olarak elde edilen mineral kökenliliğe sahiptirler [6]. Bu iki grup dışında son yıllarda yeni bir agrega sınıfı daha oluşmuş ve geri kazanılmış agrega olarak isimlendirilmişlerdir [6]. Mühendislik yapılarından elde edilen yıkıntılar ve molozlar bu gruba dâhil edilebilirler.

Yüksek karışım oranı ile betonda hacimsel yer kaplayan agrega, birim beton maliyeti açısından da fiyat belirleyici olarak görünebilir. Betonun üretiminde kullanılan ana malzemeler (çimento, su ve agrega) arasında fiyat bakımından en pahalısı çimentodur. Agreganın betonda yüksek kullanım oranına rağmen, agreganın maliyet fiyatı bakımından çimentonun maliyet fiyatı agregadan 6-10 kat daha fazla olabilmektedir. Betonda boşlukları agregalarla olabildiğince doldurabilmek ve istenilen nihai dayanım özelliklerini betonda sağlatabilmek birim maliyeti düşüren etkiye sahip olacaktır.

Agregaların karışımda belli dağılımda olması -ki standartlar bunu düzenlemişlerdir (örn. [33])- betonda işlenebilirlik dâhil olmak üzere birçok parametrede önemli etken olabilmektedir [34]. Standartların kıstasları ise agregaların elek aralıklarına göre dağılımlarının -alt ve üst sınır eğrilerini aşmamak kaydıyla- en uygun durumunun son kullanıcı tarafından sağlatılmasıdır, denilebilir.

Diğer yünden, betonda çimentonun suyla reaksiyonu sonucu hidratasyon oluşması ve açığa çıkan ısı ile karışım suyunun ortamdan uzaklaşması betonda büzülmelere neden olabilmektedir. Agregaların sert ve dayanımı yüksek mineral yapısı, çatlamların daha az olmasını sağlamaktadır. Ayrıca agrega dayanımı beton dayanımını da olumlu yönde etkilemektedir [6].

Betondan istenen yeterli dayanım ve yüksek performanstır ve betonda bu özellikleri sağlayacak agregaların kıstas özellikleri üretilen betonda kullanımı için Türk Standartlarınca düzenlenmiş ve 2009'da yayınlanan TS 706 EN 12620+A1 "Beton Agregaları" standardında istenen kıstaslar belirtilmiştir. Geometrik, fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından agregalarda yapılan deney sonuçlarının uygunluğu bu standartta değerlendirilmektedir.

2.4 Çimento'nun Beton Özelliklerine Etkisi

Çimento, betonda agregaları birbirine tutturarak yapışkan olarak nitelendirilebilir. Diğer bir tabirle çimento, "Kalkerli ve killi malzemelerden oluşan hammadde karışımı yüksek sıcaklıklara (1350 - 1450°C) kadar pişirilerek klinker adı verilen bir ürün elde edilmektedir. Daha sonra, sıcaklığı çevre sıcaklığına düşerek azalmış olan klinkere %3-6 alçı taşı katılarak bu iki malzeme öğütülmektedir" şeklinde belirtilmektedir [35]. Betonda çimentonun görevlerini sıralayacak olursak; agrega tanelerinin yüzeyini kaplamak, agrega taneleri arası boşlukları doldurmak ve agregalar arasında bağlayıcılık sağlamak sayılabilir [7]. Çimento bünyesindeki trikalsiyum silikat (C_3S), dikalsiyum silikat (C_2S), trikalsiyum alüminat (C_3A) ve tetrakalsiyum alüminoferrit (C_4AF) ana bileşen grubudur [34]. Çimento anabileşenlerinin su ile hidrate olması sonucu dayanımı sağlayan jellerin oluşumu, beton dayanımını etkilemektedir [34]. Hidrate olma durumu beton ömrü boyunca devam etmektedir ve çimento pastasında jellerin oluşum miktarı ve zamanla oluşum hızı, beton dayanım kazanma hızını dolaylı etkilemektedir [34]. Çimento ilk üretiminde kalker, kil ve alçıtaşı kullanılmaktadır ve oranları yukarıda bahsedilen anabileşen grubunun oluşumunu ve çimento davranışını etkilemektedir [34]. Türk Standardında belirtildiği üzere çimentolar şu şekilde gruplandırılırlar [35]:

- 1- Portland Çimentoları (CEM I)
- 2- Portland Kompoze Çimentoları (CEM II)
- 3- Portland Yüksek Fırın Cürufu Çimento (CEM III)
- 4- Pozolanik Çimento (CEM IV)
- 5- Kompoze Çimento (CEM V)

Çimento üretiminde hammaddelere verilen yüksek sıcaklık hidratasyon reaksiyonu ile birlikte açığa çıkmaktadır. Açığa çıkan ısı içerden dışarı yayılırken, beton yüzeyi ile iç kısmın sıcaklığı arası fark oluşumuna neden olur ki bu betonda genleşme oluşturacağı için yüzeyde çatlak oluşumu tetiklemektedir. Çimento tipi seçimi kullanım yerine göre yeterlilik göstermelidir.

Diğer yönden çimento dayanım sınıfı da beton dayanımını etkilemektedir. Agrega arası bağlayıcı olması ve agrega yüzeyine aderansı ile aderans dayanımı burada etkili olan konudur. Bu nedenle bağlayıcı veya çimentonon dayanım yeterli kazanması gereklidir ve dayanım kazanma şu adımların sırasıyla sonuçlanması ile oluşacaktır;

- Hidratasyon olayı
- Katılaşma olayı
- Sertleşme olayı [36].

2.5 Karışım Suyunun Beton Özelliklerine Etkisi

İçme suyu olarak kullanılmasına izin verilen su, beton karışımında da kullanılabilir. Beton üretiminde kullanılan karışım suyu miktarı, dayanımı etkileyen parametreler arasındadır ve yapılan araştırmalar bunu kanıtlamıştır. Bu ilişki karışım suyu miktarının artışı ve dayanımın azalışı şeklinde oluşmaktadır. Suyun betondaki iki önemli işlevini şu şekilde listelemek uygundur:

- Çimento ile birleşerek hidratasyonun yer almasını sağlamak.
- Betonun karılmasında beton bileşenlerinin tane yüzeylerini ıslatmak ve istenen işlenebilirliği sağlamak [34].

Buradan hareketle betonda yeterli suyun bulunmaması durumunda, hidratasyon reaksiyonu oluşamayacağı için betonu oluşturan malzemeler arasında aderans yeterince sağlanamayacaktır.

Diğer yönden su bünyesinde bulunabilecek yabancı ve zararlı maddelerin betona tesiri de gözardı edilemeyecek bir gerçektir. Burada esas durum, çimento ile su arasındaki kimyasal reaksiyonların olumsuz etkilenmesidir. Betonun priz süresi, dayanımı ve dolaylı olarak da dayanıklılığı etkilenmiş olacaktır. Belkide en önemlisi betonarme kompozit bileşenine, suyla taşınan yabancı maddelerin hücumu ve korozyonun oluşumudur [6].

Aşağıdaki sunulan Çizelge 2.1’de suda kabul edilebilir yabancı madde miktarları verilmektedir (betonda kullanılacak karma suyu hakkında kimyasal özellikler için Standartlar bkz: TS EN 1008, AASHTO 26, BS 3148).

Çizelge 2.1 Beton karışım suyunda kabul edilebilir yabancı madde miktarları [34]

Yabancı Madde	Maksimum Konsantrasyon
Kil ve Silt gibi katı maddeler (suyun bulanıklığı)	%0.2
Yağ	Çimenton Ağırlığının % 2'si
Yosunlu Maddeler	%0.005-0.1
Şeker	%0.005
Kalsiyum ve Magnezyum Bikarbonatlar	%0.04
Alkali Karbonatlar ve Bikarbonatlar	%0.1
Kalsiyum Klorür	Çimento Ağırlığının %2'si
Sodyum Klorür	%2.0
Magnezyum Klorür	%4.0
Sodyum Sülfat	%1.0
Magnezyum Sülfat	%4.0
Fosfat, Arsenat, Borat	%0.05
Demir Tuzları	%4.0
Hidroklorik ve Sülfürik Asitler	%1.0
Sodyum Hidroksit	Çimento Ağırlığının %0.5'i
Potasyum Hidroksit	Çimento Ağırlığının %1.2'si

2.6 Beton Özelliklerini Etkileyen Diğer Etkenler

Betona karılma işleminden önce veya sonrasında eklenen, betonun özelliklerini iyileştirmek üzere kullanılan maddelere kısaca “beton katkı maddesi” olarak tanımlanır [34]. Bu konuya dâhil değişik katkı maddeleri vardır ve kullanımda faydalı sonuçlar vermektedirler. Performans artırıcı yanları ve ekonomi sağlayıcı tarafları, kullanım amaçlarında daha belirleyici olan özellikleri arasındadır.

Katkı maddelerini dört ana grupta incelemek mümkündür [34]:

- 1)Kimyasal katkı maddeleri, su içerisinde erime özelliği gösteren karışım suyu ihtiyacını azaltan, priz süresini geciktiren ve/veya azaltan katkılardır.
- 2)Hava sürükleyici katkı maddeleri, betona katıldıklarında çimento pastası içinde birbiriyle bağlantısı olmayan küçük ve kararlı hava kabarcıkları oluşturan katkı maddeleridir. Bu katkıların tamamı suda erime özelliği göstermezler. Betonun dona karşı dayanıklılığı oluşumuna neden oldukları küçük hava kabarcıkları vasıtasıyla sağlamaktadırlar.
- 3)İnce taneli katkı maddeleri, karışımda kullanılan mineral katkı, uçucu kül, silis dumanı, tras, granüle yüksek fırın cürufu gibi çok ince taneli yapıya sahip katkılardır. Betonda işlenebilme, dayanım, dayanıklılık ve ekonomikliği artırmak üzere kullanılmaktadırlar.
- 4)Değişik tiplerdeki katkı maddeleri, söz edilen ilk üç grup dışında kalan katkı maddeleridir. Nem önleyici, korozyon önleyici, su geçirimsizliğini azaltıcı, reklendirici katkılar bu gruba dâhil olan bazı katılardır.

GERİ KAZANILMIŞ AGREGA HAKKINDA BİLGİLER

3.1 Geri Dönüşüm

Geri dönüşüm terim anlamıyla, kullanım dışı kalan geri dönüştürülebilir atık malzemelerin çeşitli geri dönüşüm yöntemleri neticesinde hammadde olarak tekrar imalat işlemlerine kazandırılmasıdır. Geri kazanım ise geri dönüşüm işlemleri ile yeniden enerji kazanımı sağlama işlemleri bütünüdür, denilebilir. Kullanılan ürünlerin kullanım sonucu oluşturdukları atıkların geri dönüşümü yanında, üretim sahasında oluşan yan ürünler ve atıkların da geri dönüşümü yapılabilmektedir. Buna istinaden, geri dönüşüm ve geri kazanımı sağlayabilecek üretim veya üretim gruplarının sağlıklı şekilde icra edilebilmesi, ürünün üretim bandına girmeden iyi planlanmış olmasıyla mümkündür.

3.1.1 Geri Kazanımın Amacı ve Önemi

Geri kazanım açısından bakıldığında amaç, kullanılan kaynakların israfını önlemek ve atıkların kaynağından başlayarak ayrıştırılmasını sağlayarak atık miktarının artmasını engellemek olarak düşünülebilir [38]. Mevcut kaynakların korunması ve mevcut kaynak potansiyelinin en yüksek verimlilikte kullanımı bu mevzuda asıl temel taşıdır. Sınırlı kaynağın sınırsız süre dayanabilmesi düşünülemeyeceği gibi, geri dönüşümle ve geri kazanımla sınırsız kullanımı mümkün görünmektedir. Bu açıdan, geri dönüşüm ve geri kazanım üzerine gelişmiş ve gelişmekte olan ülkeler bazında geniş çaplı birçok çalışma yapılmaktadır. Diğer yönden tüketimin artması, toplumlarda atık madde miktarının

artmasına neden olmuştur. Dolayısıyla bu durum geri kazanılmış malzemelerin üretim sahalarında tekrar kullanılması, çevrenin korunması ve ekonomik yönlerden zorunlu hale getirilmesi sonucunu doğurmuştur. Ekonomik durum sonucu, ülkeler geri kazanımı düzenleyici yasaları oluşturma yoluna gitmiştir [39].

Geri dönüşümün yadsınamaz bir sonucu da ekonomik getirisiidir. Hammadde kıtlığı baş gösterdiği noktada geri dönüşümün devreye girmesi, ekonomiye olumlu tesir oluşturacaktır. Geri dönüşümle gelen yeni çalışma alanları yeni iş imkânlarına sebebiyet verecektir. Bu ise ekonomik kalkınmada istihdamı destekleyici bir parametredir. Diğer yönden geri dönüşümle elde edilen hammadde, kaynağından elde edilen hammaddeye nazaran daha az işlem gerektirmektedir. Birim maliyetleri azaltıcı bu etki, tasarrufu da beraberinde getirmektedir. Örneğin; bir metal olarak atık demirlerin geri dönüşümü işlemi göz önüne alınırsa, metaller doğrudan eritilerek yeni ürün haline dönüştürülmektedir. Metalin cevherden imalinde saflaştırılma işlemleri yapılması, geri dönüşümde bu işlemlerin yapılmaması ekonomi farkı sağlayan etmendir [6].

Atıkların bertaraf edilmesinde atıkların yakılarak yok edilmesi veya depolanması bir diğer problemidir. Doğal dengenin korunması ve minimum zararın doğaya yansıtılması açısından geri dönüşümle atıkların bertaraf edilmesi bu soruna da bir çözüm niteliğindedir [6].

3.1.2 Geri Dönüşüm ve Geri Kazanımda Mevcut Durum

Dünya çapında sürdürülebilir toplum kavramının bir sonucu olarak, çoğu ülke yapısal ve yapısal olmayan alanlarda geri kazanılmış agreganın kullanımı için yasalar, yönetmelikler, araştırma programları ve politika tedbirleri ile tanışmışlardır.

Uzakdoğuda, Hong Kong'da günlük yaklaşık olarak 37 000 ton yapı ve yıkım atığı üretilmekte ve bu rakam yaklaşık olarak belediye katı atık miktarının dört katı kadardır [40]. Geri kazanılmış agregaların tekrar kullanımını destekleyici yaratıcı programlar üretmek için bir politikaya gidildi [40]. Japonya'da, Dünya Sürdürülebilir Kalkınma İş Konseyi'nin Geri Kazanılmış Beton Raporu'na göre yıllık 77 milyon ton yapı ve yıkım atığı ile 53 milyon ton belediye atığı üretilmektedir [41]. Bu raporda, 2000 yılında İnşaat ve Malzeme Geri Dönüşümü Yasası yürürlüğe girdiği belirtilmektedir [41].

Batıda, Avrupa Agregası Birliği Dönemsel Değerlendirmesi'nde belirtildiği üzere en büyük geri kazanılmış agrega üreticisi olarak Almanya başı çekmekte ve ikinci sırada ise Birleşik Krallık gelmektedir [42]. Avrupa Birliği'nde geri kazanılmış agreganın toplam agrega üretimindeki yeri %5 kadardır. Avrupa Birliği'nde 2008/98/EC sayılı Gözden Geçirilmiş Atık Çerçeve Direktifi'ne göre 2020 yılına kadar yapı ve yıkım atığı geri kazanım oranı en az %70 olarak ayarlanmıştır [42]. Amerika Birleşik Devletleri'nde, yeni betonda agrega kaynağı olarak geri kazanılmış beton kullanımı ASTM ve AASHTO tarafından kabul edilmiştir [41]. Amerikada yaklaşık olarak yıllık 136 milyon ton yapı ve yıkım atığı üretildiği tahmin edilmektedir [43]. Buna ek olarak, Federal Havacılık İdaresi (FAA), Kolordu Mühendisleri (Army Corps of Engineers), Çevre Koruma Ajansı (EPA), Eyalet Ulaştırma Departmanları (DOTs) ve çoğu belediye A.B.D.'de birçok oranda geri kazanılmış agrega kullanımına başlamıştır [41].

Türkiye'de "Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun", halk arasında Kentsel Dönüşüm Kanunu olarak isimlendirilmektedir, mevcut yapıların durumunu düzenlemektedir [44]. Bu yapılar, mühendislik hizmeti yetersizliği olan ve/veya kent planlarına uyumlu olmayan ve/veya deprem gibi doğal afet riski taşıyan yapılardır. Sözkonusu yasa kapsamında mevcut Türk Standartları kullanılarak bu yapılar yıkılacak ve tekrar inşa edilecektir. Bu kapsamda, bugünlerde doğal afet riski altındaki yapıların teşhisleri başlamıştır.

Geri kazanılmış agrega üretimi Türkiye'de yeni bir konudur ve yapı ve yıkım atığı kavramı son yıllarda toplum arasında yayılmaya başlamıştır [3-8]. Diğer ülkelerde daha önceleri bu konu üzerine eğilimler gerçekleşmiştir (Örneğin Nixon'un geri kazanılmış beton üzerine bir raporu 1945-1977 yıllarını kapsamaktadır [22]). İstanbul Büyükşehir Belediyesi (İBB) ve İstanbul Çevre Yönetimi San. Ve Tic. A.Ş. (İSTAÇ), Yapı ve Yıkım Atıkları Yönetim Planı (2006) isimli birplan hazırlamışlardır [3]. Bu plana göre, herbir belediyeye atık toplama ve iletme merkezi kurulacak, aynı zamanda bu atık merkezleri geri dönüşüm tesislerine atıkları gönderecekler ve İstanbul'un iki yakasına birer atık dönüşüm tesisi kurulması da planlanmaktadır. Şu an İstanbul Anadolu yakasında Tuzla'da ilk geri dönüşüm tesisi kurulmuş ve hizmete girmiştir [3].

Çevre ve Orman Bakanlığı tarafından “Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği” hazırlanmıştır. Bu yönetmelik 2004 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Kapsam bakımından inşaat faaliyetleri ile doğal afetler sonucunda meydana gelen hafriyat toprağı, inşaat ve yıkıntı atıklarının üretildikleri yerlerde ayrı toplanması, geçici biriktirilmesi, taşınması, geri kazanılması ve bertaraf edilmesine ilişkin esasları düzenlemektedir. Ayrıca bu yönetmelikte Madde 29-32’te geri dönüşüm tesisleri hakkında bilgiler verilmektedir [45].

3.1.3 Geri Dönüşüm Sistemi Basamakları

Beş adımdan oluşan geri dönüşüm sistem basamaklarını şöylece sıralayabiliriz:

1. Değerlendirilebilir nitelikli atıkların çöple karışmadan oluştukları kaynakta ayrılarak biriktirilmesi,
2. Değerlendirilebilir atıkların çöple karışmadan temiz bir şekilde ayrı toplanmasının sağlanması,
3. Kaynağında ayrı toplanan malzemelerin cam, metal, plastik, kâğıt vb. bazında sınıflara ayrılmasının sağlanması,
4. Malzemenin kimyasal ve fiziksel bazı işlemlerden geçtikten sonra değişime uğrayarak yeni bir malzeme olarak ekonomiye geri döndüren değerlendirme süreci,
5. Geri dönüştürülen ürünün yeniden kullanıma sunulması ile yeni ürünün ekonomiye kazandırılmasıdır [6].

3.1.4 Yapım ve Yıkıntı Atığı Kaynağı ve Özellikleri

Yıkıntı atıkları mühendislik yapılarının tamirâtı, tadilatı, yenilenmesi ve yıkımı sonucu meydana gelen katı atık maddelerdir. Yıkımı gerçekleşen yapının içerdiği malzemelere göre değişiklik göstermekle birlikte, bileşenleri arasında şu malzemeleri sayabiliriz: beton, kiremit, tuğla, biriket, mermer, fayans, asfalt, yalıtım malzemesi, elektrik malzemesi, vb. Bunun yanında çeşitli kurum ve kuruluşlarca üretilen beton numunelerin atıkları da geri kazanılmış agrega arasında yer almaktadır. Söz konusu bu atıkların elde edildiği kaynakları sınıflandıracak olursa:

1. Kazı malzemeleri: Bu kategoriye, kazı esnasında oluşan toprak, kum, çakıl, kaya parçaları, kil ve kazıdan çıkan tüm diğer malzemeler girebilir. Kazı esnasında bu tür atıklar oluşabilir. Bu tür atıklar ayrıca taşkın, heyelan gibi doğal afetler sonucunda oluşur. Bu malzemelerin kimyasal yapısı, kazının yapıldığı yerin doğal yapısına da bağlıdır [39].

2. Yol Yapımı ve Bakım Malzemeleri: Bu malzemeler, asfalt, kum, çakıl, metal, beton ve yol kazısından gelen kazı malzemeleri olabilir. Bu malzemeler, şehirlerde yer altı su ve atık su kanallarının ve elektrik malzemelerinin döşenmesi esnasında da oluşabilir [39].

3. Yıkıntı Atıkları: Bu malzemeler, toprak, çakıl, beton parçaları, kireçli sıva, briket, kaplama plakaları, alçı taşı, kum, işlenmiş taş ve porselenden ibarettir. Yıkıntı atıkları homojen değildir. Binaların ve diğer yapıların yıkımı esnasında oluşur. Atığın kompozisyonu, binanın/yapının tipine, yapısına, yapısında kullanılan malzemeye, yaşına, modeline ve boyutuna bağlıdır. Aynı zamanda tarihi, kültürel ve ekonomik değerine bağlı olarak da değişmektedir [39].

4. Çalışma Bölgesi Atık Malzemeleri: Bu tür malzemeler, tamir, destekleme, büyütme, genişleme ve yenileme işlemlerinden oluşan tahta, plastik, kağıt, cam, metal, lastik, boya, emaye, kaplama, tutkal ve diğer malzemelerden ibarettir [39].

İnşaat/yıkıntı atığı kaynağı, şu dört grupta toplanabilir [39]:

- Yapı/altyapı inşaatı ve yıkımı atığı,
- Ulaşım ile ilgili inşaat, yıkıntı ve tamirat atığı,
- Yol temizleme atığı,
- Doğal afet (fırtına, sel, deprem gibi) atığı,

Özellikle deprem gibi doğal afetler sonrasında ve kaçak yapıların yıkımı neticesinde önemli miktarlarda katı atık oluşmaktadır. Yol çalışmalarında asfaltı yenilenmesi işlemi ve asfalt yama yapımı işlemi sırasında asfalt atığı oluşmaktadır. Ayrıca köprü ve geçit yapımı ile bunların tamir ve yıkımı sonucu da katı atık oluşmaktadır. Doğal afetlerle oluşan atıkların bileşenleri binalarda, yollarda ve köprülerde kullanılan malzemelerin

türlerine göre farklılık göstermektedir. Farklı yerlerde doğal afetler sonucu oluşan yıkıntı malzemelerinin bileşenlerine örnekler Çizelge3.1’de verilmiştir [39].

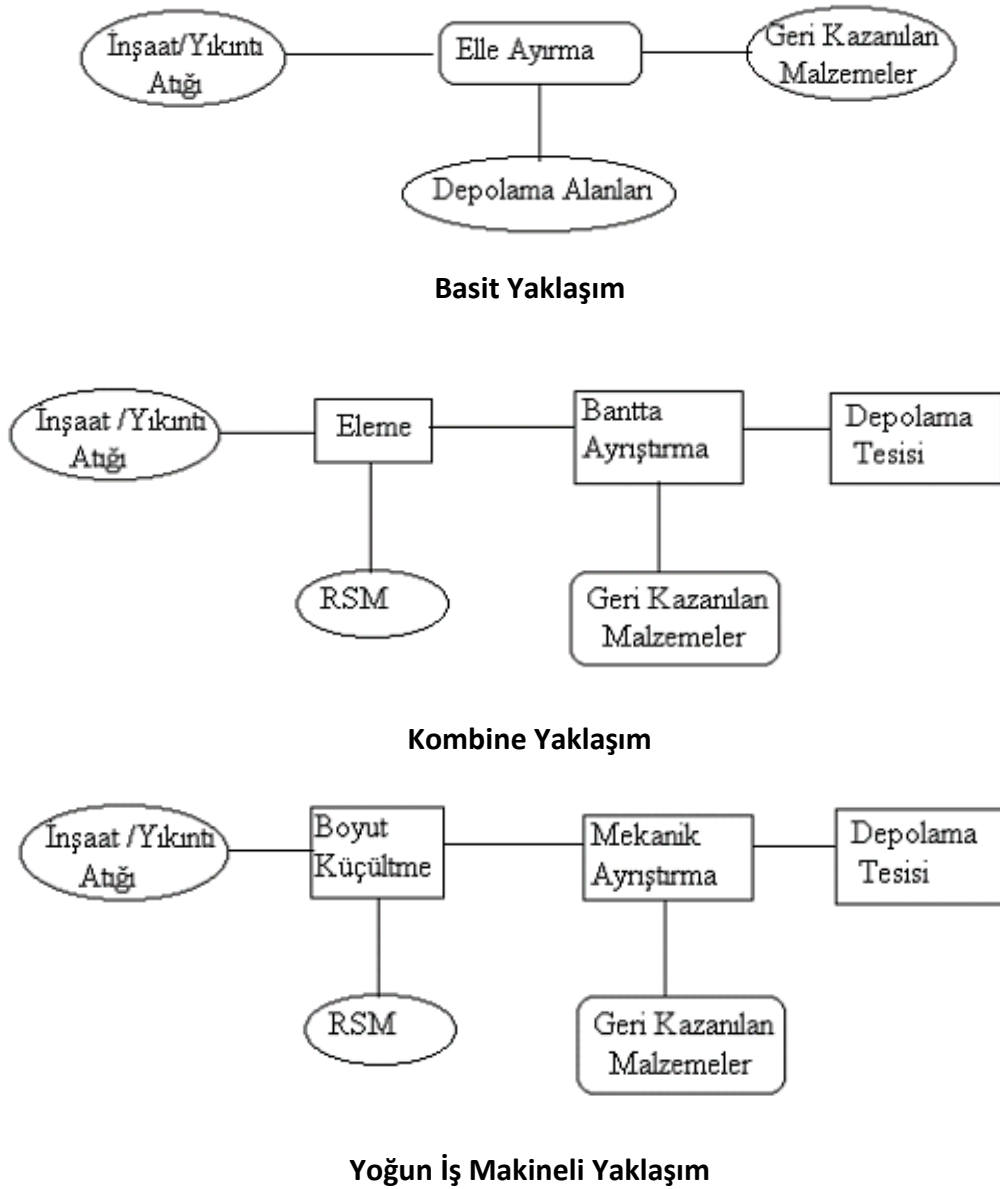
Çizelge 3.1 Doğal afetler sonucu oluşan yıkıntıların bileşenleri

Malzemeler	Doğal afetler			
	Northridge Depremi	Loma Depremi	Prieta	Hurricane İnithi
Beton	60	15-30	-	-
Briket	1	-	-	-
Kirli Agregası	23	10-15	25	-
Tahta	4	45-50	9	-
Metal	4	45-50	9	-
Alçı levha	0.003	-	-	-
Çöp	4	-	-	-
Diğer Yıkıntılar	7	5	40	-
Bitki	-	-	17	-

3.1.5 İnşaat Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Tekrar Kazanımı

Yapım ve yıkıntı atıkları, yapıların yeilenmesi, tamiratlar, tadilatlar, köprülerin bakımı ve tamirata gibi işlemler sırasında düzenli olarak oluşmaktadır. Bu atıklar, kazanıldıkları kaynağa göre farklı türden malzemeler içerebilmektedir. Bunun yanında endüstrileşmiş ülkelerde bu atıklar, zararlı maddeler(asbest ve PCB gibi) de içerebilmektedirler. Bu atıklar, dünya çapındaki değişik ülkelerde farklı yollarla ve farklı oranlarda geri kazanılmaktadırlar [39]. Ülkemizde de bu ülkelere benzer olarak çeşitli yönetmelik ve yasalar oluşturulabilir. Buna yönelik olarak bu atıkların azaltılması, geri kazanılması, taşınması ve bertaraf edilmesi hakkında yönetim planı oluşturulmalıdır. Bu atıkları toplamak için belediyeler birimler teşkil etmeli ve il bazında büyükşehir, il ve ilçe belediyelerinde bu iş için nakliye şirketleri organize edilmelidirler. Bu atıklar ve işlemlerle ilgili birim fiyat analizleri yapılmalı ve atıkların tekrar inşaat malzemesi olarak kullanımının teşvik edilmelidir. Belediyeler yıkıntı atığı geri kazanma ve tekrar kullanma ile ilgili sektörlerin oluşmasını sağlamalıdır. Bunlara ek olarak gelişmiş yerlere atanlar hakkında Büyükşehir, il ve ilçe belediyeleri yasal işlem yapılmalıdır. İnşaat/yıkıntı atıkları diğer atıklarla karıştırılmadan ayrı toplanmalı ve taşınmalıdır [39].

Yıkıntı atıklarının geri kazanılmasında Şekil 3.1’deki yaklaşımlar uygulanabilir.



Şekil 3.1 Yıkıntı atıklarının geri kazanmadaki yaklaşım [39]

Atıklardaki malzemelerin ayrıştırılmasında genellikle şu üç yöntem uygulanmaktadır [6]:

1. Kaynakta ayırma yöntemi: Bu yöntem atığın olduğu şantiye sahalarına konteynırlar yerleştirilerek atığın olduğu anda farklı konteynırlarda depolanması şeklindedir. En büyük avantaj, malzemelerin hepsinin kaynakta ayrılmasından dolayı tesiste ayırma işlemine gerek olmaması ile maliyetin azalmasıdır. Ancak bunu sağlayabilmek için eğitilmiş personele ve şantiyede fazladan iş gücüne ihtiyaç vardır. Ayrıca farklı malzemeler için birçok konteynıra ihtiyaç duyulmaktadır.

2. Zaman esaslı yöntem: Bu yöntemde atık toplayan firma şantiyenin zaman esaslı iş plan akış şemasını önceden temin eder. Zamanlarına göre hangi malzemelerin ne zaman atık olarak oluşacağı bilinir. Geri kazanılabilecek malzemelerin şantiyeden toplanması sağlanır.

3. Geri kazanma tesisinde ayrıştırılma: Atıkların geri dönüşüm tesisine getirilmesi ve ardından manuel veya otomatik olarak tesiste ayrıştırılmasıdır.

3.1.6 Geri Kazanılmış Agregat Kullanım Alanları

Kullanım parametreleri belirlenmiş her atık malzemesi, geri kazanılmış olarak değişik amaçlarla çeşitli alanlarda kullanılabilirler. İnşaat ve yıkıntıdan elde edilen malzemelerin tekrar kullanılabilir malzeme olduğu unutulmamalıdır [39]. İnşaat/yıkıntı atığı geri dönüşüm sektörü kanun ve yönetmeliklerle de düzenlenmelidir. Tekrar kullanılabilir malzemelere örnekler verilecek olursa şu şekilde bu malzemelerden bahsedilebilir (Bu malzemelerin kullanım alanların hakkında Çizelge 3.2'den geniş bilgi edinilebilir):

- Tahta çerçeve, (kapı, pencere, dolap v.s.) malzemeleri,
- Duvar malzemeleri; briket, taş, beton, betonarme,
- Kiriş, kolon, döşeme ve diğer yapı elemanları,
- Kapılar, pencereler, bitmiş hırdavatlar,
- Merdiven parmaklıkları,
- Elektrik ve mekanik demirbaşlar [39].

Çizelge 3.2 İnşaat/yıkıntı atıklarından geri kazanılabilir malzemelerin kullanıldığı yerler
[39]

Malzemeler	Kullanıldığı Yerler
Tahta Atık	Yakıt olarak Yeni yapılar Tekrar modelleme Malç, peyzaj malzemeleri Hayvan yatağı malzemesi İnşaat Şekilleri
Asfalt Kaldırım	Asfalt Kaldırım
Beton	Temel İnşaatı Yol İnşaatı
Duvar	Temel İnşaatı Yol İnşaatı
Briket Çelik Yapılar	Dekoratif Bina cepheleri Güçlendirme Çeliği Çelik yapılar Diğer Çelikler
Metaller prinç, bakır (eski raflar, kablolar ve dekoratif malzemeler), çelik, alüminyum (pencere çerçevesi)	Yeni metal üretiminde kullanılır.
Plastikler	Yeni plastik malzeme üretiminde kullanılabilir
Alçı Malzemeler	Kâğıdı ve toprağı giderilmiş alçı malzemeler yeni alçı taşı elde etmek ve diğer amaçlar için kullanılabilir.
Kiremitler	Yıkımdan önce ayrı ayrıştırılan ve depolanan kiremitler yeni binalarda kullanılabilir.

3.1.7 Geri Kazanılmış Agreganın Betonda Kullanımını Engelleyen Nedenler

Geri kazanılmış agregalı betonun eksik özellikleri genel olarak geri kazanılmış agregaya ile üretilen betonun özelliklerinden olumsuz etkilendiği için araştırmacılar tarafından taşıyıcı elemanlarda kullanılması tavsiye edilmemektedir. Ayrıca bu tip betonlar agresif çevresel etkilere maruz kalacağı durumlarda uygunluğu deneylerle test edilmelidir [6]. Dünya genelinde birkaç milyar ton doğal agregaya kullanıldığı birçok araştırmacı tarafından ifade edilmektedir. Ülkelerin böylesine büyük miktarlarda agregaya ihtiyacının geri kazanılmış agregadan temin edilmemesinin nedenleri ise

- Uygun teknolojinin yetersizliği,
- Uygun geri dönüşüm tesislerinin eksikliği,
- Bilinç eksikliği,
- Devlet desteğinin az olması,
- Uygun standart eksikliği,

şeklinde özetlenebilir [6]. Diğer yönden World Business Council for Sustainable Development tarafından yayınlanan The Cement Sustainability Initiative – Recycling Concrete isimli raporda belirtilen beton geri dönüşümü hakkında belirtilen mitler ve gerçekler dikkate değer niteliktedir [46]. Ayrıca bu raporda, çeşitli ülkelerin geri dönüşüm üzerine yaptıkları çeşitli çalışmalar üzerine bilgiler de bulunmaktadır.

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Malzemeler

4.1.1 Çimento ve Silis Dumanı

TS EN 197-1 (2012) “Çimento - Bölüm 1: Genel çimentolar - Bileşim, özellikler ve uygunluk kriterleri”ne uygun genel amaçlı Tip I Portland Çimentosu ve ASTM C 1240-12 “Standard Specification for Silica Fume Used in Cementitious Mixtures”a uygun silis dumanı beton karışımlarında kullanılmıştır. Çimento ve silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri Çizelge 4.1’de sunulmaktadır.

4.1.2 Agregalar

Beton karışımlarında doğal agregalar ve geri kazanılmış agregalar tüm elek aralıkları için kullanılmıştır. Bu tez çalışmasında kırılmış bazalt agregası ve dere kumu doğal agrega olarak kullanılmıştır. Doğal ve geri kazanılmış agregaların tane dağılımları TS 706 EN 12620 (Nisan 2003) “Beton Agregaları” standardına göre teşkil edilmiştir. Geri kazanılmış agrega kaynağı, İstanbul İli Söğütözü Mahallesi’nde 6303 sayılı Kentsel Dönüşüm Kanunu kapsamında yıkılmış binaya ait molozlardır. Yıkıntı atığı, sahada ve laboratuvarda olmak üzere toplamda iki adımda geri kazanılmış agregaya dönüştürülmüştür. Bu adımlardan ilki, yıkıntı alanında molozun bileşenlerinin (beton, mermer, kiremit vs.) sınıflandırılmaksızın toplanmasından ve ardından toplanan molozların çekiç yardımıyla yaklaşık olarak 30 mm altında çapa sahip olacak şekilde

küçültülmesidir. Bu çalışmada çeneli kırıcı kullanılmış olup, ikinci adımda ufaltılmış molozlar çeneli kırıcı ile kırılarak geri kazanılmış agrega üretilmiştir. Geri kazanılmış agrega parçalarının büyüklükleri çeneli kırıcı ile malzemeler kırılarak ayarlanmıştır. Çeneli kırıcı iki çeneye sahip ve bu çenelerden birisi sabit diğeri değiştirilebilir durumdadır. Çenelerden çıkarılabilir olan değiştirilerek ikinci oynar çene takılmasıyla çeneler arasındaki mesafe ayarlanabilmektedir. Bu mesafe çenelerin değiştirilmesiyle 15 mm ve 30 mm olmaktadır.

Çizelge 4.1 Çimento ve silis dumanının kimyasal ve fiziksel özellikleri

İçerik	Silis Dumanı	Çimento
SiO ₂ (%)	> 85	22.0
CaO (%)	< 1	64.9
SO ₃ (%)	< 2	2.7
Al ₂ O ₃ (%)	-	5.9
Fe ₂ O ₃ (%)	-	3.5
MgO (%)	-	0.9
İç yapı	Mikro silika	-
Yoğunluk (gr/cm ³)	0.55-0.70	3.16
Klor oranı (%)	<1	-
Spesifik yüzey alanı (m ² /kg)	15000	3540
Aktivite indeksi (%)	>95	-
Partikül oranı (<0,045mm)	< 40%	-
Kızdırma kaybı (%)	-	1.2

Çizelge 4.2’den görüleceği üzere, üretilen geri kazanılmış agregalar çeşitli içeriklere sahiptir (mermer, seramik, vs.). Bu içerikler, beton bünyesinde geri kazanılmış agreganın kullanımı durumunda dayanım ve diğer düşük özellikleri bakımından süreksizlik noktaları oluşturabilmektedirler. Çeşitliliğin geri kazanılmış agregada artması (örn., RA1 ve RA2), tek çeşit malzeme içeren durumlara göre (örn., RA3) agrega özelliklerini farklı olarak etkilemektedirler (Çizelge 4.3). Çeşitliliğin bir görüntüsü olarak Şekil 4.1’de betonda görülen renklilik, geri kazanılmış agrega içeriğini daha net göstermektedir.

Çizelge 4.2 Geri kazanılmış agreların bileşenleri

Bileşenler	RA1 (%)	RA2 (%)	RA3 (%)
Beton parçası	84,64	72,32	100 ^a
Seramik ve kiremit	4,96	10,68	-
Tuğla	5,48	10,4	-
Mermer	4,92	5,01	-
Strapor	-	0,11	-
Diğer (yalıtım malzemeleri, duvarkağıdı, alçı vs.)	-	1,58	-
Toplam (%)	100	100	100

^a RA3'ün küçük çaplı bileşenleri nedeniyle, RA3'ün bileşen sınıflandırması yapılamamıştır. Buna ek olarak, RA3'ün bileşenlerinin rengi büyük çoğunlukla gridir ve bileşenlerin hepsi beton parçası olarak kabul edilmiştir.



Şekil 4.1 Geri kazanılmış agregaya içeren bir betonun yarmada çekme deneyi sonucu yarılmaması ve iç yüzeyinin görülmesi (çeşitli kirlilikler çeşitli renklere sahiptir)

Doğal ve geri kazanılmış agreların fiziksel özellikleri Çizelge 4.3 'te görülmektedir. Agregalara ait fiziksel özellikler TS EN 1097-6/AC (2006) "Agregaların Mekanik ve Fiziksel Özellikleri İçin Deneyler - Bölüm 6: Tane Yoğunluğu ve Su Emme Oranının Tayini"ne göre yapılmıştır.

Çizelge 4.3 Doğal ve geri kazanılmış agregaların fiziksel özellikleri

Tip	Yoğunluk (Mg/m ³)	Su emme (%)	Nem içeriği (%)
NA1	2,75	0,8	0,67
NA2	2,72	0,6	0,53
NA3	2,55	1,2	1,05
RA1	2,33	3,8	2,10
RA2	2,23	4,3	2,32
RA3	2,20	3,5	2,04

Molozlardan geri kazanılmış agrega üretimi esnasında, kırıcıdan moloza çeneler vasıtasıyla aktarılan kuvvetle molozların kırılması ve böylece üretilen geri kazanılmış agregaların fiziksel özelliklerinin kırılma ile etkilendiği düşünülmüştür. Çünkü kuvvet etkisi altında geri kazanılmış agregada çatlak oluşumu muhtemeldir. Şurası da iyi bilinmektedir ki, yüksek su emme özelliği agrega yapısında bağlantılı çatlakların olduğunu gösterir. Bu tez çalışmasında Çizelge 4.3'ten de görüleceği üzere yüksek su emme oranları elde edilmiştir. Buradan hareketle söylenebilir ki, kırma eyleminin geri kazanılmış agreganın özellikleri üzerinde etkisi bulunabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, kırılmış bazalt agregası (NA1 ve NA2) ve dere kumu (NA3) doğal agrega olarak kullanılmıştır. NA1 ve NA2 agregalarının yapısı gözle incelendiğinde, RA1 ve RA2 agregalarına göre kılcal çatlak ve boşluk yapısı çok azdır. Yoğunluk değerinin yüksek ve su emme değerinin az olması, NA1 ve NA2 agregaları için boşluk ve kılcal çatlak yapısının az olduğunun göstergesidir (Çizelge 4.3)

4.1.3 Süper akışkanlaştırıcı

Polikarboksilik eter esaslı süper akışkanlaştırıcı karışımlarda işlenebilirliği ayarlamak üzere kullanılmıştır. Tüm karışımların slump sınıfı S4 olarak ayarlanmıştır. Beton üretiminde, sabit işlenebilirliğin tüm karışımlarda aynı olması için karışıma adım adım %0 1 oranında akışkanlaştırıcı katılmış ve her adım sonunda karışımın slump değerine bakılmıştır. İstenilen işlenebilirlik sağlandığında, kullanılan toplam kimyasal katkı miktarı kaydedilmiştir. Geri kazanılmış agreganın yüksek su emme kapasitesi nedeniyle, katkı eklenmemiş ilk durumlarda işlenebilirlik düşük olarak belirlenmiş ve katkı eklenmesi ile işlenebilirlik olumlu olarak etkilenecek artış gözlenmiştir. Beton

karışımlarında slump sınıfı TS EN 206-1 (2002) “Beton - Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalât ve Uygunluk” a göre seçilmiştir. Kimyasal katkıya ait özellikler Çizelge 4.4’te sunulmaktadır.

Çizelge 4.4 Süper akışkanlaştırıcı özellikleri

İçerik	Değer
Malzeme yapısı	Polikarboksilik eter
Yoğunluk (kg/litre)	1,082-1,142
Klor oranı (%)	<0,1
Alkalin oranı (%)	<3

4.2 Beton Karışımı

Geri kazanılmış agregalı betonların fiziksel ve mekanik özelliklerini belirlemek için laboratuvar da beton karışımları üretilmiştir. Karışım programına geleneksel beton karışımı da eklenmiş, toplamda onbeş adet beton karışımı S4 slump sınıfı hedeflenerek laboratuvar da üretilmiştir. Kolaylık olması açısından, tüm beton karışımları Çizelge 4.5’te belirtildiği üzere birer notasyonla isimlendirilmiştir. Çizelge 4.6’da gösterildiği üzere, beton karışımları tasarımında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır. Tüm beton karışımlarında su/bağlacıyı oranı 0,5 ve çimento miktarı 350 kg/m³ olarak sabit seçilmiştir. Silis dumanının beton karışımları üzerine etkisini araştırmak üzere, çimento ile yer değiştirmeli olarak %0, %5 ve %10 oranlarında silis kullanılmıştır.

Çizelge 4.5 Beton karışımlarına ait notasyonlar ve açılımları

Karışım ismi	İsimlendirmenin açılımı
NAC	NA1, NA2 ve NA3 içeren geleneksel beton
RA1C	RA1, NA2 ve NA3 içeren beton
RA2C	NA1, RA2 ve NA3 içeren beton
RA12C	RA1 ve RA2 ve NA3 içeren beton
RA123C	RA1, RA2 ve RA3 içeren beton
NACSF5	NA1, NA2 ve NA3 ile silis dumanı (%5) içeren geleneksel beton
RA1CSF5	RA1, NA2 ve NA3 ile silis dumanı (%5) içeren beton
RA2CSF5	NA1, RA2 ve NA3 ile silis dumanı (%5) içeren beton
RA12CSF5	RA1 ve RA2 ve NA3 ile silis dumanı (%5) içeren beton
RA123CSF5	RA1, RA2 ve RA3 ile silis dumanı (%5) içeren beton
NACSF10	NA1, NA2 ve NA3 ile silis dumanı (%10) içeren geleneksel beton
RA1CSF10	RA1, NA2 ve NA3 ile silis dumanı (%10) içeren beton
RA2CSF10	NA1, RA2 ve NA3 ile silis dumanı (%10) içeren beton
RA12CSF10	RA1 ve RA2 ve NA3 ile silis dumanı (%10) içeren beton
RA123CSF10	RA1, RA2 ve RA3 ile silis dumanı (%10) içeren beton

Çizelge 4.6 Beton karışım oranları

Karışımlar	İçerik (kg/m ³)														
	Su	Bağlayıcı		Kimyasal katkı	Doğal agregâ			Geri kazanılmış agregâ (elek üstü kalan)							
		Çimento	Mineral katkı		NA1	NA2	NA3	16 mm	8 mm	4 mm	2 mm	1 mm	0,5 mm	0,25 mm	>0,25 mm
NAC	175	350,0	0	0,096	777	576	538	0	0	0	0	0	0	0	0
RA1C	175	350,0	0	0,289	0	576	538	29	384	205	26	4	0	0	0
RA2C	175	350,0	0	0,289	777	0	538	202	259	2	0	0	0	0	0
RA12C	175	350,0	0	0,289	0	0	538	231	642	208	26	4	0	0	0
RA123C	175	350,0	0	0,385	0	0	0	231	642	209	30	32	38	371	44
NACSF5	175	332,5	17,5	0,289	777	576	538	0	0	0	0	0	0	0	0
RA1CSF5	175	332,5	17,5	0,385	0	576	538	29	384	205	26	4	0	0	0
RA2CSF5	175	332,5	17,5	0,385	777	0	538	202	259	2	0	0	0	0	0
RA12CSF5	175	332,5	17,5	0,385	0	0	538	231	642	208	26	4	0	0	0
RA123CSF5	175	332,5	17,5	0,420	0	0	0	231	642	209	30	32	38	371	44
NACSF10	175	315,0	35,0	0,501	777	576	538	0	0	0	0	0	0	0	0
RA1CSF10	175	315,0	35,0	0,462	0	576	538	29	384	205	26	4	0	0	0
RA2CSF10	175	315,0	35,0	0,385	777	0	538	202	259	2	0	0	0	0	0
RA12CSF10	175	315,0	35,0	0,385	0	0	538	231	642	208	26	4	0	0	0
RA123CSF10	175	315,0	35,0	0,420	0	0	0	231	642	209	30	32	38	371	44

4.3 Numunelerin Kürü

Bu tez çalışması üretim aşamasında; yarmada çekme, su emme ve yoğunluk deneyleri için silindirik 100Øx200 mm ebatlı numuneler ile basınç ve elastisite modülü deneyleri için silindirik 150Øx300 mm ebatlı numuneler kullanılmıştır. Bu numuneler, taze betonun plastik kalıplara yerleştirilmesiyle ve vibratör masası yardımıyla sarsılmasıyla üretilmiştir. Numunelerin kalıba yerleştirilmesini izleyen 24 saat sonunda taze betonun sertleşmesiyle, kalıplardan numuneler çıkartılmış ve 20 ± 2 °C sıcaklıktaki su dolu havuzlarda 28 gün boyunca kür edilmiştir. Beton numunelerin kür işlemleri TS EN 12390-2 (2010) “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 2: Dayanım Deneylerinde Kullanılacak Deney Numunelerinin Hazırlanması ve Küre Tabi Tutulması”na uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

4.4 Deneyler

4.4.1 Çökme Deneyi

Her bir karışıma ait taze beton üzerinde çökme deneyi yapılmıştır. Deney TS EN 206-1 (2002) “Beton- Bölüm 1: Özellik, Performans, İmalat ve Uygunluk”a uygun olarak icra edilmiştir. Deneyde standartta belirtilen kesik huni şekilli kalıba, eşit yükseklikte üç tabaka halinde taze beton yerleştirilmiştir. Herbir yerleştirme ardından herbir tabaka 25'er defa şişleme ile yerleştirilmiştir. Yerleştirme sonrası, koni şekilli huni yukarı doğru yavaşça olarak kaldırılmıştır. Taze betonun yüksekliği ile taze beton yanına konulan huninin yükseklikleri arası düşey mesafe metre yardımıyla ölçülmüştür. Belirlenen hedef çökme sınıfı S4 yakalanana kadar herbir karışımda akışkanlaştırıcı adım adım eklenmiştir. S4 çökme sınıfı, taze beton için çökme değerini 16-21 cm olarak öngörmektedir. Deney sonuçları Çizelge 4.7 sunulmaktadır.

4.4.2 Basınç ve Yarmada Çekme Deneyi

28 günlük kürün ardından sertleşmiş beton numunelerin basınç ve çekme mukavemetlerini belirlemek için, TS EN 12390-3 (2010) “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 3: Deney Numunelerinin Basınç Dayanımının Tayini” ve TS EN 12390-6 (2010) “Beton - Sertleşmiş Beton Deneyleri - Bölüm 6: Deney Numunelerinin

Yarmada Çekme Dayanımının Tayini” standartlarına uygun olarak deneyler yapılmıştır. 3000 kN kapasiteye sahip Auto Test basınç aleti kullanılmıştır. Yükleme hızı basınç deneyi için 10,6 kN/s ve yarmada çekme deneyi için 1,6 kN/s olarak seçilmiştir. Çizelge 4.7 basınç ve yarmada çekme deney sonuçlarına ait herbir beton karışımı numunesi standartlara uygun hesaplanmış için ortalama mukavemet değerlerini göstermektedir.

4.4.3 Statik Elastisite Modülü

Numunelere ait elastisite modülleri ASTM C 469 (2002) “Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression” standardına uygun olarak elde edilmişlerdir. Standart bir elektronik kompressometre aparatı 15x30cm boyutlu silindirik numuneler üzerine basınç deneyi icra edilmeden önce monte edilmiştir. Ardından kompressometre aparatı ve basınç makinası kablolarla deney ölçümü alan beyine bağlanmıştır. Okuma değerleri sıfırlanmış ve basınç deneyi başlatılmıştır. Çökme verisi alan numune üzerine monte edilmiş aparattaki elektronik cihaz, saniyede 15 veri alacak şekilde programlıdır. Bu cihaz milimetrenin binde biri (mikron) hassasiyetinde ölçümler almaktadır. Basınç yükü değeri ve numuneye ait boy kısalma verisi, beyine takılı harici hafıza kartına otomatik olarak saniyede 15 defa kaydedilmiştir. Herbir numuneye ait deney yapılmış ve verileri ayrı ayrı kaydedilmiştir. Çizelge 4.7’de ilgili standarda uygun hesaplanmış herbir numuneye ait elastisite modülü değerleri verilmiştir.

4.4.4 Yoğunluk ve Su Emme

Numunelere ait yoğunluk ve su emme deneyleri 28 günlük kürün ardından TS 3526 (1980) “Beton Agregalarında Özgül Ağırlık ve Su Emme Oranı Tayini”ne uygun olarak yapılmıştır. Elde edilen beton numune sonuçlarına ait ortalama değerler Çizelge 4.7’de sunulmaktadır.

Çizelge 4.7 Numunelere ait deney sonuçları

Notasyon	Silis dumanı (%)	Geri kazanılmış agrega içeriği(%)	Çökme (cm)	Çökme sınıfı	Basınç dayanımı (MPa)	Statik elastisite modülü (MPa)		Yarmada çekme dayanımı (MPa)	Yoğunluk (kg/m ³)	Su emme (%)
						Teğet	Kiriş			
NAC	0	0	17	S4	35,8	29651	28095	2,25	2478	4,8
RA1C		40	19	S4	33,0	20559	23437	2,24	2202	7,0
RA2C		30	18	S4	34,1	23261	25167	2,41	2234	6,4
RA12C		70	18	S4	29,1	20483	22896	1,58	2038	9,1
RA123C		100	18	S4	24,9	9863	13805	1,29	1992	9,5
NACSF5	5	0	18	S4	39,9	23633	25619	2,62	2347	5,4
RA1CSF5		40	19	S4	34,8	22805	25541	2,52	2175	7,7
RA2CSF5		30	17	S4	35,2	23968	25571	2,97	2211	7,2
RA12CSF5		70	18	S4	33,2	19576	22026	1,92	2031	10,1
RA123CSF5		100	19	S4	30,6	15424	17668	1,58	2060	9,0
NACSF10	10	0	19	S4	45,5	25692	27721	3,40	2375	3,6
RA1CSF10		40	16	S4	37,2	22828	24968	2,46	2200	5,5
RA2CSF10		30	20	S4	38,5	23738	21162	2,63	2252	4,7
RA12CSF10		70	16	S4	28,9	20596	22098	1,62	2061	7,2
RA123CSF10		100	17	S4	31,3	20616	21581	2,07	2001	9,1

4.4.5 DeneySEL Verilerin Analizi

4.4.5.1 Basınç ve Yarmada Çekme Deneyi

Basınç deneyi yapılarak kırma yükü (F , Newton) belirlenen 150Øx300 mm boyutlu silindirik numunelerin basınç dayanımı, deneyle elde edilen yükün numune kesit alanına (A) bölünmesiyle hesap edilmiştir (Denklem 4.1). 100Øx200 mm boyutlarına sahip silindirik beton numuneleri üzerinde yarmada çekme deneyi yapılmış ve kırma yükü (F , Newton) belirlenmiştir. Numunelerin yarmada çekme dayanımları, Denklem 4.2 kullanılarak hesaplanmıştır.

$$f_c = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Bu bağıntıda;

F : Basınç kuvveti, N

A : Numune kesit alanı, mm².

$$f_{ctd} = \frac{2F}{\pi.L.d} \quad (4.2)$$

Burada;

F : Basınç kuvveti, N

L : Numunenin yükleme parçasına temas çizgisi uzunluğu, mm

d : Numunenin seçilen en kesit boyu, mm

π : Pi sayısı.

4.4.5.2 Statik Elastisite Modülü

DeneySEL Analiz

150Øx300 mm boyutlu silindirik numuneler üzerinde basınç dayanımı deneyi yapılması esnasında, yük-yer değiştirme değerleri elektronik kompressometre yardımıyla kaydedilmiştir. Değerlerin analizi esnasında, saniyenin her 15'te birlik zaman diliminde bir kaydedilmiş yük değerleri (F_i) numune kesit alanına (A) bölünmüş ve saniyenin her 15'te birlik zaman diliminde bir kaydedilmiş yer değiştirme değerleri (ΔL_i) numunenin ölçüm alınan boy uzunluğuna (L_0) bölünmüştür. Numunelere ait elde edilen yük yer değiştirme değerleri başlangıçtan deney bitimine kadar kaydedilmişler ve bu işlem adımları her numune için gerçekleştirilmiştir. Böylece gerilme-birim şekil değiştirme değerleri hesaplanmıştır.

Kiriş ve teğet elastisite modülü değerleri tüm beton numuneleri için hesap edilmiştir. Teğet elastisite modülü gerilme-şekil değiştirme eğrisinin en büyük gerilme değerinin %40'ına denk gelen noktadan geçen teğetin eğimidir. Diğer taraftan, giriş elastisite modülü ise gerilme-şekil değiştirme eğrisinin en büyük gerilme değerinin %50'sine denk gelen noktadan ve orjinden geçen doğrunun eğimine eşittir. Ayrıca bu tez çalışmasında gerilme-şekil değiştirme eğrisi belirleme işleminde, son nokta olarak en büyük gerilmenin sonrasında en büyük gerilmenin %70'ine denk gelen nokta belirlenmiştir [49]. Örnek olarak, gerilme-şekil değiştirme eğrisi Şekil 4.2'de gösterilmektedir. Şekil 4.2'de giriş ve teğet elastisite modülü için gerekli doğrular gösterilmektedir. Ayrıca bu şekilde (Şekil 4.2), noktaların çok sık olması ve her

saniyenin 15'te biri zaman diliminde bir elde edilmesi nedeniyle noktalar bir doğru gibi görülmektedir.

Önceki çalışmalarda (örn. [47]) Denklem 4.3'te genel hali verilen eşitlik, deney sonuçları ile yakın sonuçlar verdiği görülmüştür (korelasyon katsayısı ($R^2 > 0,99$)).bu nedenden ötürü, Denklem 4.3, gerilme-şekil değiştirme değerleri için şu şekilde kullanılmıştır:

$$\text{Gerilme} = A \times (\text{Birim şekil değiştirme})^1 + B \times (\text{Birim şekil değiştirme})^2$$

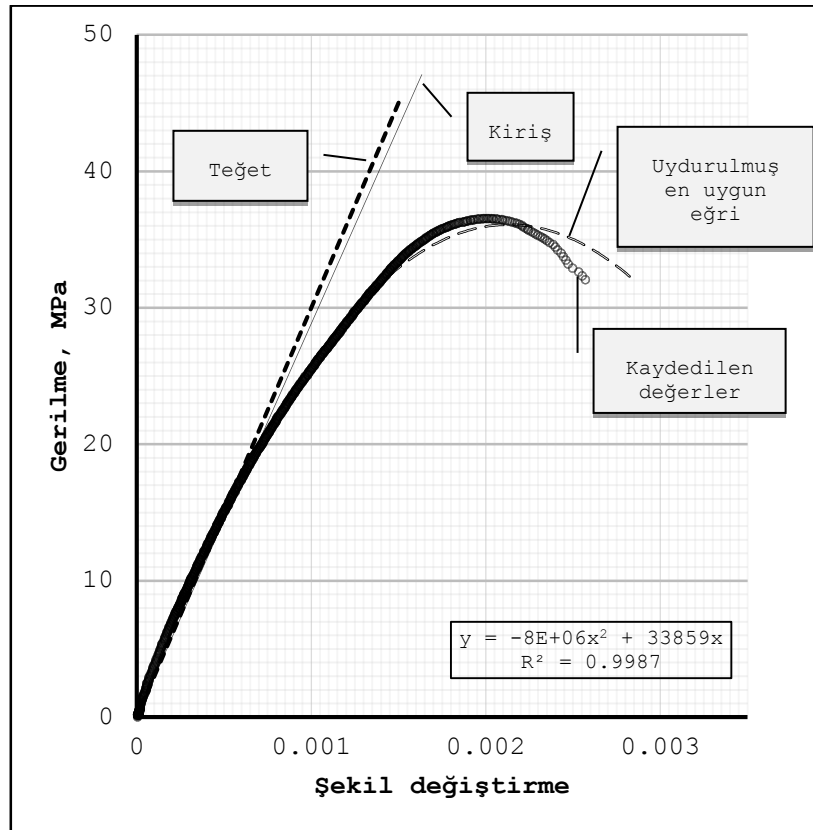
$$\sigma = A \times \varepsilon + B \times \varepsilon^2 \quad (4.3)$$

Burada;

σ : Gerilme,

ε : Birim şekil değiştirme,

A, B: Denklem katsayıları.



Şekil 4.2 Bir numuneye ait gerilme-şekil değiştirme noktaları, teğet ile giriş doğruları

Sonuç olarak, bu tez çalışmasında genel formu Denklem 4.3'te verilen eşitlik kullanılmış ve başlangıçtan itibaren en büyük basınç gerilmesinin %70'ine kadar olan tüm noktalar kullanılarak noktalara en uygun korelasyonlu bir eğri denklemi oluşturulmuştur. Elde edilen denklemler ile uygunluk değerleri (R^2) Çizelge 4.8'de sunulmaktadır.

Çizelge 4.8 Numunelerin A ve B denklem sabitleri ile denklemlerin uygunluk katsayıları.

Notasyon	$\sigma = A \times \varepsilon + B \times \varepsilon^2$		Korelasyon katsayısı (R^2)
	B (MPa)	A (MPa)	
NAC	-8.E+06	33859	0,9987
RA1C	-6.E+06	27079	0,9991
RA2C	-5.E+06	29361	0,9988
RA12C	-6.E+06	26723	0,9987
RA123C	-4.E+06	12290	0,8070
NACSF5	-5.E+06	30100	0,9987
RA1CSF5	-5.E+06	28238	0,9982
RA2CSF5	-5.E+06	29401	0,9998
RA12CSF5	-5.E+06	25609	0,9991
RA123CSF5	-2.E+06	18197	0,9988
NACSF10	-5.E+06	32392	0,9989
RA1CSF10	-6.E+06	30028	0,9973
RA2CSF10	-6.E+06	30978	0,9979
RA12CSF10	-5.E+06	26096	0,9977
RA123CSF10	-3.E+06	24056	0,9988

Teorik Analiz

Bu çalışmada, çeşitli standartlarda [48-53] sunulan elastisite formülleri üzerinde çalışılmış ve hesaplanan elastisite modülleri sonuçları ile deneysel olarak elde edilen elastisite modülü verileri Çizelge 4.9'da sunulmaktadır. Standartların önerdikleri teorik formüller ise şu şekildedir.

TS 500

$$E = 14000 + 3250\sqrt{f_{ck}} \quad (\text{MPa}) \quad (4.4)$$

Burada f_{ck} (MPa) karakteristik basınç dayanımıdır. Basınç dayanımı ise şu şekilde bulunmaktadır:

$$f_{cm} \geq f_{ck} + 1.0 \text{ (MPa)} \quad (4.5)$$

$$f_{c,min} \geq f_{ck} - 3.0 \text{ (MPa)} \quad (4.6)$$

Burada, f_{cm} (MPa) gruptaki ortalama basınç dayanımı ve $f_{c,min}$ (MPa) gruptaki en küçük basınç dayanımıdır.

ACI 318M-05

$$E = w_c^{1.5} 0.043 (f'_c)^{0.5} \text{ (MPa)} \quad (4.7)$$

$$E = 4700 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)} \quad (4.8)$$

Burada, w_c (kg/m³) grubun beton yoğunluğu ve f'_c (MPa) gruptaki ortalama basınç dayanımı değeridir. İlk denklem (Denklem 4.7) beton yoğunluğu 1440-2480 kg/m³ olan betonlar için ve ikinci denklem (Denklem 4.8) normal betonlar için geçerlidir. Bu denklemler için hesaplanan elastisite modülü değerleri sırasıyla “ACI 318M-05 (1)” ve “ACI 318M-05 (2)” şeklinde gösterilmiştir.

CSA A23.3-04

$$E = 4500 \sqrt{f'_c} \text{ (MPa)}$$

(4.9)

Burada, f'_c (MPa) beton basınç dayanımı olarak tanımlanmaktadır.

SP 52-101-2003

Bu standart, elastisite modülü hesabı için iki kırıklı ve üç kırıklı gerilme-şekil değiştirme ilişkisi olmak üzere iki seçenek sunmaktadır. Bu seçenekler Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Standartta verildiği üzere, üç kırıklı durum betonarme elemanların doğrusal olmayan deformasyonları içindir. Üç kırıklı durum için elastisite modülü hesap adımları şöyledir:

$$0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1} \text{ için } \sigma_b = \varepsilon_b E_b \text{ (MPa)} \quad (4.10)$$

$$\varepsilon_{b1} < \varepsilon_b < \varepsilon_{b0} \text{ için } \sigma_b = \left[\left(1 - \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right) \frac{\varepsilon_b - \varepsilon_{b1}}{\varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1}} + \frac{\sigma_{b1}}{R_b} \right] R_b \text{ (MPa)} \quad \sigma_b = \varepsilon_b E_b \text{ (MPa)} \quad (4.11)$$

$$\varepsilon_{b0} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2} \text{ için } \sigma_b = R_b \quad \sigma_b = \varepsilon_b E_b \text{ (MPa)} \quad (4.12)$$

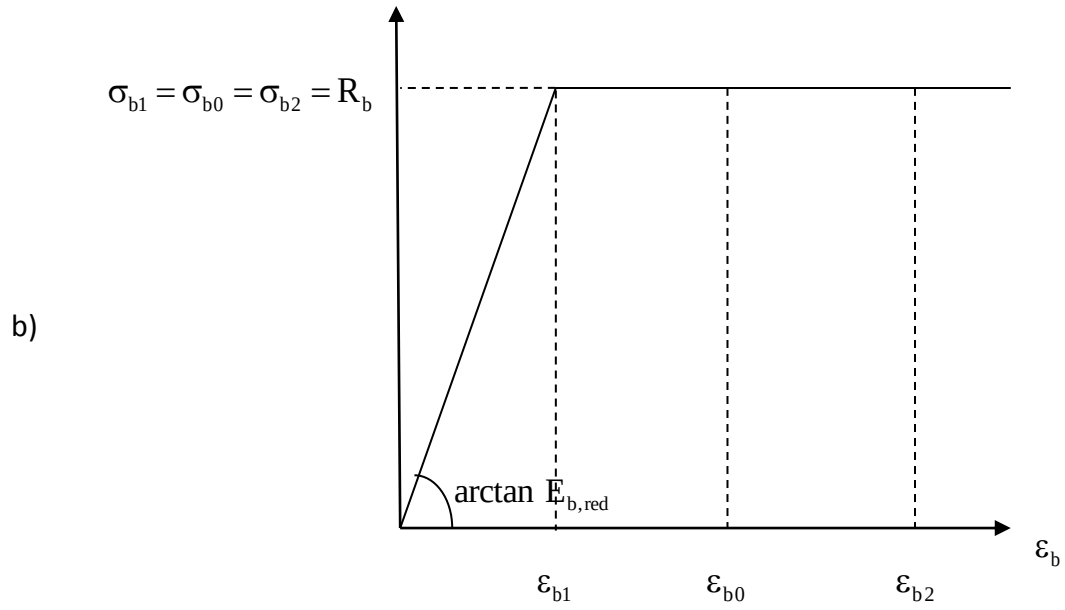
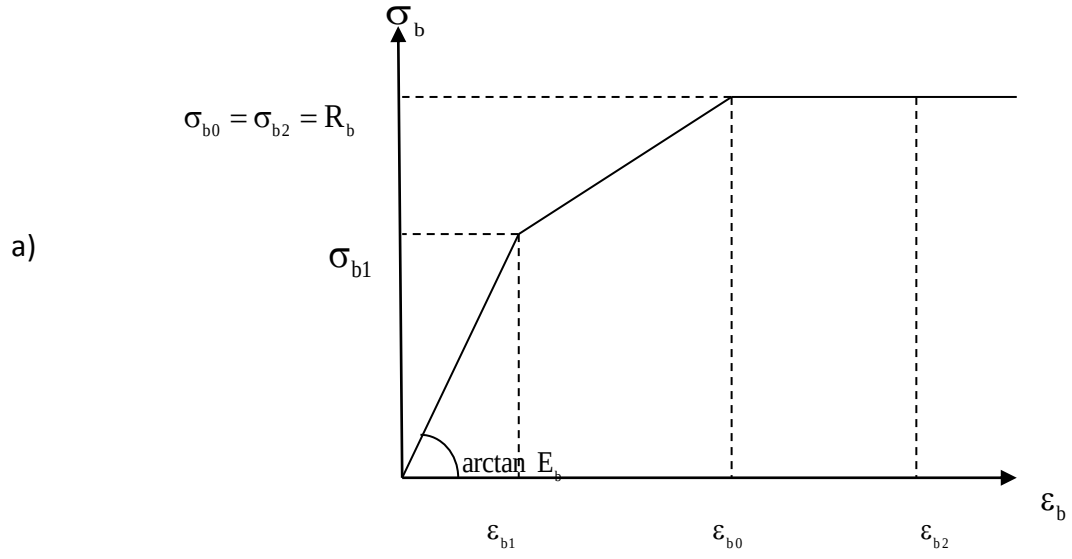
Burada σ_b (MPa) beton basınç mukavemeti, ε_b σ_b ile ilişkilidir ve E_b (MPa) elastisite modülüdür. R_b (MPa) eksenel basınç dayanımıdır ve γ_b güvenlik katsayısı ile bölünür. Bu katsayı bu standartta verilmektedir. ε_{b1} σ_{b1} (MPa) ile ilişkilidir ve ε_{b2} standartta verilen durumlar göz önüne alınarak seçilir.

İki kırıklı durum için elastisite modülü hesap adımları ise şöyledir:

$$0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b1}, \quad \sigma_b = \varepsilon_b E_{b,red} \text{ (MPa)}, \text{ için } \varepsilon_{b1} = \frac{R_b}{E_{b,red}} \quad (4.13)$$

$$\varepsilon_{b1} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b2}, \quad \sigma_b = R_b, \text{ için } E_{b,red} = \frac{R_b}{\varepsilon_{b1,red}} \quad (4.14)$$

Burada, σ_b (MPa) basınç dayanımı, ε_b birim şekil değiştirme ve $E_{b,red}$ (MPa) azaltılmış elastisite modülüdür. R_b (MPa) en büyük eksenel basınç dayanımı ve σ_{b1} (MPa) ise R_b 'ye eşdeğer basınç dayanımıdır. Ayrıca, ε_{b1} ve ε_{b2} standartta sunulan tablo gözönüne alınarak seçilen birim şekil değiştirme değerleridir. Bu tez çalışmasında, üç kırıklı grafik kullanılarak elastisite modülü hesabı yapılmıştır.



Şekil 4.3 İki kırıklı ve üç kırıklı gerilme şekil değiştirme grafiği (SP 52-101-2003 Rus Standardı [51]'ından alınmıştır)

EN 1992-1-1

$$E = 22 \times (f_{cm} / 10)^{0.3} \text{ (GPa)} \quad (4.15)$$

Burada, f_{cm} (MPa) gruptaki ortalama basınç dayanımıdır.

AS-3600-2001

$$E = (\rho)^{1.5} \times (0.043 \sqrt{f_{cm}}) \text{ (MPa)} \quad (4.16)$$

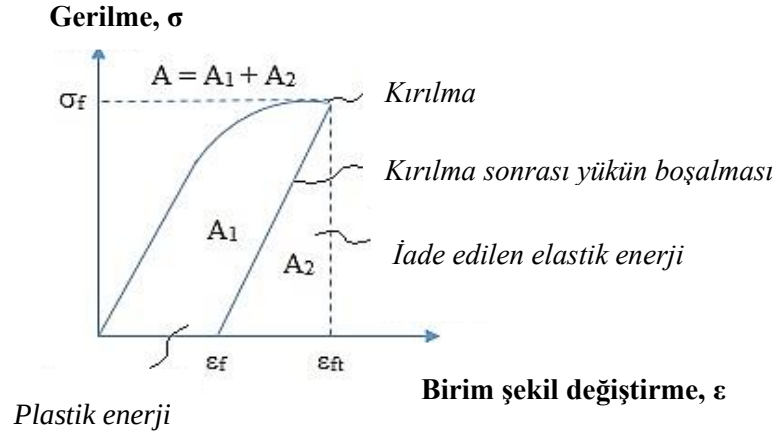
Burada, f_{cm} (MPa) gruptaki ortalama basınç dayanımı ve ρ (kg/m³) ise beton yoğunluğudur.

Çizelge 4.9 Teorik ve deneysel olarak elde edilen elastisite modülü değerleri

Notasyon	Deneysel sonuçlar (MPa)		Teorik sonuçlar (MPa)						
	Kiriş	Teğet	TS 500	ACI	ACI	CSA	SP 52-	EN-	AS-
				318M-05 (1)	318M-05 (2)	A23.3-04	101-2003	1992-1-1	3600-2001
NAC	28830	29651	31801	31775	28122	26925	27162	32254	31775
RA1C	23437	20559	31801	25524	26999	25851	21967	31476	25524
RA2C	25167	23261	31801	26514	27446	26278	24187	31787	26514
RA12C	22896	20483	30250	21341	25354	24275	21541	30310	21341
RA123C	13805	9863	28534	19048	23453	22455	13504	28926	19048
NACSF5	25619	23633	33227	30883	29688	28425	24530	33321	30883
RA1CSF5	25541	22805	31801	25730	27726	26546	23277	31981	25730
RA2CSF5	25571	23968	31801	26523	27885	26698	24988	32091	26523
RA12CSF5	22026	19576	31801	22678	27081	25929	21156	31533	22678
RA123CSF5	17668	15424	31801	22240	25999	24893	17518	30771	22240
NACSF10	27721	25692	34555	33571	31703	30354	26804	34660	33571
RA1CSF10	24968	22828	33227	27063	28666	27446	24203	32628	27063
RA2CSF10	21162	23738	33227	28514	29163	27922	24980	32966	28514
RA12CSF10	22098	20596	30250	21629	25267	24191	21446	30248	21629
RA123CSF10	21581	20616	31801	22509	26295	25176	21632	30980	22509

4.4.5.3 Enerji kapasitesi

Elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanılarak, numunelere ait elastik enerji, plastik enerji ve tokluk değerleri hesaplanmıştır. Hesaplama esnasında kullanılan yöntem Şekil 4.4'te gösterilmektedir. Numunelerin hesaplanan enerji kapasitesi değerleri ise Çizelge 4.10'da sunulmaktadır.



Şekil 4.4 Elastik enerji, plastik enerji ve tokluk kapasitesi [8]

Çizelge 4.10 Elastik enerji, plastik enerji ve tokluk kapasiteleri

Notasyon	Silis dumanı (%)	RA (%)	Elastik enerji kapasitesi (N.mm/mm ³)	Plastik enerji kapasitesi (N.mm/mm ³)	Tokluk (N.mm/mm ³)
NAC	0	0	0,019	0,067	0,086
RA1C		40	0,006	0,055	0,061
RA2C		30	0,024	0,044	0,068
RA12C		70	0,013	0,061	0,074
RA123C		100	0,003	0,002	0,005
NACSF5	5	0	0,021	0,042	0,063
RA1CSF5		40	0,019	0,034	0,054
RA2CSF5		30	0,023	0,047	0,069
RA12CSF5		70	0,018	0,031	0,049
RA123CSF5		100	0,014	0,055	0,069
NACSF10	10	0	0,019	0,038	0,056
RA1CSF10		40	0,016	0,053	0,069
RA2CSF10		30	0,025	0,049	0,074
RA12CSF10		70	0,015	0,025	0,040
RA123CSF10		100	0,010	0,038	0,048

4.4.5.4 Yoğunluk Ve Su Emme

Numuneler suya doygun yüzey kuru konumdayken hassas terazi ile havadaki kütlesi (W_{SH} , kg) belirlenmiş ve Arşimet deneyi ile sudaki ağırlığı belirlenmiş (W_{SS}) ve hacmi ($V=W_{SH}-W_{SS}$, m^3) belirlenmiştir. Kütlesi ile hacmi oranlanarak betonun yoğunluğu (D , kg/m^3) Denklem 4.17 ile hesap edilmiştir.

$$D = \frac{W_{SH}}{V} \quad (4.17)$$

Numuneler fırında 24 saat $105^\circ C$ 'de kurutularak fırın kuru ağırlıkları tayin edilmiş (W_0) ve su emme oranı:

$$\% = \frac{W_{SH} - W_0}{W_{SH} - W_{SS}} \times 100 \quad (4.18)$$

4.5 Deneyel Çalışma Sonuçları

4.5.1 Basınç Dayanımı

Basınç dayanımı sonuçları 28. günde yapılmış ve Çizelge 4.7'de sunulmaktadır. Sonuçlar göstermektedir ki; basınç dayanımı, geri kazanılmış agreganın doğal agrega ile yer değiştirmesi işlemi sonucu azalmaktadır.

RA1C, RA2C ve RA12C numunelerinin basınç dayanımları NAC'ye göre sırasıyla %7,8, %4,7 ve %18,7 daha azdır. Beton dayanımı agregaların, çimento pastasının ve çimento pastası ile agregalar arasındaki geçiş bölgesinin dayanımına dayanmaktadır. Betonda kırılma en zayıf noktadan gerçekleşmektedir. Şekil 4.1'de açıkça görülmektedir ki, betonda kullanılan geri kazanılmış agregalar deney sonrası kırılmışlardır. En zayıf noktayı geri kazanılmış betonlarda geri kazanılmış agregalar oluşturmuşlardır. Diğer bir deyişle, geri kazanılmış agregadaki süreksizlik, porozite ve çatlaklar gibi, bu betonlardaki dayanımı düşürmüştür.

Genel anlamda, Çizelge 4.7'de görüleceği üzere silis dumanı katkısı beton dayanımı olumlu ölçüde artırmıştır. Diğer yönden silis dumanı katkısı olmasına rağmen RA12CSF10'de keskin bir düşüş gözlemlenmiştir. Bu numuneye ait basınç değeri 28,9

MPa olarak tespit edilmiştir. Şurası bilinmektedir ki, silis dumanı etkileri (puzolanik etki ve dolgu etkisi) betonun tüm mekanik özelliklerini geliştirmektedir, özellikle basınç dayanımını artırmaktadır [54]. Geri kazanılmış agreganın çok boşluklu olması nedeniyle, betona katılan bağlayıcılar (çimento, silis dumanı, uçucu kül vs.) agreganın boşluklarına dolar ve bu durum agregalar ile hidrate bağlayıcı matriksi arasındaki bağ dayanımını artırır. Uzun kür işlemi sonucu, silis dumanı varlığı ile geri kazanılmış agregadaki çatlaklar iyileştirici etkisi sonucu azalır. Neticede geri kazanılmış agregalı beton ve ara geçiş bölgesi kalitesi, eski çimento pastasının ve doğal agreganın durumuna göre iyileşme gösterir. Yeni çimento pastası ile geri kazanılmış agrega arasındaki bağ iyileşir [55, 56]. Bunun yanında, geri kazanılmış beton yüksek miktarlarda eski beton ve kirletici içerir ve bu durum silis dumanının basınç dayanımı üzerindeki etkisini azaltabilir.

Elde edilen ilginç sonuçlardan birisi de RA1CSF10 ve RA2CSF10 numunelerinin basınç dayanımlarının (sırasıyla 37,2 MPa ve 38,5 MPa) geleneksel beton NAC'den daha yüksek olmasıdır. Ayrıca ek olarak RA2CSF5 numunelerinin basınç dayanımı NAC'ye çok yakındır ve değeri 35,2 MPa'dır. Buna istinaden, sadece basınç dayanımı göz önüne alındığında RA1CSF10, RA2CSF10 ve RA2CSF5 numuneleri NAC yerine kullanılmaları uygundur. Diğer yönden geri kazanılmış agrega oranları bu betonlarda %30-40 dolaylarındadır. Silis dumanının kullanımının olumlu etkisini paralel olarak of Corinaldesi and Moriconi [11] çalışmalarında dile getirmektedirler.

4.5.2 Yarmada Çekme Dayanımı

Yarmada çekme dayanımı 28 günlük numuneler üzerinde yapılmış ve Çizelge 4.7'de sunulmaktadır. Deney numuneler üzerine uygulanmış ve numunelerin geri kazanılmış agregalar üzerinden kırıldığı gözlenmiştir (Şekil 4.1). Yarmada çekme deneyi sonucu iki simetrik yüzey elde edilmiştir.

Literatürde, yarmada çekme deneyini değerlendirme iki yöntemle yapılmaktadır: İlk yöntemde, yarmada çekme dayanımının basınç dayanımı değerlerine oranı göz önüne alınarak değerlendirme yapılırken; ikinci yöntemde ise doğrudan yarmada çekme deneyi sonuçları göz önüne alınmaktadır. Bu iki yaklaşımda uygun görülmemiştir ve buna ek olarak yarmada çekme dayanımı ile basınç dayanımı arasında regresyon analizi

yapmak da uygun olacaktır. Çizelge 4.11’de bahsedilen ilk yönteme ait oranlar verilmektedir.

Açıkça görülebilir ki, silis dumanı içeriği betonda yarmada çekme dayanımı üzerinde sıra dışı artış etkisi oluşturmuştur. Örneğin, RA1C, RA1CSF5 ve RA1CSF10 numuneleri için yarmada çekme dayanımı değeri 2.24, 2.52 ve 2.46 MPa olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.11 Yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranı, silis dumanı katkısı ile kullanılmış geri kazanılmış agrega oranları

Notasyon	Silis dumanı (%)	Geri kazanılmış agrega (%)	Çekme/basınç oranı
NAC		0	0,063
RA1C		40	0,068
RA2C	0	30	0,071
RA12C		70	0,054
RA123C		100	0,052
NACSF5		0	0,066
RA1CSF5		40	0,072
RA2CSF5	5	30	0,084
RA12CSF5		70	0,058
RA123CSF5		100	0,052
NACSF10		0	0,075
RA1CSF10		40	0,066
RA2CSF10	10	30	0,068
RA12CSF10		70	0,056
RA123CSF10		100	0,066

Çizelge 4.11 silis dumanının yarmada çekme dayanımının basınç dayanımına oranı üzerindeki etkisini göstermektedir. Örneğin, RA1CSF5, RA2CSF5 ve RA12CSF5 (değerleri sırasıyla 0,072, 0,084, 0,058) numuneleri RA1C, RA2C ve RA12C (değerleri sırasıyla 0,068, 0,071, 0,054) numunelerinden daha yüksek değerde yarmada çekme/basınç oranına sahiptirler. Bu artış, %5 silis dumanı kullanımı sonucudur. Diğer yönden, %5’lik silis dumanı kullanımının aşıp %10 silis dumanı kullanımı durumunda ise bu oranlar ters olarak etkilenmektedir. %100 geri kazanılmış agregalı beton karışımlarında ise silis dumanı %10 kullanıldığı takdirde olumlu etkilenmiştir.

Oranların alt ve üst limitlerine baktığımızda ise, bu oranlar geri kazanılmış agregalı betonlarda %5,2-8,4 aralığında, doğal agregalı betonlarda ise %6,3-7,5 aralığında değişmektedir. Aralığın geniş olması kolaylıkla gözlemlenebilmektedir. Çeşitli kirleticilerin bulunması ve porozite bu duruma neden olarak gösterilebilir. Benzer sonuçları Jau vd. [57] bulmuşlar ve çalışmalarında geri azanılmış agregalar için bu oranların aralığını %7,44 - %12,72 ve doğal agregalı betonlar için ise %8,25 - %11,13 olarak elde etmişlerdir.

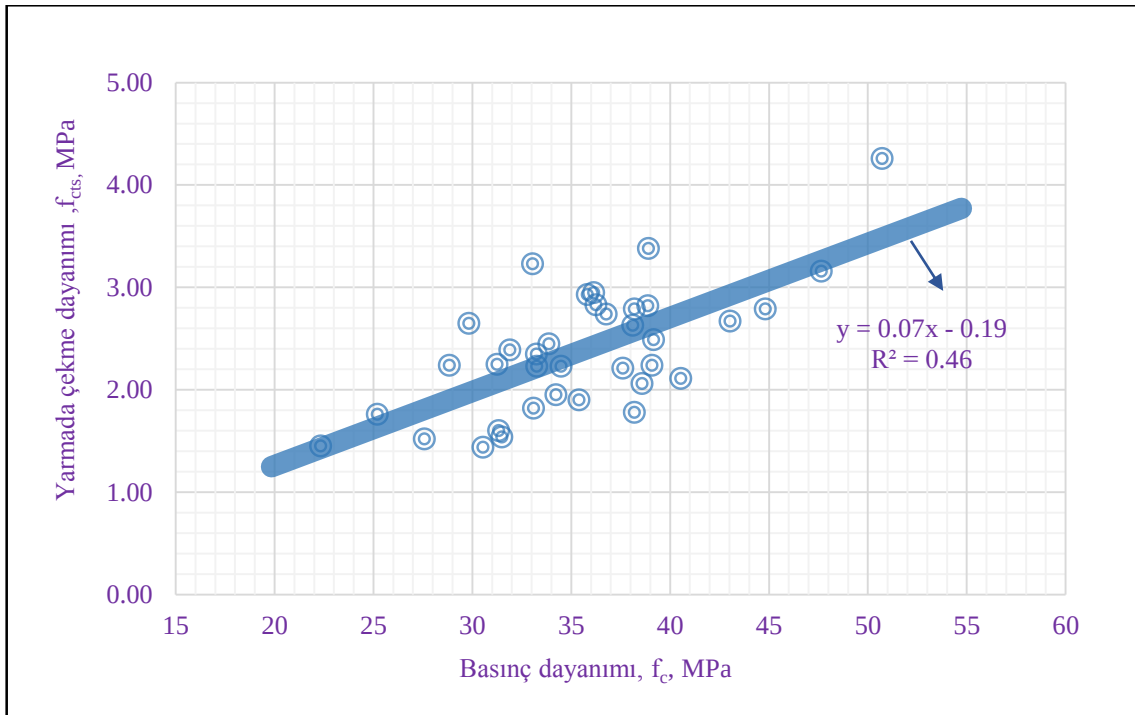
Diğer yönden geri kazanılış agregası oranının beton karışımlarında %40'a arttığı durumda bu oranlar artmaktadır. Silis dumanı içeriği ile geri kazanılmış agregası kullanımı durumunda, %30 geri kazanılmış agregası ve 0 ve/veya %5 silis dumanı katkısı uygun görülmüştür. Benzer sonuçları geri kazanılmış agregalar için Evangelista ve Brito çalışmalarında belirtmektedirler [21]. Ayrıca, silis dumanı içeriği %10 oranında kullanıldığı vakit (RA123CSF10 hariç) bu oranlarda genel bir düşüş gözlemlenmiştir.

4.5.3 Basınç Dayanımı ile Yarmada Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki

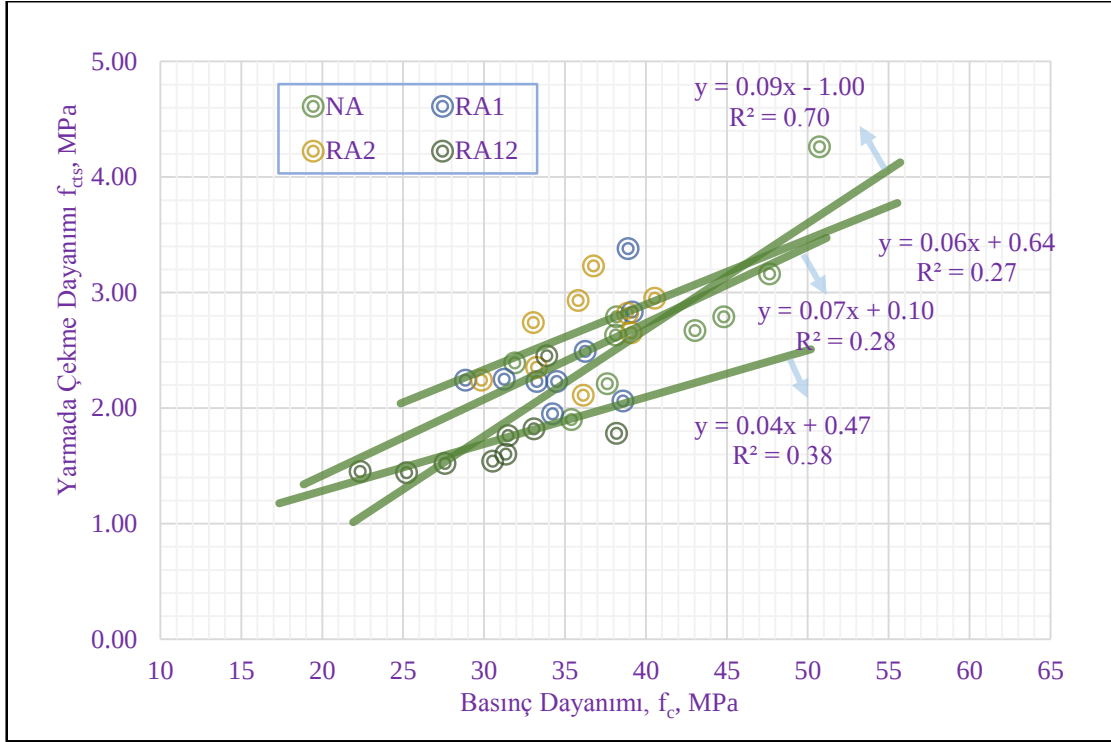
Şekil 4.5 ve 4.6 basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekil 4.5'te görüleceği üzere, tüm numunelere ait korelasyon katsayısı 0,46 olarak bulunmuştur. Şekil 4.6'da ise NA, RA1, RA2 ve RA12 içeren betonlara ait ilişki gözlenmektedir. RA123'e ait veriler yeterli sayıda olmadığı için analize dâhil edilmemiştir. NAC, NACSF5 ve NACSF10 için bu ilişki 0,70 anlamlılıkta bulunmuştur. Bu değer yüksek korelasyonu göstermektedir. Fakat diğer yönden RA1, RA2 ve RA12 için hesaplanan değerler sırasıyla 0,28, 0,27 ve 0,38 şeklindedir ki bunun anlamı düşük korelasyonun varlığıdır. Bu analiz, basınç ve çekme dayanımı arasındaki ilişkinin geri kazanılmış agregalı betonlarda zayıf olduğunu göstermektedir. Bu durumun sebebi olarak geri kazanılmış agreganın basınç dayanımına göre çekme dayanımını belirgin ölçüde artırması gösterilebilir. Diğer yönden düşük korelasyon değerleri 28 günlük beton dayanımları ile elde edilmiştir. Benzer olarak, 1. yaşında geri kazanılmış agregalı betonların 0,355 anlamlılıkta korelasyon ilişkileri Kou ve Poon [24] tarafından elde edilmiştir [24]. Ancak Kou ve Poon [24] çalışmalarında, bu tez çalışması ile farklı olarak uçucu kül ve benzer olarak portland çimentosu kullanmışlardır. Buradan hareketle, düşük korelasyon değerinin silis dumanlı karışımlarda kısa dönemde (28. günde) elde

edilmesi ve uçucu küllü karışımlarda uzun dönemde (1 yılda) elde edilmesi silis dumanı ve uçucu külün puzzolanik aktivitelerine dayanmaktadır. Çünkü puzzolanik aktivite dayanım testlerini pozitif olarak etkilemektedir ve silis dumanının puzzolanik aktivitesi uçucu külünkinden daha yüksektir [58].

Ek olarak, yarmada çekme dayanımını tahmin eden yeni yaklaşımların geliştirilmesi sonraki araştırmalarda muhtemeldir. Geçmiş araştırmalarda, bu durum oldukça çok irdelenmiştir [19, 57, 59-62]. Bazı çalışmalarda [57, 61 ve 62], geri kazanılmış agregalı betonlar için yüksek korelasyonlu çekme dayanımını tahmin eden formüller geliştirilmiştir. Bazı çalışmalarda [63] ise rölatif yarmada çekme dayanımı ile rölatif basınç dayanımı arasında ilişki kurulmuştur. Neticede yüksek korelasyon elde edilmiştir. Rölatif yarmada çekme dayanımı, 90 günlük geri kazanılmış agregalı betonların yarmada çekme dayanımının 90 günlük doğal agregalı betonların yarmada çekme dayanımına oranıdır. Rölatif basınç dayanımı ise, 7 günlük geri kazanılmış agregalı betonların basınç dayanımının 7 günlük doğal agregalı betonların basınç dayanımına oranıdır.



Şekil 4.5 Tüm numunelerin basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişki



Şekil 4.6 Numunelerin basınç dayanımı ile yarmada çekme dayanımı arasındaki ilişkisi (NA, RA1, RA2 ve RA12 içeren numunelerin korelasyon katsayıları sırasıyla 0,70, 0,28, 0,27, ve 0.38 dir)

4.5.4 Elastisite Modülü

Deney sonuçları, 28 günlük numuneler üzerinde basınç testi yapılırken elde edilen yük-yer değiştirme verileri kullanılarak elde edilmiş ve değerler Çizelge 4.7’de verilmiştir. Çizelge 4.7’den görüleceği üzere, geri kazanılmış numunelere ait tüm elastisite modülü değerleri, normal agregalı betonlara ait tüm elastisite modülü değerlerinden daha düşüktür. Burada etken olarak geri kazanılmış agregaya içeriği gösterilebilir. Çünkü geri kazanılmış agregaya oranı betonda arttıkça numunelere ait elastisite modülü değerleri de azalmaktadır. %5 silis dumanlı geri kazanılmış agregalı betonların basınç dayanımı değerleri farklı olmasına rağmen bu betonlara ait elastisite modülü değerleri yakın olarak bulunmuştur. Basınç dayanımı doğal agregalı betonlarda silis dumanı içeriği arttıkça aratarak bağıl elastisite modülü değeri ise %5 silis dumanı içeriğine kadar artmaktadır.

Özellikle %100 geri kazanılmış agregalı beton karışımlarında basınç dayanımı düşüşü yanında elastisite modülü düşüşü de gözlenmiştir. Elastisite modülü üzerinde silis dumanının olumlu etkisi de görülmektedir. Silis dumanı içeriği arttıkça elastisite

modülü değeri de artmıştır. Betonda karışımda yüksek miktarda bulunan agregalar, beton dayanımı yanında elastik davranışını da etkilemişlerdir.

4.5.5 Yoğunluk ve Su Emme

Beton numuneler üzerinde 28. günde yoğunluk ve su emme deneyleri yapılmıştır. Deney sonuçları Çizelge 4.7’de sunulmaktadır. Deney sonuçlarına göre, geri kazanılmış agregaya katılması ile betonların su emme oranları artmış ve ters orantılı olarak da yoğunlukları azalmıştır. Geri kazanılmış agregaların muhtevasında bulunan eski harç kalıntısı boşluklu ve kırıklı yapıya sahiptir. Bu nedenden dolayı, yüksek yoğunluk ve düşük su emme kapasiteli betonlar doğal agregaya içerikli betonlar olarak deneyler sonunda gözlemlenmiştir. Ek olarak söylenebilir ki, tüm beton numunelerde silis dumanı katkısı %5’e kadar su emme oranını artırmaktadır ve %5 sonrasında azalmaktadır.

4.5.6 Enerji kapasitesi

Çizelge 4.10-12’de numunelere ait hesaplanan enerji kapasiteleri ve oranları gösterilmektedir. Ayrıca Şekil 4.7-10’da numunelere ait hesaplanan enerji kapasiteleri ile çeşitli parametreler ile ilişkileri verilmektedir. Çizelge 4.12’de görüleceği üzere, %100 geri kazanılmış agregalı beton hariç tüm betonlarda %5 silis dumanı kullanımı elastik enerji kapasitesi ile tokluğun oranı değerini artırmıştır. Ancak RA123C betonu en yüksek elastik enerji kapasitesi ile tokluk oranına sahip olmasına rağmen, elastik enerji kapasitesi değeri tüm betonlar içerisinde en düşük değerdedir (Çizelge 4.10). Diğer yönden RA123C betonu en düşük tokluğa sahip betondur ve geri kazanılmış agreganın zayıf özelliklerinden etkilenmiştir. Çizelge 4.10’dan görüleceği üzere, RA2C betonu RA1C ve RA12C betonlarına kıyasla istisnai bir durum vermiştir; RA2C betonu %30 oranında geri kazanılmış agregaya içermektedir ve içerdiği RA2 agregası içerdiği kirletici türleri ve oranları bakımından farklılık göstermektedir (Çizelge 4.2). Ayrıca, RA2C betonu en düşük geri kazanılmış agregaya oranına sahip betondur.

Şekil 4.7 plastik enerji ve elastik enerji kapasitesi arasındaki ilişkiyi çeşitli silis dumanı içerikleri için göstermektedir. %5 silis dumanı içeriği karışımlarda bu ilişkiyi olumlu olarak etkilemiştir. İlişkiyi gösterir korelasyon katsayısı değeri %0-5-10 silis dumanı

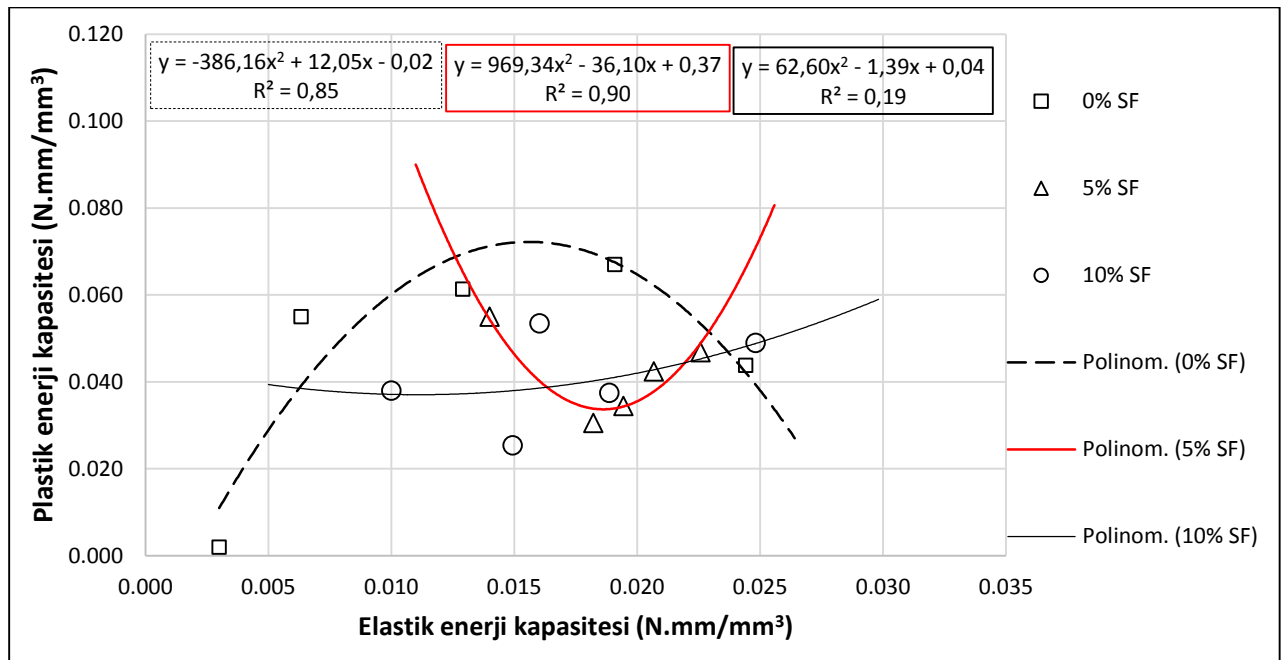
katkıları için sırasıyla 0,85-0,90-0,19 olarak hesaplanmıştır. Şekil 4.8 geri kazanılmış agrega kullanımının %30 olduğu karışımlarda %0-5-10 silis dumanı katkısı ile betonların elastik enerji kapasitesi değerlerini artırdığını göstermektedir. Fakat %30 ve %100 oranları aralığında geri kazanılmış agrega kullanımının tüm betonlarda elastik enerji kapasitesini azalttığı gözlenmiştir (Şekil 4.8). Buradan, geri kazanılmış agreganın sahip olduğu düşük özellikler ve kirliliklerin düşüşte etkili olduğu sonucuna varılabilir.

Şekil 4.9 plastik enerji ile geri kazanılmış agrega oranı arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Şekilden görüleceği üzere, %30 ve sonrası geri kazanılmış agrega kullanımı %0 silis dumanı içeren betonlarda plastik enerji kapasitesini azaltmıştır. Diğer yönden, %30 ve sonrasında geri kazanılmış agrega kullanımının sonucu olarak, geri kazanılmış agreganın zayıf özellikleri nedeniyle plastik enerji kapasitesi ile geri kazanılmış agrega arasında olumlu bir ilişkinin olmadığı görülmüştür.

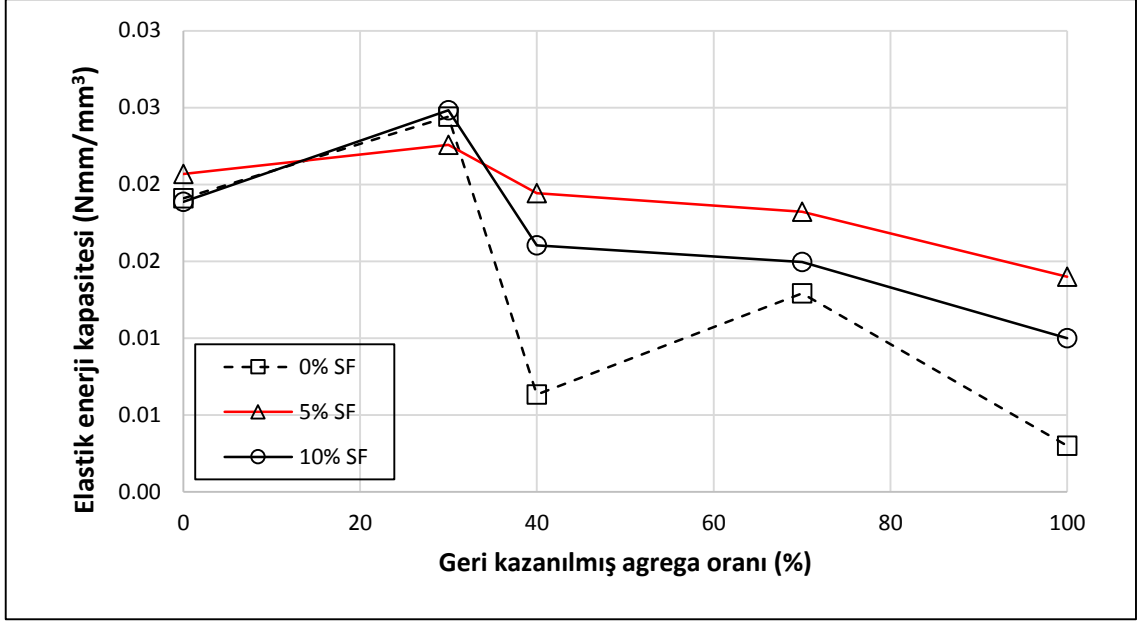
Benzer sonuçların önceki çalışmalarda bulunmasına rağmen (örneğin Topçu ve Günçan [8]), bu çalışmalarda elastik ve plastik enerji kapasiteleri ve tokluk değerlerinin geri kazanılmış agrega kullanım oranının artması ile düştüğü gözlenmiştir. Fakat bu tez çalışmasında %30'a kadarki geri kazanılmış agregalı betonda elastik enerji değeri artış göstermekte ve sonrasında azalış göstermektedir. Diğer yönden plastik enerji kapasitesi değeri için bir ilişkidir söz etmek mümkün değildir. Bu durumun geri kazanılmış agregaların içeriğindeki maddelerden kaynaklandığı söylenebilir.

Çizelge 4.12 Numunelere ait elastik ve plastik enerji kapasitelerinin tokluk oranları ve geri kazanılmış agrega ile silis dumanı oranları

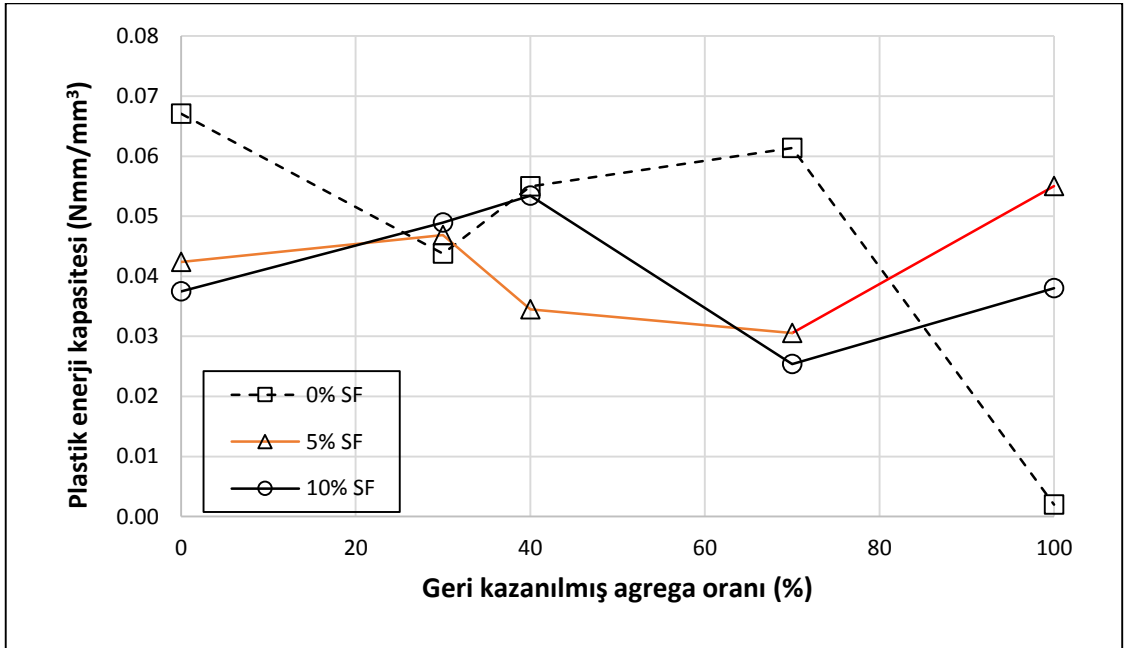
Notasyon	SF (%)	RA (%)	Elastik enerji kapasitesinin tokluğa oranı	Plastik enerji kapasitesinin tokluğa oranı
NAC	0	0	0,22	0,78
RA1C		40	0,10	0,90
RA2C		30	0,36	0,64
RA12C		70	0,17	0,83
RA123C		100	0,60	0,40
NACSF5	5	0	0,33	0,67
RA1CSF5		40	0,36	0,64
RA2CSF5		30	0,33	0,67
RA12CSF5		70	0,37	0,63
RA123CSF5		100	0,20	0,80
NACSF10	10	0	0,33	0,67
RA1CSF10		40	0,23	0,77
RA2CSF10		30	0,34	0,66
RA12CSF10		70	0,37	0,63
RA123CSF10		100	0,21	0,79



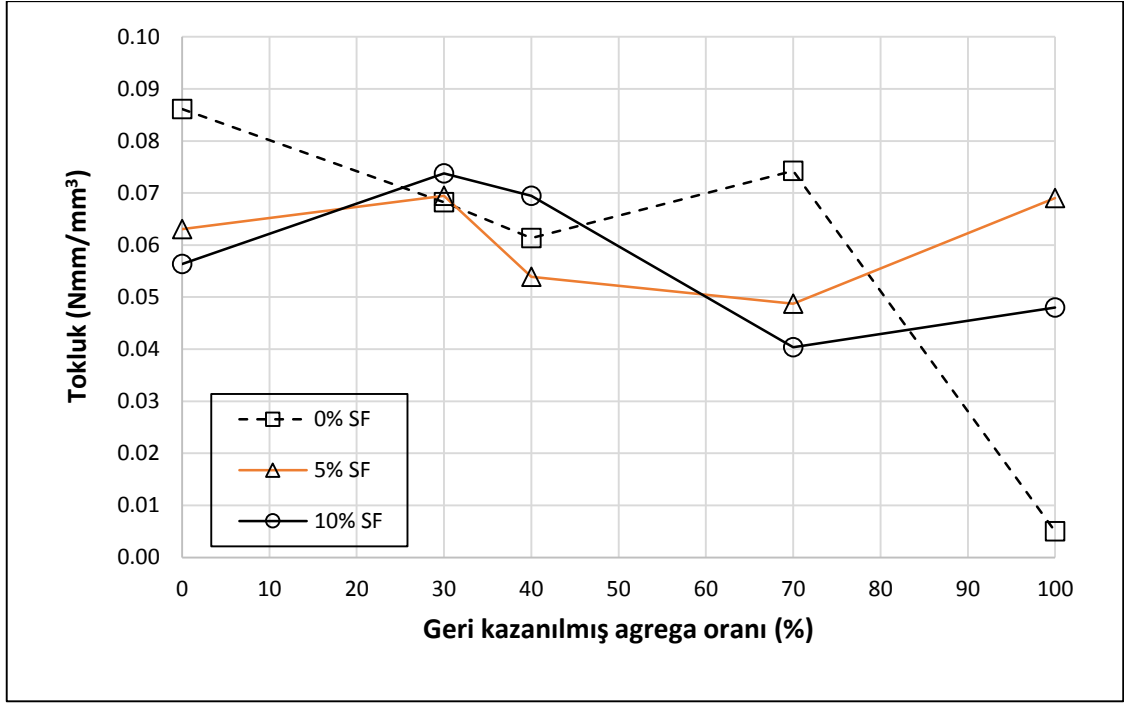
Şekil 4.7 Plastik enerji ve elastik enerji kapasitesi arasındaki ilişki



Şekil 4.8 Elastik enerji ile geri kazanılmış agrega oranı ilişkisi



Şekil 4.9 Plastik enerji ile geri kazanılmış agrega oranı ilişkisi



Şekil 4.10 Tokluk ile geri kazanılmış agregat oranı ilişkisi

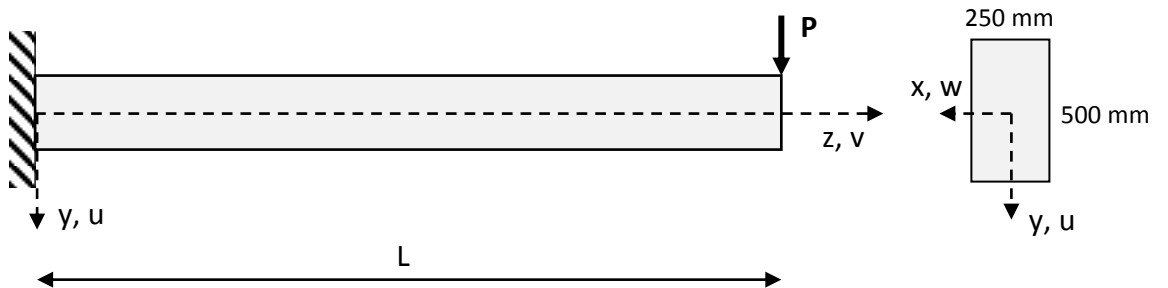
ABAQUS PAKET PROGRAMINDA MODELLEME

5.1 Giriş

Bu tez çalışmasında, bir önceki bölümde anlatılan deneysel çalışmalara ilave olarak Abaqus 6.10 paket programı kullanılarak bir konsol kiriş modellenmiştir. Deneylerle elde edilen parametreler bilgisayar modeline aktarılmıştır. Bu bölümde, Abaqus paket programında bir elemanın modellenmesi ve bu modele çeşitli parametrelerin (malzeme bilgileri, birim sonlu eleman bilgisi, vs.) girişi hakkında adım adım bilgiler sunulacaktır.

5.2 Konsol Kirişin Geometrisi

Bu tez çalışmasında modellenen konsol kirişe ait geometrik özellikler, yükleme durumu ve mesnetlenme durumu Şekil 5.1’de gösterilmektedir.



Şekil 5.1 Konsol kirişin geometrisi, yükleme ve mesnetlenme durumu

L açıklıklı, 250x500mm en kesitli prizmatik konsol kiriş geometrisi ele alınmıştır. Sol tarafı ankastre mesnetli, sağ ucu serbest uç olarak alınmış ve serbest uçtan P şiddetinde yük uygulanacaktır. Tezde analizlerde kullanılan konsol kiriş açıklıkları (L) ise 1m, 2m ve 4m olarak seçilmiştir.

Deneyler sonucunda elde edilen gerilme-şekil değiştirme eğrileri kullanılarak Abaqus paket programında kiriş modelleri oluşturulmuştur. Modellemeler yapılırken kiriş malzemesinin basınç ve çekme etkisi altında aynı davranışı sergilediği kabul edilmiş ve tüm hesaplar buna göre yapılmıştır. Ayrıca, beton için gerçek gerilme (true stress) ve gerçek şekil değiştirme (true strain) değerleri ile mühendislik gerilmesi (engineering stress) ve mühendislik şekil değiştirmeleri (engineering strain) arasındaki farkın ihmal edilebilir mertebede olmasından dolayı Abaqus hesaplarında mühendislik gerilmesi ve şekil değiştirmeleri kullanılmıştır. Modelleme için Abaqus'te çeşitli seçenekler mevcuttur. Bu tez çalışmasında öncelikle kiriş, 1 boyutlu çubuk eleman olarak düşünülerek modelleme ve çözüm yapılacak ve ardından 2 boyutlu düşünülerek modelleme ve bu modelin çözümü yapılacaktır. Her iki model için kiriş elemanları, geometrik ve malzeme özellikleri bakımından doğrusal olmayan etkiler göz önüne alınarak modellenmiştir. Böylece, gerçek davranışa en yakın davranışın elde edilmesi amaçlanmıştır. Sonuçların notasyonu, modellerde kullanılan betona ait notasyona paralel olarak aynısı seçilmiştir.

Ayrıca, yukarıda verilen analizlere geçmeden önce bilgisayar modellerinin doğruluğunu test etmek için en azından lineer elastik durum için kıyaslama çalışması yapılmıştır.

5.3 Abaqus Paket Programı Sonuçlarının Tutarlılığının Tespiti

Lineer elastik durum için Abaqus paket programında bulunan sonuç ile el çözümü sonucu ve SAP2000 paket programından elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. El çözümünde bir ucu ankastre mesnetli diğer ucu serbest uçlu konsol kirişin bir P yükü altında oluşacak yer değiştirme değeri diferansiyel denklemden hareketle elastik eğri yöntemiyle hesaplanmıştır. SAP2000 sonlu elemanlar paket programında aynı

özelliklere sahip bir model oluşturulmuş ve eleman uç noktası için yer değiştirme değeri hesaplatılmıştır.

5.4 Konsol Kirişe Ait Elastik Eğri İfadesinin Çıkartılması

Burada, kiriş uç noktasına uygulanan tekil bir yük altında, kiriş elastik eğrisi yönetici diferansiyel denklemin integrasyonu yöntemiyle Euler-Bernouli kiriş teorisi çerçevesinde elde edilmiştir. Buradaki hesaplar lineer elastik durum için yapılmıştır. Düzgün yayılı yük etkisi altındaki bir kirişin yönetici diferansiyel denklemi izleyen şekildedir:

$$\frac{d^2}{dz^2} (EI_x \frac{d^2 u}{dz^2}) = q_0 \quad (5.1)$$

Burada kiriş sabit en kesitli olduğundan eğilme rijitliği EI sabit olur ve (5.1) denklemi aşağıdaki formu alır:

$$EI_x \frac{d^4 u}{dz^4} = q_0 \quad (5.2)$$

Burada, kirişe etki eden yayılı yük sıfır olduğundan Denk. (5.2)'de $q_0=0$ olarak alınır ve diferansiyel denklem ardışık şekilde dört defa integre edilirse $u(z)$ çökme fonksiyonu şu şekilde elde edilir:

$$EI_x \frac{d^4 u}{dz^4} = 0 \quad (5.3)$$

$$EI_x \frac{d^3 u}{dz^3} = C_1 \quad (5.4)$$

$$EI_x \frac{d^2 u}{dz^2} = C_1 z + C_2 \quad (5.5)$$

$$EI_x \frac{du}{dz} = C_1 \frac{z^2}{2} + C_2 z + C_3 \quad (5.6)$$

$$EI_x u = C_1 \frac{z^3}{6} + C_2 \frac{z^2}{2} + C_3 z + C_4 \quad (5.7)$$

Dört defa integral alınması sonucu dört adet integral sabiti elde edilmiştir. Konsol kirişe ait geometrik ve dinamik sınır koşulları gözönüne alınarak integral sabitleri belirlenir:

$$z=0 \text{ için } EI_x u = 0 \text{ ve buradan } C_4=0 \text{ dır.} \quad (5.8)$$

$$z=0 \text{ için } EI_x \frac{du}{dz} = 0 \text{ ve buradan } C_3=0 \text{ dır.} \quad (5.9)$$

$$\left. \begin{array}{l} z=L \text{ için } EI_x \frac{d^3u}{dz^3} = P \\ z=L \text{ için } EI_x \frac{d^2u}{dz^2} = 0 \end{array} \right\} \text{ Buradan } C_1 = P \text{ ve } C_2 = -PL \text{ dir.} \quad (5.10)$$

Son durumda, elastik eğri fonksiyonu;

$$u(z) = \frac{P}{6EI_x} z^3 - \frac{PL}{2EI_x} z^2 \quad (5.11)$$

şeklinde elde edilir. Konsol bir kirişin serbest uç noktasına uygulanan P yükü altında uç noktasının yapacağı yer değiştirme değeri, (5.11) denkleminde z yerine L konulursa aşağıdaki değer elde edilir:

$$u(L) = \Delta = \frac{PL^3}{3EI} \quad (5.12)$$

Yine belirtilmelidir ki, bu sonuç elastik sınırlar içinde geçerlidir. Karşılaştırma hesaplarında aşağıdaki parametreler alınmıştır:

$$P=500 \text{ kN, } E=30\,000 \text{ MPa, } L=1 \text{ m ve } 4 \text{ m, } \nu=0,2$$

Alınan parametreler ile yapılan analizler elastik sınırlar içinde gerçekleştirilmiş, plastik durum burada kullanılmamıştır.

Kullanılan paket programlar ve el hesabı neticesinde Çizelge 5.1 'de verilen değerler elde edilmiştir. Paket programlarda hesaplanan yer değiştirme değerleri, konsol kiriş serbest uç kesitinin orta noktasındaki değerlerdir.

Çizelge 5.1 P=500 kN yük altında konsol kiriş uç noktasının yer değiştirme değerleri

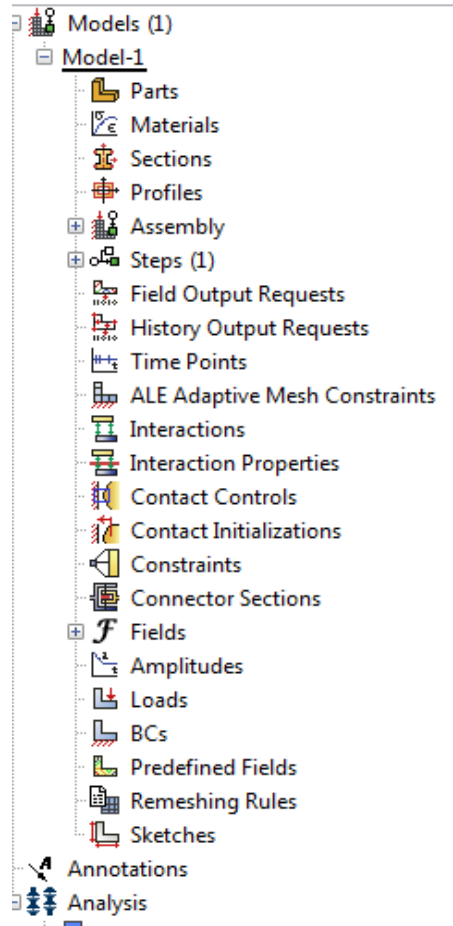
Çözüm	L=1m için Δ (mm)	L=4m için Δ (mm)
El çözümü	2,13	136,53
SAP2000	2,51	138,07
Abaqus (1D)	2,51	140,04
Abaqus (2D)	2,48	138,77

Çizelge 5.1'den görüleceği üzere, SAP2000 paket programında Abaqus'te modellenen kirişlerin sonucuna yakın sonuçlar elde edilmiştir. Ayrıca, 1D ve 2D Abaqus kiriş modellerine ait sonuçlar el çözümüne yakın çıkmıştır. L=1m olması durumunda el çözümü ile diğer çözümler arasındaki farkın; el çözümünde kayma şekil değiştirmelerini dikkate almayan Euler-Bernoulli kiriş teorisinin kullanılmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

5.5 Konsol Kirişin Modellenmesi

5.5.1 Model Ağacı

Model ağacı, Abaqus paket programında sol kısımda yer alan bilgi girişlerinin yapıldığı bölümleri içeren yerdir (Şekil 5.2). Abaqus paket programında modelin çizimi, malzeme özelliklerinin girilmesi, kesit bilgisi, eleman bilgisinin seçimi, eleman boyutlarının seçimi, elemanı sonlu parçalara ayırma (mesh) işlemi, modele ait yükün tanımlanması ve elemana ait sınır şartlarının belirlenmesi vs. bu model ağacının alt bölümlerinde yapılmaktadır.



Şekil 5.2 Abaqus paket programında model ağacı

5.5.2 Parts Menüsü

Model geometrisine ait parametrelerin girildiği bölümdür. **Parts** ikonuna çift tıklandığı vakit önümüze **Create Parts** penceresi açılır (Şekil 5.3). Buradaki kısımlarda

Name>> Kiris-1D-1m

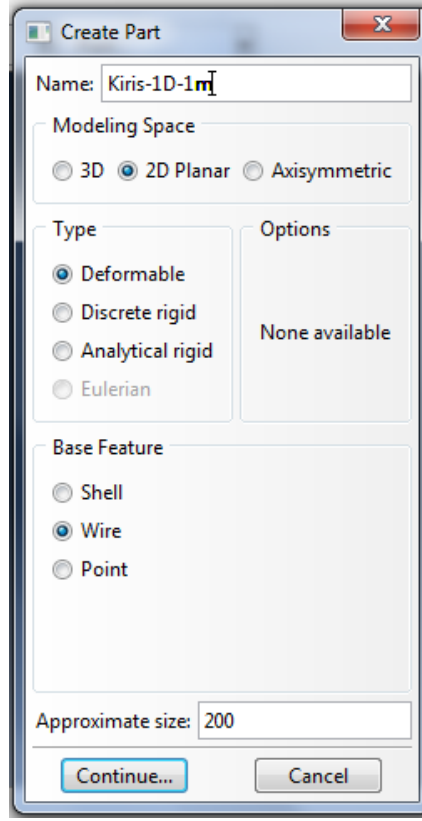
Modelling Space>>2D Planar

Type>>Deformable

Base Feature>>Wire

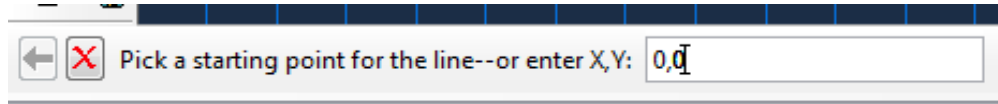
Approximate Size>>200

olarak girilir ve **Continue** tuşuna basılır.

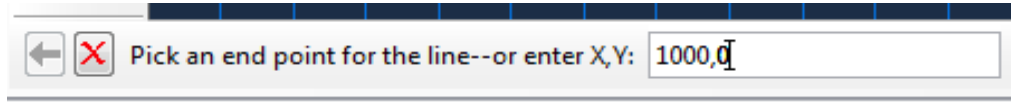


Şekil 5.3 Model bilgi girişi

Önümüze karelere bölünmüş bir ekran gelir ve sol kısımda elemanın geometrisini oluşturmaya yardımcı geometrik şekiller ve diğer yardımcılar vardır. Bu kısımda çizgi oluşturmaya yarayan “**Create Lines: Connected**” ikonuna tıklanır (). Komut aktif hale gelir ve program bizden çizginin başlangıç noktasını belirlememizi ister. Başlangıç noktası olarak alt imleçte yer alan koordinat giriş kısmına **(0,0)** girilerek belirlenir enter tuşuna basılır ve bitiş noktası olarak kirişin uç noktası olan **(1000,0)** girişi yapılarak enter düğmesine basılır (Şekil 5.4). Kiriş geometrisi koordinatları girildikten sonra **Esc** tuşuna bir defa basılır ve çizim komutu kapatılır. Ekran alt kısmında “Sketch the section for the wire” şeklinde ibareyi program bize iletir. Çizimin tamamlanmış olduğunu bildirmek için programa, ifadenin yanında bulunan **Done** butonuna tıklanır. Geometrik bilgi girişi tamamlanmış olur.



(a)



(b)

Şekil 5.4 Başlangıç (a) ve bitiş (b) koordinatların girişi

Abaqus'te büyükler için birim kavramı yoktur, bu nedenle SI birim sistemi temel alınarak Newton-milimetre yük ve uzunluk birimi kabul edilmiştir. Birim girişleri bu birimlere istinaden yapılmıştır. 1 boyutlu 2 metre, 3 metre, 4 metre ve 5 metre boya sahip diğer 1 boyutlu modeller oluşturulurken ise başlangıç noktaları için **(0,0)** ve bitiş noktaları için sırasıyla **(2000,0)**, **(3000,0)**, **(4000,0)** ve **(5000,0)** koordinatları girilir. Diğer işlemlere aynı şekilde devam edilir.

2 boyutlu kirişlerimiz için ise **Parts** ikonuna çift tıklanır ve **Create Parts** penceresinde ilgili bölümlere;

Name>> Kiris-2D-1m

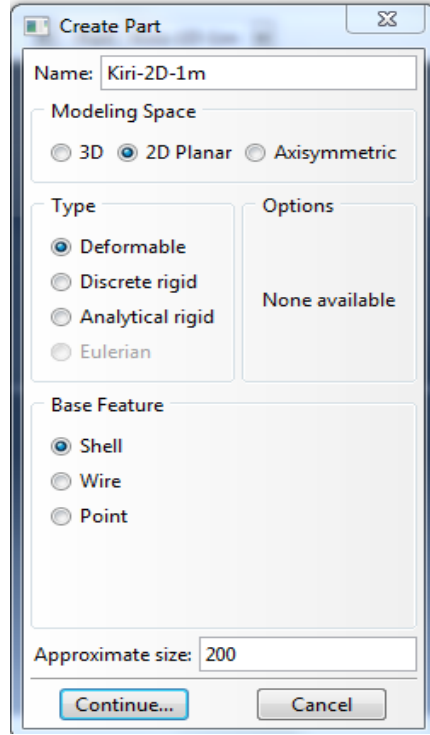
Modelling Space>>2D Planar

Type>>Deformable

Base Feature>>Shell

Approximate Size>>200

olarak girilir ve **Continue** tuşuna basılır (Şekil 5.5).

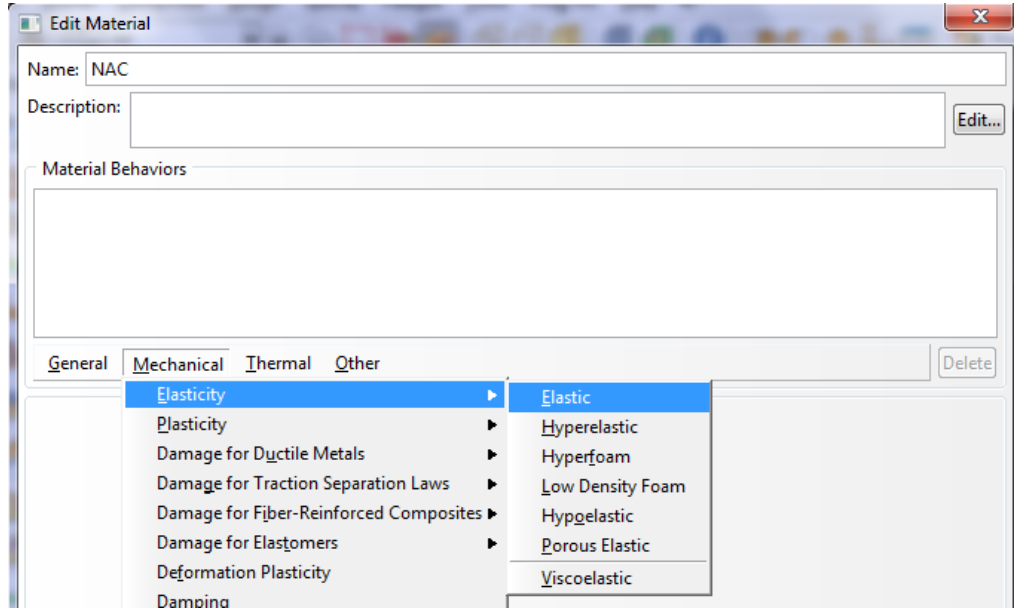


Şekil 5.5 Model bilgi giriş

Önümüze karelere bölünmüş bir ekran gelir ve sol kısımda elemanın geometrisini oluşturmaya yardımcı geometrik şekiller ve diğer yardımcıları bulunmaktadır. Bu kısımda dikdörtgen oluşturmaya yarayan “**Create Lines: Rectangle (4 Lines)**” ikonuna tıklanır. Komut aktif hale gelir ve program dikdörtgenin ilk noktası olan sol alt noktasının belirlenmesini ister. Bu nokta, alt imleçte yer alan koordinat giriş kısmının **(0,0)** girilerek belirlenir enter’a basılır ve dikdörtgenin ikinci noktası olan sağ üst noktasının belirlenmesi istenir. Koordinat giriş kısmına **(1000,500)** yazılarak enter’a basılır. Kiriş geometrisi koordinatları girildikten sonra “Esc” tuşuna bir defa basılır ve çizim komutu kapatılır. Ekran alt kısmında “Sketch the section for the planar shell” şeklinde ibareyi program bize iletir. Çizimin tamamlanmış olduğunu bildirmek için programa, ifadenin yanında bulunan “Done” butonuna tıklanır. Geometrik bilgi girişi tamamlanmış olur. 2 metre, 3 metre, 4 metre ve 5 metre boya sahip kirişe ait geometri oluşturulması sırasında ise ilk koordinat (0,0) ve son koordinat sırasıyla **(2000,500)**, **(3000,500)**, **(4000,500)** ve **(5000,500)** olarak girilir.

5.5.3 Materials Menüsü

Modelin malzeme özelliklerinin girildiği bölümdür. Örnek olarak NAC isimli betona ait parametrelerin giriliş şekli anlatılacaktır. Çizelge 4.5'te isimlendirilmeleri verilen tüm beton grupları için bilgi giriş yöntemi de aynı şekilde yapılmıştır. Materials ikonuna çift tıklandığında “Edit Material” isimli pencere açılacaktır. Bu pencerede **Name** kısmına bilgilerin sahip olduğu betonun ismi olan **NAC** yazılır. Malzemeye ait diğer parametrelerin girildiği sekmelerden **Mechanical>> Elasticity>>Elastic** seçilir (Şekil 5.6).



Şekil 5.6 Malzemeye ait bilgi girişi

Gelen ekranda betona ait özellikler için;

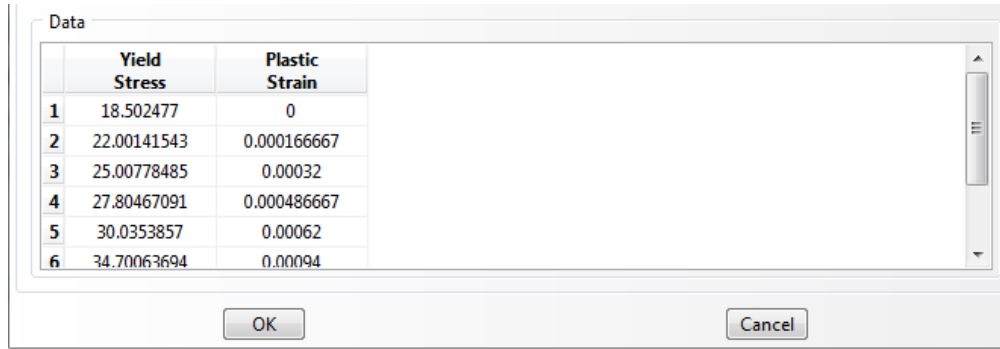
Type>>Isotropic

Young's Modulus>>28830

Poisson's Ratio>>0.2

şeklinde bilgiler girilir. Ardından Mechanical sekmesinden **Mechanical>>Plasticity>>Plastic** seçilir. Bilgi girişinin bulunduğu ekranda betona ait özelliklerden **Hardening>>Isotropic** seçilir. **Data** kısmı ise plastikleşmenin başladığı noktadan itibaren gerilme ve birim şekil değiştirme değerlerinin tablo olarak girilebildiği yerdir. Gerilme değeri aynen alınırken, birim şekil değiştirme değeri ise plastik birim şekil değiştirme değeri alınır. **Data** kısmına NAC betonuna ait betonun

gerilme-şekil değiştirme verileri girilmiştir (Şekil 5.7). Ardından **Ok** butonuna basılarak işlem tamamlanır.



	Yield Stress	Plastic Strain
1	18.502477	0
2	22.00141543	0.000166667
3	25.00778485	0.00032
4	27.80467091	0.000486667
5	30.0353857	0.00062
6	34.70063694	0.00094

Şekil 5.7 Betona ait plastik gerilme plastik şekil değiştirme değerlerinin girişi

5.5.4 Sections ve Section Assignment Menüleri

Sections bölümünde sırasıyla 1 boyutlu ve 2 boyutlu kiriş modelleri için kesit parametreleri seçimi gösterilmiştir. 1 boyutlu modellerde Model Ağacı'nda **Sections** ikonuna çift tıklanır ve **Create Section** penceresi açılır. Burada kesite ait istenen bilgiler için;

Name>>Kiris-1D-1m

Category>>Beam

Type>>Beam

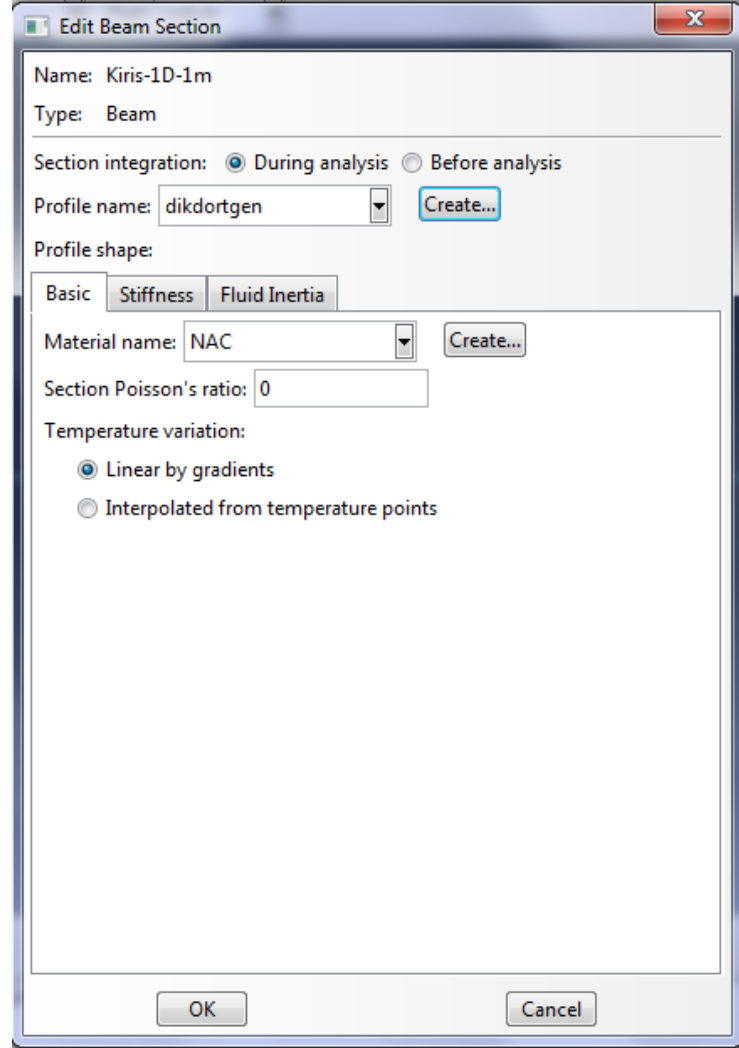
olarak seçilir ve **Continue** butonuna tıklanır. Boyları farklı olan diğer kirişler için kesit tanımlanırken isimlendirmede 1m yerine 2m, 3m, 4m ve 5m yazılır. **Edit Beam Section** isimli pencere açılır. Burada kesite ait parametre girişleri yapılabilmektedir. **Profile Name** kısmına profil eklemek için öncelikle **Create** ikonuna tıklanır. Açılan **Create Profile** penceresinde;

Name>>Dikdortgen

Shape>>Rectangular

bilgi girişleri yapılır ve pencere onay butonuna tıklanır. Açılan yeni pencerede dikdörtgen kesitimiz için en ve boy uzunluk değerleri istenmektedir. En değeri için **250** ve boy değeri için **500** yazılır. Pencere onaylanarak kapatılır ve böylece modelimize ait profil oluşturulmuş olur.

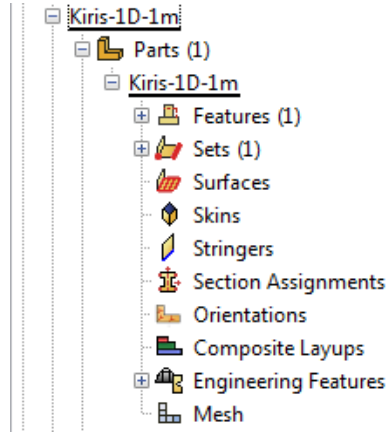
Açık olarak kalan **Edit Beam Section** penceresinde **Profile Name** kısmından az önce eklenmiş olan **dikdortgen** isimli kesit seçilir. **Edit Beam Section** penceresinde 3 adet sekme bulunmaktadır: **Basic**, **Stiffnes** ve **Fluid Inertia**. Basic sekmesinden Material Name kısmında eklenmiş olan malzemelerin isimleri bulunmaktadır. Örnek olarak NAC seçilir. Pencerede **Ok** butonuna tıklanır ve kapanır (Şekil 5.8).



Şekil 5.8 Kiriş kesitinin düzenlenmesi

Oluşturmuş olduğumuz kiriş kesitini model geometrisine atamak için, Model Ağacı'nda oluşturmuş olduğumuz geometrinin bulunduğu Parts bölümünde Kiriş-1D-1m isimli sekme görülecektir ve burada alt başlıklar halindeki listede **Section Assignment** ikonuna çift tıklanır (Şekil 5.9). Ardından kesit ataması yapılacak olan geometrinin fare ile seçilmesi program tarafından istenmektedir. Fare ile geometri üzerine tıklanır ve program penceresi alt kısmında yer alan **Done** ikonuna tıklanır. Edit Section

Assignment isimli pencere açılır. Burada seçmiş olduğumuz geometriye atamak istediğimiz kesitin seçilmesi istenir ve pencere bulunan **Section** açılır listesinden **Kiris-1D-1m** seçilir ve pencere onaylanarak çıkılır.



Şekil 5.9 Section assingment

2 boyutlu modellerde Model Ağacı'nda **Sections** ikonuna çift tıklanır ve **Create Section** penceresi açılır. Burada kesite ait istenen bilgiler için;

Name>>Kiris-2D-1m

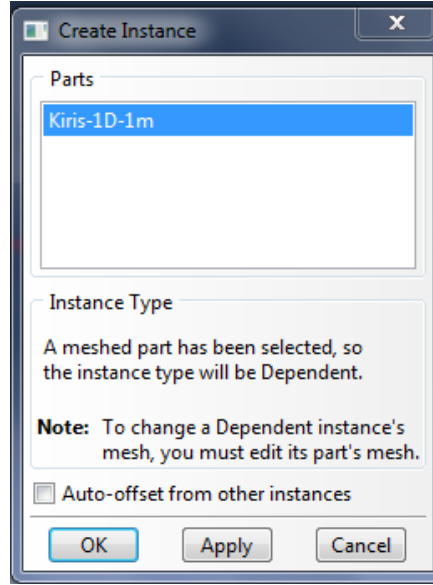
Category>>Shell

Type>>Homogeneous

olarak seçilir ve **Continue** butonuna tıklanır. Açılan edit section isimli pencerede kirişimize ait kalınlık değeri için sırasıyla **Basic>>Shell Thickness>>Value** şu sıra takip edilerek **250** girilir. Aynı pencerede bulunan kesite ait malzemenin seçiminin yapıldığı **Material** açılır listesinden NAC seçilir ve pencere onaylanarak çıkılır. Yukarıda 1 boyutlu modele kesitin atanmasında anlatıldığı üzere, kesitin oluşturulan geometriye atanması işlemi aynı şekilde tekrar edilir ve kesit özellikleri kiriş geometrisine atanır.

5.5.5 Assembly Menüsü

Bu bölümde oluşturulmuş olan kiriş modelinin birleştirilmesi (assembly) işlemi anlatılmaktadır. Model Ağacı üzerinde Şekil 5.2'de görüleceği üzere **Assembly** ikonuna alt başlıkları genişletilir ve **Instances** ikonuna çift tıklanır. Açılan **Create Instance** penceresi üzerinde **Parts** kısmında listede, oluşturulan modelin ismi görünecektir. Bu model listede seçilir ve pencere **Ok** butonuna tıklanarak onaylanır (Şekil 5.10).



Şekil 5.10 Assembly (modelin birleştirilmesi)

5.5.6 Steps Menüsü

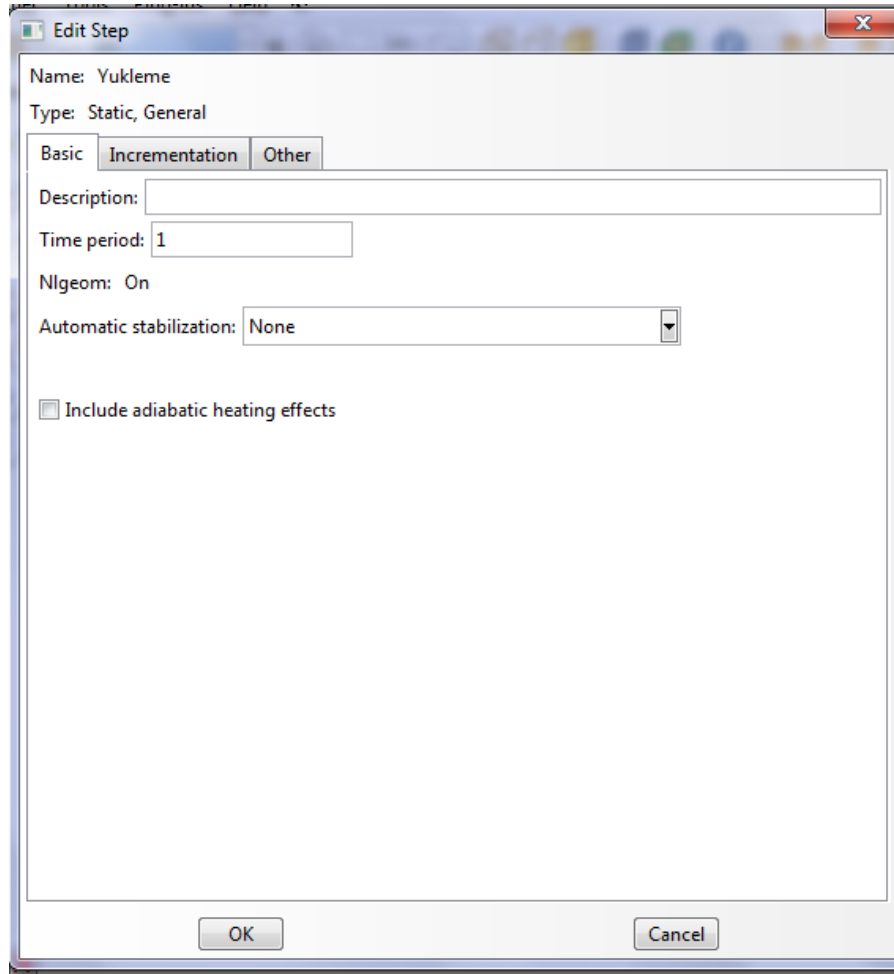
Bu bölümde, sisteme uygulanan yüklerin hangi adımlarda ve hangi özelliklerde olacağı yer almaktadır. Model Ağacı üzerinde **Steps** ikonuna çift tıklanır ve **Create Step** penceresi açılır. Bu pencerede;

Name>>Yukleme

Procedure Type>>General

Static, General

olarak girilir ve pencere onaylanır. Ardından açılan **Edit Step** isimli pencerede **Basic**, **Incrementation** ve **Other** sekmeleri bulunmaktadır (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Edit Step bölümünün düzenlenmesi

Basic sekmesinde **Nlgeom** seçeneğinde geometrik lineer veya non-lineer çözüm olarak çözüm tipi istenmektedir. Bu seçenek **on** olarak aktif hale getirilir. **Time Period>>1** ve **Automatic Stabilization>>None** olarak girilir.

Incrementation sekmesinde;

Type>>Automatic

Maximum number of increments>>1000

Increment size>>1E-25 (Initial) – 1E-36 (Minimum) – 1 (Maximum)

olarak girilir.

5.5.7 Boundary Conditions Menüsü

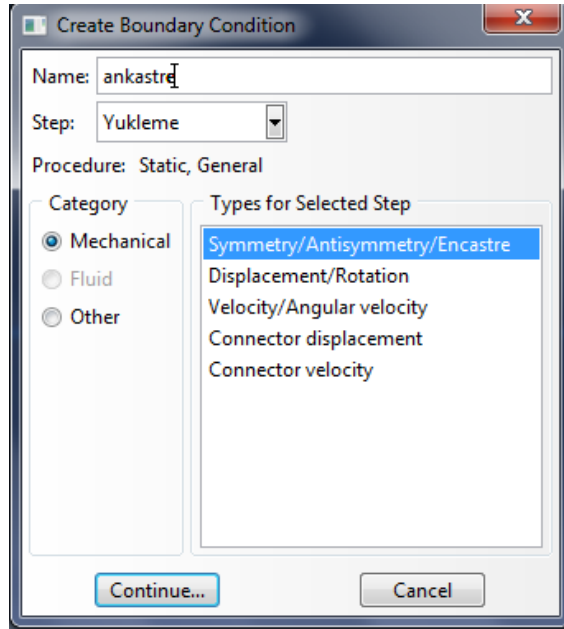
Bu bölümde, modele ait sınır şartları tanımlanacaktır. Model Ağacı üzerinde **BCs** ikonuna çift tıklanır ve **Create Boundary Condition** penceresi açılır (Şekil 5.12). Ardından şu bilgiler girilir ve **Continue** ikonuna tıklanır:

Name>>ankastre

Step>>Yukleme

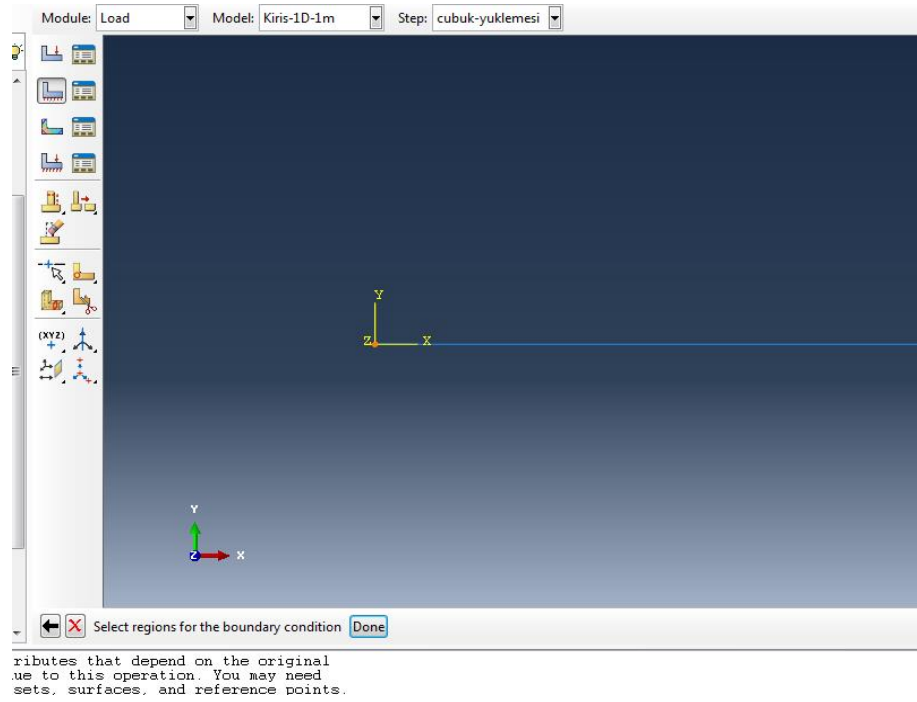
Category>>Mechanical

Types for Selected Step>>Symmetry/Ansymmetry/Encastre

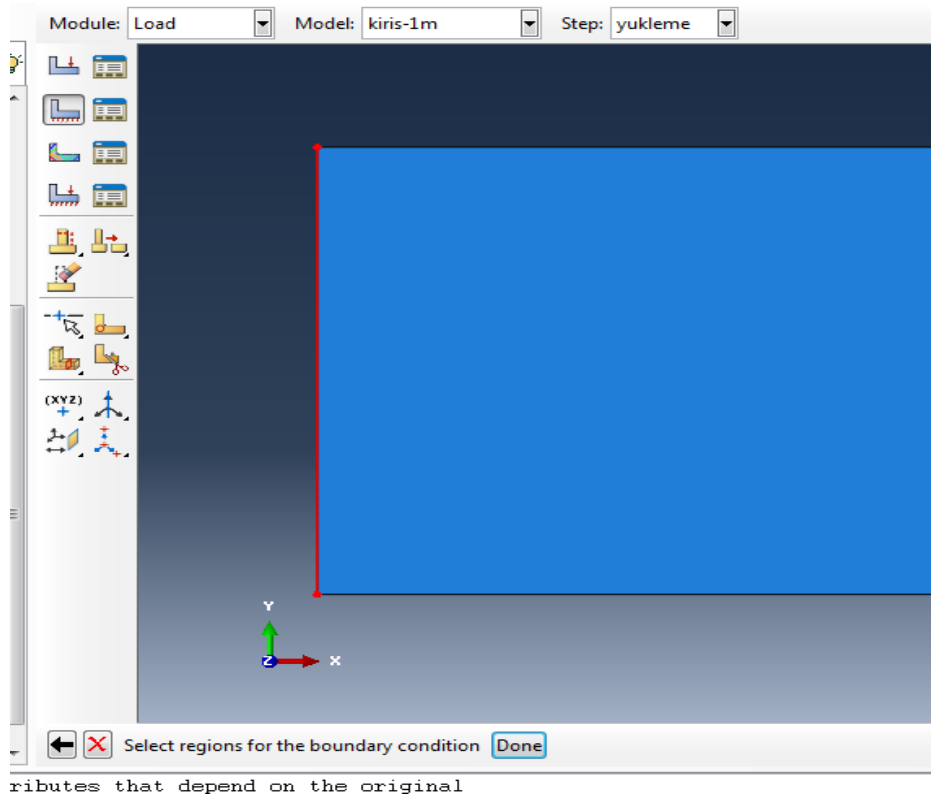


Şekil 5.12 Sınır şartlarının belirlenmesi

Program sınır şartlarının tanımlanacağı noktaların girilmesini ister ve kirişin sol tarafındaki mesnet ankastre mesnet olacak yerde nokta/noktalar seçilir (Şekil 5.13). Seçilen nokta ve kenarlar Abaqus programında kırmızı renk alır (Şekil 5.13).



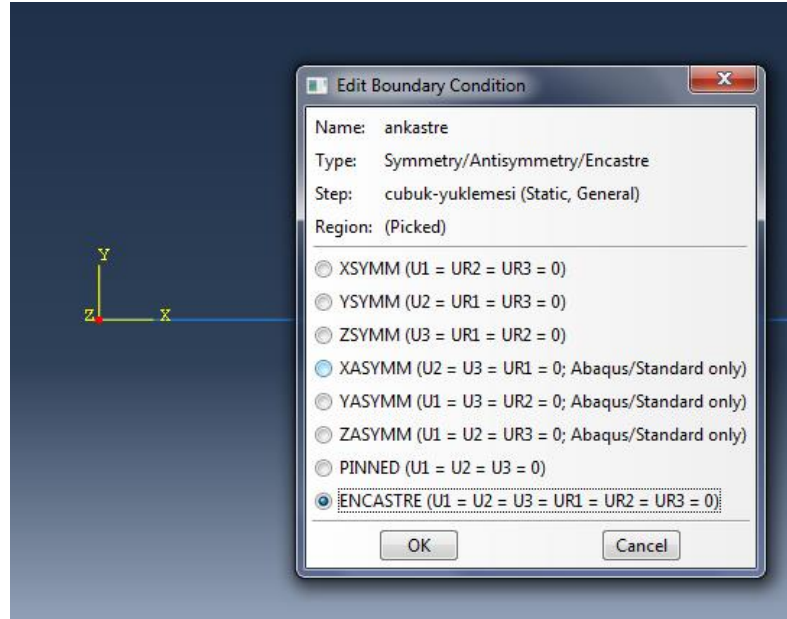
(a)



(b)

Şekil 5.13 1 boyutlu (a) ve 2 boyutlu (b) modeller için sınır şartlarının seçimi

Alt imleçte bulunan **Done** butonuna basılır ve sınır şartlardan **Encastre** seçilir ve pencere onaylanarak kapatılır (Şekil 5.14).



Şekil 5.14 Sınır şartların seçimi

5.5.8 Loads Menüsü

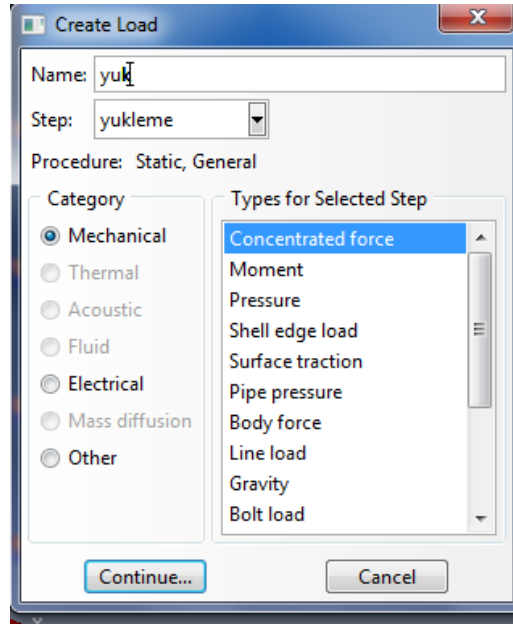
Sisteme ait yüklerin tanımlandığı bölümdür. Model Ağacı üzerinde **Load** ikonuna çift tıklanır ve **Create Load** penceresi açılır (Şekil 5.15). Açılan pencerede yüke ait parametre girişi yapılır:

Name>>yuk

Step>>yukleme

Category>>Mechanical

Types For The Selected Steps>>Concentrated force



Şekil 5.15 Yük parametrelerinin girişi

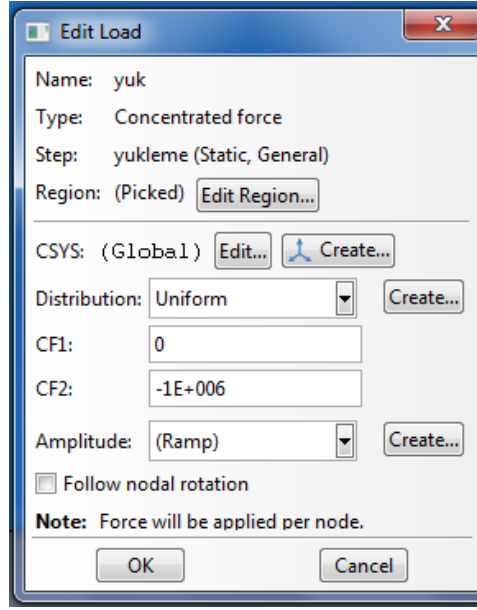
Ardından **Ok** butonuna tıklanır ve yükün uygulanması gereken noktanın seçilmesi istenir. Model üzerinde sağ uç nokta seçilir (2 boyutlu modelde yük uygulama noktası sağ üst noktadır) ve alt imleçteki **Done** butonuna tıklanır. Program yükün diğer özelliklerinin girilmesi için **Edit Load** isimli pencereyi açar ve burada girilecek bilgiler her model için sabit olarak girilmiştir (Şekil 5.16):

Distribution>>Uniform

CF1>>0

CF2>> 1E+6

Amplitude>> (Ramp)



Şekil 5.16 Yük değerlerinin girişi

5.5.9 Mesh Menüsü

Model Ağacı'nda yer alan **Parts** içinde tanımlamış olduğumuz geometrinin sonlu elemanlara bölünme sistematığının tanımlandığı bölümdür. **Parts** başlığı altındaki tanımlı modelin alt başlıklarından biri **Mesh**'tir. Mesh ikonuna çift tıkladığı zaman tanımlanan geometride sonlu elemanlara bölünme işlemi aktif hale gelecektir. Ekran sol kısmında yer alan **Seed Edges** () ikonuna tıklanır ve kenarın bölüneceği eleman sayısının belirlenmesi için geometrinin kenarının seçilmesi istenir. Seçilen kenarın ardından alt imleçte yer alan **Done** butonuna tıklanır ve bu kenar hakkında yapılacak işlemler için **Local Seeds** penceresi açılır. Bu pencerede **Method** seçeneğinde **By number** ve **Bias>>None** olarak seçilir. **Number of elements** için 1 boyutlu ve 2 boyutlu kiriş için yakınsama analizi yapılmış ve 1 boyutlu kirişte boy 100 parçaya, 2 boyutlu kirişte en 10 parçaya ve boy 150 parçaya bölünmesi kararlaştırılmıştır (Çizelge 5.2- 5.3).

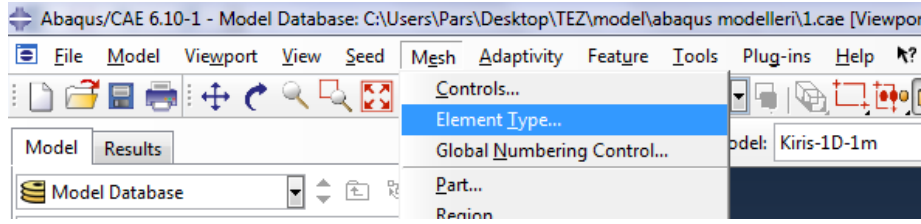
Çizelge 5.2 1 boyutlu kirişte yakınsama analizi (P=200 kN, E=30 GPa, poisson oranı 0,2)
(n kiriş boyunca eleman sayısı ve v düşey yer değiştirme değeri, mm)

n	v
10	-107,341
20	-107,400
30	-107,411
40	-107,415
50	-107,416
60	-107,417
70	-107,418
80	-107,418
90	-107,419
100	-107,419
110	-107,419
120	-107,419

Çizelge 5.3 2 boyutlu kirişte yakınsama analizi (P=200 kN, E=30 GPa, poisson oranı 0,2)
(a kiriş boyunca eleman sayısı, b kiriş enince eleman sayısı ve v düşey yer değiştirme değeri, mm)

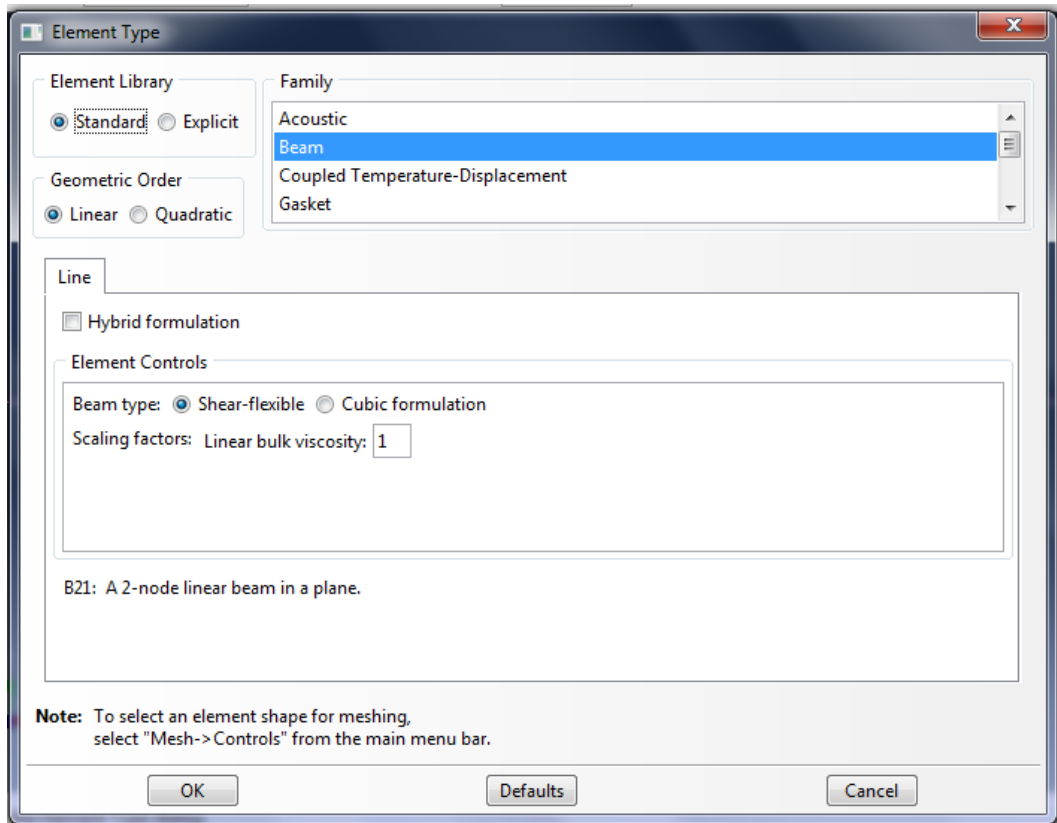
a	b	v
10	10	-108,110
20	10	-108,520
30	10	-108,620
40	10	-108,660
50	10	-108,680
60	10	-108,700
70	10	-108,710
80	10	-108,720
90	10	-108,730
100	10	-108,730
110	10	-108,740
120	10	-108,740
130	10	-108,740
140	10	-108,750
150	10	-108,750
160	10	-108,750
170	10	-108,750

Ardından Abaqus menüsünden Mesh>>Element Type sekmesine tıklanır (Şekil 5.17). Burada birim sonlu elemanlar için tip seçimi işlemi vardır.

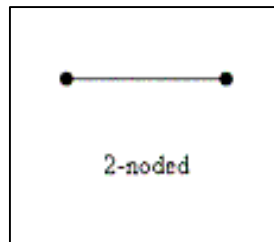


Şekil 5.17 Mesh>>Element Type sekmesi

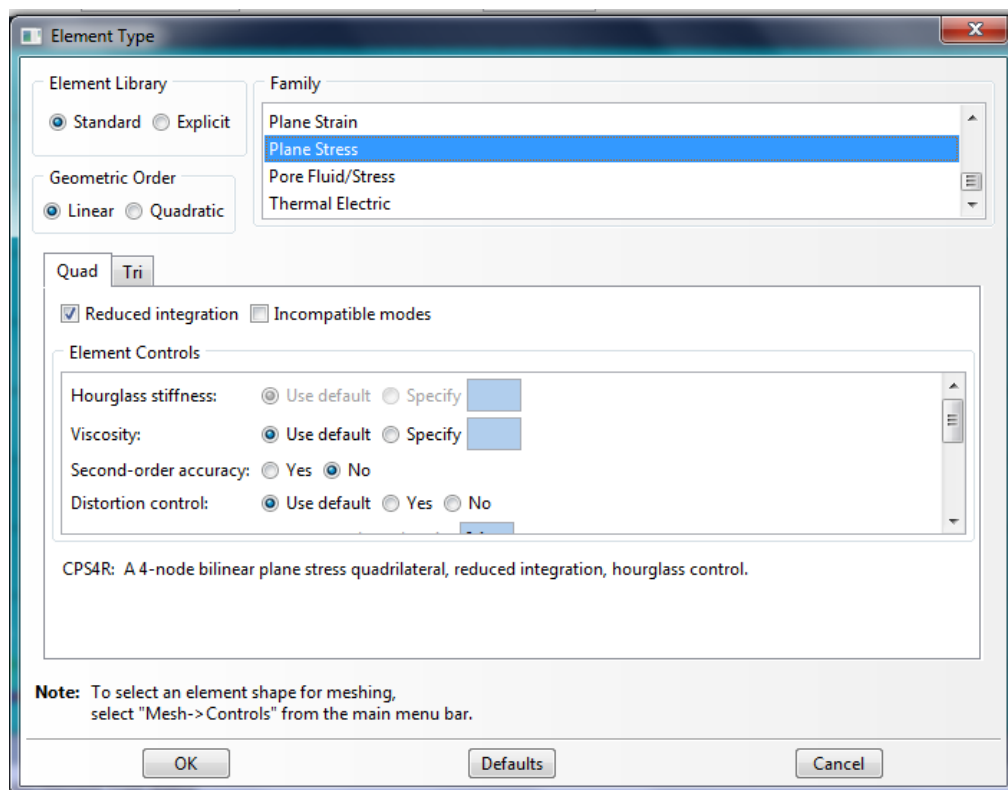
Açılan kütüphanede Şekil 5.18’de gösterildiği gibi eleman özellikleri seçilir ve pencereden onaylanarak çıkılır.



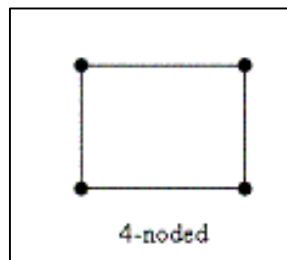
(a)



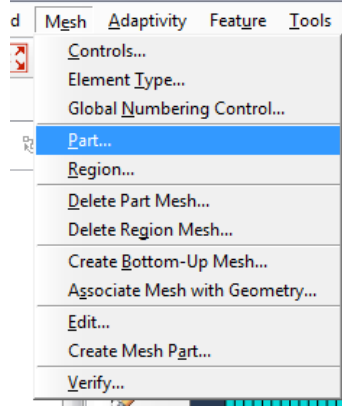
(b)



(c)



(d)

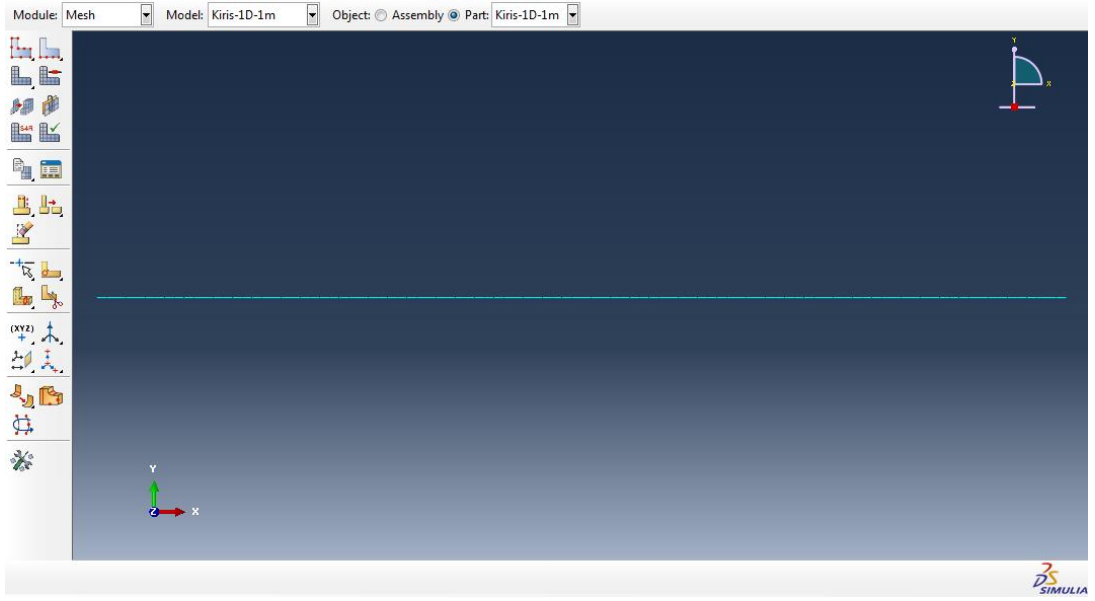


(e)

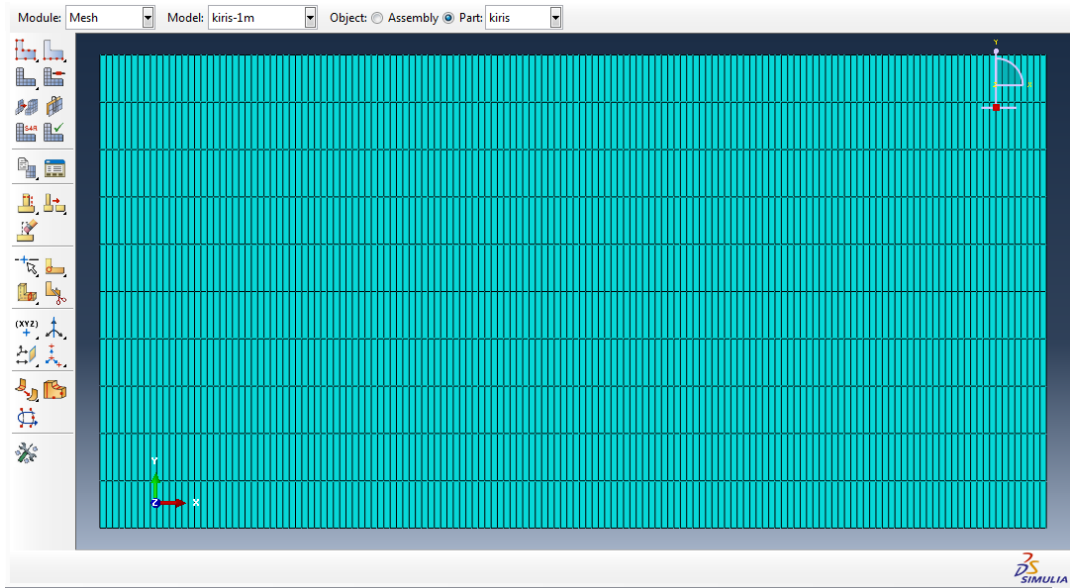
Şekil 5.18 Sonlu eleman kütüphanesinden 1 boyutlu modeller için (a) ve 2 boyutlu modeller için (c) eleman tipi parametreleri ve part komutunun seçimi (e) (Sonlu eleman görünümleri ise sırasıyla (b) ve (d) şeklindedir)

Abaqus paket programında çözüm adımlarında 1D ve 2D kiriş modelleri için sonlu eleman kütüphanesinde yer alan sonlu elemanlardan sırasıyla “B21: A 2-node linear beam in a plane” ve “CPS4R: A 4-node bilinear plane stress quadrilateral, reduced integration, hourglass control” kullanılmıştır (Şekil 5.18). B21 sonlu elemanı, Abaqus kiriş eleman varyantlarından ve CPS4R sonlu elemanı Abaqus birinci dereceden plaka/kabuk eleman varyantlarındandır.

Abaqus menüsünden Mesh>>Part sekmesine tıklanır (Şekil 5.18) ve ekran altındaki imleçte “OK to part mesh the part?” şeklinde Abaqus parçalara ayırma işlemini onaylıyor musunuz diye sorar ve **Yes** butonuna basıldığında geometri parçalara ayrılır (Şekil 5.19).



(a)



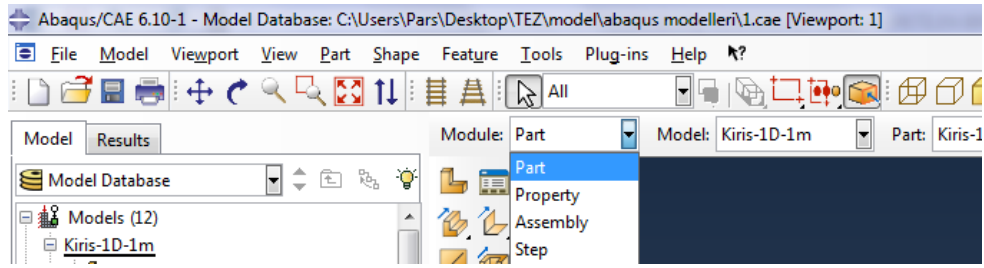
(b)

Şekil 5.19 Parçalara ayrılmış 1 boyutlu (a) ve 2 boyutlu (b) model

5.5.10 Set Menüsü

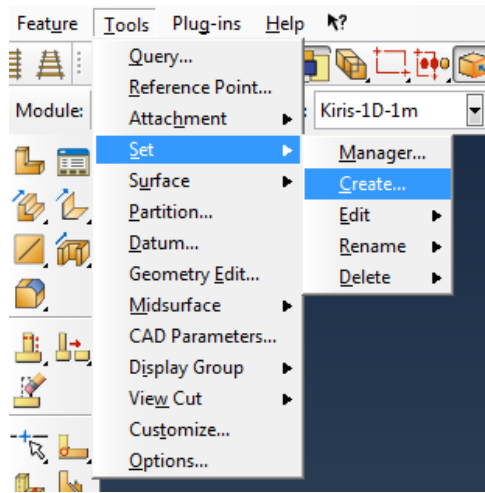
Çözüm işlemi sonrası bir noktanın, bir sonlu elemanın, bir kenarın veya yüzeyin istenen sonuçlarının bulunması için kullanılan işaretleme aracıdır. 1 boyutlu modelde yükün uygulandığı noktada yer değiştirmeyi ve yük değişimini, 2 boyutlu modelde yükün uygulandığı noktada yük değişimini ve kiriş orta noktasında yer değişimini incelemek üzere noktalar yerleştirilecektir.

Noktanın yerleştirilmesi işlemi için Abaqus menü çubuğundan ilk olarak **Module** açılır listesinden **Part** seçilir (Şekil 5.20).



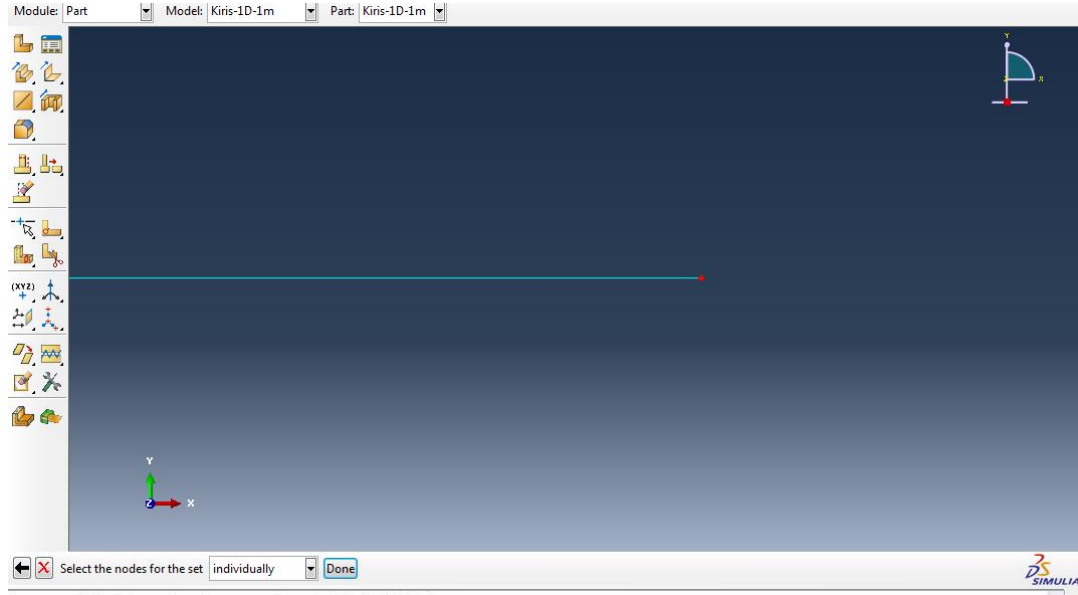
Şekil 5.20 Part modülünün seçimi

Ardından menü çubuğundan **Tools>>Set>>Create** seçilir (Şekil 5.21) ve **Create Set** penceresi açılır. Burada Node seçeneği seçilir ve noktanın ismi girilir (giriş için **uç nokta** yazıldı).



Şekil 5.21 Set yapma işlemi

Pencere onaylanarak kapatılır. Noktanın yerleştirildiği düğüm noktasının seçilmesi istenir ve modelde o noktaya tıklanır (Şekil 5.22). Ardından alt imleçte yer alan **Done** butonuna basılır ve işlem tamamlanır.



Şekil 5.22 Set yapılacak noktanın seçimi

Bu adımlar, 2 boyutlu kiriş modelleri için de tekrarlanır. Yüken uygulandığı nokta ve kiriş sağ kenarı orta noktası set yapılır.

5.5.11 History Output Requests Menüsü

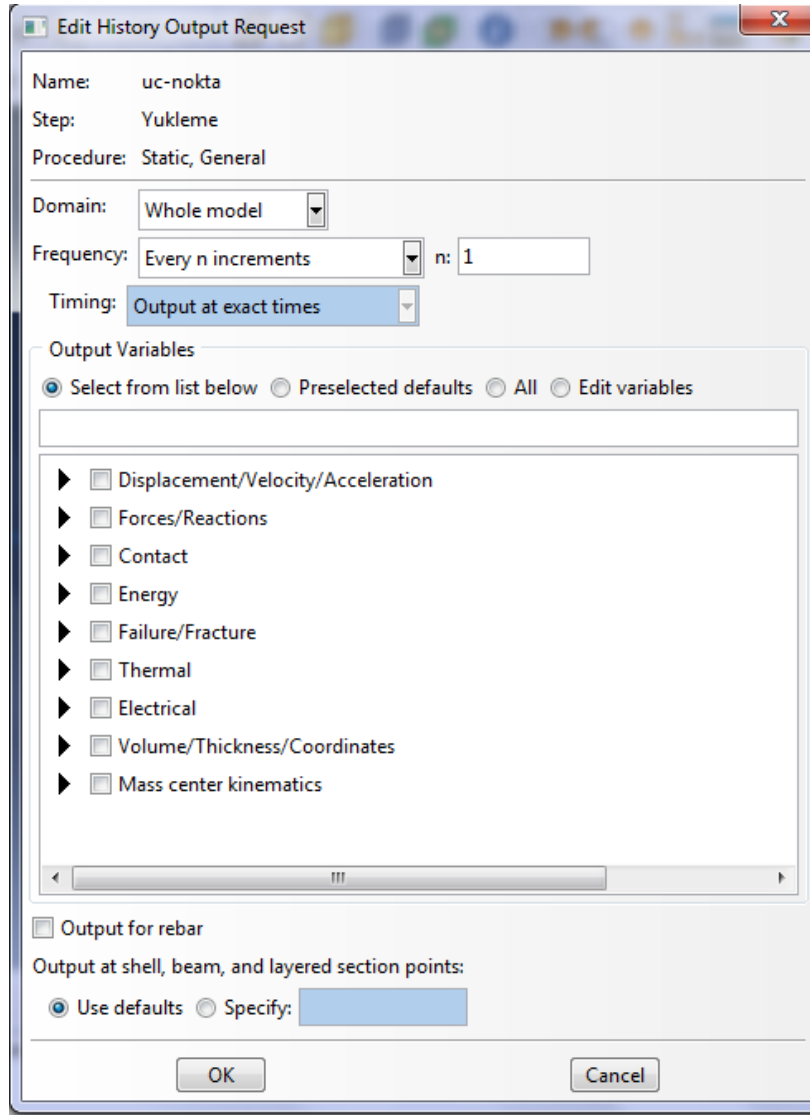
Bu bölümde, çözüm sonrası elde edilmek istenen sonuç parametrelerinin (örneğin, kiriş uç yer değiştirmesi gibi) programa talep olarak girilmesi ve sonuçların elde edileceği noktanın/noktaların programa tanıtılması işlemlerini içermektedir.

Model Ağacı'nda **History Output Requests** ikonuna çift tıklanır ve **Create History** isimli pencere açılır. Buarada sonuçlarını bulmak istediğimiz steplerden birini seçmemiz ve elde edilmek istenen sonuçların isimlendirilmesini Abaqus talep eder. Burada;

Name>> uc-nokta

Step>> Yükleme

olarak girilir ve **Continue** butonuna basılır. Ardından **History Output Request** isimli pencere açılır (Şekil 5.23).



Şekil 5.23 History output request penceresi genel görünüm

Burada, belirlenecek nokta için çözüm sonrası bulunmasını istenilen sonuçların seçilmesi istenir. 1 boyutlu kiriş modellerinde yük ve yer değiştirmeyi bulmak için tek nokta yeterli olacaktır. 2 boyutlu kirişlerde yükün uygulandığı nokta ve kiriş orta noktası olmak üzere iki noktanın tayin edilmesi gerekecektir. Bu işlemlerin yapılmış olduğu düşünülerek devam edilirse **History Output Request** isimli pencerede şu işlemler gerçekleştirilir:

Domain>>Set

Domain>> : uc-nokta

Output Variables>>Displacements/Velocity/Acceleration>> U,Translations and Rotations >>U2

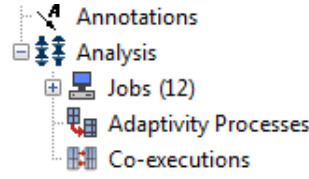
Output Variables>>Forces/Reactions>>CF, Consantrated Forces and Moments>> CF2

Pencere onaylanarak kapatılır.

2 boyutlu modeller için de aynı işlemler tekrar edilir.

5.5.12 Analysis Menüleri

Bilgi girişi tamamlanan modellerin çözüm işleminin yapıldığı bölümdür. Model Ağacı'ndan sonra gelen alttaki kısımdır (Şekil 5.24).

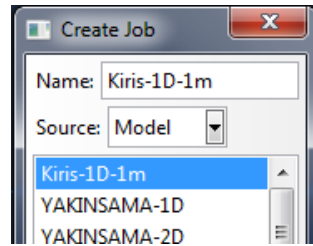


Şekil 5.24 Model Ağacı'ndaki Analysis ikonu ve alt kısımları

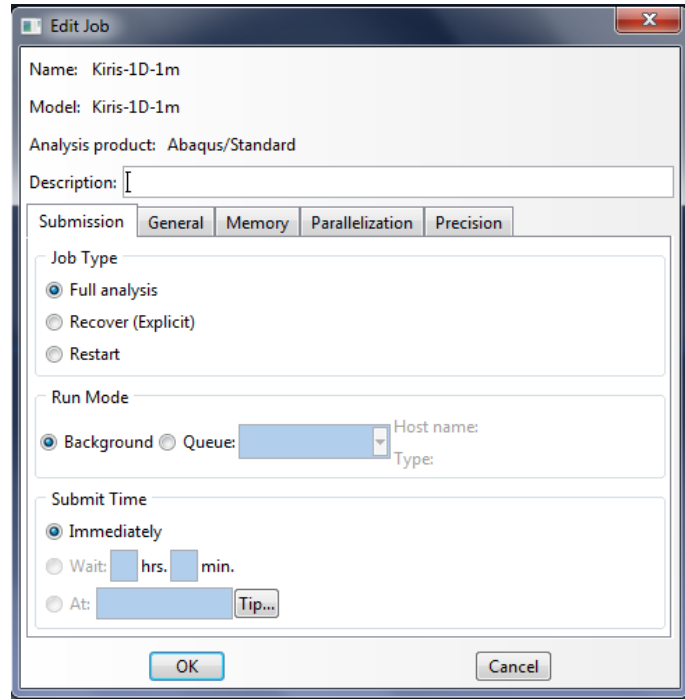
5.5.13 Jobs Menüsü

Modellerin çözüm işleminin başlatıldığı bölümdür. Çözüm esnasında uygulanacak çözüm adımları diğer bilgiler bu kısımda belirtilir.

Analysis alt başlığı altında **Jobs** ikonuna çift tıklanır ve **Create Job** pencersi açılır. Burda oluşturulan tüm modeller liste halinde sıralanmaktadır ve çözümü yapılmak istenen model bu listeden seçilir. Listedeki Kiris-1D-1m seçilir ve isim olarak Kiris-1D-1m girilir (Şekil 5.25). **Continue** butonuna basılır ve **Edit Job** penceresi açılır (Şekil 5.26).



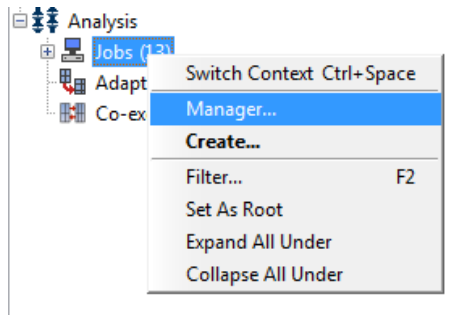
Şekil 5.25 Çözümün tanımlanması



Şekil 5.26 Edit Job penceresi

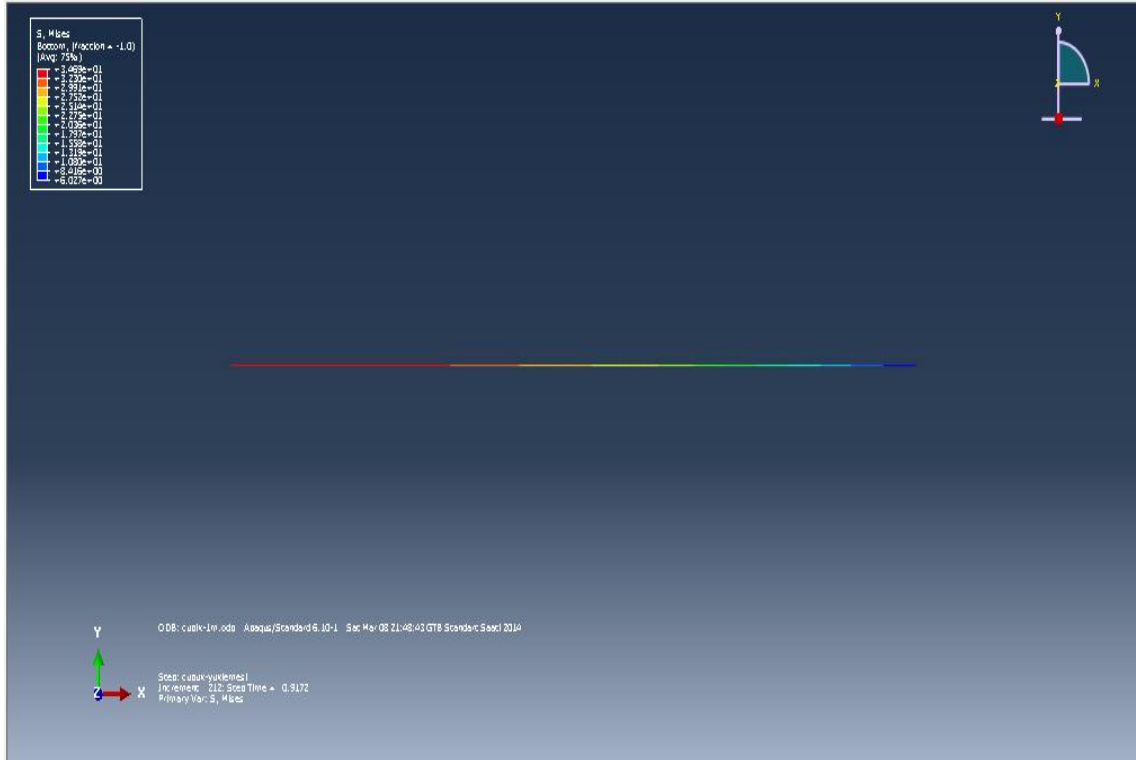
Bu pencerede 5 adet sekme bulunmaktadır: **Submission**, **General**, **Memory**, **Parallelization** ve **Precision**. Burada **Memory** sekmesinde RAM üzerinde kullanılacak alan kısıtlanabilmektedir. **Parallelization** sekmesinde çok çekirdekli bilgisayarlarda kullanılacak çekirdek sayısı belirtilebilmektedir. Burada en altta bulunan Pencere onaylanır ve kapatılır. Artık çözüm başlatılabilir.

Analysis alt başlığı altında Jobs ikonuna sağ tıklanır ve açılan menüden Job Manager'e tıklanır (Şekil 5.27). Açılan penceredeki listede oluşturulan çözüm **Kiris-1D-1m** seçilir ve pencere sağ kenarında yer alan **Submit** butonuna tıklanır.

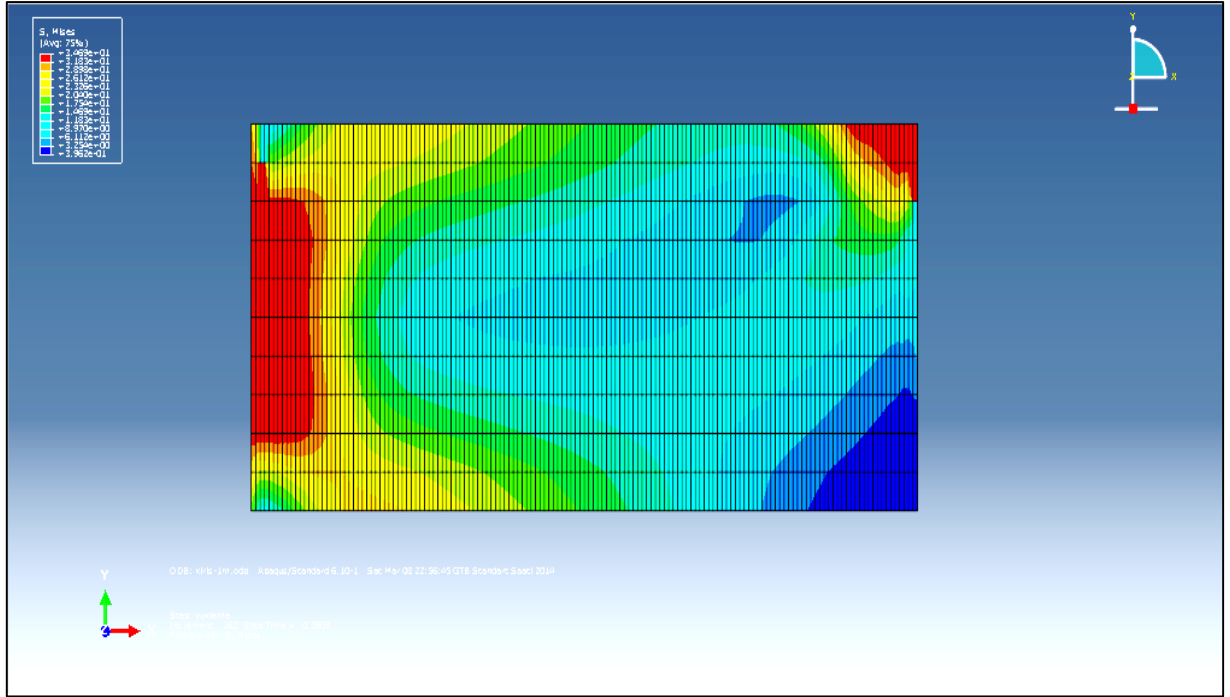


Şekil 5.27 Job manager

Çözüm işlemi hakkında bilgi **Job Manager**'da **Status** kısmında belirtilmektedir. Çözüm tamamlanması ardından, sağ tarafata bulunan **Results** butonuna tıklanır ve çözüme ait sonuçlar görsel olarak ekrana gelir (Şekil 5.28).



Şekil 5.28 (a) 1 metrelik kiriş modelleri için Mises gerilme dağılımı sonuçlarının görsel olarak gösterimi: 1 boyutlu ve 2 boyutlu kiriş modelleri



Şekil 5.28 (b) 1 metrelik kiriş modelleri için Mises gerilme dağılımı sonuçlarının görsel olarak gösterimi: 1 boyutlu ve 2 boyutlu kiriş modelleri

5.5.14 Analiz Sonuçlarının Gösterimi

Abaqus menü çubuğu üzerinde **Tools>>XY data>>Create** tıklanarak **Create XY data** penceresi açılır. Buradaki seçeneklerden **ODB History Output** seçilir ve **Continue** butonuna tıklanır. Burada karşımıza **History Output** isimli bir pencere çıkar. Burada daha öncesinde belirlenmiş olan noktalar için istenen çözüm sonuçları sıralı olarak verilmektedir. Ayrıca bu ifadeler üzerinde çift tıklandığı vakit, grafiksel olarak gösterimi de Abaqus'te mümkündür.

5.6 Kiriş Modellerinin Yük-Yer Değiştirme Sonuçları

Kirişlerin analiz sonuçları derlenmiş ve yük-yer değiştirme ($P-\Delta$) grafikleri oluşturulmuştur. Herbir kiriş modelinde kullanılan betona ait notasyon o kirişe isim olarak verilmiş ve ek bir isimlendirmeye gidilmemiştir. Malzemede ve geometride doğrusal olmayan davranış tüm modeller için uygulanmış ve hesaplar bu etkiler dikkate alınarak yapılmıştır. Doğrusal olmayan etkiler ile gerçeğe uygun kiriş davranışının elde edilmesi amaçlanmıştır.

Beton gevrek bir malzemedir ve betonarme hesaplarında çekme gerilmesi taşımadığı varsayılmaktadır. Bu nedenle, Abaqus programında oluşturulan modellerde çekme gerilmelerine bakılmamış, basınç gerilmeleri gözönüne alınarak irdelenmelerde bulunulmuştur. Her bir kiriş modeli için elde edilen yük-yer değiştirme sonucu, geleneksel betonlu kiriş NAC model sonucu ile karşılaştırılmıştır. Kiriş modelleri sonuçları, öncelikle kiriş boyutlarının ve kiriş uzunluğunun yük-yer değiştirme eğrileri üzerindeki etkisi incelenmiştir. Buradan bulunan sonuçlara paralel olarak 2 boyutlu 4 metre kirişin yük-yer değiştirme eğrisi sonuçları kullanılarak, yük-yer değiştirme eğrisi üzerine malzeme (beton ve silis dumanı) etkisi irdelenmiştir.

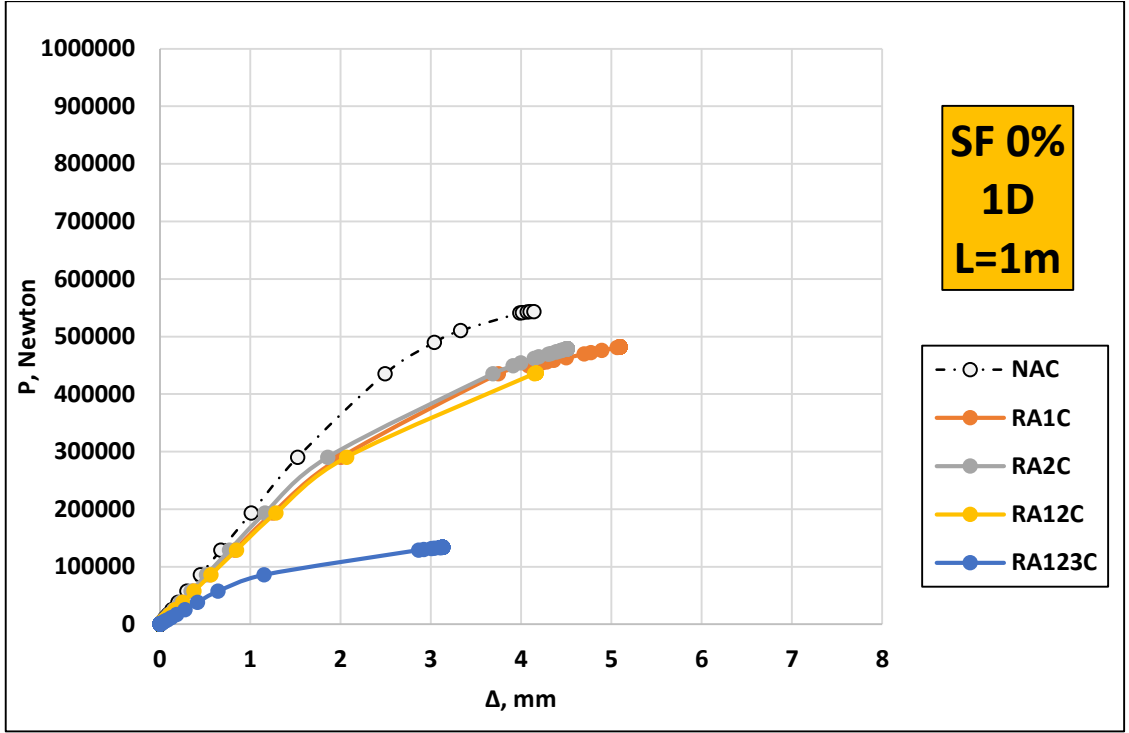
5.6.1 Modellemede Boyut ve Uzunluk Etkisinin Kiriş Yük-Yer Değiştirme Eğrileri Üzerindeki Etkisi

Kiriş modelleri 1 boyutlu ve 2 boyutlu olmak üzere 1 metre ve 4 metre açıklıklı 250x500mm kesitli olarak yapılmıştır. Ayrıca, kiriş boyu/yüksekliği oranı ile yük-yer değiştirme ilişkisi de incelenmiş ve aynı malzemeye sahip (tüm modellerde NAC kullanılmıştır) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre, 2 metre ve 4 metre boyunda kirişler modellenerek yük-yer değiştirme eğrileri incelenmiştir. Karşılaştırmalar yük-yer değiştirme eğrileri üzerinden yorumlanmıştır.

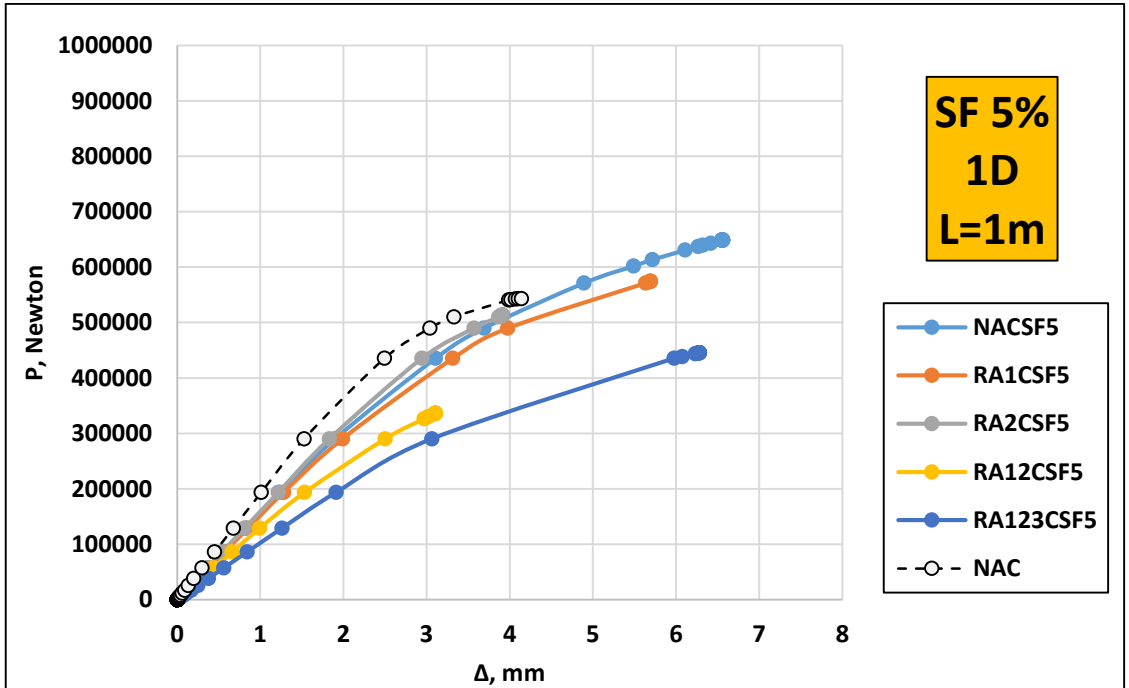
5.6.1.1 Kirişlerde Boyut ve Uzunluk Değerlerinin Karşılaştırılması

1 boyutlu ve 2 boyutlu, 1 metre ve 4 metre uzunluklu kiriş yük- yer değiştirme eğrileri grafikler halinde Şekil 5.29-30'da verilmiştir. 1D ve 2D modellere ait yük-yer değiştirme eğrileri incelendiğinde, 2D modellerin daha büyük yer değiştirme verdiği görülmektedir. Bunun nedeni 2D modellerin serbestlik derecesinin daha fazla olmasından dolayı, 1D modellere göre daha esnek olmasıdır. Ayrıca, kirişin açıklığının 1m olması durumunda, kiriş narinlik oranı, yani kiriş yüksekliği/kiriş açıklığı oranı 0.5 olduğundan 1m uzunluklu kiriş artık çubuk kuramına uymayacak ve levha davranışı gösterecektir. Bu bağlamda, kiriş açıklığının 1m olması durumunda, 1D ve 2D modellerin davranışı arasında belirgin bir davranış farkı gözlenmektedir. Şekil 5.30'dan görüleceği üzere, kiriş açıklığı 4m olduğunda kiriş çubuk kuramına yakın bir davranış

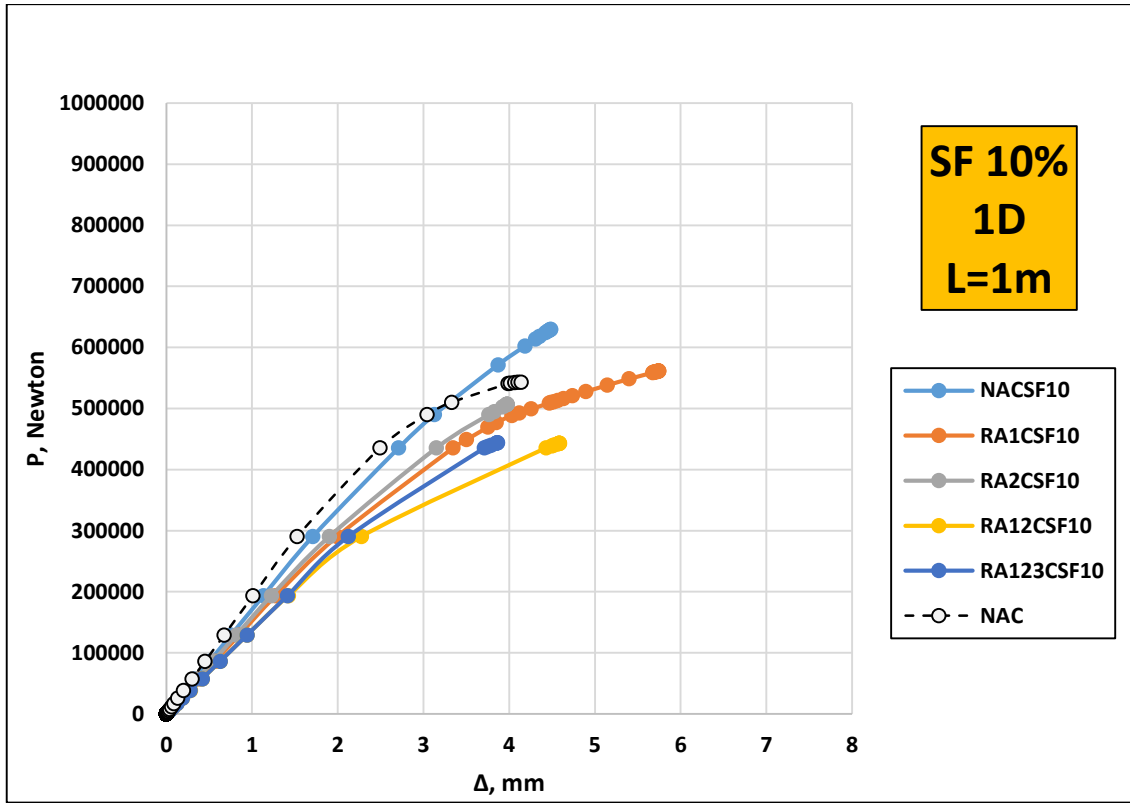
sergilediğinden, 1D ve 2D modeller için elde edilen yük-yer değıştirme eğrileri birbirine benzer davranış göstermektedir.



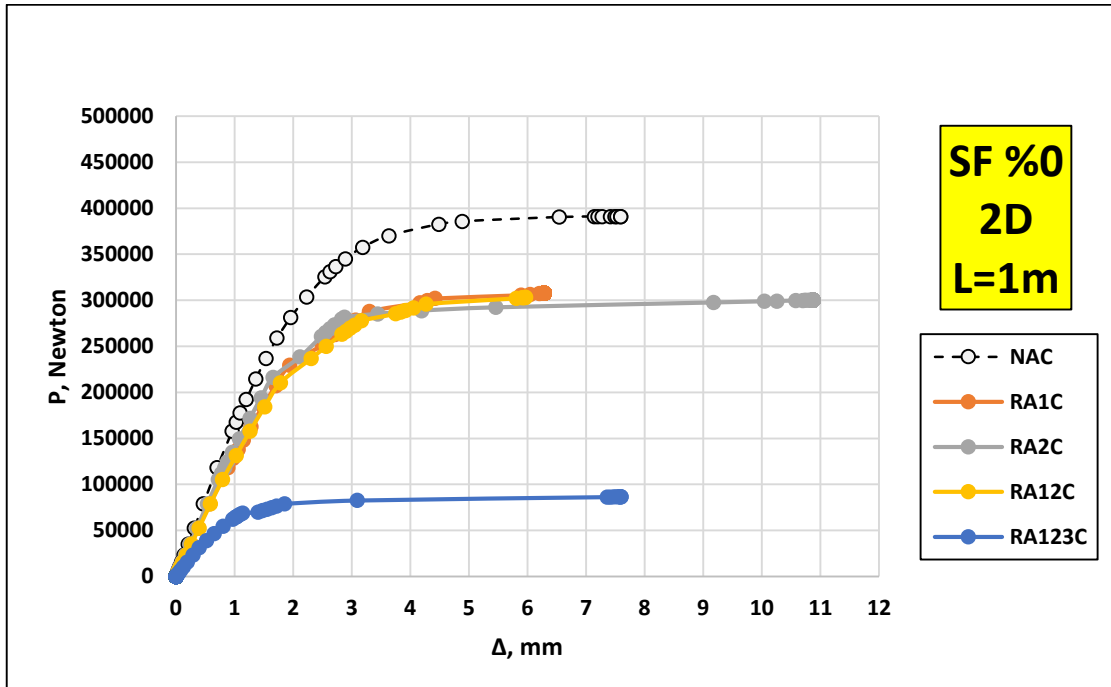
Şekil 5.29 (a) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



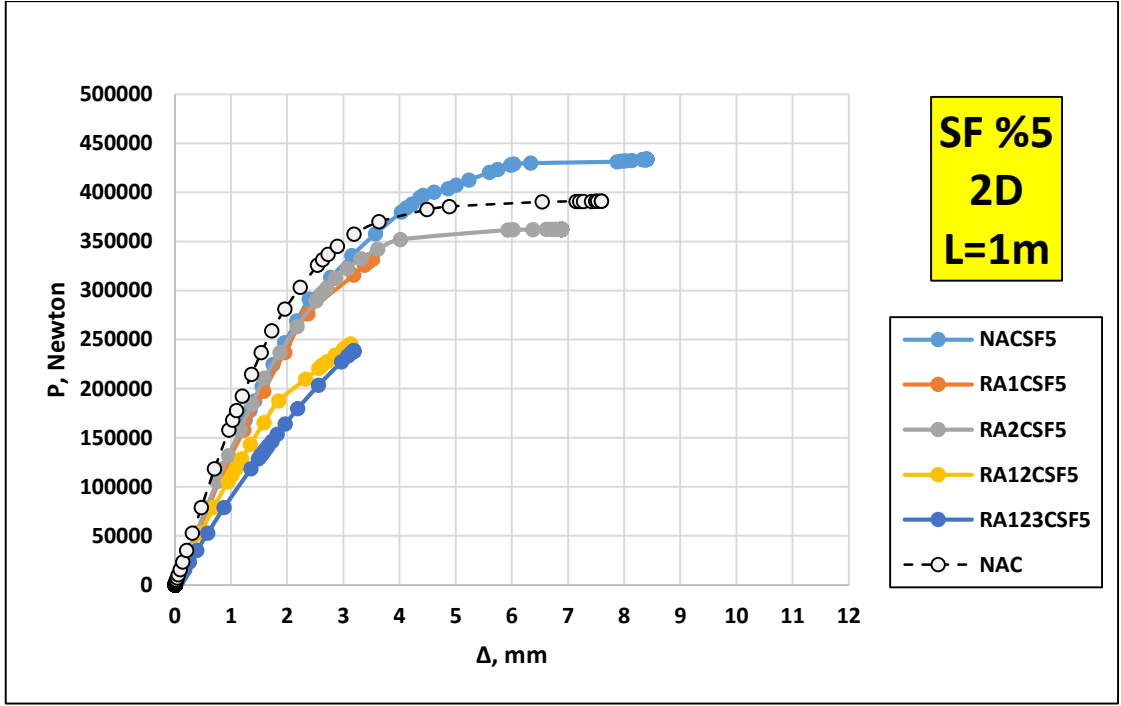
Şekil 5.29 (b) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



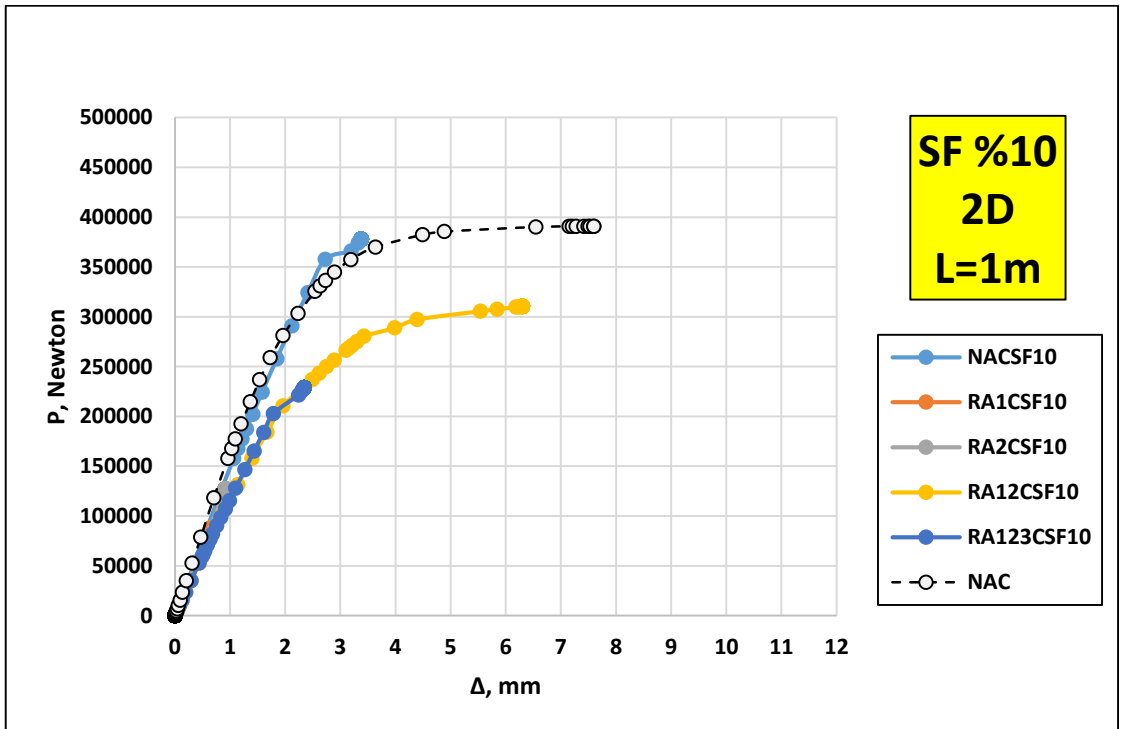
Şekil 5.29 (c) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



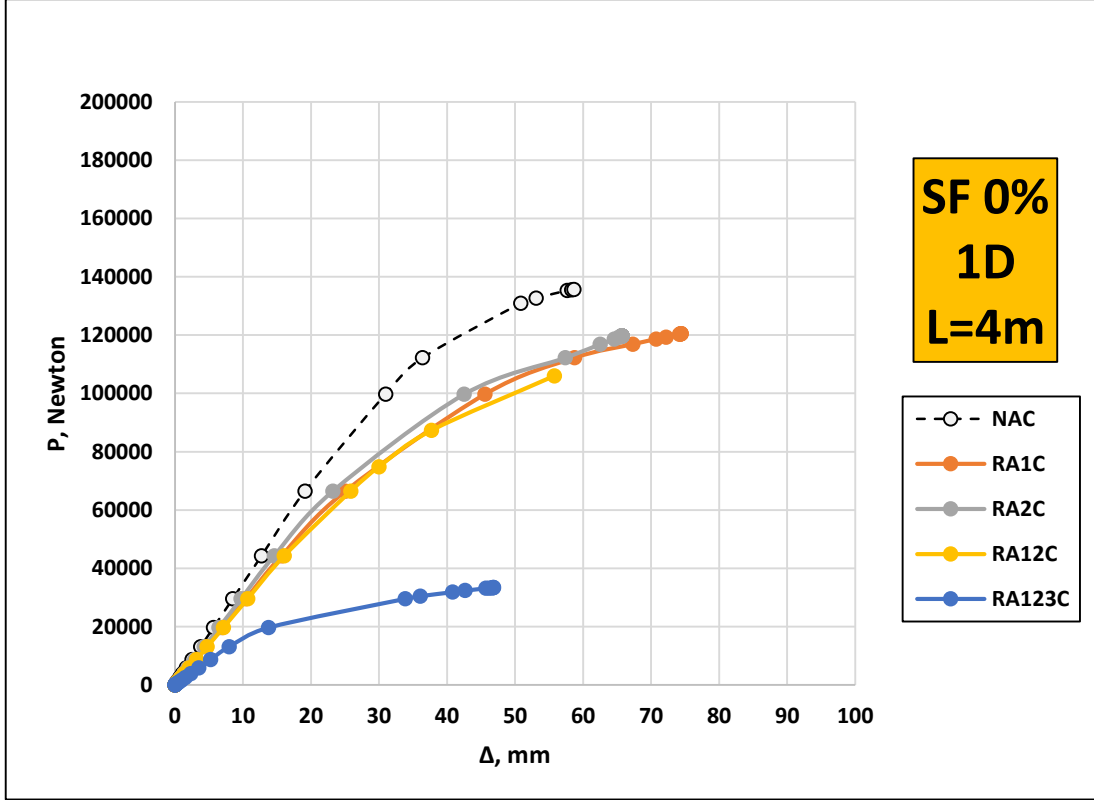
Şekil 5.29 (d) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



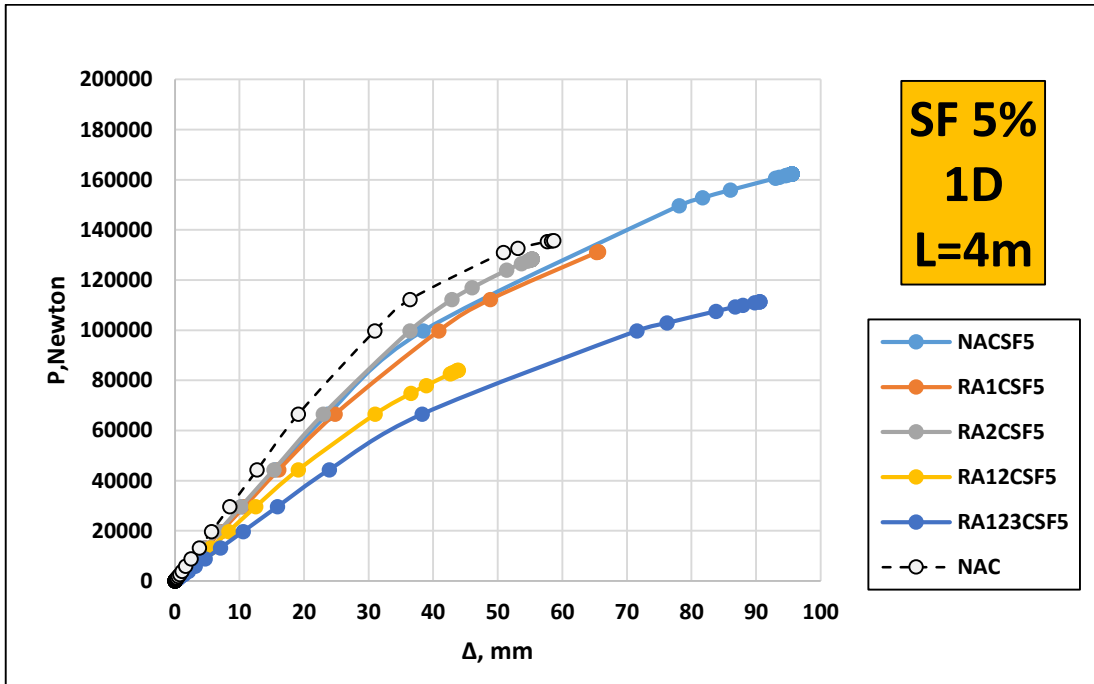
Şekil 5.29 (e) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



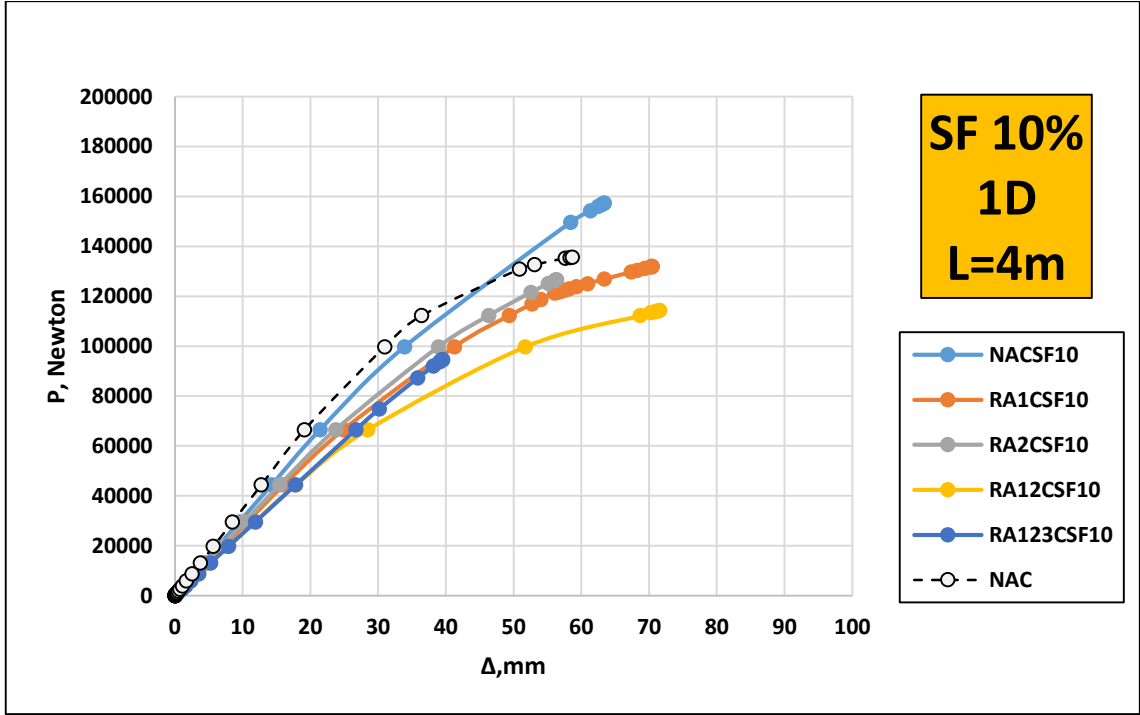
Şekil 5.29 (f) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 1 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



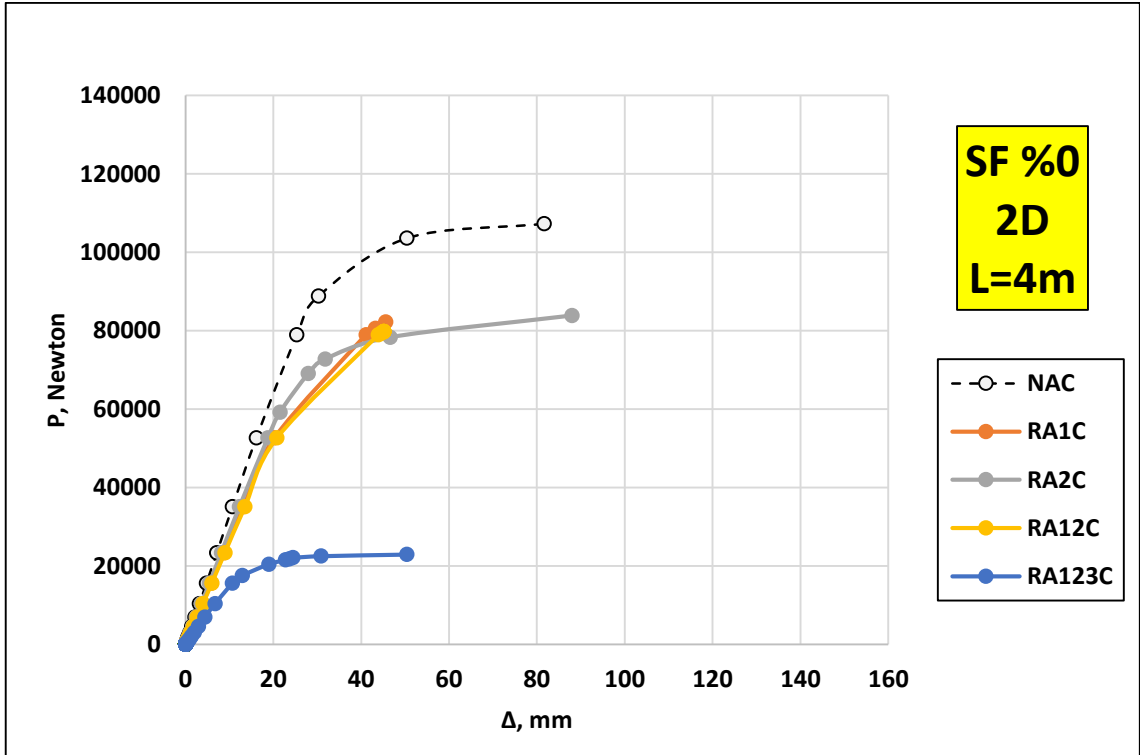
Şekil 5.30 (a) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



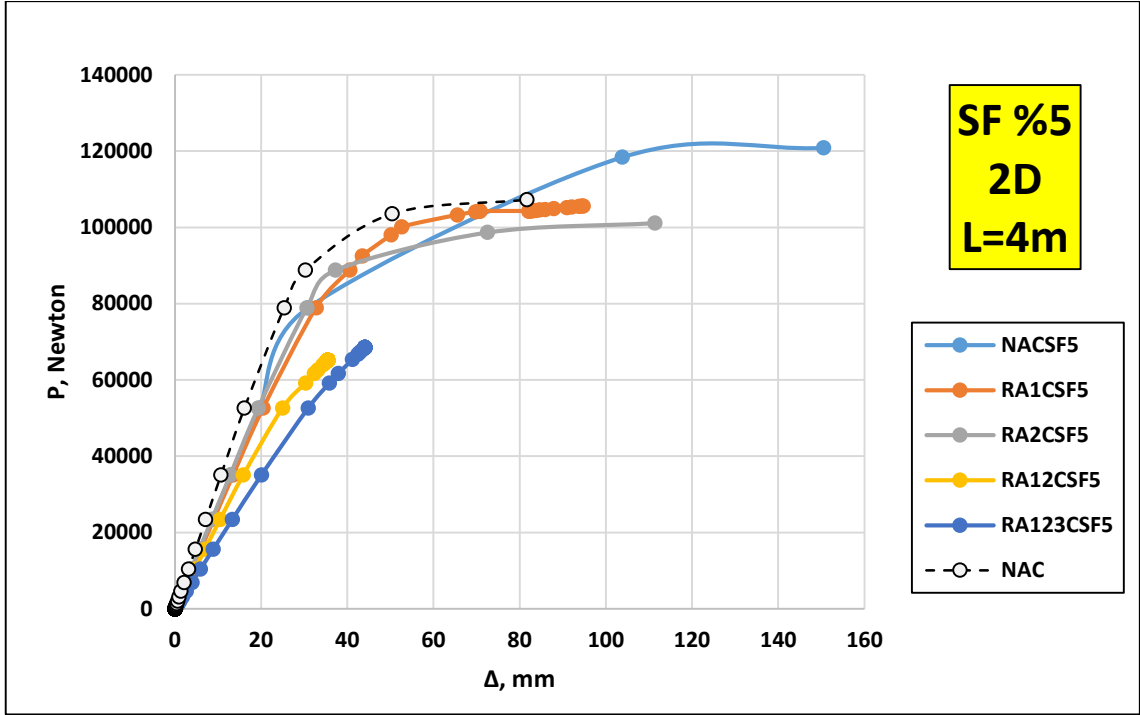
Şekil 5.30 (b) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



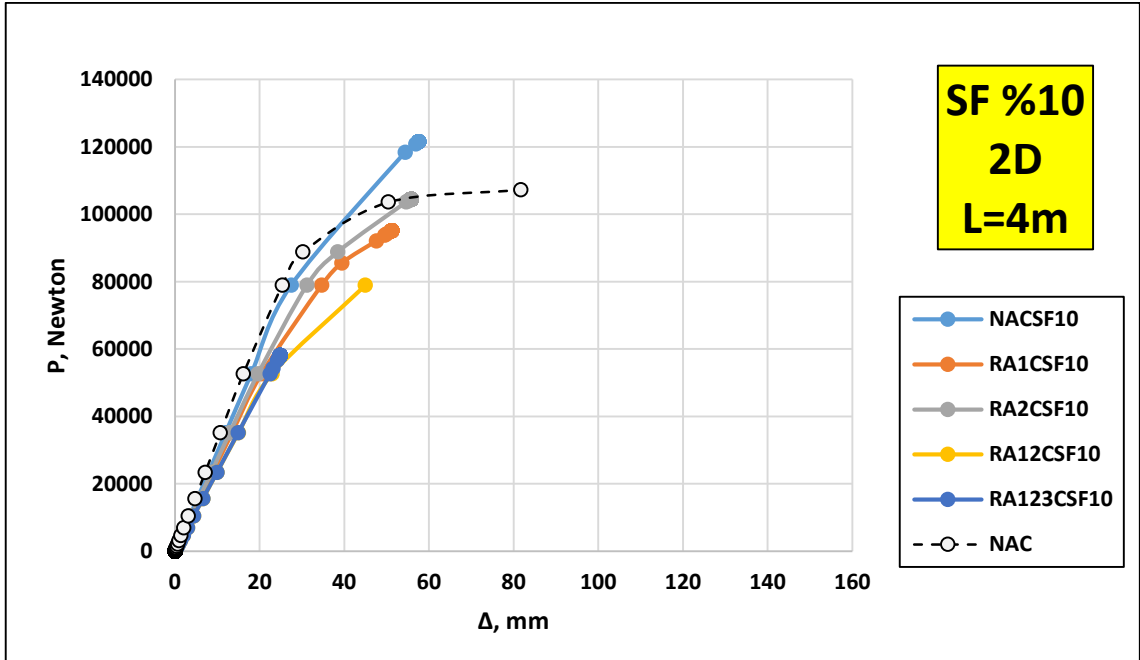
Şekil 5.30 (c) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



Şekil 5.30 (d) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



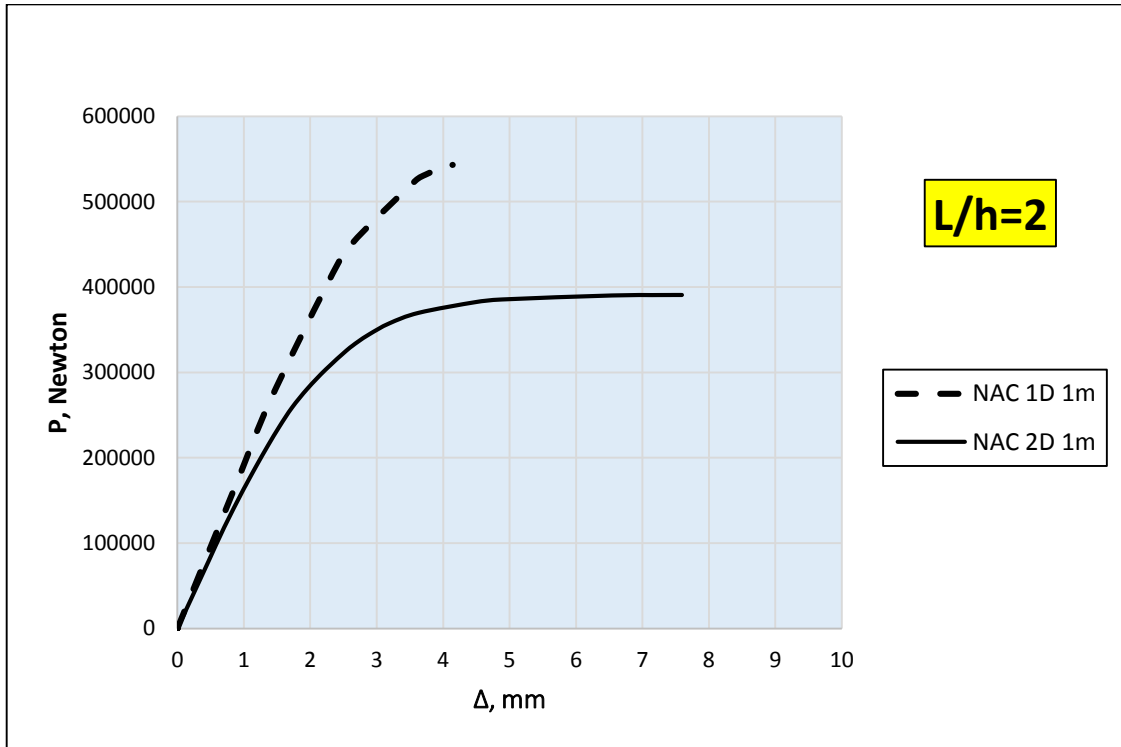
Şekil 5.30 (e) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri



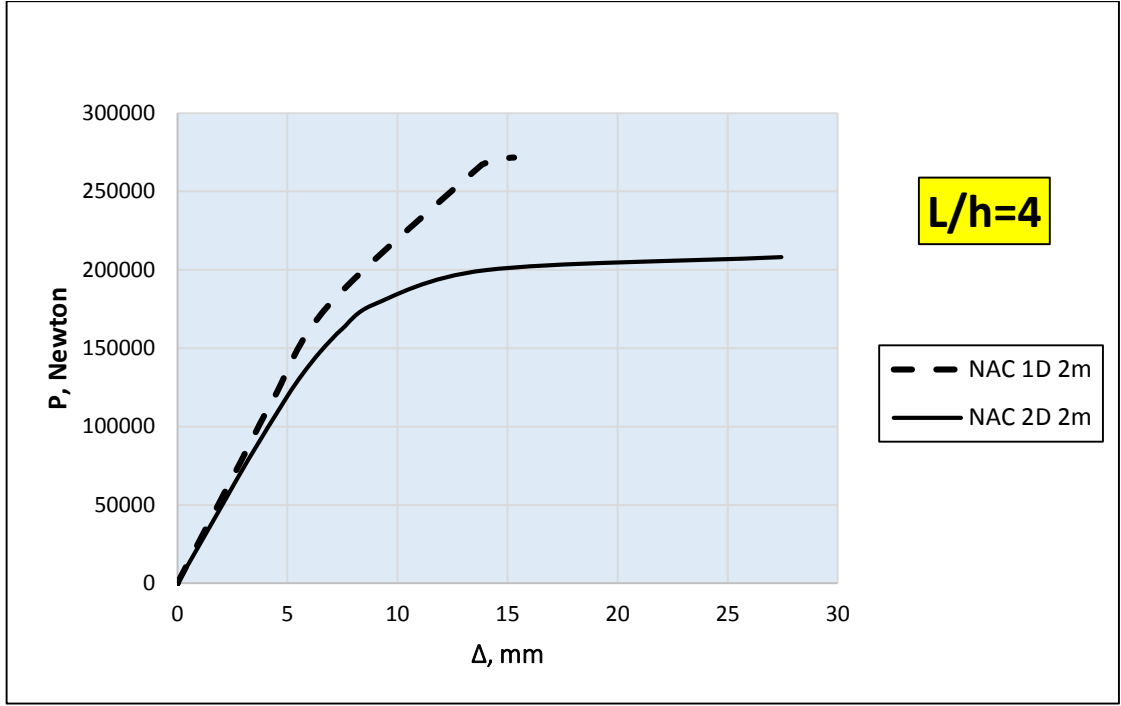
Şekil 5.30 (f) 1 boyutlu ve 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlerin yük-yer değiştirme eğrileri

5.6.1.2 Kiriş Boy/Yükseklik Oranının Yük-Yer Değiştirme Eğrisi Üzerine Etkisi

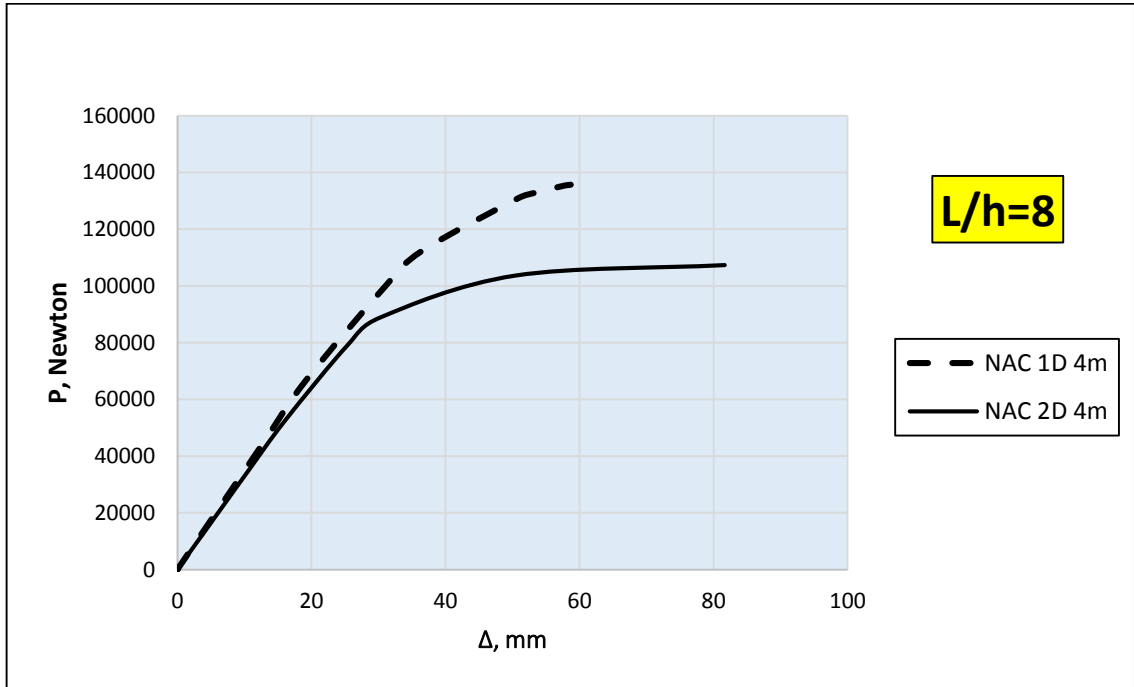
1 metre, 2 metre ve 4 metre uzunluklu 1 boyutlu ve 2 boyutlu kirişlere ait yük-yer değiştirme grafikleri Şekil 5.31'deki gibidir. Şekil 5.31'dan görüleceği üzere, 1 boyutlu kirişler 2 boyutlu kirişlere göre daha rijit bir davranış sergilemişlerdir. Öte yandan, 2 boyutlu kirişlerin uzunluklarındaki artış ile bu kirişlerin davranışı, 1 boyutlu kirişlerin davranışı ile örtüşmeye başlamaktadır. Özellikle L/h oranı 8 olan kirişlerin davranışlarına bakıldığında, bu oranın artması ile kirişin elastik olarak davrandığı eğrinin ilk kesimlerinde, linner bölge 1 boyutlu ve 2 boyutlu kirişlerde üst üste örtüşmeye başlamıştır.



Şekil 5.31 (a) $L/h=2$, $L/h=4$ ve $L/h=8$ olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için)



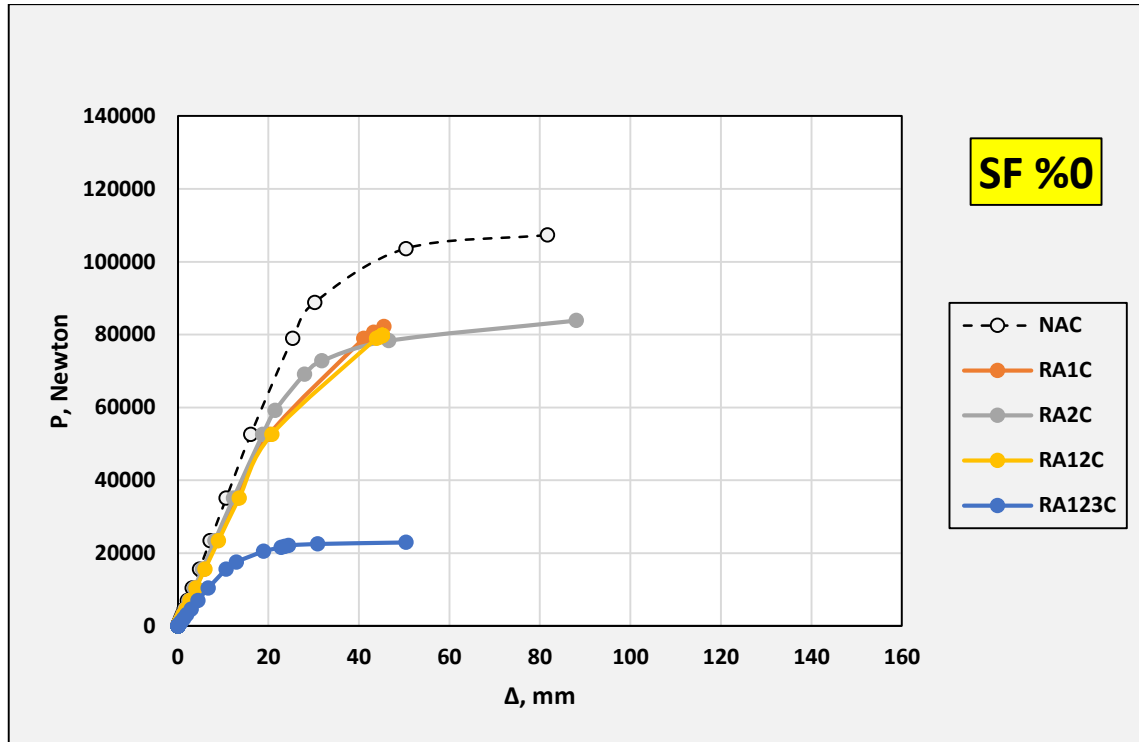
Şekil 5.31 (b) $L/h=2$, $L/h=4$ ve $L/h=8$ olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için)



Şekil 5.31 (c) $L/h=2$, $L/h=4$ ve $L/h=8$ olan kirişler için yük-yer değiştirme (NAC kirişleri için)

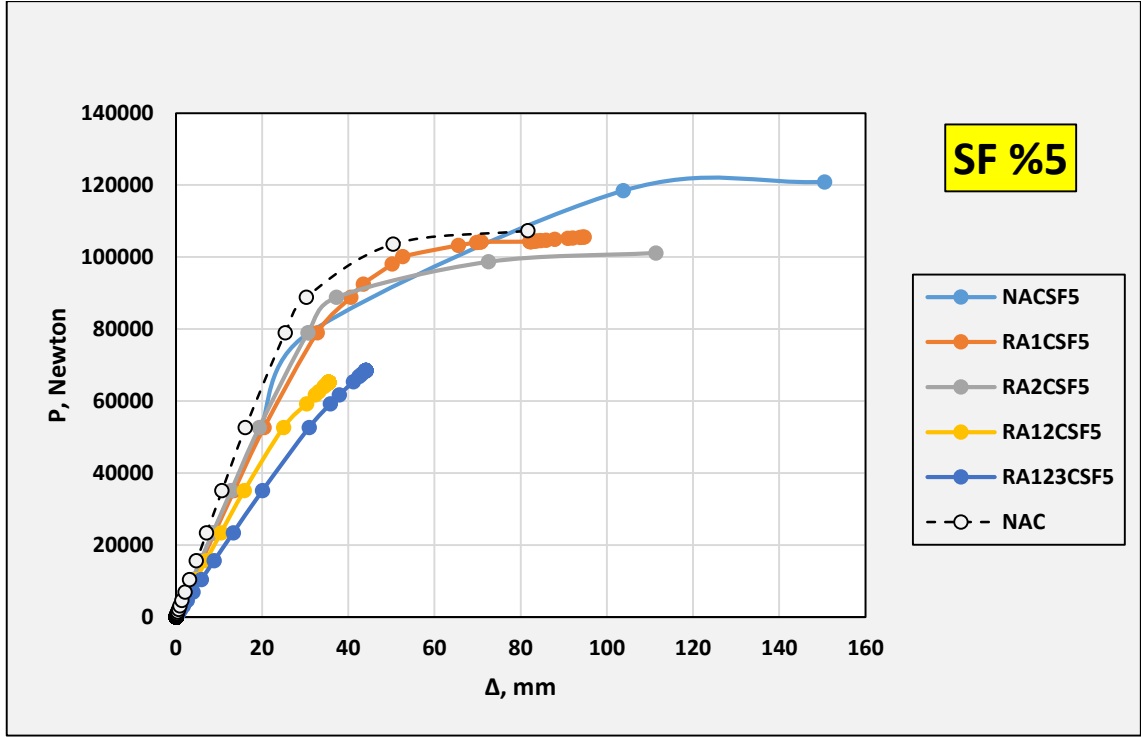
5.6.2 Silis Dumanı ve Geri Kazanılmış Agregaların Kiriş Yük-Yer Değiştirme Eğrisi Üzerine Etkisi

Silis dumanı ve geri kazanılmış agregaların kiriş davranışına etkisini incelemek üzere çözümlü yapılan kiriş modellerinden gerçeğe daha iyi sonuçlar veren 2 boyutlu model tercih edilmiştir. Ayrıca uzunluğun artmasıyla modelde yük-yer değiştirme sonuçlarının daha belirgin halde açığa çıktığı durum 4 metrelik kirişte gözlenmiştir. Bu nedenlerden ötürü 2 boyutlu 4 metre uzunluğa sahip kirişe ait yük-yer değiştirme sonuçları üzerinden irdelenmeler yapılacaktır.



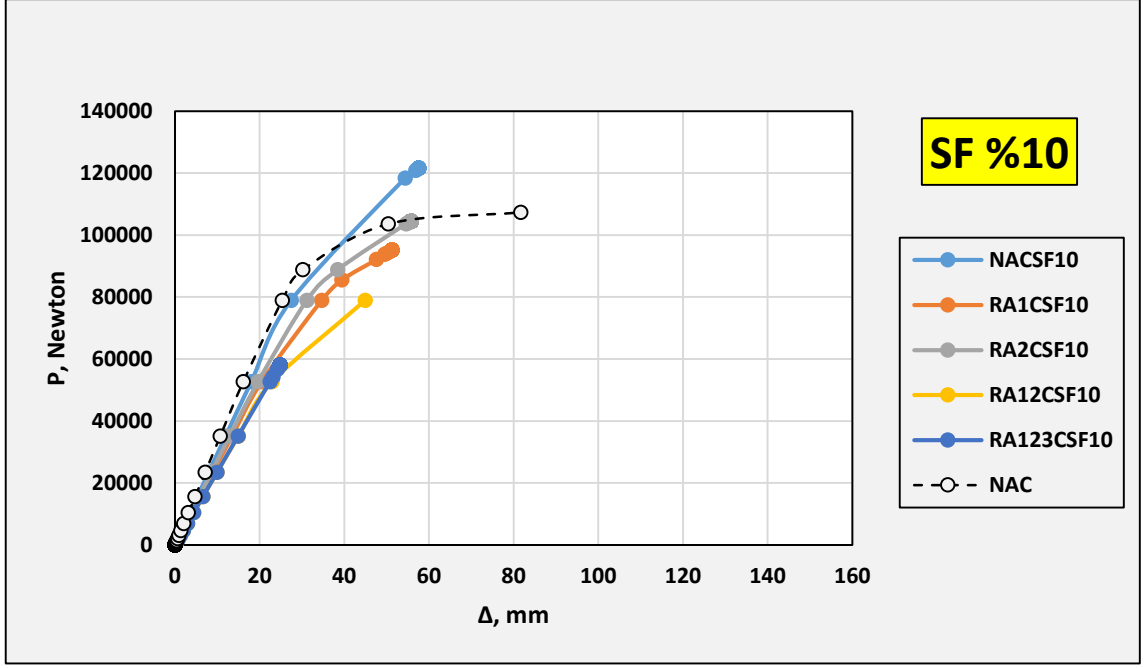
Şekil 5.32 %0 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri

Silis dumansız betonları içeren kirişlerden geleneksel betonlu kirişin yük altındaki gösterdiği performansın daha yüksek olduğu tespit edilmiştir (Şekil 5.32). Diğer yönden geri kazanılmış agreganın kullanım oranının %100 olduğu RA123C betonunun en düşük performansı gösterdiği görülmektedir. Geri kazanılmış agreganın boşluklu yapısı ve düşük dayanım RA123C kirişinin yük altındaki performansını olumsuz etkilemiştir. Öte yandan diğer oranlarda (%30-40-70) geri kazanılmış agreganın kullanılan betonla modellenmiş kirişlerin analiz sonuçlarında yük-yer değiştirme eğrileri yaklaşık sonuçlar vermiştir.



Şekil 5.33 %5 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri

%5 silis dumanı katkılı beton gruplarında gözle görülür bir performans artışı elde edilmiştir (Şekil 5.33). Özellikle NACSF5, RA1CSF5, RA2CSF5 ve RA123CSF5 kirişlerindeki artış, NAC kirişine nazaran yakın ve bazen daha iyi performans göstermiştir. NACSF5 kirişi performansı ise en yüksek olanıdır. Burada %5 silis dumanı katkısı ile RA1CSF5 ve RA2CSF5 kirişlerindeki silis dumanının geri kazanılmış agregalı betonun olumsuz etkilerini iyileştirme etkisi ile NAC betonuna yakın bir performans sergilemesi manidardır. Bu kirişler içerisinde RA123CSF5 kirişindeki performans artışı da etkileyici bulunmuştur. Çünkü %0 silis dumanı katkısı içeren durumuna (RA123C) nazaran yük taşıma kapasitesi yaklaşık 3-4 kat kadar artmış görünmektedir (Şekil 5.33). Buradan hareketle söylenebilir ki, silis dumanı geri kazanılmış agregalarda görülen olumsuz özellikler olan boşluk yapısı ve çatlakları iyileştirmiştir. Özellikle RA123CSF5 kirişi buna iyi bir örnektir. Özet olarak söylenebilir ki %5 silis dumanı katkısı kirişlerin sünekliğini artırmıştır.



Şekil 5.34 %10 Silis dumanı içeren 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişlere ait yük-yer değiştirme eğrileri

Silis dumanı katkısının %10 olduğu kirişlerde ise rijitliğin artmasıyla genel olarak silis dumanı katkısız kirişlere nazaran performanslarında olumlu artışlar gözlenmiştir (Şekil 5.34). Geri kazanılmış agreganın betona olan olumsuz etkisi %10 silis dumanı katılmasıyla daha çok azaltılmıştır. Özellikle RA1CSF10 kirişi NAC kirişine yakın ve daha iyi sonuçlar vermesi bakımından etkileyicidir. Diğer etkileyici performans ise RA123CSF10 kirişindedir. Taşıma kapasitesi %5 ve %10 silis dumanı oranları için artan şekilde olumlu olarak etkilenmiş ve %10 oranında en iyi halini almıştır. Herbir silis dumanı artışında süneklik düzeyinde iyileşme gözlenmiştir. Geleneksel betonlu kiriş NACSF10'da ise %5 silis dumanı katkısı ile performansı artmış fakat %10 silis dumanı katkısı rijitliğini fazla artırdığı için sünek davranışı kısıtlamıştır. %10 silis dumanı içeren betonlarda bu durum genel olarak gözlenmiştir (Şekil 5.34).

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu tez çalışması kapsamında %0-5-10 silis dumanı içerikli toplamda 3 seri beton karışımı üretilmiş, her bir beton serisinde doğal agregalar (kum, ince ve iri agregalar) ile geri kazanılmış agregaların (geri kazanılmış kum, ince ve iri agregalar) yer değiştirilmesi sonucunda 5 grup beton üretilmiştir. Her bir serideki beton grupları sırasıyla %0-30-40-70-100 oranlarında geri kazanılmış agregaya içermektedir. Üretilen betonlar 20 ± 2 °C sıcaklıktaki su dolu havuzlarda 28 gün boyunca kür edilmiştir. Kürün ardından betonların fiziksel (su emme ve yoğunluk) ve mekanik (basınç ve çekme) özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca, basınç dayanımı testleri esnasında herbir grup için yük-yer değiştirme değerleri kaydedilmiştir. Elde edilen fiziksel ve mekanik özellikler yorumlanmış ve dünyada genel anlamda tanınırlığa sahip standartlarda sunulan elastisite modülü formülleri kullanılarak deneysel ve teorik sonuçlar karşılaştırılmıştır. Ayrıca kaydedilmiş yük-yer değiştirme değerleri kullanılarak her bir beton grubu için gerilme-şekil değiştirme eğrileri oluşturulmuştur. Bu eğriler kullanılarak elastik enerji, plastik enerji ve tokluk değerleri herbir beton grubu için hesaplanmıştır.

Deneysel analizler ve veriler kullanılarak Abaqus Paket programında 1 boyutlu ve 2 boyutlu 25x50cm en kesitli 1-2-3-4-5 metre boy uzunluklarına sahip kirişler modellenmiştir. Model bir ucu ankastre diğer ucu serbest sınır şartlarına sahiptir. Modelin oluşturulması ardından serbest uca 1000 kN yük adım adım uygulanmış ve modelin çözümü neticesinde serbest uca ait yük-yer değiştirme verileri elde edilmiştir.

Yapılan deneyler ve modellemeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- Betonda doğal agregaya yerine geri kazanılmış agreganın kullanımı %30 oranında geri kazanılmış agregaya ve %5-10 oranlarında silis dumanı ile mümkündür. *Bu açıdan RA1CSF10 ve RA2CSF10 basınç dayanımı ve beton sınıfı bakımından C30/37 betona eşdeğerdir.* Bu değer NAC içinde aynı sonuca denk gelmektedir ki NAC'nin beton sınıfı C30/37'dir. *Şurası da dikkat çekicidir ki; %100 geri kazanılmış agregaya ile C30/37 hedef basınç dayanımı kıstas alınarak üretilen RA123CSF5 ve RA123CSF10 betonları C25/30 dayanım sınıflarını sağlamışlardır.* Silis dumanı iyileştirmesi ile %100 geri kazanılmış agregaya kullanılan betonların basınç dayanımı olumlu yönde etkilemiştir.
- Betonda geri kazanılmış agreganın kullanımı ile çekme dayanımı olumlu olarak etkilenmiştir. Fakat %40 ve sonrasında geri kazanılmış agreganın içeriği çekme dayanımını azaltmıştır. Silis dumanının içeriği ile geri kazanılmış agreganın kullanımı durumunda, %30 geri kazanılmış agregaya ve 0 ve/veya 5% silis dumanı katkısı uygun görülmüştür.
- Betonda geri kazanılmış agreganın kullanımı ile elastisite modülü değerleri azalma göstermiştir. Silis dumanı %5 ve %10 değerlerinde betona katılması geri kazanılmış agreganın olumsuz etkisini azaltmıştır.
- Betonda yoğunluk değerleri, genel olarak geri kazanılmış agreganın betonda kullanım oranı ile ters orantılı şekilde değişmiştir. Fakat su emme değeri ise paralel olarak değişme göstermiştir. *Buna ek olarak, betonun olumsuz olarak etkileneceği su emme parametresinin yüksekliği gerekli önlemlerin alınması (su yalıtımı vs.) ile önlenabilmektedir. Aynı basınç dayanımı sınıfında daha hafif bir betonun (geri kazanılmış agregalı betonun) kullanımı yapı sabit yüklerini azaltacağı için yanıl yükler altında (deprem, rüzgâr, vs.) yapı davranışı olumlu şekilde etkilenecektir.*
- Betonda geri kazanılmış agreganın kullanımı oranı %30'a kadar, elastik enerji kapasitesi olumlu yönde artma göstermektedir. Fakat betonda çeşitli geri kazanılmış agreganın oranları ile plastik enerji kapasitesi ve tokluk arasında bir ilişki kurulamamaktadır.

- Abaqus modelleri neticesinde elde edilen grafik sonuçlara bakıldığında, L/h oranı artışı ve kiriş modelinin 2D olarak modellenmesi ile gerçek kiriş davranışına yaklaşıldığı gözlenmiştir. Özellikle 2 boyutlu ve 4 metre uzunluklu kiriş bu açıdan olumlu sonuçlar sergilemiştir. Silis dumanı ve geri kazanılmış agrega özelliklerinin kiriş davranışı üzerine etkisini incelemek için, yukarıda bahsedilen 2 boyutlu 4 metre uzunluklu kirişe ait modelin yük-yer değiştirme grafikleri irdelenmiştir.
- Abaqus modelleri analizleri neticesinde, kiriş modellerinde kullanılan silis dumanı içeriği bulunmayan geri kazanılmış agregalı beton parametresi içeren modeller (RA1C, RA2C, RA12C ve RA123C), NAC modeline göre düşük performans göstermişlerdir. Malzemede bulunan süreksizlikler ve düşük malzeme özellikleri kiriş modeli davranışında etkili olmuştur. *Diğer yönden RA1CSF5 ve RA2CSF5 modelleri, NAC modeline yakın performans sağlayarak benzer yük-yer değiştirme eğrisi vermişler ve benzer sünek davranış göstermişlerdir. Bu modellerde kullanılan RA1CSF5 ve RA2CSF5 betonlarında sırasıyla %40 ve %30 oranlarında geri kazanılmış agrega ve %5 oranında silis dumanı içeriği mevcuttur.*
- Abaqus model analizleri sonuçlarına bakıldığında, *%5 silis dumanı katkısının hemen hemen tüm modellerde performansa olumlu şekilde yansımıştır ve sünek davranışa katkısı olumludur. Diğer yönden %10 silis dumanı katkısı için de benzer yorumları yapmak mümkündür. Fakat %10 silis dumanı katkısı rijitliği artırıcı etki göstermiş ve sünekliği göreceli olarak %5 silis katkısına göre daha az artırmıştır.*

Modelleme analizlerinden de görüleceği üzere, yapı elemanı sünek davranışı üzerine malzeme özelliklerinin etkisi büyük olmaktadır. Bu nedenle kullanım yerine ve tipine göre malzeme özelliklerinin kullanımı şekillenecektir ve şekillenmesi malzemenin en uygun değerde kullanımını ve faydalanılmasını sağlayacaktır. Bu bağlamda yukarıda değinilen çıkarımlara istinaden söylenebilir ki; geri kazanılmış agreganın betonda doğal agrega olarak kullanımı mümkündür. Model analizleri neticesinde edinilen bilgilere istinaden RA1CSF5 ve RA2CSF5 betonları uygulanan yük altında sünek ve NAC ile benzer davranış sergilemişlerdir. Potansiyel mühendislik uygulamalarında, geri

kazanılmış agregaların tipi, içeriği ve diğer özellikleri bakımından özelliklerinin detaylı şekilde belirlenmesi ve potansiyel mühendislik yapısına uygulanarak kullanımının sağlanması önem arzetmektedir. Sonuç olarak değinilebilir ki; çevreci konseptin oluşmasında, sürdürülebilirliğin sağlanmasında, değışik boyuttaki dünya ekonomilerinde sürdürülebilirliğin devam edebilmesinde ve en önemlisi doğal kaynakların en uygun düzeyde kullanımında geri dönüşüm ve geri dönüşüm uygulamalarının önemi kendisini kanıtlamış ve yakın gelecekte daha da kanıtlayacak olan bir olgudur.

KAYNAKLAR

-
- [1] European Aggregates Association, (2012). Annual Review 2011–2012, Brussels, Belgium.
 - [2] European Parliament, (2008). Directive 2008/98/EC of The European Parliament and of The Council of 19 November 2008 on Waste and Repealing Certain Directives, 312, Brussels, Belgium.
 - [3] Ölmez E. ve Yıldız Ş., (2008). “İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Yönetimi ve Planlanan İstanbul Modeli”, Kent Yönetimi, İnsan ve Çevre Sorunları '08 Sempozyumu, 2-6 Aralık 2008, İstanbul, Türkiye.
 - [4] Topçu İ. B., (1997). “Physical and Mechanical Properties of Concretes Produced with Waste Concrete”, Cem Concr Res, 27: 1817-1823.
 - [5] Çelik B., (2007). Recycled Aggregate Concrete at Elevated Temperatures, Doktora Tezi, Boğaziçi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [6] Tüfekçi M. M., (2011). Geri Kazanılmış Agregaların Beton Üretiminde Yeniden Kullanılabilirliğinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [7] Erdal B., (2011). Geri Kazanılmış Agregalar ile Üretilen Polipropilen Lif Katkılı Betonların Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
 - [8] Topçu İ. B. ve Günçan N. F., (1995). “Using Waste Concrete As Aggregate”, Cement and Concrete Research, 25: 1385-1390.
 - [9] Corinaldesi V., (2010). “Mechanical and Elastic Behaviour of Concretes Made of Recycled-Concrete Coarse Aggregates”, Construction and Building Materials, 24: 1616-1620.
 - [10] Martinez-Lage I., Martinez-Abella F., Vazquez-Herrero C. ve Perez-Ordóñez J. L., (2012). “Properties of Plain Concrete Made with Mixed Recycled Coarse Aggregate”, Construction and Building Materials, 37: 171-176.
 - [11] Corinaldesi V. ve Moriconi G., (2009). “Influence of Mineral Additions on The Performance of 100% Recycled Aggregate Concrete”, Construction and Building Materials, 23: 2869-2876.

- [12] Kou S.-C., Poon C.-S. ve Chan D., (2007). "Influence of Fly Ash As Cement Replacement on The Properties of Recycled Aggregate Concrete", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 19(9): 709–717.
- [13] Kou S.-C., Poon C.-S. ve Chan D., (2008). "Influence of Fly Ash As A Cement Addition on The Hardened Properties of Recycled Aggregate Concrete", *Materials and Structure*, 41(7): 1191–1201.
- [14] Xiao J., Li J. ve Zhang C., (2005). "Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Under Uniaxial Loading", *Cement and Concrete Research*, 35: 1187-1194.
- [15] Belen G.-F., Fernando M.-A., Diego C. L. ve Sindy S.-P., (2011). "Stress–Strain Relationship In Axial Compression for Concrete Using Recycled Saturated Coarse Aggregate", *Construction and Building Materials*, 25: 2335-2342.
- [16] Corinaldesi V., (2010). "Mechanical and Elastic Behaviour of Concretes Made of Recycled-Concrete Coarse Aggregates", *Construction and Building Materials*, 24: 1616-1620.
- [17] Hoffmann C., Schubert S., Leemann A. ve Matovalli M., (2012). "Recycled Concrete and Mixed Rubble As Aggregates: Influence of Variations In Composition on The Concrete Properties and Their Use As Structural Material", *Construction and Building Materials*, 35: 701-709.
- [18] Thomas C., Setien J., Polanco J. A., Alajos P. ve Sanchez de Juan M., (2013). "Durability of Recycled Aggregate Concrete", *Construction and Building Materials*, 40: 1054-1065.
- [19] Pereira P., Evangelista L. ve de Brito J., (2012). "The Effect of Superplasticisers on The Workability and Compressive Strength of Concrete Made with Fine Recycled Concrete Aggregates", *Construction and Building Materials*, 28: 722-729.
- [20] Sheen Y.-N., Wang H.-Y., Juang Y.-P. ve Le D.-H., (2013). "Assessment on The Engineering Properties of Ready-Mixed Concrete Using Recycled Aggregates", *Construction and Building Materials*, 45: 298-305.
- [21] Evangelista L. ve de Brito J., (2007). "Mechanical Behaviour of Concrete Made With Fine Recycled Concrete Aggregates", *Cement and Concrete Composites*, 29: 397-401.
- [22] Xiao J., Li W., Fan Y. ve Huang X., (2012). "An Overview of Study on Recycled Aggregate Concrete In China (1996–2011)", *Construction and Building Materials*, 31: 364–383.
- [23] Sagoe-Crentsil K. K., Brown T. ve Taylor A. H., (2001). "Performance of Concrete Made with Commercially Produced Coarse Recycled Concrete Aggregate", *Cement and Concrete Research*, 31: 707-712.
- [24] Kou S.-C. ve Poon C.-S., (2013). "Long-Term Mechanical and Durability Properties of Recycled Aggregate Concrete Prepared with The Incorporation of Fly Ash", *Cement and Concrete Composites*, 37: 12-19.

- [25] Fonseca N., Brito J. ve Evangelista L., (2011). "The Influence of Curing Conditions on The Mechanical Performance of Concrete Made with Recycled Concrete Waste", Cement and Concrete Composites, 33: 637-643.
- [26] Kou S.-C., Poon C.-S. ve Agrela F., (2011). "Comparisons of Natural and Recycled Aggregate Concretes Prepared with The Addition of Different Mineral Admixtures", Cement and Concrete Composites, 33: 788-795.
- [27] Abu R. K. ve Kim S.-M., (2010). "Computational Applications of A Coupled Plasticity-Damage Constitutive Model for Simulating Plain Concrete Fracture", Engineering Fracture Mechanics, 77: 1577-1603.
- [28] Yu T., Teng J. G., Wong Y. L. ve Dong S. L., (2010). "Finite Element Modeling of Confined Concrete-II: Plastic-Damage Model", Engineering Structures, 32: 680-691.
- [29] Ma H., Wang H., Li Z., Sun X. ve Zhang X., (2012). "The Finite Element Analysis of RC Energy Absorption Columns Based on ABAQUS Software", Applied Mechanics and Materials, 174/177: 2122-2125.
- [30] Wahalathantri, B.L., Thambiratnam, D.P., Chan, T.H.T. ve Fawzia, S. "A Material Model for Flexural Crack Simulation In Reinforced Concrete Elements Using ABAQUS", In Proceedings of the First International Conference on Engineering, Designing and Developing the Built Environment for Sustainable Wellbeing, 2011, Brisbane.
- [31] Garg A. K. ve Abolmaali A., (2009). "Finite-Element Modeling and Analysis of Reinforced Concrete Box Culverts", Journal of Transportation Engineering, 135(3): 121-128.
- [32] Ersoy U. ve Özcebe G., (2007). Betonarme, Gözden Geçirilmiş 2. Baskı, Evrim Yayınevi, İstanbul.
- [33] TS 802, (2009). Beton Karışım Tasarımı Hesap Esasları, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [34] Erdoğan, T., (2003). Beton, 1. Baskı, ODTÜ Geliştirme Vakfı Yayıncılık ve İletişim A.Ş., Ankara.
- [35] TS EN 197-1, (2002). Genel Çimentolar-Bileşim, Özellikler ve Uygunluk Kriterleri, TSE, 1. Baskı, Ankara.
- [36] Şimşek, O., (2000). Yapı Malzemesi, 1. Baskı, Beta Basım, Ankara.
- [37] Postacıoğlu, B., (1987), Agregalar, Beton, Cilt 2, Teknik Kitaplar Yayınevi, İstanbul.
- [38] Çevreonline, Geri Dönüşüm, http://www.cevreonline.com//atik2/geri_dönüşüm.htm, 29 Nisan 2011.
- [39] Öztürk, M., (2005), İnşaat/Yıkıntı Atıkları Yönetimi, http://www.google.com/url?q=http://www2.cevreorman.gov.tr/belgeler/molozson.doc&sa=U&ei=GzZUU9KZM8jL4ATIsYH4BA&ved=0CDUQFjAE&sig2=93P_PndUMce11SG8wWFZdEg&usg=AFQjCNGTqc19IVUT-StcCyX_n76lJSmaSg, 21 Mart 2014.

- [40] Poon, C. S., Shui, Z. H., Lam, L., Fok, H. ve Kou, S. C., (2004). "Influence of Moisture States of Natural and Recycled Aggregates on The Slump and Compressive Strength of Concrete", Cement and Concrete Research, 34: 31-36.
- [41] The WBCSD website. [Online]. Available: <http://www.wbcd.org/Pages/EDocument/EDocumentDetails.aspx?ID=11133&NoSearchContextKey=true> , 21 Mart 2014.
- [42] Ismail, S. ve Ramli, M., (2013). "Engineering Properties of Treated Recycled Concrete Aggregate (RCA) For Structural Applications", Construction and Building Materials, 44: 464-476.
- [43] Cabral, A. E. B., Schalch, V. ve Molin, D. C. C. D., (2010). "Mechanical Properties Modeling of Recycled Aggregate Concrete", Construction and Building Materials, 24: 421-430.
- [44] T.C. Resmi Gazete, Afet Riski Altındaki Alanların Dönüştürülmesi Hakkında Kanun. (28309), 31 Mayıs 2012. <http://www.resmigazete.gov.tr/main.aspx?home=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120531.htm&main=http://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/05/20120531.htm> , 21 Mart 2014.
- [45] T.C. Resmi Gazete, Hafriyat Toprağı, İnşaat ve Yıkıntı Atıklarının Kontrolü Yönetmeliği, (25406), 18 Mart 2004.
- [46] The WBCSD website. [Online]. Available: <http://www.wbcd.org/Pages/Adm/Download.aspx?ID=5855&ObjectTypeId=7> , 21 Mart 2014.
- [47] Haktanır T., (2009). "Experimental Determination of Modulus of Elasticity of Concrete", 1st International Conference on Concrete Technology, 6-7 November 2009, Tabriz, Iran.
- [48] TS 500, (February 2000). Requirements For Design and Construction of Reinforced Concrete Structures. TSE, Ankara, Turkey.
- [49] ACI-318M-05, (2010). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- [50] CSA A23.3-04, (2010). Design of Concrete Structures. Canadian Standards Association, Mississauga, Ontario.
- [51] SP 52-101-2003, (2006). Concrete and Reinforced Concrete Structures without Prestressing. Concrete and Reinforced Concrete Research and Technology Institute, Moscow.
- [52] EN 1992-1-1, (2004). Design of Concrete Structures – Part 1-1: General Rules for Buildings. European Committee for Standardization, Brussels.
- [53] AS-3600-2001, (2001). Australian Standard Concrete Structures. Standards Australia International Ltd., Sydney.

- [54] Fonteboa, B.G. ve Abella, F.M. (2008). "Concretes With Aggregates From Demolition Waste and Silica Fume. Materials and Mechanical Properties", Building and Environmental, 43: 429-437.
- [55] Elhakam, A.A., Mohamed A.E.M. ve Awad E., (2012). "Influence of Self-Healing, Mixing Method and Adding Silica Fume on Mechanical Properties of Recycled Aggregates Concrete", Construction and Building Materials, 35: 421-427.
- [56] ACI 234R-06, (2006). Guide for The Use of Silica Fume In Concrete. American Concrete Institute, Farmington Hills.
- [57] Jau, W.-C., Fu, C. W. ve Yang, C.-T., (2004). "Study of Feasibility and Mechanical Properties for Producing High-Flowing Concrete With Recycled Coarse Aggregates", International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, 20-21 Mayıs 2004, Beijing.
- [58] Kılınçkale, M.F., (1996). "Çeşitli Puzolanların Puzolanik Aktivitesi ve Bu Puzolanlarla Üretilen Harçların Dayanımı", İMO Teknik Dergi, 1217-1229.
- [59] Rao, M. C., Bhattacharyya, S. K. ve Barai, S. V., (2011). "Influence of Field Recycled Coarse Aggregate on Properties of Concrete", Materials and Structures, 44: 205–220.
- [60] Phani, S. S., Sekhar, T. S., Rao, S. ve Sravana, S., (2013). "Evaluation of Relationship Between Mechanical Properties of High Strength Self Compacting Concrete", American Journal of Engineering Research, 2: 67-71.
- [61] Xiao, J. Z., Li, J. B. ve Zhang, C., (2006). "On Relationships Between The Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete: An Overview", Materials and Structures, 39: 655–664.
- [62] Brito, J. De ve Robles, R., (2010). "Recycled Aggregate Concrete (RAC) Methodology for Estimating Its Long-Term Properties", Indian Journal of Engineering & Material Sciences, 17: 449-462.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Hasan DİLBAS
Doğum Tarihi ve Yeri : 17.01.1988 – Kayseri
Yabancı Dili : İngilizce, Almanca
E-posta : hasandilbas@gmail.com
hdilbas@yildiz.edu.tr

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Müh.	Erciyes Üniversitesi	2011
Lise	Sayısal	Nuh Mehmet KüçükÇalık Anadolu Lisesi	2007

YAYINLARI

Makale

1. Dilbas, H., Erkılıç, H., Saraylı, S., Haktanır, H., (2011). “Beton mukavemet deneyleri değerlendirmesi için bir istatistiksel çalışma”, Yapı Dünyası Dergisi, 178: 25-31.
2. Dilbas, H., Şimşek, M., Çakır, Ö., (2014). “An investigation on mechanical and physical properties of recycled aggregate concrete (RAC) with and without silica fume”, Construction and Building Materials, 61: 50-59.

Bildiriler

1. Dilbas, H., Çakır, Ö., Şimşek, M., (2014). “An approach for construction and demolition (C&D) waste disposal through concrete using silica fume”, EurAsia 2014 Waste Management Symposium, 28-30 Nisan 2014, İstanbul, Türkiye.
2. Dilbas, H., Şimşek M., Çakır, Ö. “An evaluation of elasticity modulus of recycled aggregate concrete (RAC)”, Asia-Pacific Materials Science and Information Technology Conference (APMSIT 2014), 13-14 Aralık 2014, Shangai, Çin (Tam metni kabul edildi).
3. Dilbas, H., Şimşek M., Çakır, Ö. “Kentsel dönüşüm sonucu oluşan molozların geri dönüşümle betonda kullanımı – Silis dumanı katkılı geri kazanılmış agregalı betonlar”, 9.Beton Kongresi, 16-18 Nisan 2014, Antalya, Türkiye (Özeti kabul edildi).

ÖDÜLLERİ

1. Prosteel Çelik Proje Yarışması 2012, 03745 nolu proje 1. Mansiyon Ödülü. (Proje Danışmanı olarak - İnşaat Mühendisliği alanı).