

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARDA PERFORMANSA DAYALI TASARIM
KRİTERLERİNİN BULANIK KÜME YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Ferhat PAKDAMAR**

Anabilim Dalı : İnşaat Mühendisliği

Programı : Yapı Mühendisliği

Aralık 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**BETONARME YAPILARDA PERFORMANSA DAYALI TASARIM
KRİTERLERİNİN BULANIK KÜME YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ**

**DOKTORA TEZİ
Ferhat PAKDAMAR
(501012020)**

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 01 Ekim 2009

Tezin Savunulduğu Tarih : 31 Aralık 2009

**Tez Danışmanı : Prof. Dr. Kadir GÜLER (İTÜ)
Diğer Jüri Üyeleri : Prof. Dr. Zekai CELEP (İTÜ)
Prof. Dr. Tuncer ÇELİK (Beykent Üniv.)
Prof. Dr. Zekai ŞEN (İTÜ)
Prof. Dr. Turgut KOCATÜRK (YTÜ)**

Aralık 2009

Çok şeyimi borçlu olduğum canım amcam Ahmet PAKDAMAR'a,

ÖNSÖZ

Doktora tezi olarak hazırlanan bu çalışmada, İnşaat Mühendisliğindeki performansa dayalı tasarım kriterleri Bulanık Mantık kullanılarak esnekleştirilmiş ve bu yöntemle Esnek Performans Yöntemi ismi verilmiştir.

Bu yöntem sayesinde bilgisayarların performansa dayalı tasarım hesaplamalarında daha etkin kullanımı, daha doğru değerlendirmeler yapması ve böylece mühendise zaman kazandırılması öngörülmüştür.

Bu çalışmamda, tecrübe ve bilgilerinden her zaman yararlandığım, gerek yüksek lisans ve gerekse doktora eğitimim ve meslek hayatımda bana yakın ilgilerini esirgemeyen kıymetli hocalarım Prof. Dr. Zekai CELEP ve Prof. Dr. Kadir GÜLER'e ve eğitim hayatım boyunca her konuda desteklerini gördüğüm aileme, teşekkürü bir borç bilirim.

Aralık 2009

Ferhat PAKDAMAR
İnşaat Yüksek Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ.....	v
İÇİNDEKİLER	vii
KISALTMALAR.....	xi
ÇİZELGE LİSTESİ	xiii
ŞEKİL LİSTESİ.....	xv
SEMBOL LİSTESİ	xix
ÖZET	xxiii
SUMMARY	xxv
1 GİRİŞ.....	1
1.1 Giriş ve Tezin Amacı	1
1.2 Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Değerlendirilmesi	3
1.3 Bulanık Mantık Uygulama Alanları	4
2 PERFORMANSA GÖRE TASARIM.....	7
2.1 Performansa Göre Tasarım Nedir?	7
2.2 Performansa Göre Tasarım Gereksinimleri	7
2.2.1 TDY 2007'ye Göre Sismik Tehlike	8
2.2.2 FEMA356'ya Göre Sismik Tehlike	9
2.2.3 Performans Seviyeleri ve Temel Güvenlik Hedefleri	12
2.2.3.1 TDY2007'ye göre temel güvenlik hedefleri	13
2.2.3.2 FEMA356'ya göre temel güvenlik hedefleri	13
2.2.3.3 Yapısal elemanlar ve hasar düzeyleri	14
2.2.3.4 Yapısal olmayan elemanlar ve hasar düzeyleri	15
2.2.4 Eleman Düzeyinde Performans Hedefleri	16
2.2.4.1 Birincil ve ikincil yapı elemanları	16
2.2.5 Eksikliklerin Belirlenmesi ve Bilgi Toplama	17
2.2.6 Genel Güçlendirme Seçenekleri	18
2.2.7 Analiz Yöntemleri	19
2.3 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri	21
2.3.1 Doğrusal Elastik Statik Yöntem (LSP)	22
2.3.2 Doğrusal Elastik Dinamik Yöntem (LDP).....	26
2.4 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri	27
2.4.1 Doğrusal Elastik Olmayan Statik Yöntem (Artımsal İtme Analizi, Statik İtme Analizi, NSP).....	27
2.4.1.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi	28
2.4.1.2 Eşit yerdeğiştirme kuralı ile en büyük yerdeğiştirme tespiti	29
2.4.1.3 Katsayı yöntemi ile en büyük yerdeğiştirme tespiti (FEMA356, FEMA440)	32
2.4.1.4 Çok modlu itme analizi	33
2.4.2 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (NDP)	34
2.5 Performans Kriterleri ve Bina Performansı	35
2.5.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri için Kriterler	35
2.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri için Kriterler.....	38

2.5.3 Bina Performansı	40
2.6 Performansa Göre Tasarıma Bir Örnek	41
2.6.1 Genel Bilgiler ve Çizimler.....	43
2.6.2 Plastik Mafsal Boyu ve Eksenel Kuvvet Durumu	44
2.6.3 Malzeme Verileri ve En kesit Karakteristikleri	45
2.6.4 Spektrum Tespiti.....	51
2.6.5 Kapasite Eğrisi	52
2.6.6 Hedef yerdeğiştirmeyi, Performans Noktasını Bulma	53
2.6.7 Hedef Yerdeğiştirme Durumundaki Eleman Dönmesi ve Performansı	56
2.6.8 Güç Tükenmesi Sınır Durumu için Performans Değerlendirmesi.....	56
3 BULANIK MANTIK	59
3.1 Giriş.....	59
3.1.1 Belirsizlik ve Kesin Olmama.....	61
3.1.2 Bilgideki Belirsizlik.....	62
3.1.3 Bulanık Kümeler ve Üyelik	63
3.2 Klasik Kümeler ve Bulanık Kümeler	65
3.2.1 Klasik Kümeler	66
3.2.1.1 Klasik küme işlemleri	67
3.2.1.2 Klasik kümelerin özellikleri	68
3.2.1.3 Klasik kümelerin fonksiyonlara eşlenmesi	70
3.2.2 Bulanık Kümeler.....	71
3.2.2.1 Bulanık küme işlemleri.....	73
3.2.2.2 Bulanık kümelerin özellikleri.....	75
3.3 Üyelik Fonksiyonları	76
3.3.1 Üyelik Fonksiyonlarının Karakteristikleri.....	77
3.3.2 Bulanıklaştırma	79
3.3.2.1 Önsezi.....	80
3.3.2.2 Açısar bulanık kümeler.....	80
3.4 Durulaştırma	82
3.4.1 Lamda Kesimleri.....	83
3.4.2 Durulaştırma Yöntemleri.....	85
3.4.2.1 Ağırlık merkezi yöntemi	86
3.4.2.2 En büyük üyelik ilkesi yöntemi	87
3.4.2.3 Ağırlıklı ortalama yöntemi.....	87
3.4.2.4 Ortalama en büyük üyelik yöntemi	88
3.4.2.5 Toplamların merkezi yöntemi	89
3.4.2.6 En büyük alanın merkezi yöntemi	89
3.4.2.7 En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi.....	90
3.5 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler	91
3.5.1 Kabul Edilmiş Kural Formları	91
3.5.1.1 Bileşik kuralların ayrıştırılması.....	93
3.5.1.1.1 Çoklu birleşme şartları	94
3.5.1.1.2 Çoklu kesişme şartları	94
3.5.1.1.3 “YOKSA” ve “OLMADIKÇA” ifadelerini içeren koşullu ifadeler.....	95
3.5.1.1.4 İç içe geçmiş “EĞER İSE” kuralları	95
3.5.1.2 Bulanık kuralların birleştirilmesi	96
3.5.2 Bulanık Mantıkta Kullanılan Bazı Gerektirme İşlemleri.....	97
3.5.3 Bulanık Mantıkta Kullanılan Bazı Kompozisyon İşlemleri	98
3.5.4 Grafiksar Çıkarım Teknikleri	99
3.5.4.1 Klasik değerli girişli, EB, EK sonuç yöntemli grafik teknik.....	100

4 ESNEK PERFORMANS	103
4.1 Esnek Performans Kavramı	103
4.2 Performans Kabul Kriterleri	103
4.3 FEMA356 'daki Yöntemler için Esnek Performans	104
4.3.1 Doğrusal Elastik Yöntem için Bulanık Küme Tanımı	104
4.3.1.1 Betonarme kirişler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	104
4.3.1.1.1 Kiriş için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	108
4.3.1.2 Betonarme kolonlar için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	109
4.3.1.2.1 Kolon için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	112
4.3.1.3 Betonarme perdeler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	113
4.3.1.3.1 Perde için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	117
4.3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem için Bulanık Küme Tanımları.....	117
4.3.2.1 Betonarme kirişler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	118
4.3.2.1.1 Kiriş için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	121
4.3.2.2 Betonarme kolonlar için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	122
4.3.2.2.1 Kolon için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	126
4.3.2.3 Betonarme perdeler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	126
4.3.2.3.1 Perde için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma	131
4.3.3 Kural Tanımları ve Esnek Sistem.....	131
4.3.4 Doğrusal Elastik Yöntem için Kural Tanımları.....	132
4.3.5 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem için Kural Tanımları	135
4.3.6 Elde Edilen Bulanık Çıkarım Sistemleri için Durulaştırma Yöntemi Seçimi	139
4.3.7 FEMA356'da Verilen Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler için MATLAB Simulink (Esnek Performans) Modeli	141
4.3.8 FEMA356 için Esnek Performans Modelinin Sınanması	146
4.3.8.1 Türetilmiş örnek sınaama verisi ve veri oluşturma mantığı	146
4.3.8.1.1 SINAMA-1	147
4.3.8.1.2 SINAMA-2	153
4.3.8.1.3 Türetilmiş verilerle yapılan sınaama sonuçlarının değerlendirilmesi	162
4.3.8.2 Bölüm 2.6'da verilen köprü ayağı örneğinin esnek performans modeli ile yeniden değerlendirilmesi	163
4.3.8.3 Sunulan esnek performans yönteminin gerçek bir bina örneğine uygulanması	164
4.3.8.3.1 Bina hakkında genel bilgiler, planlar ve görüntüler	164
4.3.8.3.2 Performans çizelgeleri	167
4.4 TDY2007 Bina Performansı için Esnek Performans Modeli	170
4.4.1 TDY2007'de Bina Performans Değerlendirmesi.....	170
4.4.2 TDY2007'ye Göre Performans Karar Değişkenleri	173
4.4.3 TDY2007 Esnek Performans Modelinin Bulanıklaştırılması, Kuralları ve Durulaştırılması	175
4.4.3.1 Bulanıklaştırma.....	175
4.4.3.2 Kural Takımları	176
4.4.3.3 Durulaştırma.....	177
4.4.4 MATLAB Simulink Platformunda Birleştirme.....	177
4.4.5 TDY2007 için Esnek Performans Modelinin Sınanması	178
4.4.6 Sınaama Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	181
5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER	183
5.1 Çalışmanın Uygulama Alanı ve Amacı.....	183
5.2 Tezdeki Bölümler ve İçerikleri	184
5.3 Sunulan Yöntemin İnşaat Mühendisliği Problemlerinin Çözümüne Katkısı	185
5.4 Bu Çalışmanın Bir Basamak Olabileceği Çalışmalar.....	186

KAYNAKLAR	189
EKLER	193
ÖZGEÇMİŞ.....	243

KISALTMALAR

HK	: Bina düzeyinde hemen kullanım performans seviyesi
CG	: Bina düzeyinde can güvenliği performans seviyesi
GÖ	: Bina düzeyinde göçme öncesi performans seviyesi
G	: Bina düzeyinde göçme performans seviyesi
MN	: Eleman düzeyinde hemen kullanım performans seviyesi
GV	: Eleman düzeyinde can güvenliği performans seviyesi
GÇ	: Eleman düzeyinde göçme öncesi performans seviyesi
G	: Eleman düzeyinde göçme performans seviyesi
FEMA356	: Federal Emergency Management Agency 356 no'lu rapor
TDY2007	: Türkiye Deprem Yönetmeliği 2007
ATC40	: Applied Technology Council 40 no'lu rapor
BSO	: Temel güvenlik hedefi
BSE-1	: 50 yılda olma olasılığı %10 olan deprem
BSE-2	: 50 yılda olma olasılığı %2 olan deprem
TE	: Tavsiye edilmeyen performans hedefi
LSP	: Doğrusal elastik statik yöntem
LDP	: Doğrusal elastik dinamik yöntem
NSP	: Doğrusal elastik olmayan statik yöntem
NDP	: Doğrusal elastik olmayan dinamik yöntem
DCR	: Kapasite oranı (m katsayısı)
SRSS	: Karelerin toplamının karekökü
CQC	: Tam karesel birleştirme
n.a.	: Uygulanamaz
PGA	: Anlık an büyük yer ivmesi
IFSA	: Uluslararası bulanık sistemler derneği
N	: Kuzey
S	: Güney
E	: Doğu
W	: Batı
EB	: En büyük, en büyükleme
EK	: En küçük, en küçükleme
CENTROID	: Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi
MOM	: Ortalama en büyük üyelik durulaştırma yöntemi
SOM	: En büyük ilk üyelik derecesi durulaştırma yöntemi
LOM	: En büyük son üyelik derecesi durulaştırma yöntemi
EBY	: En büyük yükseklikler
EBÜS	: En büyük üst sınır
EBAS	: En büyük alt sınır
BA	: Betonarme
FIS	: Bulanık çıkarım sistemi
MATLAB	: "Matrix Laboratory" isimli programın kısaltması

Simulink	: MATLAB programında bir çalışma ortamı
SD	: Minimum hasar bölgesi
MD	: Belirgin hasar bölgesi
HD	: İleri hasar bölgesi
F	: Göçme bölgesi
SROC	: Bir kattaki herhangi bir kolonun o katın toplam kesme kuvvetine oranı
PB	: Kirişlerin performansı
CSD	: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranının O-MN arasında (minimum hasar bölgesinde) bulunma oranı
CMD	: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranının MN-GV arasında (belirgin hasar bölgesinde) bulunma oranı
CHD	: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranının GV-GÇ arasında (ileri hasar bölgesinde) bulunma oranı
CF	: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranının G'de (göçme bölgesinde) bulunma oranı
CR1	: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranının MN-GÇ arasında (belirgin ve ileri hasar bölgelerinde) bulunma oranı
BSD	: Bir kat içindeki O-MN arasındaki (minimum hasar bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
BMD	: Bir kat içindeki MN-GV arasındaki (belirgin hasar bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
BHD	: Bir kat içindeki GV-GÇ arasındaki (ileri hasar bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
BF	: Bir kat içindeki G'deki (göçme bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
BR1	: Bir kat içindeki O-GV arasındaki (minimum ve belirgin hasar bölgelerindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
BR2	: Bir kat içindeki O-GÇ arasındaki (minimum, belirgin ve ileri hasar bölgelerindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranı
Toolbox	: MATLAB içerisinde çeşitli işlemler için oluşturulmuş özel araçlar
Fuzzy	: Bulanık
ISI	: Institute for Scientific Information
SCI	: Science Citation Index

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1: Yapısal performansın tanımlanması.....	4
Çizelge 2.1: Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B)	9
Çizelge 2.2: Muhtemel depremler için spektrum artırma ve azaltma katsayıları	9
Çizelge 2.3: Bazı muhtemel depremler için isimlendirme.....	9
Çizelge 2.4: Zemin sınıflarına göre F_a değerleri	11
Çizelge 2.5: Zemin sınıflarına göre F_v değerleri	11
Çizelge 2.6: Etkin sönüm oranlarına göre B_s ve B_l değerleri.....	11
Çizelge 2.7: Deprem bölgelerinde oluşabilecek muhtemel en büyük ivmeler	11
Çizelge 2.8: TDY2007'ye göre temel güvenlik hedefleri.....	13
Çizelge 2.9: FEMA356'ya göre temel güvenlik hedefleri.....	13
Çizelge 2.10: Yapısal performans seviyeleri ve hasarları.....	14
Çizelge 2.11: Eleman düzeyinde performans seviyeleri	16
Çizelge 2.12: Bilgi düzeyi katsayıları	17
Çizelge 2.13: Bilgi düzeyi katsayıları (TDY2007'ye göre)	17
Çizelge 2.14: Orijinal çizimler mevcut değilse ayrıntılı sismik değerlendirme için gerekli bilgiler.....	18
Çizelge 2.15: Çatlamış kesit rijitlikleri.....	19
Çizelge 2.16: Eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulama sınırları	23
Çizelge 2.17: Etkin kütle katsayısı C_m	24
Çizelge 2.18: C_0 katsayısı için değerler	32
Çizelge 2.19: Kiriş (m) kapasite oran sınırları.....	35
Çizelge 2.20: Kolon (m) kapasite oran sınırları.....	36
Çizelge 2.21: Perde (m) kapasite oran sınırları.....	37
Çizelge 2.22: Kiriş plastik dönme açısı sınırları	38
Çizelge 2.23: Kolon plastik dönme açısı sınırları	39
Çizelge 2.24: Perde plastik dönme açısı sınırları	39
Çizelge 2.25: Güç tükenmesi durumu için bulunan dönme değerleri.....	57
Çizelge 3.1: Bulanık kural tabanlı bir sistem için kabul edilmiş form.....	93
Çizelge 4.1: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri	105
Çizelge 4.2: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri.	105
Çizelge 4.3: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri	109
Çizelge 4.4: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri	109
Çizelge 4.5: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri.....	113
Çizelge 4.6: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri	114
Çizelge 4.7: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri ..	118
Çizelge 4.8: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri.....	118
Çizelge 4.9: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri	122
Çizelge 4.10: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri	123

Çizelge 4.11: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri	127
Çizelge 4.12: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri	127
Çizelge 4.13: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları	132
Çizelge 4.14: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları	133
Çizelge 4.15: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları	134
Çizelge 4.16: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları	136
Çizelge 4.17: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları	137
Çizelge 4.18: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları	138
Çizelge 4.19: Seçilen durulaştırma yöntemleri	140
Çizelge 4.20: Input4 ve Output5 dosyası sütunlarındaki değerlerin anlamları	145
Çizelge 4.21: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri	146
Çizelge 4.22: Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-1	147
Çizelge 4.23: Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-1	148
Çizelge 4.24: Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-1	149
Çizelge 4.25: Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-1	150
Çizelge 4.26: Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-1	151
Çizelge 4.27: Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-1	152
Çizelge 4.28: Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-2	153
Çizelge 4.29: Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-2	154
Çizelge 4.30: Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-2	156
Çizelge 4.31: Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-2	157
Çizelge 4.32: Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-2	159
Çizelge 4.33: Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-2	161
Çizelge 4.34: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kirişler	168
Çizelge 4.35: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kolonlar	169
Çizelge 4.36: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kiriş ve kolonların tüm kiriş ve kolon sayılarına oranı	169
Çizelge 4.37: TDY2007’de eleman hasar durumuna göre bina performansı (Kural 1)	172
Çizelge 4.38: TDY2007’de eleman hasar durumuna göre bina performansı (Kural 2)	172
Çizelge 4.39: TDY2007 esnek performans sistemi için bulanık kural takımları	176
Çizelge 4.40: TDY2007 Esnek Performans Modeli Veri Sınama Sonuçları	180
Çizelge A.1: Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için)	194
Çizelge A.2: Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için)	201
Çizelge A.3: Örnek bina için kiriş performans karşılaştırmaları (Tasarım depremi için)	208
Çizelge B.1: Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için)	214
Çizelge B.2: Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için)	221
Çizelge B.3: Örnek bina için kiriş performans karşılaştırması (Şiddetli deprem için)	228
Çizelge C.1: Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için)	234
Çizelge C.2: Örnek bina kolon performans kıyasları (Tasarım depremi için)	239

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: TDY2007 Tasarım ivme spektrumu	8
Şekil 2.2: FEMA356 genel ivme spektrumu	10
Şekil 2.3: Doğrusal elastik ve elastoplastik davranış	22
Şekil 2.4: Doğrusal elastik olmayan statik sismik analiz için akış şeması	28
Şekil 2.5: İtme eğrisi (Kapasite eğrisi)	29
Şekil 2.6: İvme-Zaman (S_a-T) ve İvme-Yerdeğiştirme (S_a-S_d) Talep Spektrumu	30
Şekil 2.7: Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrumu	31
Şekil 2.8: Örnek viyadüğün üç boyutlu (3D) modeli	42
Şekil 2.9: Örnek viyadüğün temel planı ve boy kesiti	43
Şekil 2.10: Örnek ayak kesiti ve donatı yerleşim planı	44
Şekil 2.11: Plastik mafsalsal yeri	45
Şekil 2.12: Kesit karakteristikleri	46
Şekil 2.13: Sargısız C25 betonu malzeme özellikleri	47
Şekil 2.14: Sargılı C25 betonu malzeme özellikleri	48
Şekil 2.15: S420 betonarme çeliği malzeme özellikleri	49
Şekil 2.16: x doğrultusunda (y eksenini etrafında) M- χ (moment-eğrilik) ilişkisi	50
Şekil 2.17: x doğrultusunda (y eksenini etrafında) M- θ (moment-dönme) ilişkisi	51
Şekil 2.18: Köprü koordinatına özel 50 yılda %2 olma olasılıklı deprem için ivme spektrumu	52
Şekil 2.19: Kapasite eğrisi	53
Şekil 2.20: SAP2000’de FEMA356 katsayılar yöntemi ile hedef yerdeğiştirme	54
Şekil 2.21: SAP2000’de FEMA440 katsayılar yöntemi ile hedef yerdeğiştirme	55
Şekil 2.22: Hedef yerdeğiştirme için plastik mafsalda oluşan radyan dönme	56
Şekil 2.23: Sınır performans değerlendirmesi için kesitte oluşan radyan dönme	57
Şekil 3.1: Bilgi dünyasındaki belirsizliğin durumları	63
Şekil 3.2: (a) Klasik kümeler ve (b) Bulanık kümeler için yükseklik üyelik fonksiyonları ..	65
Şekil 3.3: (a) A ve B kümelerinin birleşimi (mantıksal VEYA), (b) A ve B kümelerinin kesişimi (mantıksal VE)	67
Şekil 3.4: (a) A kümesinin tümleyeni, (b) A fark B İşlemi	67
Şekil 3.5: $A \cap (B \cap C)$ ve $(A \cap B) \cap C$ ifadelerinin grafik gösterimi	68
Şekil 3.6: $A \cup (B \cap C)$ ve $(A \cup B) \cap (A \cup C)$ ifadelerinin grafik gösterimi	68
Şekil 3.7: $A \cap (B \cup C)$ ve $(A \cap B) \cup (A \cap C)$ ifadelerinin grafik gösterimi	68
Şekil 3.8: De Morgan Kanunları; (a) $\overline{A \cap B}$, (b) $\overline{A \cup B}$	70
Şekil 3.9: A klasik kümesinin üyelik fonksiyonu	71
Şekil 3.10: $\tilde{A}$ Bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu	72
Şekil 3.11: Bulanık kümeler için (a) Birleşim, (b) Kesişim ve (c) Tümleme özelliklerinin grafik gösterimi	73
Şekil 3.12: Klasik kümeler için ara değeri dışlama kanunları (a) Klasik küme ve tümleyeni, (b) $A \cup \bar{A} = E$, (c) $A \cap \bar{A} = \emptyset$	74

Şekil 3.13: Bulanık kümeler için ara değeri dışlama kanunları (a) Bulanık küme ve tümleyeni, (b) $\underline{A} \cup \bar{\underline{A}} \neq E$, (c) $\underline{A} \cap \bar{\underline{A}} \neq \emptyset$	75
Şekil 3.14: Bir bulanık küme için tanımlanan öz, sınır ve dayanak değerleri	77
Şekil 3.15: (a) Normal bulanık küme, (b) Normal olmayan bulanık küme.....	78
Şekil 3.16: (a) Dışbükey olmayan, (b) Dışbükey normal bulanık kümeler	78
Şekil 3.17: İki dışbükey bulanık kümenin kesişiminden bir dışbükey bulanık küme oluşumu.....	79
Şekil 3.18: “Sıcaklık” bulanık değişkeni için üyelik fonksiyonu	80
Şekil 3.19: Birim çemberde tanımlanan açısız bulanık pusula kümesi	81
Şekil 3.20: $\underline{A}$ bulanık kümesi	83
Şekil 3.21: $\lambda = 1, 0.80, 0.60, 0.40, 0.02$ ve 0 değerleri için λ kesim kümeleri.....	84
Şekil 3.22: Tipik bir bulanık işlem çıkışı: (a) Bulanık çıkışın ilk bölümü; (b) Bulanık çıkışın ikinci bölümü; (c) İki bölümün birleşimi.	86
Şekil 3.23: Ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi.....	87
Şekil 3.24: En büyük üyelik ilkesi ile durulaştırma yöntemi.....	87
Şekil 3.25: Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi.....	88
Şekil 3.26: Ortalama en büyük üyelik durulaştırma yöntemi	88
Şekil 3.27: Toplamların merkezi yöntemi: (a) İlk üyelik fonksiyonu S_1 ; (b) İkinci üyelik fonksiyonu S_2 ; (c) Durulaştırma adımı	89
Şekil 3.28: En büyük alanın merkezi yöntemi (Kalın çizgi ile gösterilen)	90
Şekil 3.29: En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi	91
Şekil 3.30: Klasik girişlere sahip grafiksel Mamdani (EB-EK) sonuç yöntemi	101
Şekil 4.1: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık yenidoğ kümesi	105
Şekil 4.2: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi... ..	106
Şekil 4.3: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi	106
Şekil 4.4: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi	107
Şekil 4.5: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi	108
Şekil 4.6: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “eksenelF” kümesi ..	110
Şekil 4.7: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi. .	110
Şekil 4.8: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi.....	111
Şekil 4.9: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi ..	111
Şekil 4.10: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi ...	112
Şekil 4.11: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “eksenelF” kümesi. .	114
Şekil 4.12: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi. .	115
Şekil 4.13: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi	115
Şekil 4.14: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi. .	116
Şekil 4.15: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi ...	116
Şekil 4.16: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “yenidoğ” kümesi.....	119
Şekil 4.17: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargılama” kümesi.....	119
Şekil 4.18: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “kesme” kümesi.....	120
Şekil 4.19: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.....	120
Şekil 4.20: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi.....	121
Şekil 4.21: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “eksenelF” kümesi.....	123
Şekil 4.22: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargılama” kümesi.....	124

Şekil 4.23: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “kesme” kümesi	124
Şekil 4.24: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi	125
Şekil 4.25: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi	125
Şekil 4.26: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “eksenelF” kümesi	128
Şekil 4.27: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargılama” kümesi	128
Şekil 4.28: Betonarme perde için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “kesme” kümesi	129
Şekil 4.29: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi	129
Şekil 4.30: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi	130
Şekil 4.31: Betonarme kirişler için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli	142
Şekil 4.32: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli	143
Şekil 4.33: Betonarme perdeler için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli	144
Şekil 4.34: Örnek input4 ve output5 matrisleri ve Persev çıktı kümesi	147
Şekil 4.35: Binanın üç boyutlu bilgisayar modeli	165
Şekil 4.36: Birinci kat kalıp planı	166
Şekil 4.37: Hasar sınır ve bölgelerini gösteren temsili iç kuvvet – şekildeğiştirme eğrisi ..	170
Şekil 4.38: TDY2007 Performans karar değişkenleri	174
Şekil 4.39: TDY2007’ye göre performans karar değişkenleri a)BMD, b)BHD, c)BF, d) BR1, e) BR2; f) CSD, g) CMD, h) CHD, i) CF, j) CR1 bulanık girdi kümeleri	175
Şekil 4.40: TDY2007’ye göre performans çıktı kümesi	176
Şekil 4.41: TDY2007’ye göre Esnek Performans Modeli Simulink platform görünümü ..	178
Şekil 4.42: Örnek “input10” ve “output5” matrisleri	179
Şekil 4.43: Modellenen kriterlerin hesap sistemi içindeki yerini gösterir şema	185

SEMBOL LİSTESİ

A_c	: Kesit brüt alanı, mm ²
A_g, A_w	: Kesit alanı $b_w \times d$, mm ² ; çekme donatısı alanı, mm ²
A_s	: Öngermesiz çekme donatısı alanı, mm ²
A_s'	: Öngermesiz basınç donatısı alanı, mm ²
A_x	: Burulma büyütme katsayısı
a_{y1}	: Birinci moda ait eşdeğer akma ivmesi (2.20)
A_λ	: A kümesinin lamda kesim kümesi
B_I	: Uzun periyotlu (1.0 s) spektral tepki ivmesi için etkin sönüm katsayısı
B_S	: Kısa periyotlu (0.2 s) spektral tepki ivmesi için etkin sönüm katsayısı
b_w	: Kesit genişliği, mm
C_0, C_1, C_2, C_3, C_4	: Pseudo yatay yükü hesaplanırken (2.9) veya hedef yerdeğiştirme bulunurken (2.22) kullanılan katsayılar
C_m	: Etkin kütle katsayısı
C_{R1}	: Hedef yerdeğiştirme için katsayı (2.18)
C_t	: Malzeme ve çerçeve tipine göre doğal titreşim periyodu bulma katsayısı
C_{vx}	: Düşey dağılım katsayısı
DCR, m, r	: Kapasite oranı
d	: Kesit faydalı yüksekliği, mm
d_b	: Boyuna donatı çapı, mm
E, E_c	: Beton elastisite modülü, MPa
f, F	: Kuvvet, N
F_a	: Zemin sınıfına göre kısa periyot için spektral ivme düzeltmekatsayısı
f_c, f_c'	: Beton basınç dayanımı, MPa
f_{cm}	: Mevcut beton basınç dayanımı, MPa
f_{max}	: Plastik davranış sonunda kesitin taşıyabildiği kuvvet, N
F_v	: Zemin sınıfına göre uzun periyot için spektral ivme düzeltme katsayısı
F_x	: Katlara etkiyen deprem kuvveti, N
f_y	: Elastik davranış sonundaki kuvvet, N
f_y, f_{yk}, f_{yk}	: Donatı karakteristik akma gerilmesi, MPa
g, g	: Yer çekimi ivmesi, m/s ²
H	: Kolon ayak net boyu, m
H_i	: i. katın yüksekliği, m
h_i	: i. katın yüksekliği, m
H_N, h_n	: Toplam bina yüksekliği, m
h_x	: x. katın yüksekliği, m
I, I_g	: Betonarme brüt kesitin (donatılar hariç) ağırlık eksenine göre atalet momenti
k	: Yatay yük yükleme şekli ile değişen bir katsayı (2.13)

L_p, L_p	: Plastik mafsalsal boyu, mm
l_w	: Perde boyu, mm
M_E	: Deprem yükleri altında oluşan moment
M_K	: Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi
M_{G+Q}	: Düşey yükler altında oluşan moment
m	: Kapasite oranı
N_E	: Deprem yükleri altında oluşan normal kuvvet
N_K	: Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan normal kuvvet kapasitesi
N_{G+Q}	: Düşey yükler altında oluşan normal kuvvettir.
n	: Bina kat adedi
N_D	: Kolon normal kuvveti, N
P	: Eksenel kuvvet, N
P_i	: i. kattaki hesaplanan kolon veya perde eksenel yükü, N
Q_{CE}	: Elemanın beklenen dayanım kapasitesi
Q_{UD}	: Düşey ve deprem yükleri kombinasyonundan oluşan eleman iç kuvveti
R	: Elastik kuvvetin akma kuvvetine oranı, (FEMA440) (2.24)
r	: Artık kapasite oranı
r_s	: Artık kapasite oran sınırı
R_{y1}	: Birinci moda ait dayanım azaltma katsayısı
S_I	: Uzun periyotlu (1.0 s) spektral tepki ivmesi
S_a	: Spektral tepki ivmesi, g
S_{aI}	: Bina periyodu için spektral ivme, g
S_{ai}	: i. periyot için spektral ivme, g
S_d	: Spektral yerdeğiştirme, m
S_{dI}	: Hedef spektral yerdeğiştirme, m
S_{di}	: i. periyot için spektral yerdeğiştirme, m
S_S	: Kısa periyotlu (0.2 s) spektral tepki ivmesi
$S(T)$	: Tasarım ivme spektrum katsayısı
S_{xI}	: Zemin düzeltmesi yapılmış uzun periyotlu (1.0 s) spektral tepki ivmesi, g
S_{XS}	: Zemin düzeltmesi yapılmış kısa periyotlu (0.2 s) spektral tepki ivmesi, g
$\tilde{S}$	: Bulanık çıkış S kümesi
T, T	: Bina doğal titreşim periyodu, s
T_I, T_e	: Bina 1. doğal titreşim periyodu, s
T_A, T_B, T_0, T_S	: Spektrum karakteristik periyotları, s
t_w	: Perde genişliği, mm
$\ddot{u}(x)$	: x kümesinin üyelik değeri
V, V	: Pseudo yatay yükü, taban kesme kuvveti; kesit kesme kuvveti, N
V_i	: i. kata gelen toplam kat kesme kuvveti (P_i ile aynı birimde)
W	: Deprem etkisine maruz kalacağı öngörülen etkin yapı ağırlığı, N
w_i	: i. katın ağırlığı, N
w_x	: Yapı x. katına kadar olan toplam kat ağırlıkları, N
x^*, x^*	: Durulaştırılmış küme üye değeri
β	: Malzeme ve çerçeve tipine göre doğal titreşim periyodu bulma katsayısı

χ	: Eğrilik, 1/m, 1/mm
Δ_r	: Tepe yerdeğiştirmesi; hedef yerdeğiştirme, talep yerdeğiştirme (2.21), m
δ, Δ	: Yerdeğiştirme, m
$\delta_{avg}, (\Delta_i)_{ort}$	: Kattaki ortalama yerdeğiştirme, mm
δ_i	: i. katın hesap doğrultusundaki bağıl yerdeğiştirmesi (h_i ile aynı birimde)
δ_{max}	: Plastik davranış sonundaki yerdeğiştirme, mm
$\delta_{max}, (\Delta_i)_{max}$	: Kattaki en bđyđk yerdeğiştirme, mm
δ_t	: Hedef yerdeğiştirme, m
δ_y	: Elastik davranış sonundaki yerdeğiştirme, mm
Φ_1	: i. kattaki 1.mod genliği
Γ_1	: Modal katkı çarpanı
η, η_{bi}	: Burulma etkisi için yerdeğiştirme çarpanı
η_x	: x doğrultusundaki burulma etkisi için yerdeğiştirme arpanı
κ	: Bilgi dđzeyi katsayısı
θ, θ	: Kesit dđnmesi, rad
θ_i	: Stabilit� katsayısı
ρ	: Kesit ekme donatısı oranı
ρ'	: Kesit basınc donatısı oranı
ρ_b	: Kesit dengeli donatı oranı

BETONARME YAPILARDA PERFORMANSA DAYALI TASARIM KRİTERLERİNİN BULANIK KÜME YAKLAŞIMI İLE İNCELENMESİ

ÖZET

Son dönemlerde deprem etkisinde yapıların davranışı konusunda en güncel kavram performans kavramıdır. Bu konuda çok sayıda araştırma, yayın, yönetmelik ve benzeri çalışmalar mevcuttur. Performans kavramının “Binalarda sismik rehabilitasyon için öneri ve ön yönetmelik” adıyla en kapsamlı olarak anlatıldığı belge ise Amerika Birleşik Devletleri Acil Durum Yönetim Kurumu (FEMA) tarafından yayınlanan 356 no’lu rapordur. Bu rapordaki bazı konular 440 no’lu raporda gözden geçirilerek yenilenmiştir.

Performansa göre bina değerlendirmesinde kullanılan deprem yönetmelikleri ve önerilen çeşitli belgeler çok keskin ve katı sınırlar içermektedir. Taşıyıcı sistem modellemesinde ve sayısal çözümleme yapılması sırasında yapılan kabuller, hesaplarda kesinlik değil yaklaşıklık olduğunun göstergesidir.

İçerisinde ihtimaller ve görecelilikler barındıran hesap yöntemlerinin sonuçta kesin değerlerle yorumlanması bir eksiklik olup bu eksikliğin giderilmesi bu tez çalışmasının yapılmasında önemli bir etken olmuştur. Bu tezin 4. bölümünde bulanık mantık kullanılarak, “Esnek Performans” ismiyle yeni bir matematiksel ve mantıksal esnekleştirme yöntemi önerilmiştir.

Bu çalışmadaki esnek performans değerlendirmesi sadece birincil taşıyıcı sistem elemanları olan kolon, kiriş ve perdelerin eğilme altındaki davranışlarında geçerli olan hesap kriterleri için verilmiştir. İkincil taşıyıcı elemanlar ve kesme kontrollü davranışlar için bu çalışma bir ilk adım olacaktır.

Kiriş, kolon ve perdeler için performans seviyeleri bulanık küme teorisi kullanılarak elemanların şekildeğiştirme seviyeleri belirli ağırlık değerlerine bağlı olarak esnek bir şekilde tanımlanmıştır. Yöntem sayısal olarak, FEMA356 ve Türk Deprem Yönetmeliği’nde (2007) mevcut çizelge verileri ile MATLAB Fuzzy Toolbox ve Simulink özellikleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Yöntem 1200’ün üzerinde üretilmiş veri ile sınanmış, performans seviyeleri belirlenmiş ve sonuçlar çizelge ve grafiklerde karşılaştırmalı olarak verilmiştir.

Anahtar kelimeler: Bulanık küme, performansa dayalı tasarım, FEMA356, TDY2007, performans kriterleri, doğrusal olmayan analiz

INVESTIGATION OF THE PERFORMANCE BASED DESIGN CRITERIA OF REINFORCED CONCRETE BUILDINGS BY USING FUZZY SET APPROACH

SUMMARY

Recently, performance evaluation has one of the most popular concept in the study of structural behaviors of structures under earthquake effects. There are various papers about this subject. The concept of performance is comprehensively expressed in “Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings” of Federal Emergency Management Agency (FEMA356). FEMA356 (2000) is updated and published as FEMA440 (2005).

For the performance evaluation of the buildings, recommendations and related restrictions are given in different seismic codes and documents having very strict boundaries. When the approximations made in structural system modeling and in numerical analysis, generally the logical consequences of those restrictions are questionable.

Using strict criteria at the end of the analysis which contains probability and relativity is a deficiency. The main objective of this study is carried out to eliminate this deficiency. A new mathematical and logical flexibilisation method has been described in the 4th chapter of the study, named ‘Flexible Performance’.

In this study, the flexible performance evaluation has been given only for the primary structural elements such as columns, shear walls and beams. The study, will be a first step for secondary structural elements, shear controlled behaviors and much more.

It is shown that performance levels for beams, columns and shear walls can be defined to be flexible by using certain weighted values depending on the number and the deformation levels of elements as used in the fuzzy set theory. In the numerical treatment of the presented method, the damages and the corresponding performance levels for buildings given in FEMA 356 and Turkish Seismic Codes (2007) are considered and MATLAB Fuzzy Toolbox and Simulink options are used. The method is tested over 1200 generated data, the performance levels are determined and the results are given in tables and graphs are discussed, comparatively.

Keywords: Fuzzy set, performance based design, FEMA356, TDY2007, performance criteria, nonlinear analysis

1 GİRİŞ

Yakın zamana kadar binaların projelendirilmesinde kuvvete dayalı tasarım yaklaşımı ile yetinilmekteydi. Ancak, yazılım ve bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere paralel olarak, öncelikle mevcut binaların değerlendirilmesinde kullanılmak üzere yaklaşık 15~20 yıldan beri şekildeğiştirmeye dayalı tasarım konusundaki çalışmalara başlanıldığı söylenebilir. Performansa dayalı tasarım olarak da isimlendirilebilen bu yaklaşım ile artık sadece mevcut binaların deprem performansının değerlendirilmesinde değil, aynı zamanda yeni tasarımı yapılan binaların performans seviyelerinin belirlenmesinde de kullanılmasının yaygınlaşacağı anlaşılmaktadır. Performansa göre tasarımda doğrusal olmayan davranışın ortaya çıkması (sünek davranış) son derece önemlidir. Bu bölümde çalışmanın amacı, performans ve bulanıklık kavramları ana hatlarıyla verilmiştir.

1.1 Giriş ve Tezin Amacı

Doğrusal olmayan davranış gösteren bir evrende problemlerin kolayca çözülemeyeceği açıktır. Son zamanlarda düşünce felsefesi her bilim dalında değişmektedir. Bu değişim Matematik'te kaos, Fizik'te kuantum, Geometri'de fraktal ve Mantık'ta bulanık adı ile anılmaktadır. Bu çağda gelişen bilimin hayata yansımaları çok hızlı bir şekilde görmek mümkündür. Kuantum, fraktal ve bulanıklık hakkında hiçbir şey bilinmese dahi, günlük hayatta kullanılan cep telefonu, fotoğraf makinesi, otomobil, televizyon ve ev gereçleri gibi birçok araçta bu sistemlere rastlamak mümkündür. Bu yeni teknolojiden uzak durmak mümkün değildir. Bu sistemlerin hayata uyarlaması “yapay zekâ” olarak adlandırılmaktadır; İnşaat mühendisliği problemlerine uygulanmasının geciktiği belirtilebilir.

Einstein “Gerçek olaylar matematik denklemlerle kesinlikle ifade edilebiliyor denilirse, denklemlerin kesinliğinden, eğer matematik denklemler gerçeği kesin olarak tasvir edebiliyor sonucuna varılırsa, bu sefer de, gerçek dünya olaylarından

söz edilemez” demiştir. Özellikle dinamik problemler çoğunlukla doğrusal olmayan, karmaşık davranış gösterirler. Bu nedenle yapay zekâ ve bulanık küme sistemleri için çok uygun bir çalışma ortamı sunarlar. Yapay zekâ ve bulanık mantık sistemleri girdi ile çıktı uzayı arasında belirli bir fonksiyon bulunmayan, sözel değişkenlerle de ifade edilebilen, insan ve tecrübe faktörlerinin hesaplara dahil edilebildiği, eksik verilerde dahi doğru çözümleme yapabilme imkânının olduğu hızlı hesap yöntemleridir.

Dünyada ve Türkiye’de deprem kavramının önem kazandığı ve yapıların deprem davranışının daha ayrıntılı incelenmeye başlandığı, yapılan çalışmalardan görülmektedir; öyle ki Institute for Scientific Information’ın (ISI) 1960’ta ürettiği Science Citation Index’te (SCI) yapılan “earthquake” (deprem) taraması sonucu 1970-2000 yılları arasında toplam 14359, 2000-2008 yılları arası ise 15342 bilimsel yayın bulunmaktadır. Bu da son 8 yılda dünyada üretilen kabul edilmiş bilimsel yayın sayısının son 38 yılın yayın sayısının yarısından fazla olduğunu göstermektedir. Dünya oluştuğundan beri meydana gelen depremlerin son zamanlarda daha çok önem kazanmasının sebeplerinden bir tanesi de, can kayıpları ve hasarın çok fazla olduğu Kobe (1995), Adapazarı (1999) ve Sumatra (2004) gibi depremlerin meydana gelmesi ve medya ile bunların dünyaya daha hızlı ve yaygın olarak duyurulması ve etkilerinin gösterilmesidir.

Yanlış imalat ve/veya hatalı projelendirmenin ortadan kaldırılması, karmaşık deprem hareketinin yapılara etkisinin daha iyi belirlenebilmesi için, deprem yönetmelikleri yapılan bilimsel çalışmalar ışığında güncellenmektedir. Bu doğrultuda dünyada yapılan çalışmalardan birkaçı, Amerika’da Federal Emergency Management Agency ve Seismic Safety Commission of San Francisco tarafından hazırlanan FEMA356 (2000) ve ATC40 (1996) gibi tavsiye edilen raporlar (belgeler), standartlar; Avrupa’da Eurocode 8 (1998) ve Türkiye’de ise Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (TDY2007) olarak verilebilir. Bütün bu çalışmalara bakıldığında hepsinde de görülen ortak noktanın deprem durumunda yapı malzemelerinin doğrusal olmayan davranışlarının hesaplara dahil edilmeye çalışılmasıdır.

Bu tezin amacı: betonarme binalar için performans dayalı tasarım ile belirlenmesi hedeflenen taşıyıcı yapı elemanlarının performans durumlarının bulanık mantık yaklaşımı ile tespit edilmesidir.

Doğrusal elastik olmayan davranışın değerlendirilmesinde kullanılan ve bu tezde değerlendirme kriterleri üzerine çalışılan en genel iki yöntem aşağıdaki gibi verilebilir:

- 1) Hesaplarda rijitlik ve taşıyıcı sistem katsayısı gibi katsayılarda küçük değişiklikler yapılarak sistemin doğrusal elastik çözümlenmesi sonucu elde edilen etki/kapasite oranları üzerinden yapılan kıyaslama yöntemi.
- 2) Malzeme ve eleman kesitlerinin doğrusal elastik ötesi davranışları ile modellenmesi sonucu elde edilen kesit dönmelerinin veya kesitteki malzeme şekildeğiştirme oranlarının mertebelerinin kontrol edildiği yöntem.

1.2 Mevcut Betonarme Binaların Deprem Güvenliklerinin Değerlendirilmesi

Mevcut binaları değerlendirme yöntemlerinden en güncel olanı performans esaslı değerlendirmedir. Bu değerlendirme yöntemi için birkaç tanım aşağıda verilmiştir:

Performans mühendisliği: Binaların deprem anında daha önceden öngörülen bir performansı sağlayacak şekilde tasarımı, inşaatı ve bakımı için yöntemler geliştirmektir (SEAOC, 1988; Hamburger ve Moehle, 1999).

Performansa dayalı tasarım kavramı, herhangi bir kuvvetli yer hareketi durumunda bina hasar durumunun belirli seviyelerde kalabilmesi ya da en azından izin verilen sınırları aşmaması şeklinde belirtilebilir.

Yeteri kadar bilgi sahibi olunan belirli bir bina ve belirli bir yer hareketi için hasar durumunun sınırlanması, performans seviyeleri ile belirlenebilir ki, bu sınırlayıcı durumlar, binalardaki fiziksel hasarlar, bu hasarların ortaya çıkardığı can güvenliği tehdidi ve deprem sonrası yapı kullanılabilirliği olarak tanımlanabilir (ATC40, 1996).

Öz olarak, performansa dayalı tasarım; 50 yılda olma olasılığı %2, %10, %50 v.b. gibi olasılıklardaki depremler için binaları oluşturan yapı taşıyıcı sistem elemanlarındaki ve dolayısıyla binadaki muhtemel hasarların, Çizelge 1.1'de belirtilen hasar düzeylerinde kalmasını sağlamaktır (FEMA356, 2000).

Çizelge 1.1: Yapısal performansın tanımlanması.

Performans Seviyesi	Tanımı
Hemen Kullanım (HK)	Yapıda kayda değer hasar meydana gelmez. Yapı deprem öncesi rijitlik ve mukavemetinin yaklaşık olarak tamamını korur. Yapısal olmayan elemanlar güvenli ve çoğu işlevini yapar durumdadır. Bina düzensiz olsa dahi oturma için kullanılabilir.
Can Güvenliği (CG)	Yapısal elemanlarda önemli rijitlik azalması ile birlikte hasar vardır. Yapı elemanlarında henüz şekil değiştirme sınırları aşılmamıştır, fakat yapı fonksiyonel olmayabilir. Güçlendirme yapılmadan binaya girişlerin engellenmesi gerekir.
Göçme Öncesi (GÖ)	Yapısal elemanlarda oldukça fazla hasar vardır. Yapı rijitliği önemli bir şekilde azalmıştır. Göçme sınırına çok yaklaşılmıştır. Bazı tehlikeler oluşabilir.

FEMA356 proje ekibinden olan Hamburger ve Moehle'nin (1999) "*Performansa dayalı mühendislikteki son çalışmalar gösteriyor ki, daha net tasarım için çoklu performans amaçlarını karşılayacak güvenilir yöntemleri sağlamak bu mühendisliğin ana problemi olarak sayılabilir*" cümlesi bu çalışmayı yapmaya sevkeden tetikleyici etmenlerden biri olmuştur. Dolayısıyla bu çalışmada, söz konusu performans amaçlarının elde edilmesinde farklılık, görecelilik, esneklik, hassasiyet ve hız sağlayacak bir yöntem ilk defa önerilmiş olmaktadır. Bu nedenle çalışmaya "Esnek Performans" ismi verilmiştir. Genellikle işletme biliminde kullanılan bu sosyal bilim terimi (esneklik) böylelikle ilk defa bu çalışmayla bir matematiksel hesap sistemine isim olmuştur.

1.3 Bulanık Mantık Uygulama Alanları

Çelişmezlik ilkesi, biçimsel mantığın düşünmede tutarlılığı sağlayan temel ilkelerinden birisidir. Aristoteles'in, yerini diyalektik mantığa bırakıncaya kadar temelde aynı kalan, biçimsel mantığının üç ilkesinden ya da yasasından biri çelişmezliktir. Bu ilke çeşitli biçimlerde dile getirilmiştir: Bir şey, aynı zamanda hem kendisi hem de kendisinden başkası olamaz, A aynı zamanda B olamaz. Bir şey, aynı zamanda hem var hem yok olamaz. Bir şey, aynı zamanda, hem olumlanıp¹ hem de yadsınamaz². İki çeşit önermenin ikisi birden hem doğru hem yanlış olamaz. Özdeşlik ilkesi'ne göre Ferhat Ferhat'tır, çelişmezlik ilkesi'ne göre de Ferhat Fatih olamaz, ancak Ferhat olabilir.

¹ Olumlamak: Felsefede, karşılıklı konuşma mantığı ile varlığı ortaya koymak.

² Yadsımak: Olumlama'nın zıddı. Varlığı inkar etme.

Yukarıda ifade edilen Aristoteles'in çelişmezlik ilkesini yıkan bir düşünce sistemi olarak ortaya çıkan "Bulanık Mantık"ın temelleri Zadeh tarafından 1965 yılında atılmıştır. Türkçede nispi mantık, göreceli mantık, puslu mantık gibi isimlerle de anılan bulanık mantık esas itibarıyla, A içinde B'den bir parça B içinde de A'dan bir parça olduğunu anlatır. Hayatta yalnız doğru ve yanlış değil, biraz doğru ve biraz yanlış kavramlarının da olabileceğini anlatır. Başka bir deyişle, olayların ne beyaz ve ne de sadece siyah olmadığını, gri durumlar bulunduğunu belirtir. Bir devreden elektrik ya geçer ya geçmez değil biraz geçer, biraz geçmez gibi kavramların da olabileceğini anlatır ve bu bahsi geçen iddiayı da bulanık küme teorisi denilen matematiksel bir hesaplama sistemi üzerine oturtur (Zadeh, 1965).

Yukarıda anlatılan görecelilik ve esneklik robotik sahasında bir devrim olmuş ve robotların keskin hareketlerden esnek hareketlere geçişini ve insani davranışlarını sağlamıştır. Aynı şekilde insansız uçaklar, otomobiller, helikopterler, trenler; fotoğraf makineleri, cep telefonları, hasılı hayatın her noktasında tüm cihazlarda farkında olunmasa da bu yeni mantık sisteminden bir parça mevcuttur (URL-1).

2 PERFORMANSA GÖRE TASARIM

Tez çalışmasının bu bölümünde performansa göre tasarım yöntemi ana hatlarıyla verilmiştir.

2.1 Performansa Göre Tasarım Nedir?

Bir binanın deprem davranışının değerlendirilmesi ve depreme karşı güçlendirilmesi için performans kavramının kullanılması “Performansa göre tasarım” anlayışını çıkarmıştır. Performans veya daha özel ifadeyle sismik performans, bir yapıda daha önceden öngörülmüş belirli bir deprem etkisi (sismik tehlike) altında kabul edilebilir en büyük hasar durumlarının belirlenmesi işlemine denir (ATC40, 1996).

Yöntemin işleyişi için öz olarak denilebilir ki, bir bina inşaatında bina sahibi veya yönetmelikler vasıtasıyla uygun performans hedefi saptanır. Daha sonra mühendis analizlerde kullanılacak sismik talebi (muhtemel yer sarsıntısını) ve binanın yapısal ve yapısal olmayan sistemlerinin tasarım ve değerlendirmesinde kullanılacak kabul edilebilirlik kriterlerini belirler. Analizi gerçekleştirir ve performans kriterlerine uymayan elemanlar için güçlendirme önerdikten (mevcut binalarda) veya projede düzeltme yaptıktan (yeni projelerde) sonra analiz ve boyutlandırma işlemi sonuçlanır. Böylelikle uygulamanın projesinde öngörülen doğrultuda yapılması durumunda belirlenmiş performans hedefini sağlayan bir bina elde edilmiş olur.

Bu çalışmada betonarme yapılar için değerlendirme yapılmıştır. Bina, yapı,.. vb. ile kastedilen betonarme taşıyıcı sisteme sahip olan yapılardır. Değerlendirmenin çelik, ahşap ve yığma binalar için de uyarlanması mümkündür.

2.2 Performansa Göre Tasarım Gereksinimleri

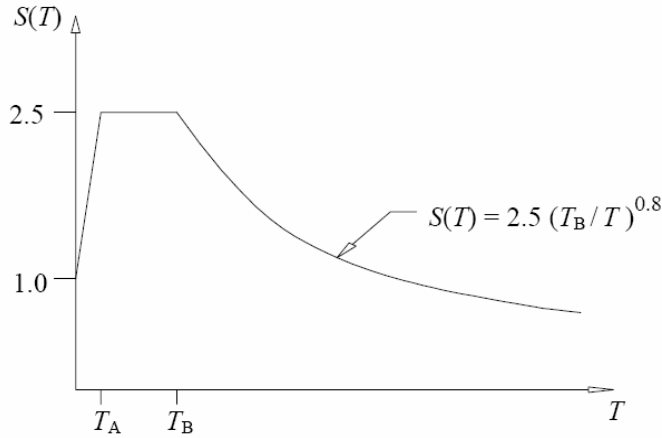
Performansa göre tasarımı yapılacak bir bina için aşağıdaki gibi bir akış şeması düzenlenebilir.

- I. Performans hedeflerinin belirlenmesi
- II. Sismik tehlikenin belirlenmesi
- III. Bina hakkında bilgi toplanması (plan, malzeme ve zemin özellikleri gibi)
- IV. Analiz yönteminin seçilmesi ve yapısal analizin gerçekleştirilmesi
- V. Performans değerlendirilmesi
- VI. Sonuç

Bu başlıklar sonraki bölümlerde ana hatlarıyla verilecektir.

2.2.1 TDY 2007'ye Göre Sismik Tehlike

Bir binanın sismik tehlikesi, belirli muhtemel yer sarsıntısına göre binanın konumu, fay durumları, bölgesel ve yerel jeolojik karakteristikleri ile ilgilidir (FEMA356, 2000). Yer sarsıntısı sebebiyle olabilecek sismik tehlike analizi için genelde ivme tepki spektrumu kullanılır. Hesaplamalarda kullanılan ivme spektrumu FEMA356'da ve Türk Deprem Yönetmeliği 2007'de (TDY2007) farklı yaklaşımlarla belirlenir. TDY2007'de tüm binalar için daha iyi bir çalışma yapılmadıkça 50 yılda olma ihtimali %10 olan tasarım depremine karşılık bir %5 sönümlü elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 2.1'deki gibi verilmiştir.



Şekil 2.1: TDY2007 Tasarım ivme spektrumu

Burada $S(T)$ eksenindeki ve formüldeki 2.5 katsayısı ile 1. derece deprem bölgesi için öngörülen ivme katsayısı olan 0.4 çarpıldığı takdirde 1.0 g'lik bir ivmeyi göstermektedir. T_A ve T_B katsayıları ise zemin sınıflarına bağlı olarak değişen ve spektrum ivme sahanlığını değiştiren karakteristik zemin periyotlardır. Bu değerler

Çizelge 2.1’de verilmiştir. 50 yılda olma ihtimali %2 ve %50 olan farklı deprem ihtimalleri durumlarında ise ivme değerleri için Çizelge 2.2’deki katsayılar önerilmiştir.

Çizelge 2.1: Spektrum karakteristik periyotları (T_A , T_B).

Yerel Zemin Sınıfı	T_A (s)	T_B (s)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Çizelge 2.2: Muhtemel depremler için spektrum artırma ve azaltma katsayıları.

Muhtemel Depremler	Spektrum artırma/azaltma katsayısı
50 yılda %50	0.5
50 yılda %10	1
50 yılda %2	1.5

2.2.2 FEMA356’ya Göre Sismik Tehlike

FEMA356’ya göre ise spektrum belirlemesi biraz farklıdır. Henüz ülkemizde mikro bölgeleme çalışmaları tamamlanmadığı için, tüm Türkiye’ye ait resmi nitelikte bir ivme haritası söz konusu değildir. Eğer spektrumları bulunacak bölge için ivme çalışması yapılmamışsa ivme verileri mevcut olmadığından, FEMA356’da verilen yöntemle spektrum tayini imkânsızdır. Bölge veya nokta için bir ivme değeri bulunmak istenirse, yapılması gereken işlemler sırasıyla aşağıdaki gibidir:

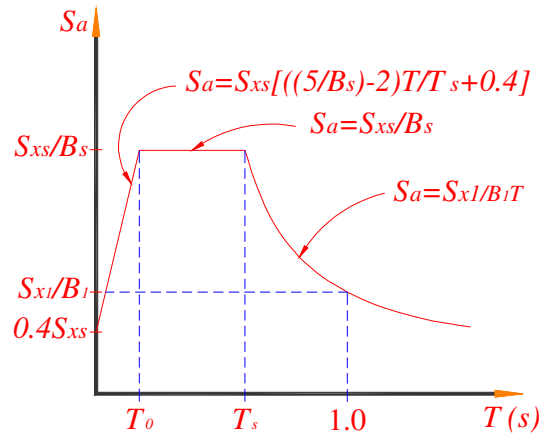
- I. Öncelikle bölge fay durumu ve deprem geçmişine göre Gutenberg Richter deprem büyüklüğü-tekrar sayısı eğrisi belirlenir.
- II. Bu eğri üzerinden öngörülen deprem ihtimallerine karşılık gelen manyitüdler bulunur. Bazı deprem ihtimalleri için isim tanımı yapılmış olup bunlar Çizelge 2.3’te verilmiştir.
- III. Azalım ilişkileri vasıtasıyla (Sadigh, 1997; Campbell, 1997; Boore, 1997; Kalkan, 2004) manyitüitten ivmeye geçilir. Bu işlem faylar boyunca yapılırsa bölge ivme haritaları oluşur.

Çizelge 2.3: Bazı muhtemel depremler için isimlendirme.

Muhtemel Depremler	İsimlendirme
50 yılda %10	BSE-2
50 yılda %2	BSE-1

50 yılda olma olasılığı %10 olan deprem BSE-2, 50 yılda olma olasılığı %2 olan deprem BSE-1 olarak isimlendirilir. Bu işlemler sonunda bölge için 0.2 s'lik kısa periyotlu ivme parametresi S_S ve 1.0 s'lik uzun periyotlu ivme parametresi S_I bulunur ardından da A, B, C, D, E ve F olmak üzere 6 çeşit olan zemin sınıflarına göre zemin sınıflandırması yapılır.

İvmeleri ve zemin sınıfları bilinen mikro bölge için tepki spektrumlarının bulunması ise oldukça kolaydır. Spektrumu oluşturmak için gerekli işlemler ve parametreleri aşağıda Şekil 2.2'de verilmiştir (FEMA356, 2000).



Şekil 2.2: FEMA356 genel ivme spektrumu.

Burada:

$$S_{XS} = S_S \times F_a \quad (2.1)$$

$$S_{XI} = S_I \times F_v \quad (2.2)$$

$$T_S = S_{XI} / S_{XS} \quad (2.3)$$

$$T_0 = 0.2 \times T_S \quad (2.3)$$

Parametreler ise:

S_a = Spektral ivme.

S_{XS} = Zemin sınıfına göre düzeltme yapılmış 0.2 s kısa periyotlu, %5 sönümlü ivme parametresi S_S .

F_a = S_S değerini zemin sınıflarına göre değiştirme katsayısı (Çizelge 2.4).

B_S = S_S değerini etkin sönüm oranına göre değiştirme katsayısı (Çizelge 2.6).

S_{XI} = Zemin sınıfına göre düzeltme yapılmış 1.0 s uzun periyotlu, %5 sönümlü ivme parametresi S_I .

$F_v = S_I$ değerini zemin sınıflarına göre düzeltme katsayısı (Çizelge 2.5).

$B_S = S_I$ değerini etkin sönüm oranına göre düzeltme katsayısı (Çizelge 2.6).

T = Bina doğal titreşim periyodudur

Çizelge 2.4: Zemin sınıflarına göre F_a değerleri.

Zemin Sınıfı	$S_S \leq 0.25$	$S_S = 0.50$	$S_S = 0.75$	$S_S = 1.00$	$S_S \geq 1.25$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	*	*	*	*	*

Çizelge 2.5: Zemin sınıflarına göre F_v değerleri.

Zemin Sınıfı	$S_I \leq 0.1$	$S_I = 0.2$	$S_I = 0.3$	$S_I = 0.4$	$S_I \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	*	*	*	*	*

* Bölgeye özel geoteknik inceleme ve dinamik yer tepki analizi yapılmalı.

Çizelge 2.6: Etkin sönüm oranlarına göre B_S ve B_I değerleri.

Sönüm oranları	B_S	B_I
$\leq \%2$	0.8	0.8
$\%5$	1.0	1.0
$\%10$	1.3	1.2
$\%20$	1.8	1.5
$\%30$	2.3	1.7
$\%40$	2.7	1.9
$\geq \%50$	3.0	2.0

Deprem bölgeleri “Yüksek”, “Orta” ve “Düşük” depremsel bölgeler olarak üçe ayrılır. Bu bölgeler içerdikleri en büyük ivme tehlikesine göre adlandırılmıştır ki, bu muhtemel ivmeler Çizelge 2.7’de verilmiştir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu deprem tehlikesi belirleme işlemi FEMA356’ya göredir.

Çizelge 2.7: Deprem bölgelerinde oluşabilecek muhtemel en büyük ivmeler.

Depremsellik	S_{XS}	S_{XI}
Yüksek	$S_{XS} \geq 0.5g$	$S_{XI} \geq 0.2g$
Orta	$0.167g \leq S_{XS} < 0.5g$	$0.067g \leq S_{XI} < 0.2g$
Düşük	$S_{XS} < 0.167g$	$S_{XI} < 0.067g$

2.2.3 Performans Seviyeleri ve Temel Güvenlik Hedefleri

Performans amacı olarak ifade edilen kavram üç ana performans seviyesinin deprem tehlike seviyelerindeki oluşma durumlarına göre adlandırılır ki bunlar; hemen kullanım (HK), can güvenliği (CG) ve göçme öncesi (GÖ) performans seviyeleridir. Bu performans seviyelerinin eleman düzeyindeki hasar durumları ise hemen kullanım (MN), can güvenliği (GV) ve göçme öncesi (GÇ) seviyeleridir. Bu performans seviyeleri kısaca aşağıdaki gibi açıklanabilir:

Hemen Kullanım Performans Seviyesi (HK): Binanın güvenli bir şekilde işlevselliğini koruduğu, ancak yapısal olmayan elemanlar için çok küçük onarımların ve düzeltmelerin gerekebileceği performans seviyesidir.

Can Güvenliği Performans Seviyesi (CG): Yapısal ve yapısal olmayan hasarlardan dolayı meydana gelebilecek can güvenliği tehlikesinin minimum düzeyde tutulduğu bir performans seviyesidir. Sarsıntı anında yapısal olmayan elemanlar kontrollü değildir, sarsıntı sonrası kimyasal tehlike ve yangın tehlikesi vardır. Bu performans seviyesi yönetmeliklere göre yapılmış yeni binaların performans seviyesinden daha düşük bir seviyeyi ifade eder, yani yönetmelik sınırlamaları ile binaların bu seviyeden daha fazla bir yerdeğiştirme yapması düşünülür (ATC40, 1996)

Göçme Öncesi Performans Seviyesi (GÖ): Bu performans seviyesi sadece bina ana çerçevesi veya yatay yük taşıyıcı sistem için tanımlanabilir ve yapıda sadece düşey yük stabilitesi söz konusudur. Ana sarsıntı sonrası gelen artçılar tarafından yapının yıkılma olasılığı çok yüksektir. Yıkılan ve düşen parçalardan dolayı yapı içi ve dışı yakınında can tehdidi yüksektir. Büyük bir olasılıkla yapısal olmayan yapı elemanları işlevini kaybetmiş, taşıyıcı sistem de büyük zarar görmüş durumdadır.

Genel olarak yapılardan beklenen temel güvenlik hedefi (BSO), çok şiddetli depremde ayakta kalması, can kaybı meydana gelmemesi, orta şiddetli depremde (tasarım depreminde) kolay onarılabilir taşıyıcı sistem hasarının oluşması, hafif şiddetli depremlerde de işlevselliğinin devam etmesidir.

2.2.3.1 TDY2007’ye göre temel güvenlik hedefleri

Deprem Yönetmeliği’ne göre temel güvenlik hedefleri bina kullanım amacı ve türüne karşılık depremin aşılma olasılığı olarak Çizelge 2.8’de verilmiştir.

Çizelge 2.8: TDY2007’ye göre temel güvenlik hedefleri.

Bina kullanım amacı ve türü	Depremin aşılma olasılığı		
	50 yılda %50	50 yılda %10	50 yılda %2
Deprem Sonrası Kullanımı Gereken Binalar: Hastaneler, sağlık tesisleri, itfaiye binaları, haberleşme ve enerji tesisleri, ulaşım istasyonları, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, afet yönetim merkezleri, vb.	-	HK	CG
İnsanların Uzun Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Okullar, yatakhaneler, yurtlar, pansiyonlar, askeri kışlalar, cezaevleri, müzeler, vb.	-	HK	CG
İnsanların Kısa Süreli ve Yoğun Olarak Bulunduğu Binalar: Sinema, tiyatro, konser salonları, kültür merkezleri, spor tesisleri	HK	CG	-
Tehlikeli Madde İçeren Binalar: Zehirli, parlayıcı ve patlayıcı özellikleri olan maddelerin bulunduğu ve depolandığı binalar	-	HK	GÖ
Diğer Binalar: Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (konutlar, işyerleri, oteller, turistik tesisler, endüstri yapıları, vb.)	-	CG	-

2.2.3.2 FEMA356’ya göre temel güvenlik hedefleri

FEMA356’ya göre temel güvenlik hedefleri deprem tehlike seviyesine (aşılma olasılıklarına) karşılık bina performansı olarak Çizelge 2.9’da verilmiştir. Bu hedeflerden her biri yapıdan yapıya farklılık gösterebilir ve seçilebilir. Fakat daha önce de ifade edildiği gibi temel güvenlik hedefi (BSO) Çizelge 2.9’a göre k+p dir.

Çizelge 2.9: FEMA356’ya göre temel güvenlik hedefleri.

Deprem tehlike seviyesi (50 yılda aşılma olasılıkları)	Bina performans Seviyesi		
	Hemen Kullanım Performans Seviyesi (1-B)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (3-C)	Göçme Öncesi Performans Seviyesi (5-E)
50 yılda %50	b	c	d
50 yılda %20	f	g	h
50 yılda %10 (BSE-1)	j	k	l
50 yılda %2 (BSE-2)	n	o	p

2.2.3.3 Yapısal elemanlar ve hasar düzeyleri

Yapısal elemanlardan perdeler, kolonlar ve kirişlerde birincil ve ikincil eleman olma durumu söz konusudur. Birincil yapısal eleman deprem yükleri altında binayı gerek kuvvet ve gerekse şekildeğiştirme bakımından yıkılmadan ayakta tutacak hayati önemdeki taşıyıcı elemanlardır. İkincil yapısal elemanlar ise birincil elemanlar kadar yapı yatay yük taşıyıcılığı üzerinde etkisi olmayan, kapasite eğrisinin daha çok artık kapasite kısmında etkinliği olan yapısal elemanlardır (FEMA356, 2000). Birincil ve ikincil yapısal elemanlar için performans seviyeleri ve hasar durumları Çizelge 2.10'da verilmiştir.

Çizelgeden de görüleceği gibi, kılavuz olarak kabul edilen kitaplardaki birçok kavram bile niceliksel değil niteliksel yani dilsel ifadelerle verilmiştir. Bu durum bu konunun bulanık tanımlamalar yapmak için son derece uygun olduğunu göstermektedir.

Çizelge 2.10: Yapısal performans seviyeleri ve hasarları.

Elemanlar	Eleman tipi	Yapısal performans seviyesi		
		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3)	Göçme Öncesi Performans Seviyesi (S-5)
Kolon, Kiriş Çerçeveler	Birincil	Çok küçük kılcal çatlaklar. Çok az bir iki noktada plastikleşme mümkündür. Şekildeğiştirmeler 0.003'ün altındadır.	Kirişlerde çok fazla hasar. Pas payları atar, sünek kolonlarda <0.32 cm mertebesinde kayma çatlakları olur. Gevrek kolonlarda çok az parçalanma. Düğüm noktası çatlakları <0.32 cm mertebesinde.	Çok fazla çatlaklar ve sünek elemanlarda mafsallaşma. Bazı gevrek kolonlarda az çatlak ve/veya düğüm noktası parçalanması. Kısa kolonlarda çok ağır hasar.
	İkincil	Sünek kolon ve kirişlerin birkaçında çok az pas payı atması. Kiriş ve kolonlarda eğilme çatlakları. Düğüm noktası çatlakları <0.16 cm mertebesinde.	Çok fazla çatlaklar ve sünek elemanlarda mafsallaşma. Bazı gevrek kolonlarda az çatlak ve/veya düğüm noktası parçalanması. Kısa kolonlarda çok ağır hasar	Kolon ve kirişlerde çok fazla pas payı atması. Düğüm noktalarında çok ağır hasar. Bazı donatılarda burkulma.
	Bağıl ötelenme	%1 geçici, ihmal edilebilir oranda kalıcı	%2 geçici, %1 kalıcı	%4 geçici veya kalıcı

Çizelge 2.10 (devam): TDY 2007'ye göre temel güvenlik hedefleri.

Elemanlar	Eleman tipi	Yapısal performans seviyesi		
		Hemen Kullanım Performans Seviyesi (S-1)	Can Güvenliği Performans Seviyesi (S-3)	Göçme Öncesi Performans Seviyesi (S-5)
Perdeler	Birincil	<0.16cm mertebesinde çok küçük kılcal çatlaklar. Bağ kirişlerde <0.32 cm mertebesinde hissedilir çatlak.	Bazı perde uçlarında gerilmeler sınırdadır ve donatıda çok az burkulma. Boşluk kenarlarında hasar. Bağ kirişlerinde hissedilir kayma ve eğilme çatlakları, biraz dağılma fakat beton bütünlüğünü korumaktadır.	Çok fazla eğilme ve kayma çatlakları ve açılmalar. Düğüm noktalarında kayma. Donatıda çok fazla ezilme, bozulma ve burkulma. Boşluk kenarlarında parçalanma. Çok fazla perde uç hasarı. Bağ kirişleri paramparça olmuştur ve görsel olarak ayrıktır.
	İkincil	Çok küçük kılcal çatlaklar. Bağ kirişlerinde <0.32 cm mertebesinde hissedilir çatlak. Çok az pas payı atması.	Önemli eğilme ve kayma çatlakları. Bağlantılarda kaymalar. Hissedilir ezilme. Boşluk kenarlarında parçalanma. Çok fazla perde uç hasarı. Bağ kirişleri paramparça olmuştur ve görsel olarak ayrıktır.	Paneller parçalanmıştır ve görsel olarak ayrıktır.
	Bağlı ötelenme	%0.5 geçici, ihmal edilebilir miktar kalıcı	%1 geçici, %0.5 kalıcı	%2 geçici veya kalıcı
Temeller	Genel	Çok az oturma ve ihmal edilebilir yan yatma.	Toptan oturma <15.24 cm mertebesinde ve farklı oturma yaklaşık 10 m'de 1.25 cm mertebesinde.	Önemli miktarda oturma ve yan yatma.
Döşemeler	Genel	Dağılmış kılcal çatlaklar. <0.32 cm mertebesinde çok az çatlak.	<0.64 cm mertebesinde hissedilir kırılma. Bölgesel ezilmeler ve pas payı atması.	Çok fazla ezilme ve gözlemlenebilir çok sayıda paralel ve çapraz büyük çatlaklar.

2.2.3.4 Yapısal olmayan elemanlar ve hasar düzeyleri

Yapısal olmayan elemanlar olarak cephe kaplamaları, doğramalar, camlar, bölme duvarları, asma tavanlar, parapetler, süslemeler, gölgelikler, bacalar, çatılar, kapılar, asansörler, üretim ekipmanları, temiz su tesisatları, yangın söndürme sistemleri, alarm sistemleri, acil ışıklandırma sistemleri, elektrik panoları, armatürler, atık su tesisatları, bilgisayar sistemleri, masaüstü araç gereçleri, dosya dolapları, kitap dolapları, tehlikeli maddeler, sanat objeleri v.b. gibi elemanlar sayılabilir. Bu elemanların hasara göre performans durumları N-A, N-B, N-C, N-D, N-E ile ifade edilir.

Bu tez çalışması kapsamında sadece yapısal elemanlar için bir çalışma söz konusu olduğundan, yapısal olmayan elemanların performans seviyelerine göre hasar

durumlarını gösteren çizelge verilmemiştir. Ancak FEMA356 Bölüm 1.5.2’de veya ATC40 Bölüm 3.2.2’de bu konuda ayrıntılı bilgi bulunmaktadır.

2.2.4 Eleman Düzeyinde Performans Hedefleri

Önceki bölümlerde verilen yapısal ve yapısal olmayan elemanların performansları aşağıda Çizelge 2.11’de birleştirilerek verilmiştir. 1-B “Hemen kullanım”, 3-C “Can güvenliği” ve 5-E “Göçme öncesi” performansları eleman düzeyinde ana performans hedefleridir.

Çizelge 2.11: Eleman düzeyinde performans seviyeleri.

Yapısal olmayan elemanların performans seviyeleri	S-1 Hemen Kullanım	S-2 Belirgin Hasar Aralığı	S-4 Can Güvenliği	S-4 İleri Hasar Aralığı	S-5 Göçme Öncesi	S-6 Bu performans durumu dikkate alınmaz
N-A İşlevsel	1-A İşlevsel 1-B Hemen Kullanım (HK)	2-A	TE	TE	TE	TE
N-B Hemen Kullanım		2-B	3-B	TE	TE	TE
N-C Can Güvenliği	1-C	2-C	3-C Can Güvenliği (CG)	4-C	5-C	6-C
N-D İleri Hasar	TE	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
N-B Bu performans durumu dikkate alınmaz	TE	TE	TE	4-E	5-E Göçme Öncesi (GÖ)	Uygulanamaz

TE: Tavsiye edilmeyen performans hedefi.

2.2.4.1 Birincil ve ikincil yapı elemanları

FEMA356’ya göre deprem yükünün karşılanmasındaki ana elemanlara birincil eleman denilir ve bu elemanlar deprem ve düşey yükleri karşılayacak şekilde tasarlanır. İkincil elemanlar ise, yatay yükleri karşılayan sistemin bir parçası değildir fakat bu elemanlar düşey yükler altında iken deprem yüklerinden meydana gelen yerdeğiştirmelere dayanacak şekilde değerlendirilmelidir. Bu sebeple, FEMA356’da her iki eleman sınıfı için de tasarım kriterleri mevcuttur.

2.2.5 Eksikliklerin Belirlenmesi ve Bilgi Toplama

Binaların sismik değerlendirmesi gerçek ve doğru bilgi toplamayla doğrudan ilişkilidir. Bilgi toplama, mevcut proje gibi belgeler, arazi çalışmaları ve malzeme deneylerini ifade eder. Bilgi toplama işlemi binadan binaya farklılık gösterir. Ön değerlendirme, ayrıntılı değerlendirme ve analizler veya en son güçlendirme projelerinin hazırlanması için bina bilgileri kesinlikle gereklidir. Toplanan bu bilgilerin durumuna göre, binadaki elemanların kapasitelerine uygulanacak bilgi düzeyi katsayıları aşağıda Çizelge 2.12’de verilmiştir (FEMA356, 2000).

Çizelge 2.12: Bilgi düzeyi katsayıları.

Veri	Bilgi düzeyi							
	Sınırlı		Orta				Kapsamlı	
Güçlendirme hedefi	BSO veya daha az		BSO veya daha az		Artırılmış		Artırılmış	
Analiz yöntemi	LSP, LDP ³		Hepsi		Hepsi		Hepsi	
Deneyler	Deney Yok		Genel deneyler		Genel deneyler		Kapsamlı deneyler	
Çizimler	Tasarım çizimleri	veya eşdeğeri	Tasarım çizimleri	veya eşdeğeri	Tasarım çizimleri	veya eşdeğeri	İmalat çizimleri	veya eşdeğeri
Durum değerlendirmesi	Görsel	Kapsamlı	Görsel	Kapsamlı	Görsel	Kapsamlı	Görsel	Kapsamlı
Malzeme özellikleri	Çizimden veya varsayılan değerlerden	Varsayılan değerlerden	Çizimden ve deneyden	Genel deneyden	Çizimden ve deneyden	Genel deneyden	Hesap raporlarından ve deneyden	Kapsamlı deneyden
Bilgi katsayısı (κ)	0.75	0.75	1.00	1.00	0.75	0.75	1.00	1.00

Deprem Yönetmeliği 2007’de ise yine ayrıntılı izahları söz konusu yönetmelikte olmakla birlikte bilgi düzeyi katsayıları aşağıda Çizelge 2.13’teki gibidir. Bu bilgi düzeyi katsayıları dışında ATC40, 1996’dan alınmış Çizelge 2.14 gerekli bilgiler çizelgesi de oldukça faydalıdır.

Çizelge 2.13: Bilgi düzeyi katsayıları (TDY2007’ye göre).

Bilgi düzeyi	Sınırlı	Orta	Kapsamlı
Bilgi düzeyi katsayısı	0.75	0.90	1.00

³ LSP, LDP: Doğrusal elastik statik analiz, doğrusal elastik dinamik analiz.

Çizelge 2.14: Orijinal çizimler mevcut değilse ayrıntılı sismik değerlendirme için gerekli bilgiler.

İşlemler	Gerekli mi?		Yorum
	Evet	Hayır	
Yapı hesap raporları		×	Çok yardımcı olabilir
Bölge sismisite, geoteknik raporları		×	Yardımcı olur ama şart değil
Zemin raporları		×	Yardımcı olur ama şart değil
Önceki sismik durum raporları		×	Yardımcı olur ama şart değil
Binanın gözlem durumu	×		
Binada yapılmış değişiklikler	×		
Rölöve alma	×		Eğer bina güçlendirilecekse çok dikkatlice düşünülerek yapılmalı
Yapısal olmayan elemanları gözden geçirme	×		Göçme tehlikesi ve ağırlık tespiti için gerekli
Beton numune deneyi	×		Her kat için minimum 2 numune, bina için en az 8 numune
Schmidt çekici beton deneyi	×		Her kat için minimum 8 deney, bina için en az 16 deney
Agrega deneyi	×		Her alınan beton numunesinde
Donatı mukavemet deneyi	×		Her tip için 2 tane
Donatı yer, miktar doğrulaması	×		Donatı tespit cihazı ile tüm önemli elemanlarda, görsel olarak %25'inde
Yapısal olmayan tespitler	×		Bina performansını etkileyen elemanların destek durumlarının ve ankraj durumlarının kontrolü

2.2.6 Genel Güçlendirme Seçenekleri

Binaların performansa göre sismik değerlendirilmesi yapılırken güçlendirilmesi öngörülen eleman veya tüm bina taşıyıcı sistemi için aşağıdaki yöntemlerden bir veya birkaçının uygulanması uygundur.

- I. Elemanların bölgesel olarak güçlendirilmeleri veya zayıflatılmaları
- II. Mevcut yapı düzensizliklerinin azaltılması veya ortadan kaldırılması
- III. Bina rijitliğinin genel olarak arttırılması
- IV. Bina dayanımının genel olarak arttırılması
- V. Kütle azaltılması
- VI. Sismik izolasyon yapılması
- VII. Enerji sönümleyici cihazların kullanılması

2.2.7 Analiz Yöntemleri

Bir yapıda güvenilir bir sismik performans sağlamak için yapının ve yapıyı oluşturan yapısal elemanların belirlenmiş, seçilmiş bir deprem durumu için yapabileceği en büyük yerdeğiştirme değerinin belirlenmesi gerekir. Bu belirleme işlemi çeşitli analiz yöntemleri ile mümkündür. Malzeme ve geometri bakımından doğrusal olma ya da olmama durumlarına göre bu analiz yöntemleri aşağıdaki ana başlıklar altında toplanabilir:

- a) Doğrusal elastik yöntemler
 - i) Doğrusal elastik statik yöntemler (LSP)
 - ii) Doğrusal elastik dinamik yöntemler (LDP)
- b) Doğrusal elastik olmayan yöntemler
 - i) Doğrusal elastik olmayan statik yöntemler (NSP)
 - ii) Doğrusal elastik olmayan dinamik yöntemler (NDP)

Bu yöntemlerin bir kısmı ilerleyen bölümlerde ayrıntılı olarak anlatılacak ve örneklendirilecektir. Bu yöntemlerin hepsinde geçerli bazı ana kurallar mevcut olup bunlar yapı önem katsayısı, yapı davranış katsayısı gibi katsayıların taban kesme kuvveti hesaplarında 1.0 alınması ve eleman rijitlikleri olarak da çatlamış kesit rijitliğinin kullanılmasıdır. Çatlamış kesit rijitliği için Çizelge 2.15 kullanılabilir.

Çizelge 2.15: Çatlamış kesit rijitlikleri.

	Eleman	Eğilme Rijitliği	Kayma Rijitliği	Eksenel Rijitlik
FEMA356	0.5A _g f _c ' değerinden büyük eksenel kuvvete maruz kolonlar	0.7E _c I _g	0.4E _c A _w	E _c A _g
	0.3A _g f _c ' değerinden küçük eksenel basınç veya çekmeye maruz kolonlar	0.5E _c I _g	0.4E _c A _w	E _s A _s
	Çatlamamış perdeler	0.8E _c I _g	0.4E _c A _w	E _c A _g
	Çatlamış perdeler	0.5E _c I _g	0.4E _c A _w	E _c A _g
TDY2007	Kirişler	0.4EI	-	-
	N _D /(A _c f _{cm})≤0.10 ise kolon veya perdeler	0.4EI	-	-
	N _D /(A _c f _{cm})≥0.40 ise kolon veya perdeler	0.8EI	-	-

Burada:

E, E_c= Beton elastisite modülü

I, I_g = Kesit atalet momenti

A_w = Çekirdek kesit alanı

A_g = Kesit brüt alanı

A_s = Çekme donatısının alanı

N_D = Tasarım normal kuvveti, $N_g+N_q+N_e$

Binalardaki burulma etkisi yatay yüklemeler altındaki bina çözümlemesinde çok önemlidir ve her binanın her katı için mutlaka inceleme yapılmalıdır. Bu hesaplama FEMA356'ya göre 2.4 eşitliği ile

$$\eta = \frac{\delta_{\max}}{\delta_{\text{avg}}} \quad (2.4)$$

TDY2007'ye göre ise 2.5 eşitliği ile gerçekleştirilir.

$$\eta_{bi} = \frac{(\Delta_i)_{\max}}{(\Delta_i)_{\text{ort}}} \quad (2.5)$$

Her iki yönetmelikte de ifade edilen η ve η_{bi} ifadeleri yerdeğiştirme çarpanı ve burulma düzensizliği katsayısı olarak isimlendirilir. İki formülde de anlatılmak istenen şey aynıdır; komşu iki kat arasındaki her bir noktanın bağıl yerdeğiştirmesinin maksimumunun, bağıl yerdeğiştirmelerin aritmetik ortalamalarına oranıdır.

FEMA356'ya göre eğer tesadüfî burulma momenti gerçek burulma momentinin %25'inden küçükse ve $\eta < 1.1$ ise kuvvet ve yerdeğiştirmenin η kez artırımıyla çözümleme yapılabilir, eğer $1.2 < \eta \leq 3.0$ ise doğrusal elastik analiz yöntemleri ile ve A_x katsayısı ile kuvvet ve yerdeğiştirme artırımı yapılarak çözümleme yapılabilir.

$$A_x = \left(\frac{\eta_x}{1.2} \right)^2 \leq 3.0 \quad (2.6)$$

Eğer yerdeğiştirme çarpanı $\eta > 1.5$ ise iki boyutlu modelleme ve analiz yeterli olmayıp üç boyutlu modelleme ve analiz gereklidir. Kütle ve rijitliğin üç boyutlu dağılımı göz önüne alınmalıdır.

TDY2007'ye göre ise çok modlu NSP ve NDP yöntemleri hariç her durumda $\eta_{bi} < 1.4$ olmalıdır.

2.3 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri

Doğrusal elastik hesap yöntemleri yaklaşım ve uygulama bakımından doğrusal elastik olmayan yöntemlere oranla daha basit yöntemlerdir. Bir yapıda doğrusal elastik yöntemleri kullanabilmek için yapının aşağıdaki iki koşulu sağlaması gerekir. Bu koşullara geçmeden önce küçük bir formül ve tanım yapmak gerekir.

$$DCR = Q_{UD} / Q_{CE} \quad (2.7)$$

DCR = Talep / Kapasite oranı

Q_{UD} = Düşey ve deprem yükleri kombinasyonundan ortaya çıkan eleman iç kuvveti

Q_{CE} = Elemanın beklenen dayanımı, kapasitesi

Eğer

- I. tüm yapı bileşenlerinde $DCR \leq 2.0$ ise,
- II. bir veya daha fazla yapı bileşeninde DCR değeri 2.0'yi aşarsa ve yapıda düzensizlikler⁴ mevcut değilse,

doğrusal elastik yöntem kullanılabilir. Yukarıda tanımlanan DCR veya sınır değeri olan “ m katsayısı” doğrusal elastik hesap yöntemler için değerlendirme kriteridir. Bütün hesap sonunda yapı birincil ve ikincil elemanları bu m katsayısı ile karşılaştırılır ve en düşük performanslı eleman seçilmiş bina performansını sağlamalıdır (FEMA356, 2000; ATC40, 1996).

TDY2007'de kapasite oranı kavramı, “ r ” artık kapasite şeklinde verilmektedir ve FEMA356'dan biraz farklıdır.

$$r = \frac{M_E}{M_K - M_{G+Q}} \quad (2.7a)$$

⁴ Yapısal düzensizlik: Ayrıntı için FEMA356 2.4.1.1. ve TDY2007 2.3 başlıklarına bakınız.

$$r = \frac{N_E}{N_K - N_{G+Q}} \quad (2.7b)$$

Burada:

M_E = Deprem yükleri altında oluşan moment

M_K = Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan moment kapasitesi

M_{G+Q} = Düşey yükler altında oluşan moment

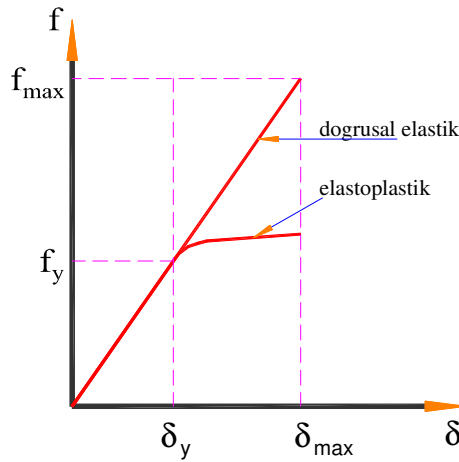
N_E = Deprem yükleri altında oluşan normal kuvvet

N_K = Mevcut malzeme dayanımlarına göre hesaplanan normal kuvvet kapasitesi

N_{G+Q} = Düşey yükler altında oluşan normal kuvvettir.

2.3.1 Doğrusal Elastik Statik Yöntem (LSP)

Deprem Yönetmeliği'nde "Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi" olarak verilen bu doğrusal elastik statik yöntemle amaçlanan, yer hareketinden yapı doğal periyodu ve yapı kütleline bağlı olarak oluşan kuvvetin yapıya statik olarak etkilmesi ve bu etkinin yapı elemanları üzerinde oluşturduğu iç kuvvetlerin eleman kapasitelerine oranını, yani kapasite oranını (DCR) veya r 'yi bulmak ve öngörülen DCR veya r_s ile kıyaslamaktır. Bu kıyaslama işlemi sırasında yapı davranışının Şekil 2.3'teki gibi tamamen doğrusal elastik olduğu kabul edilmektedir.



Şekil 2.3: Doğrusal elastik ve elastoplastik davranış.

TDY2007'ye göre eşdeğer deprem yüğü yöntemini uygulayabilmek için binanın Çizelge 2.16'da verilen kısıtlamaları sağlaması gerekir.

Çizelge 2.16: Eşdeğer deprem yükü yöntemi uygulama sınırları.

Bina türü	Toplam bina yüksekliği
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} < 1.4$ koşulunu sağladığı binalar	$H_N \leq 25$ m

FEMA356’da ise daha önceden verilen kısıtlamalardan başkaca bir kısıtlama söz konusu değildir.

Kısıtlamaları sağlayan bina için bina periyodu belirlenir ki, bu işlem için 3 yöntem vardır:

1. Analitik yöntem: Matematik modelin özdeğer analizi sonucu bina periyodu belirlenebilir.
2. Ampirik yöntem: 2.8’deki gibi bir ampirik formülle veya benzer formüllerle bina periyodu belirlenebilir.

$$T = C_t h_n \beta \quad (2.8)$$

T = Hesap doğrultusundaki bina doğal titreşim periyodu

C_t = Betonarme için 0.0055

h_n = Yapının temel üstünden itibaren tüm yüksekliği

β = Betonarme çerçeveler için 0.90

3. Yaklaşık yöntem:

Rayleigh-Ritz yöntemi ile bina periyodu yaklaşık olarak belirlenebilir

Bina periyodu belirlenen yapıya uygulanacak eşdeğer kuvvet FEMA356’ya göre 2.9 formülüyle hesaplanır.

$$V = C_1 C_2 C_3 C_m S_a W \quad (2.9)$$

V = Pseudo yatay yükü, taban kesme kuvveti

C_1 = Doğrusal hesaplama ile belirlenen fakat aynı zamanda beklenen en büyük elastik olmayan yerdeğiştirmeyi de ifade eden yerdeğiştirme ile ilgili katsayı. Doğrusal elastik hesaplamalar için aşağıdaki değerler kullanılabilir:

$T < 0.1$ s için $C_I = 1.5$

$T \geq T_S$ için $C_I = 1.0$, C_I 'in ara değerleri için doğrusal interpolasyon yapılabilir.

T_S = Spektrum karakteristik periyodu

C_2 = Dar histerik şekilleri ifade etmek için kullanılan bir katsayıdır. Doğrusal elastik yöntemler için $C_2 = 1.0$ alınabilir.

C_3 = Dinamik P- Δ etkisi nedeniyle artan yerdeğiştirmeyi ifade etmek için bir katsayıdır. Eğer 2.10 ile verilen θ_i Stabilite katsayısı her elemanda 0.1 değerinin altındaysa $C_3 = 1.0$ alınabilir, yani P- Δ etkisi ihmal edilebilir mertebede demektir. Buna karşın θ_i değeri 0.33'ün üzerindeyse yapı labil hale geçmiş demektir. Aksi taktirde C_3 tüm katlardaki en büyük değeri veren 2.11 formülü ile hesaplanır.

$$\theta_i = \frac{P_i \delta_i}{V_i h_i} \quad (2.10)$$

$$C_3 = 1 + 5(\theta - 0.1) / T \quad (2.11)$$

Burada:

θ_i = Stabilite katsayısı

P_i = i. kattaki hesaplanan kolona veya perdeye gelen eksenel yük

V_i = i. kata gelen toplam kat kesme kuvveti

h_i = i. katın yüksekliği

δ_i = i. katın hesap doğrultusundaki bağıl yerdeğiştirmesi

C_m = Etkin kütle katsayısı. $T > 1.0$ s ise $C_m = 1.0$ alınabilir. Aksi durumlarda Çizelge 2.17'deki değerler kullanılmalıdır.

Çizelge 2.17: Etkin kütle katsayısı C_m .

Kat sayısı	Eğilme çerçevesi	Perde çerçevesi	Perde-bağ kirişli
1-2	1.0	1.0	1.0
3 ve fazla	0.9	0.8	0.8

S_a = Belirli sönüm oranında, bina periyoduna karşılık gelen spektrum ivmesi.

W = Deprem etkisine maruz kalacağı öngörülen etkin yapı ağırlığı⁵.

FEMA356'ya göre taban kesme kuvvetinin (F_x) katlara dağılımı ise 2.12 ve 2.13 denklemleri ile verilmektedir.

$$F_x = C_{vx} V \quad (2.12)$$

$$C_{vx} = \frac{w_x h_x^k}{\sum_{i=1}^n (w_i h_i^k)} \quad (2.13)$$

Burada:

C_{vx} = Düşey dağıtım katsayısı

$k = \begin{cases} T \geq 2.5 \text{ s için } k=2.0 \\ T \leq 0.5 \text{ s için } k=1.0, \text{ ara değerler için doğrusal interpolasyon yapılabilir.} \end{cases}$

Bu k katsayısı yatay yük yükleme şeklini belirler. Eğer $k=1.0$ durumu geçerli ise deprem yüklemesi doğrusal ve ters üçgen şeklindedir ki TDY2007 LSP'ye 25 m yapı yüksekliği kısıtlaması getirdiği için 2.13 formülündeki k her zaman 1.0'dir. FEMA356'da ise yüksek periyotlu yapılarda yükleme şekli içbükeydir.

w_i = i. katın ağırlığı

w_x = Yapı x. katına kadar olan toplam kat ağırlıkları

h_i = i. katın yüksekliği

h_x = x. katın yüksekliğidir.

TDY2007'deki eşdeğer deprem yükünün yapı yüksekliği boyunca katlara dağılımı da çok küçük değişiklikler olmakla birlikte, 2.12, 2.13'te verilen formüllerle bulunmaktadır. Taban kesme kuvveti formülündeki R_a ve I katsayıları 1.0 olacaktır.

Doğrusal elastik statik (LSP) yönteminde yani eşdeğer deprem yükü yönteminde bina kütlesi kat seviyelerinde toplanmış şekilde düşünülür ve kat seviyelerinde rijit diyafram tanımlaması yapılır. Yukarıda katlara dağıtılması verilmiş deprem yükleri de bu diyaframların kütle merkezine etkililir.

⁵ Ayrıntı için TDY2007 2.7.1.2'ye ve FEMA356 3.3.1.3.1'e bakınız.

2.3.2 Doğrusal Elastik Dinamik Yöntem (LDP)

Doğrusal elastik hesabın yapılabildiği fakat doğrusal elastik statik yöntemin uygulanamayacağı binalar için doğrusal elastik dinamik yöntem uygulanabilir.

- 1) Bina 1.mod periyodu $T > 3.5$ s olan binalar
- 2) Çatı katı hariç, iki komşu katın yatay boyutlarının oranının 1.4 olduğu binalar
- 3) Herhangi bir katta çok fazla burulma düzensizliği olan binalar.
- 4) Düşeyde çok fazla kütle veya rijitlik düzensizliği olan binalar
- 5) Yatay kuvveti karşılayacak çerçeve sistemi ortogonal olmayan binalar için LSP uygulanamaz, LDP uygulanabilir.

İç kuvvet ve yerdeğiştirmeleri LDP ile hesaplanan kesitlerde

$$m \geq \frac{Q_{UD}}{\kappa Q_{CE}} \quad (2.14)$$

κ = Bilgi düzeyi katsayısı

m = etki/kapasite oran sınırı

2.14 formülü ile değerlendirilir.

Burada, eğer kontrol edilen yapı elemanı gevrek ise veya kuvvet kontrollü bir davranış gösteriyorsa 2.14 formülündeki $Q_{UD} \rightarrow Q_{UF}$ (kesite gelen kuvvet) olur. $Q_{CE} \rightarrow Q_{CL}$ (Elemanın alt limit dayanımı) olur ve m katsayısı 1.0 olarak alınır.

Doğrusal elastik dinamik yöntem ikiye ayrılır:

- I. Mod birleştirme yöntemi: Doğrusal elastik dinamik yöntemlerden biri olan Spektrum Yöntemi veya Mod Birleştirme Yöntemi'yle amaçlanan, yeterli sayıda (%90 kütle katılımı sağlayan) yapı modunun her biri için hesaplanan en büyük katkıların, SRSS (Karelerin toplamının karekökü) veya CQC (Tam karesel birleştirme) gibi istatistiksel yöntemlerle birleştirilmesi sonucu, en büyük iç kuvvet ve yerdeğiştirmelerin hesaplanmasıdır.

- II. Zaman tanım alanında hesap: Zaman tanım aralığı yönteminde amaçlanan şey, depreme karşı yapının ve dolayısıyla yapı elemanlarının tepkisini, kaydedilmiş veya türetilmiş zaman-ivme serileri ile değerlendirmektir. Eğer üç veya daha fazla seri kullanılarak hesap yapılıyorsa en büyük tepki değeri değerlendirme için kullanılabilir. Eğer yedi veya daha fazla seri kullanılıyorsa tüm tepki değerlerinin ortalaması alınabilir.

2.4 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri

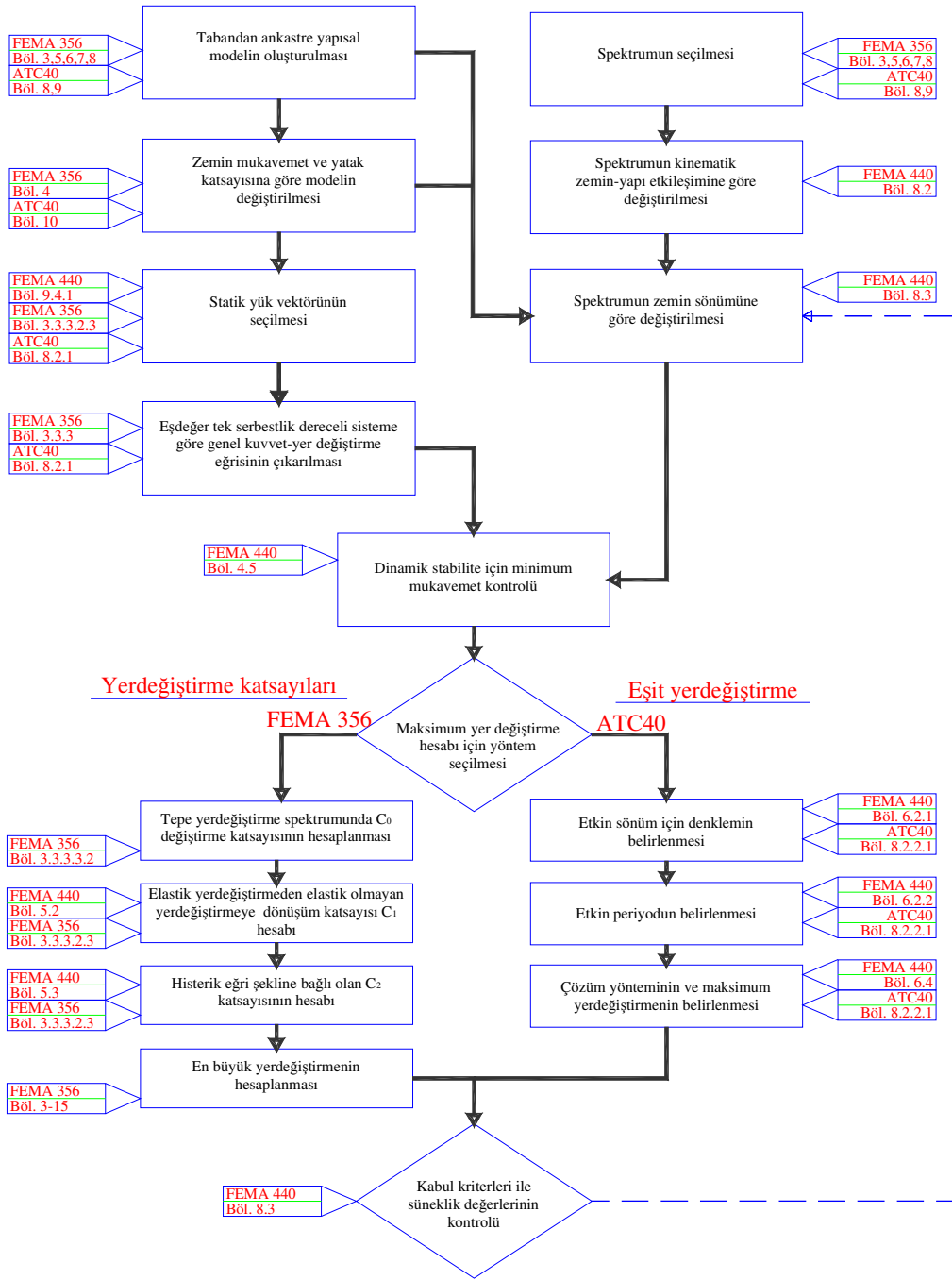
Doğrusal elastik yöntemlerle hesabına izin verilmeyen binalar doğrusal elastik olmayan yöntemlerle hesaplanabilir. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinin işlem yükü doğrusal elastik hesap yöntemlerine göre daha fazladır ve zaman alıcıdır. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri statik ve dinamik olmak üzere ikiye ayrılır. İki yöntemde de ortak noktalar, yapıya etkitilecek deprem kuvveti hesaplanırken yapı önem katsayısı veya taşıyıcı sistem süneklik katsayısı gibi bir katsayı düşünülmemesi ve bunların hesaplardaki değerlerinin 1.0 olarak alınmasıdır.

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemlerinde eleman düzeyinde değerlendirme için, aslında literatürde geçerli herhangi bir yöntemin kullanılmasına izin olmakla birlikte, genelde en pratik yöntem olan yığılı plastik davranış modeli kullanılmaktadır.

2.4.1 Doğrusal Elastik Olmayan Statik Yöntem (Artımsal İtme Analizi, Statik İtme Analizi, NSP)

Bu yöntem doğrusal elastik olmayan analiz yöntemleri içerisinde en yaygın olanıdır. Amacı, muhtemel deprem için binadaki en büyük tepe yerdeğiştirmesine karşılık, bina taşıyıcı elemanlarının her birinde meydana gelen şekildeğiştirmelerin ön görülen performans kriterleri ile kıyaslanması sonucu bina performansının bulunmasıdır.

FEMA440, 2004'ten alınan işlem akış şeması ise Şekil 2.4'teki gibidir:



Şekil 2.4: Doğrusal elastik olmayan statik sismik analiz için akış şeması.

2.4.1.1 Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi

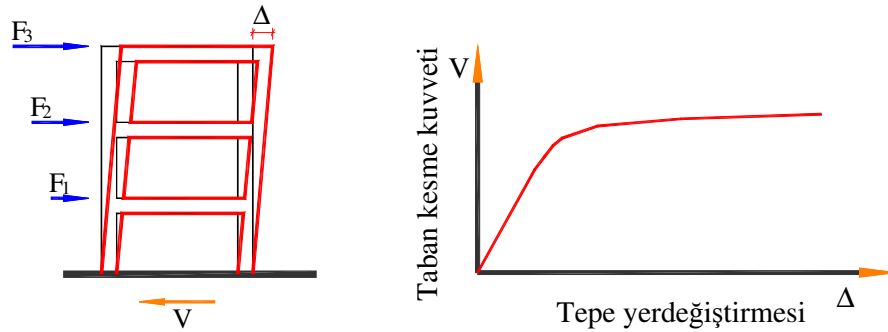
Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin amacı, birinci mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem talep sınırına kadar monoton olarak adım adım arttırılan

eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır (TDY, 2007).

Bu yöntem uygulanırken önce sistem düşey yükler altında çözümlenir daha sonra itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait bağıl değerler ve son adımda daha önceden belirlenmiş deprem istemine (hedef yerdeğiştirmeye, performans noktasına) karşı gelen değerler hesaplanır. Bu yük artımı işlemi sırasında yatay yük şekli FEMA356'ya göre ters üçgen, 1. mod şekli veya düzgün yayılı yüklemekten biri; TDY 2007'ye göre ise 1. mod şekline uygun olabilir.

Bu yöntemle hesap yaparken bazı kısıtlamalar ve kabuller mevcuttur. Bunların en önemlisi 1. mod için modal kütle katılım oranıdır ki, bu oran FEMA356'ya göre %75, TDY2007'ye göre ise %70'tir. Ayrıca plastik kesit oluşumlarından bağımsız bir şekilde, etkitilen yatay yükün sabit kaldığı da varsayılmaktadır. İç kuvvet şekildeğiştirme eğrisindeki pekleşme etkisinin göz önüne alınması veya alınmaması analiz yapana bırakılmıştır.

Bu kabuller ışığında, her bir adımdaki tepe yerdeğiştirmesi - taban kesme kuvvetinin bağıl toplamını gösteren Şekil 2.5'teki “*Taban kesme kuvveti- Tepe yerdeğiştirmesi*” eğrisi, yani itme eğrisi hesaplanır.



Şekil 2.5: İtme eğrisi (Kapasite eğrisi).

2.4.1.2 Eşit yerdeğiştirme kuralı ile en büyük yerdeğiştirme tespiti

Tek modlu doğrusal elastik olmayan statik yöntemle hesaplanan itme eğrisinin koordinatları dönüştürülerek “modal yerdeğiştirme-modal ivme” yi veren modal

kapasite diyagramına geçiş yapılır (ATC40, 1996). Bu dönüştürme öz olarak Şekil 2.6 ve Şekil 2.7’de verilmiştir.

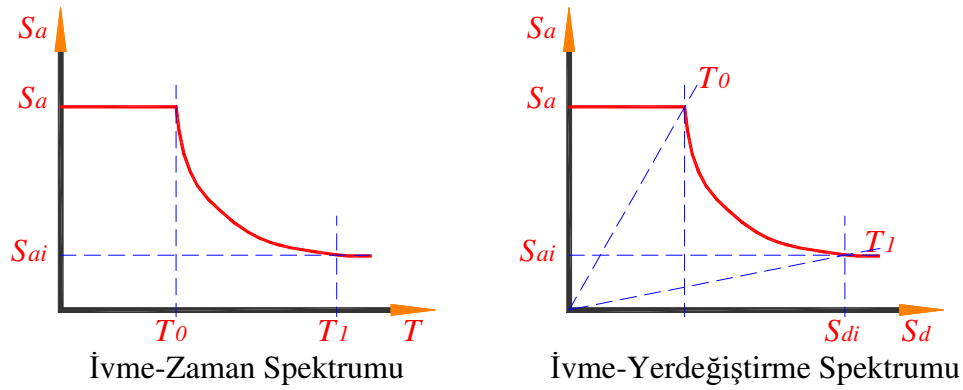
Talep spektrumu üzerindeki her nokta S_a , S_d ve T değerlerini içermektedir. Standart S_d ve T formatındaki spektrumu $S_a - S_d$ formatına çevirmek için S_{di} değerlerini belirlemek gerekir. Bu işlem 2.15 formülü ile yapılabilir.

$$S_{di} = \frac{T_i^2}{4\pi^2} S_{ai} g \quad (2.15)$$

Burada:

S_a, S_{ai} = Spektral ivme değerleri

S_d, S_{di} = Spektral yerdeğiştirme değerleri



Şekil 2.6: İvme-Zaman (S_a-T) ve İvme-Yerdeğiştirme (S_a-S_d) Talep Spektrumu.

Kapasite (pushover) eğrisinden kapasite spektrumuna geçmek için birinci mod spektral koordinatlarının noktadan noktaya dönüşümünün yapılması gerekir. Kapasite eğrisi üzerindeki her bir V_i , Δ_r noktası, bunlara karşılık gelen S_{ai} , S_{di} spektrum değerlerine 2.16 eşitlikleri kullanılarak çevrilir.

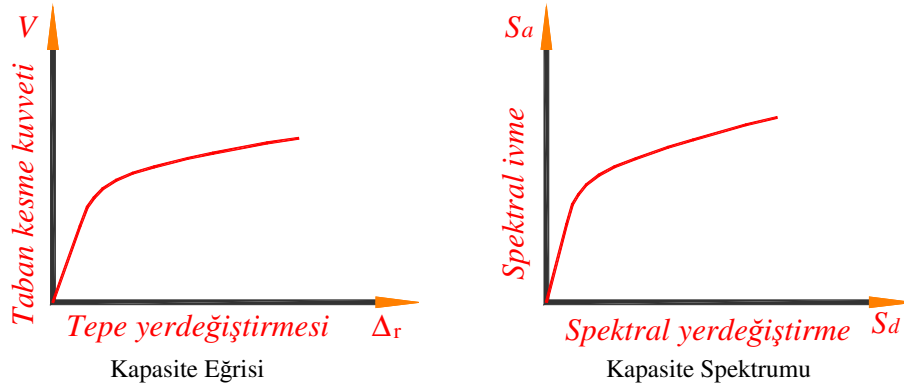
$$S_{ai} = \frac{V_i}{W\alpha_1} \quad S_{di} = \frac{\Delta_r}{(\Phi_1 \times \Gamma_1)} \quad (2.16)$$

Burada:

α_1 = 1.moda ait modal kütle katılım katsayısı

Φ_1 = 1.mod şekli genliği

$\Gamma_1 = 1$.moda ait modal katkı çarpanı



Şekil 2.7: Kapasite Eğrisi ve Kapasite Spektrumu.

$T > T_0$ olmak koşulu ile 2.15 formülü, T_1 periyodu ile hedef spektral yerdeğiştirmeyi veren formülün son hali 2.17’de verilmiştir.

$$S_{d1} = \frac{T_1^2}{4\pi^2} S_{a1} g \quad (2.17)$$

$T < T_0$ olması durumunda hedef spektral yerdeğiştirme formülüne C_{R1} katsayısı ilave olur. Bu durumda spektral yerdeğiştirme formül 2.18 ile elde edilir.

$$S_{d1} = C_{R1} \left(\frac{T_1^2}{4\pi^2} S_{a1} g \right) \quad (2.18)$$

C_{R1} katsayısı ise 2.19 ile hesaplanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_0 / T_1}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.19)$$

R_{y1} birinci moda ait dayanım azaltma katsayısını gösterir ve 2.20 ile hesaplanır.

$$R_{y1} = \frac{S_{a1}}{a_{y1}} \quad (2.20)$$

Buradan bulunan spektral S_{di} yerdeğiştirmesi kullanılarak 2.16 dan Δ_r terimi yalnız bırakılır ve yapıya uygulanacak hedef yerdeğiştirme (talep yerdeğiştirme), eşit yerdeğiştirme kuralı yöntemi için 2.21 denklemi ile bulunur.

$$\Delta_r = S_{di} \Phi_1 \Gamma_1 \quad (2.21)$$

2.4.1.3 Katsayı yöntemi ile en büyük yerdeğiştirme tespiti (FEMA356, FEMA440)

Her kat seviyesi için hedef yerdeğiştirme 2.22 formülüyle hesaplanabilir:

$$\delta_i = C_0 C_I C_2 (C_3) S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g \quad (2.22)$$

Burada: C_0 = Eşdeğer tek serbestlik dereceli sistemin spektral yerdeğiştirmelerine bağlı bir katsayıdır. Bu katsayı için kontrol noktasının birinci mod kütle katılım katsayısı alınabilir veya Çizelge 2.18 kullanılabilir.

Çizelge 2.18: C_0 katsayısı için değerler⁶.

Kat sayısı	Kayma Binası ⁷		Diğer Binalar
	Üçgen Yük Şekli ⁸	Üniform Yük Şekli	Herhangi bir Yük Şekli
1	1.0	1.0	1.0
2	1.2	1.15	1.2
3	1.2	1.2	1.3
5	1.3	1.2	1.4
10 ve fazla	1.3	1.2	1.5

C_I = Doğrusal hesaplama ile belirlenen fakat aynı zamanda beklenen en büyük elastik olmayan yerdeğiştirmeyi de ifade eden yerdeğiştirme ile ilgili katsayısı. Doğrusal elastik hesaplamalar için aşağıdaki değerler alınabilir.

$$T_e \leq 0.2 \text{ için } C_I = 0.2$$

$$T_e \geq T_0 \text{ için } C_I = 1.0$$

$0.2 < T_e < T_0$ için C_I ; 2.23 (FEMA440, 2005), 2.24 denklemleri ve Çizelge 2.17 kullanılarak hesaplanır.

$$C_I = \frac{1 + (R - 1)}{a T_e} \quad (2.23)$$

Burada R, 2.24 ile verilmiştir.

⁶ Ara değerler için doğrusal enterpolasyon yapılabilir.

$$R = \frac{S_a}{V_y W} C_m \quad (2.24)$$

$a = 130$ (B sınıfı zemin için), 90 (C sınıfı zemin için), 60 (C sınıfı zemin için)

T_e = Yapı periyodu

T_0, T_S = Spektrum karakteristik periyotları

V_y = İki doğrulu kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi ile ifade edilen eğrideki akma dayanımı

W = Yapı ağırlığı

C_m = Etkin kütle katsayısı (Çizelge 2.18 kullanılır)

g = Yer çekimi ivmesi

C_2 = Dar histeretik şekilleri ifade etmek için kullanılan bir katsayı (FEMA440, 2005).

$T_e \leq 0.2s$ için $C_2=0.2$

$T_e \geq 0.7s$ için $C_2=1.0$

$0.2 < T_e < 0.7$ için 2.25 denklemleri.

$$C_2 = 1 + \frac{1}{800} \left(\frac{R-1}{T_e} \right)^2 \quad (2.25)$$

C_3 = FEMA356 (2000)'de bulunan bu katsayı, FEMA440 (2005)'te gözden geçirilerek kaldırılmıştır.

2.4.1.4 Çok modlu itme analizi

Çok modlu itme analizi, adından da anlaşılacağı gibi, birden fazla yapı modunun dikkate alındığı itme analizidir. Bu analiz için literatürde Reinhorn (1997), Chopra ve Goel (2001) ve Aydinoglu (2003) gibi çeşitli araştırmacılar tarafından yöntem tanımı yapılmıştır (FEMA440, 2005).

Bunlardan Chopra ve Goel (2001), modlardaki tepe yerdeğiştirmesi eşit olacak şekilde, her mod şekline göre (ilk birkaç mod için) kuvvetlerin belirlenip yapıya mod şekline göre birbirinden bağımsız olarak etkilmesi ile itme analizi yapılmasını

⁷ Katlar arası görel kat ötelemeleri yukarı çıktıkça azalan binalar.

⁸ Bu yük şekli için bazı kısıtlamalar vardır ayrıntı için FEMA356 3.3.3.2.3.'e bakınız.

öngörür. Her bir mod için olan modal itme analizinde, hedef yerdeğiştirme altında yapıda oluşan fiziksel tepki değerleri belirlenir. Bu tepki değerleri, Karelerin Toplamının Kare Kökü (SRSS) yöntemi kullanılarak birleştirilir. Bu yöntemde her modun fiziksel tepkisinin doğrusal elastik olmayan şekildeğiştirmeyi vermesine rağmen mod şeklinin ve yükleme şeklinin analiz boyunca değişmediği, sabit kaldığı kabul edilir. Her bir modu temsil eden eşdeğer tek serbestlik dereceli sisteme “Yerdeğiştirme katsayıları yöntemi” veya “Eşit yerdeğiştirme kuralı” yöntemlerinden bir tanesinin uygulanması ile hedef yerdeğiştirme değeri belirlenebilir.

Aydınoglu, (2003) ise *Artımsal Mod Birleştirme Yöntemi* ile itme analizinde, ardışık iki plastik kesit oluşumu arasındaki her bir itme adımında “*adım adım doğrusal elastik*” davranışı esas alır. Modal ölçeklendirme ile monoton olarak arttırılan modal yerdeğiştirmeler göz önüne alınarak, her adımda *mod birleştirme kuralları*’nın uygulandığı bir *doğrusal davranış spektrumu analizi* gerçekleştirilir. Bu analizin sonuçlarından yararlanılarak, adım sonunda sistemde oluşan plastik kesitler belirlenir; yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme, iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve sonuçta deprem talebine karşı gelen en büyük değerler hesaplanır.

2.4.2 Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi (NDP)

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi’nin amacı, taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranış göz önüne alınarak sistemin hareket denkleminin adım adım integrasyonunun yapılmasıdır. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yerdeğiştirme, plastik şekildeğiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem istemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır (TDY, 2007; FEMA356, 2000). Hesaplanan yerdeğiştirmeler ve iç kuvvetler doğrudan kabul kriterleri ile karşılaştırılır (FEMA356, 2000).

Bu yöntem uygulanırken yapay, kaydedilmiş veya benzetilmiş en az üç kuvvetli yer hareketi kaydı kullanılmalı ve bu kayıtların spektral ivme değerlerinin ortalaması hakim periyot T_e ’ye göre $0.2T_e$ ile $1.5T_e$ arasındaki periyotlarda tasarım deprem spektrumunun $1/1.4$ ’ünden ($\approx 70\%$) daha az olamaz (FEMA356, 2000). TDY2007’de ise bu değerler $0.2T_e$ ile $2.0T_e$ arasında olmalı ve oran da en az 90% ($\approx 1/1.11$) olmalıdır.

2.5 Performans Kriterleri ve Bina Performansı

Daha önce bahsedilen ister doğrusal elastik hesap yöntemleri ile isterse doğrusal elastik olmayan yöntemler ile plastik davranışın belirlenmesi sürecinin son aşaması, elemanların ve dolayısıyla da binanın deprem performansının belirlenmesi aşamasıdır. Bu aşamada, eleman performans değerlendirmeleri doğrusal elastik hesap yöntemleri için 2.7 denklemlerinde ifade edilen etki/kapasite oranı katsayısı olan “m” ile (FEMA356’da “m factor” olarak tanımlıdır) yapılır. Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemleri için ise kesitte oluşan plastik dönmelerin değerlendirilmesi ile olur. Bu çalışmada “m katsayıları” olarak adlandırılan FEMA356 sınır DCR değerleri aşağıdaki 2.19 – 2.21 çizelgelerinde verilmiştir. Kesit dönme değerleri ise 2.22 – 2.24 çizelgelerinde verilmiştir. Bu çizelgelerdeki bütün V , b_w , d ve f_c' değerlerinin birimleri N-mm olmalıdır.

2.5.1 Doğrusal Elastik Hesap Yöntemleri için Kriterler

Doğrusal elastik hesap yöntemi için kriterler Çizelge 2.19, Çizelge 2.20 ve Çizelge 2.21’deki gibidir.

Çizelge 2.19: Kiriş (m) kapasite oran sınırları.

Durumlar			m-katsayıları				
			Performans Seviyesi		Birincil eleman		
			MN	GV	GC	GV	GC
1. Eğilme etkisindeki kirişler ⁹							
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama ¹⁰	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}}$					
≤ 0.0	var	≤ 0.25	3	6	7	6	10
≤ 0.0	var	≥ 0.5	2	3	4	3	5
≥ 0.5	var	≤ 0.25	2	3	4	3	5
≥ 0.5	var	≥ 0.5	2	2	3	2	4
≤ 0.0	yok	≤ 0.25	2	3	4	3	5
≤ 0.0	yok	≥ 0.5	1.25	2	3	2	4
≥ 0.5	yok	≤ 0.25	2	3	3	3	4
≥ 0.5	yok	≥ 0.5	1.25	2	2	2	3

⁹ Verilen eleman için 1, 2, 3 ve 4 durumlarından birden fazlası oluşursa bu durumlardan minimum olan değer kullanılır.

¹⁰ Eğer kolon ya da kiriş uç bölgelerinde etriye aralığı $\leq d/3$ veya $\leq h_c/3$ ve eğer etriyenin sağladığı kesme kuvveti dayanımı boyutlama kesme kuvvetinin en az 3/4'ünü karşılamakta ise, enine donatı durumu “VAR” olarak diğer durumlarda “YOK” olarak tanımlanır.

Çizelge 2.19 (devam): Kiriş (m) kapasite oran sınırları.

Durumlar	m-katsayıları				
	Performans Seviyesi				
	Birincil eleman		İkincil eleman		
	MN	GV	GC	GV	GC
2. Kesme etkisindeki kirişler ⁹					
Etriye aralığı $\leq d/2$	1.25	1.5	1.75	3	4
Etriye aralığı $> d/2$	1.25	1.5	1.75	2	3
3. Açıklık boyunca etriye aralıkları, sayıları uygun olmayan kirişler ⁹					
Etriye aralığı $\leq d/2$	1.25	1.5	1.75	3	4
Etriye aralığı $> d/2$	1.25	1.5	1.75	2	3
4. Kiriş- Kolon birleşimleri uygun sarılmamış kirişler ⁹					
	2	2	3	3	4

ρ = Kesit çekme donatısı oranı

ρ' = Kesit basınç donatısı oranı

ρ_b = Kesit dengeli donatı oranı

V = Kesit kesme kuvveti

b_w = Kesit genişliği

d = Kesit yüksekliği

f'_c = Beton karakteristik basınç dayanımı

m-katsayıları = Denklem 2.14 ile verilen m, etki/kapasite oran sınırı

Çizelge 2.20: Kolon (m) kapasite oran sınırları.

Durumlar			m-katsayıları				
			Performans Seviyesi				
			Birincil eleman		İkincil eleman		
			MN	GV	GC	GV	GC
1. Eğilme etkisindeki kolonlar ⁹							
$\frac{P}{A_g f_c}$	Sargılama ¹⁰	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.1	var	≤ 0.25	2	3	4	4	5
≤ 0.1	var	≥ 0.5	2	2.4	3.2	3.2	4
≥ 0.4	var	≤ 0.25	1.25	2	3	3	4
≥ 0.4	var	≥ 0.5	1.25	1.6	2.4	2.4	3.2
≤ 0.1	yok	≤ 0.25	2	2	3	2	3
≤ 0.1	yok	≥ 0.5	1.6	1.6	2.4	1.6	2.4
≥ 0.4	yok	≤ 0.25	1.25	1.5	2	1.5	2
≥ 0.4	yok	≥ 0.5	1.25	1.5	1.75	1	1.6
2. Kesme etkisindeki kolonlar ⁹							
Etriye aralığı $\leq d/2$,							
veya $\frac{P}{A_g f_c} \leq 0.1$			-	-	-	2	3
Diğer durumlar			-	-	-	1.5	2

Çizelge 2.20 (devam): Kolon (m) kapasite oran sınırları.

Durumlar	m-katsayıları				
	Performans Seviyesi				
	Birincil eleman		İkincil eleman		
	MN	GV	GC	GV	GC
3. Kolon yüksekliği boyunca etriye aralıkları, sayıları uygun olmayan kolonlar ⁹					
Etriye aralığı $\leq d/2$	1.25	1.5	1.75	3	4
Etriye aralığı $> d/2$	-	-	-	2	3
4. Eksenel yükü $0.70P_0$ 'ın üzerinde olan kolonlar ⁹					
Etriyesi uygun kolonlar	1	1	2	2	2
Diğer durumlar	-	-	-	1	1

A_g = Kesit alanı $b_w \times d$

P = Eksenel kuvvet

Çizelge 2.21: Perde (m) kapasite oran sınırları.

Durumlar	m-katsayıları				
	Performans Seviyesi				
	Birincil eleman		İkincil eleman		
	MN	GV	GC	GV	GC
1. Perdeler ve perde parçaları					
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$	Perde uç	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c}}$			
	sargılama				
≤ 0.1	var	≤ 0.25	2	4	6
≤ 0.1	var	≥ 0.5	2	3	4
≥ 0.25	var	≤ 0.25	1.5	3	4
≥ 0.25	var	≥ 0.5	1.25	2	2.5
≤ 0.1	yok	≤ 0.25	2	2.5	4
≤ 0.1	yok	≥ 0.5	1.5	2	2.5
≥ 0.25	yok	≤ 0.25	1.25	1.5	2
≥ 0.25	yok	≥ 0.5	1.25	1.5	1.75
2. Perdelerle desteklenmiş çerçevelerdeki kolonlar					
Sargılaması uygun olan ¹¹	1	1.5	2	n.a. ¹²	n.a.
Sargılaması uygun olmayan	1	1	1	n.a.	n.a.
3. Perde bağ kırıışleri					
Boyuna ve enine donatı ¹⁰	$\frac{V}{t_w l_w 0.35 \sqrt{f_c}}$				
Klasik boyuna donatılandırma ve uygun sargılama	≤ 0.25	2	4	6	6
	≥ 0.5	1.5	3	4	4
Klasik boyuna donatılandırma ve uygun olmayan sargılama	≤ 0.25	1.5	3.5	5	5
	≥ 0.5	1.2	1.8	2.5	2.5
Diagonal donatı	n.a.	2	5	7	7

¹¹ Tüm kolon boyunca etriye aralığı $\leq d/2$ ve eğer etriyenin sağladığı kesme kuvveti dayanımı boyutlama kesme kuvvetinden büyük ise enine donatı durumu “uygun”dur.

¹² n.a.: uygulanamaz

A_s = Çekme donatısı alanı

A_s' = Basınç donatısı alanı

f_y = Donatı karakteristik akma gerilmesi

t_w = Perde genişliği

l_w = Perde boyu

2.5.2 Doğrusal Elastik Olmayan Hesap Yöntemleri için Kriterler

Doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi için kriterler aşağıdaki Çizelge 2.22, Çizelge 2.23 ve Çizelge 2.24'teki gibidir. Performans seviyelerini belirleyen plastik dönme açısı sınırları inşaat mühendisliğinde yerleri henüz netlik kazanmamış göreceli değerlerdir. 4. Bölüm'de verilecek olan yeni yöntem söz konusu bu değerlerin doğruluğunu irdelememektedir. Zaten göreceli olan bu değerler için hesaplamalara bilgisayar diliyle bir esneklik getirmektedir.

Çizelge 2.22: Kiriş plastik dönme açısı sınırları.

Durumlar			Plastik dönme açıları (rad)				
			Performans Seviyesi				
			Birincil eleman		İkincil eleman		
			MN	GV	GC	GV	GC
1. Eğilme etkisindeki kirişler ⁹							
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama ¹⁰	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.0	var	≤ 0.25	0.010	0.02	0.025	0.02	0.05
≤ 0.0	var	≥ 0.5	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
≥ 0.5	var	≤ 0.25	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≥ 0.5	var	≥ 0.5	0.005	0.005	0.015	0.015	0.02
≤ 0.0	yok	≤ 0.25	0.005	0.01	0.02	0.02	0.03
≤ 0.0	yok	≥ 0.5	0.0015	0.005	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	yok	≤ 0.25	0.005	0.01	0.01	0.01	0.015
≥ 0.5	yok	≥ 0.5	0.0015	0.005	0.005	0.005	0.01
2. Kesme etkisindeki kirişler ⁹							
Etriye aralığı $\leq d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.01	0.02
Etriye aralığı $> d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.005	0.01
3. Açıklık boyunca etriye aralıkları, sayıları uygun olmayan kirişler ⁹							
Etriye aralığı $\leq d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.01	0.02
Etriye aralığı $> d/2$			0.0015	0.002	0.003	0.005	0.01
4. Kiriş- Kolon birleşimleri uygun sarılmamış kirişler ⁹							
			0.01	0.01	0.015	0.02	0.03

Çizelge 2.23: Kolon plastik dönme açısı sınırları.

Durumlar			Plastik dönme açıları (rad)				
			Performans Seviyesi				
			Birincil eleman		İkincil eleman		
			MN	GV	GC	GV	GC
1. Eğilme etkisindeki kolonlar ⁹							
$\frac{P}{A_g f_c}$	Sargılama ¹⁰	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.1	var	≤ 0.25	0.005	0.015	0.02	0.02	0.03
≤ 0.1	var	≥ 0.5	0.005	0.012	0.016	0.016	0.024
≥ 0.4	var	≤ 0.25	0.003	0.012	0.015	0.018	0.025
≥ 0.4	var	≥ 0.5	0.003	0.01	0.012	0.013	0.02
≤ 0.1	yok	≤ 0.25	0.005	0.005	0.006	0.01	0.015
≤ 0.1	yok	≥ 0.5	0.004	0.004	0.005	0.008	0.012
≥ 0.4	yok	≤ 0.25	0.002	0.002	0.003	0.006	0.01
≥ 0.4	yok	≥ 0.5	0.002	0.002	0.002	0.005	0.008
2. Kesme etkisindeki kolonlar ⁹							
Tüm durumlar			-	-	-	0.003	0.004
3. Kolon yüksekliği boyunca etriye aralıkları, sayıları uygun olmayan kolonlar ⁹							
Etriye aralığı $\leq d/2$			0.005	0.005	0.01	0.01	0.02
Etriye aralığı $> d/2$			0	0	0	0.005	0.01
4. Eksenel yükü $0.70P_0$ 'ın üzerinde olan kolonlar ⁹							
Etriyesi uygun kolonlar			0	0.005	0.01	0.01	0.02
Diğer durumlar			0	0	0	0	0

Çizelge 2.24: Perde plastik dönme açısı sınırları

Durumlar			Plastik dönme açıları (rad)				
			Performans Seviyesi				
			Birincil eleman		İkincil eleman		
			MN	GV	GC	GV	GC
1. Perdeler ve perde parçaları							
$\frac{(A_s - A_s') f_y + P}{t_w l_w f_c}$	Perde uç sargılama	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c}}$					
≤ 0.1	var	≤ 0.25	0.005	0.01	0.015	0.015	0.02
≤ 0.1	var	≥ 0.5	0.004	0.008	0.01	0.01	0.015
≥ 0.25	var	≤ 0.25	0.003	0.006	0.009	0.009	0.012
≥ 0.25	var	≥ 0.5	0.0015	0.003	0.005	0.005	0.01
≤ 0.1	yok	≤ 0.25	0.002	0.004	0.008	0.008	0.015
≤ 0.1	yok	≥ 0.5	0.002	0.004	0.006	0.006	0.01
≥ 0.25	yok	≤ 0.25	0.001	0.002	0.003	0.003	0.005
≥ 0.25	yok	≥ 0.5	0.001	0.001	0.002	0.002	0.004
2. Perdelerle desteklenmiş çerçevelerdeki kolonlar							
Sargılaması uygun olan ¹¹			0.003	0.007	0.01	n.a. ¹²	n.a.
Sargılaması uygun olmayan			0	0	0	n.a.	n.a.

Çizelge 2.24 (devam): Perde plastik dönme açısı sınırları.

Durumlar		Plastik dönme açıları (rad)				
		Performans Seviyesi				
		Birincil eleman		İkincil eleman		
		MN	GV	GC	GV	GC
3. Perde bağ kirişleri						
Boyuna ve enine donatı ¹⁰	$\frac{V}{t_w I_w \sqrt{f_c}}$					
Klasik boyuna donatılandırma ve uygun sargılama	≤ 0.25	0.01	0.02	0.025	0.025	0.05
Klasik boyuna donatılandırma ve uygun olmayan sargılama	≥ 0.5	0.005	0.01	0.02	0.02	0.04
Diyagonal donatı	n.a.	0.006	0.018	0.03	0.03	0.05
4. Bölümde esnekleştirilecek olan performans kriter tabloları yukarıda verilen tablolardır. ¹³						

2.5.3 Bina Performansı

Eleman performansları belirlenen bir yapının performansının belirlenmesi için FEMA356 ve ATC40'ta aşağıdaki maddeler mevcuttur.

‘All primary and secondary components shall be capable of resisting force and deformation actions within the applicable acceptance criteria of the selected performance level’ (FEMA356, 2-12). Tüm birincil ve ikincil bileşenler seçilmiş performans seviyesindeki kuvvet ve şekildeğiştirme sınırları içerisinde kalmalıdır (FEMA 356, 2000).

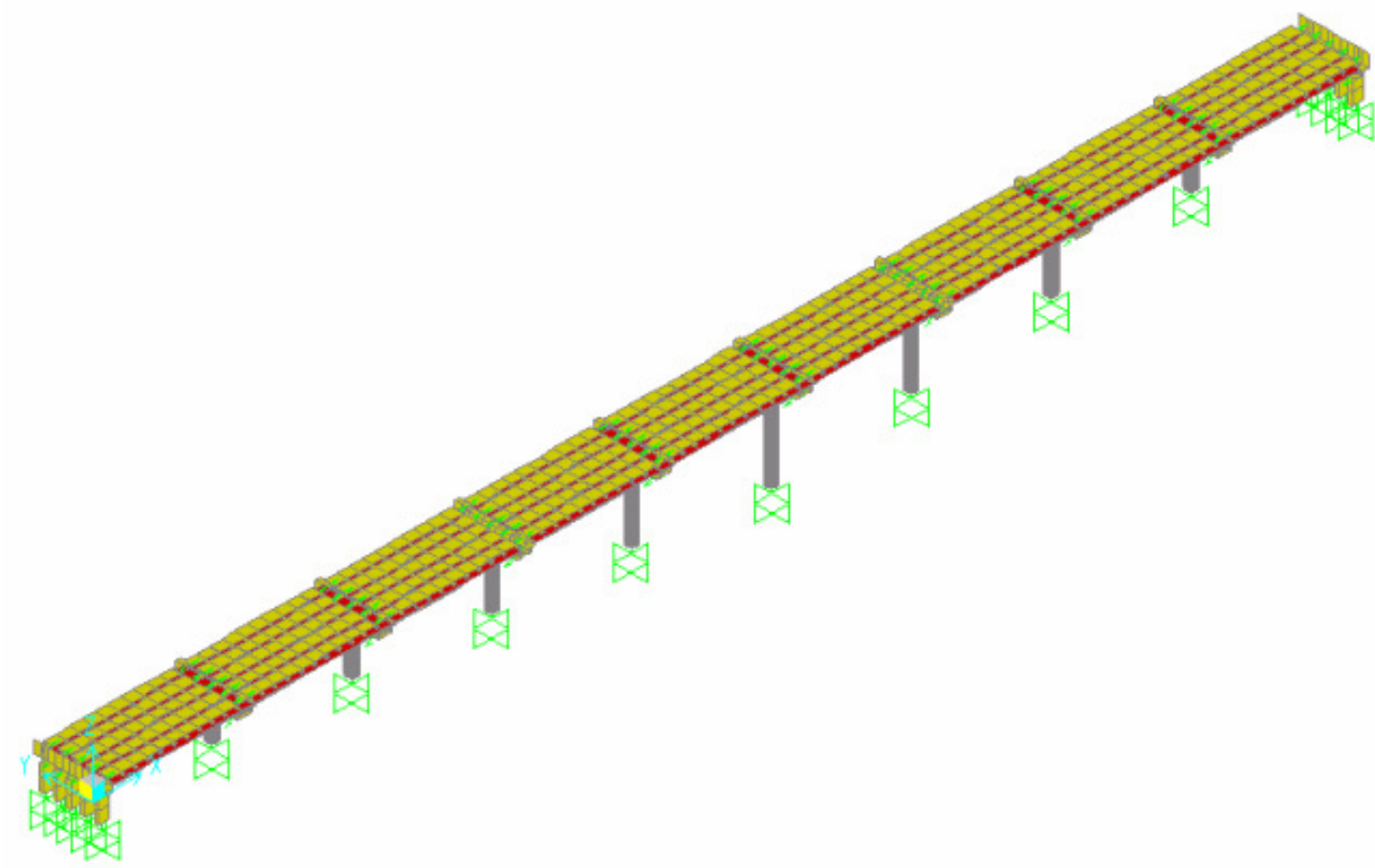
‘If calculated response for the specified ground motion exceeds any of the global building or element and component acceptability limits given in this chapter for the appropriate performance level, then the building should be deemed to not achieve the performance objective’ (ATC40, 11-1). Herhangi bir birincil veya ikincil yapı bileşeninde veya tüm binada eğer belirli bir yer hareketi tehlikesi için hesaplanmış davranış değerleri uygun performans kabul kriterlerini aşıyorsa bina o performansı sağlamıyor demektir (ATC40, 1996).

¹³ Tablo hakkında detaylı bilgiler için FEMA356 Bölüm 6.'ya bakınız.

Bu cümlelerde anlatıldığı kadarıyla kısaca, en kötü performanslı eleman bina performansını belirlemektedir. Birçok kabuller ışığında yapılan işlemler sonucunda varılan performansın bir tek elemana bağlanması ve o elemanın da yukarıda keskin sınırlarla verilen performans kriterleri ile değerlendirilmesi çok uygun sonuçlar doğurmayacaktır. Örneğin bir binadaki bütün kolonlar 0.02 rad dönme kriter değerini 0.02001 gibi çok küçük bir değerle aşmış olsalar bilgisayar bu değeri $\theta > 0.02$ değerlendirmesine sokacak ve bu yapı “Göçme” performansındadır yani göçmüştür diye değerlendirilecektir. Ta ki analizi yapan mühendisin tüm kolonlardaki dönme değerlerini tek tek inceleyip tecrübesini ve öngörüsünü kullanarak değerlendirmeyi insan sezgisi ile yapması ve bilgisayarın yaptığı sonuçları tekrar yorumlaması dışında. Bu ise zaman ve iş gücü kaybına yol açan bir durumdur. Bu nedenle performans kriterlerinin “Sınır durumları” için esnekleştirme yapılması kaçınılmazdır. Bu tez çalışması performans kriterlerini esnekleştirmiş ve literatürde ilk defa performansa dayalı hesap içinde bulanık mantık kullanımı ile “Esnek Performans” olarak isimlendirilen bir kavram oluşturarak tecrübeyi, deneyimi bilgisayarın anlayacağı sayısal bir dile çevirmiştir.

2.6 Performansa Göre Tasarıma Bir Örnek

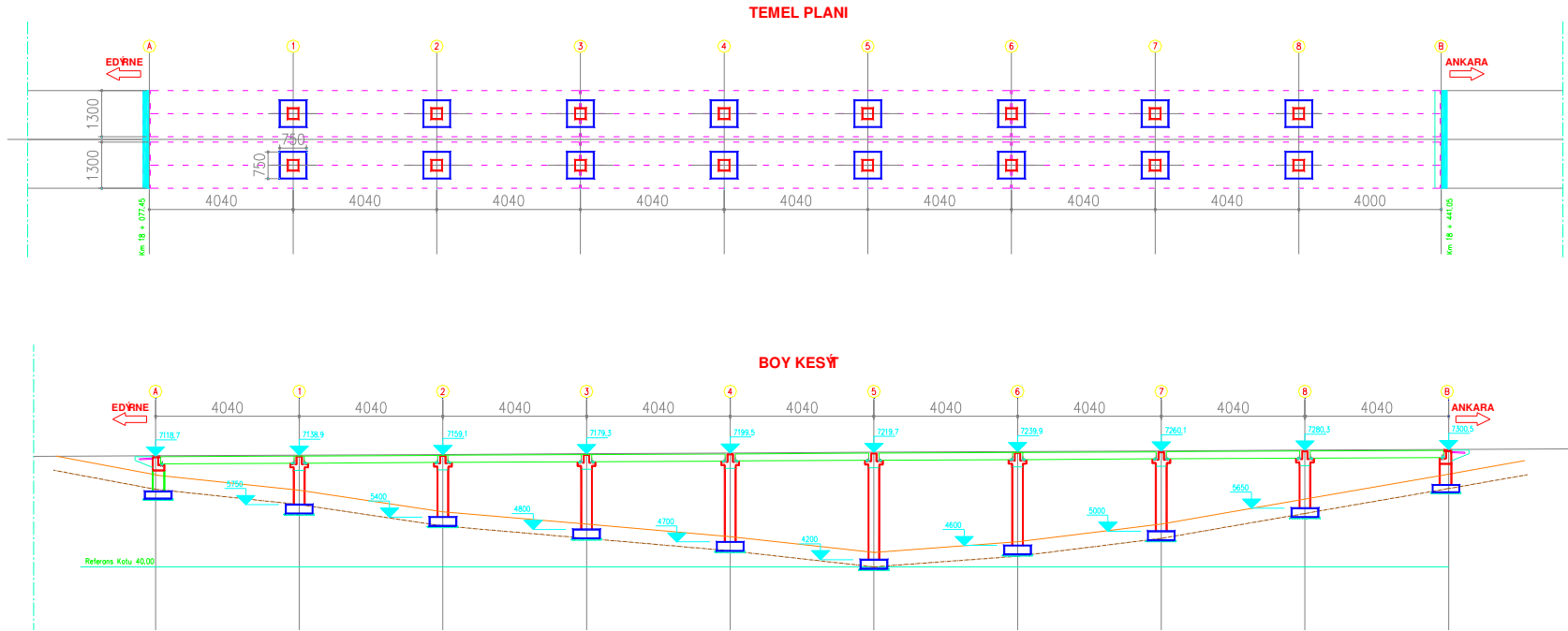
Performansa göre tasarım değerlendirmesini en iyi temsil edecek örnek olarak konsol giriş veya ankastre kolon göz önüne alınması uygun olacaktır. Verilen örneğin biraz daha gerçekçi olabilmesi için aşağıda modeli, temel planı ve boy kesiti Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da verilmiş dokuz açıklıklı bir viyadüğün sadece bir ayağı göz önüne alınmıştır. Ele alınan bu ayağın kesit davranışı XTRACT programında modellenerek elde edilmiştir. Daha sonra ayak SAP2000 programında modellenmiş ve kesit bilgileri programa aktarılarak ayak için itme analizi hesabı yapılmış ve kapasite eğrisi çıkarılmıştır. Verilen deprem spektrumu üzerinde hedef yerdeğiştirme bulunmuş ve bu hedef yerdeğiştirme yapıya uygulanmıştır. Bu hedef yerdeğiştirme altındaki ayak davranışı 2.6.7 başlığında irdelenmiştir. Daha sonra yapıya FEMA356 kriterlerini aşacak bir deprem yüklemesi yapılmış ve 2.6.8 başlığı altında tekrar irdelenmiştir.



Şekil 2.8: Örnek viyadüğün üç boyutlu (3D) modeli.

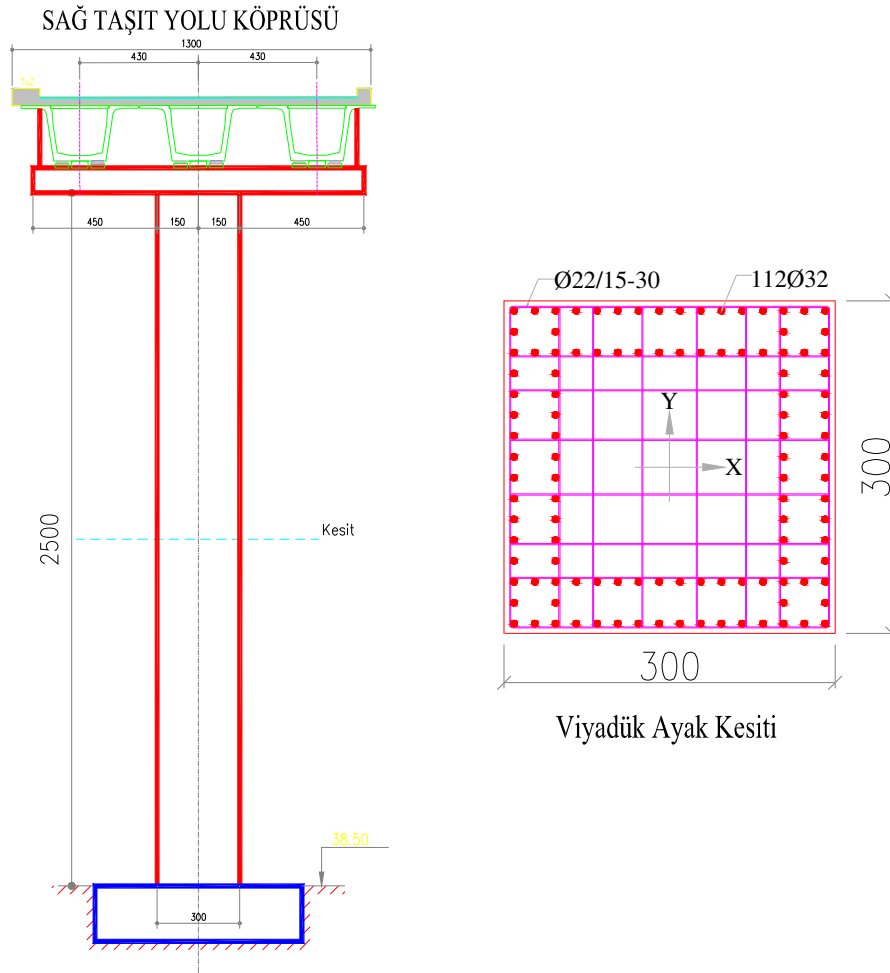
2.6.1 Genel Bilgiler ve Çizimler

Birimler cm'dir.



Şekil 2.9: Örnek viyadüğün temel planı ve boy kesiti.

Şekil 2.10’da performansa dayalı tasarımı yapılacak viyadük ayağı’nın görünümü, en kesiti ve donatı yerleşim planı bulunmaktadır. Birimler cm’dir.



Şekil 2.10: Örnek ayak kesiti ve donatı yerleşim planı.

2.6.2 Plastik Mafsallı Boyu ve Eksenel Kuvvet Durumu

Plastik mafsallı boyu hesabında Caltrans (2004) esas alınmış ve denklem 2.26 kullanılmıştır.

$$L_p = 0.8H + 0.22f_{ye}d_b > 0.044f_{ye}d_b \quad (2.26)$$

Burada:

L_p = Plastik mafsallı boyu (mm)

H = Ayak net yüksekliği (m)

$f_{ye} = f_{yk}$ = Boyuna donatı karakteristik akma dayanımı (MPa)

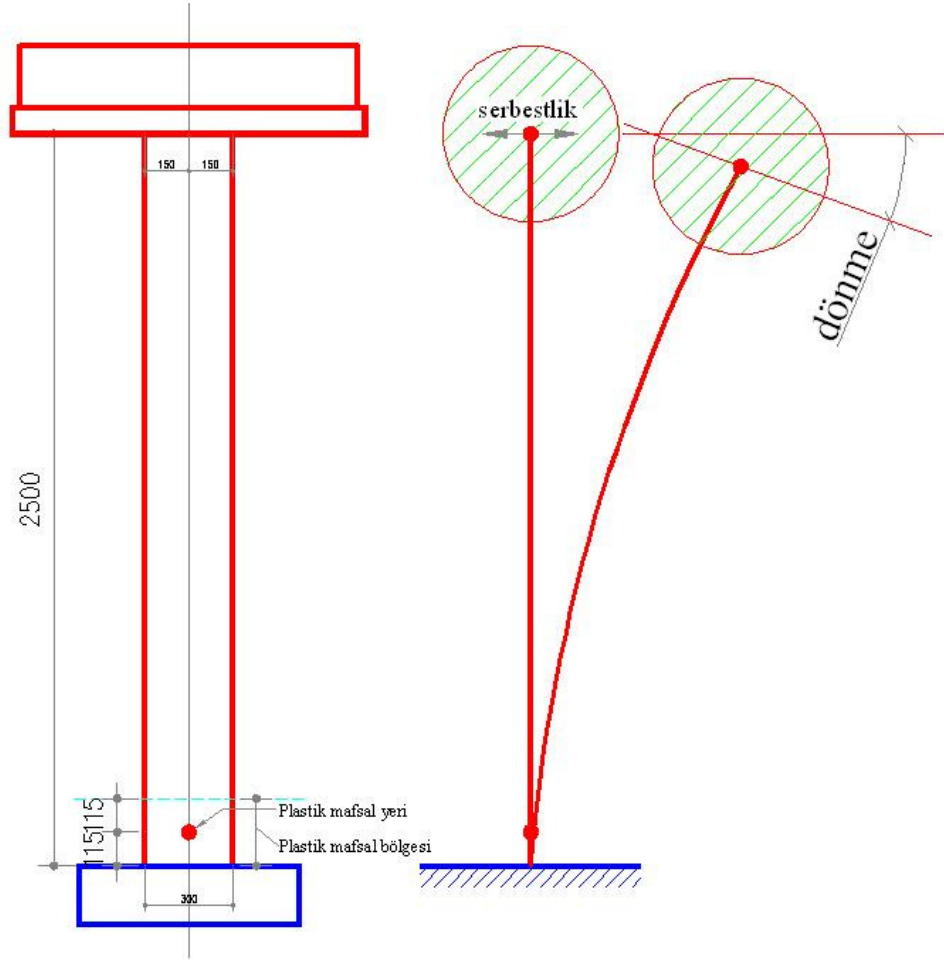
$d_b = \phi_b$ = Boyuna donatı çapı (mm)

Örnek köprü ayağı için plastik mafsallık boyu ve yeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$L_p = 0.08 \times 25.00 + 0.22 \times 420 \times 32 > 0.044 \times 420 \times 32 = 0.59 \text{ m}$$

$$L_p = 2.30 \text{ m}$$

Plastik mafsallık yeri ise Şekil 2.11’de gösterildiği gibi temel üstünden $2.3/2=1.15$ m’dir.



Şekil 2.11: Plastik mafsallık yeri.

2.6.3 Malzeme Verileri ve En kesit Karakteristikleri

Örnek viyadük ayağı en kesiti XTRACT programı ile modellenmiştir. Bu modellemede esas alınan değerler ve ayrıntıları Şekil 2.12 – Şekil 2.16’da verilmiştir.

XTRACT Section Report - Demonstration

Ferhat PAKDAMAR

Section Name: AYAK

12.02.2009

Kopru Ayak

Page __ of __

Section Details:

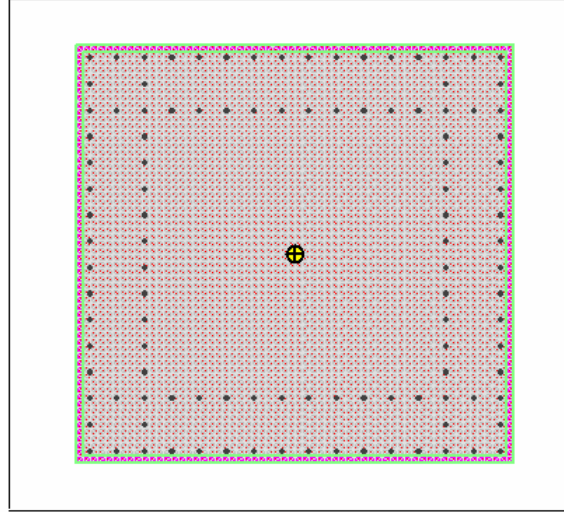
X Centroid:	-.4936E-15 m
Y Centroid:	.1914E-15 m
Section Area:	9.000 m ²
EI gross about X:	1.77E+11 N-m ²
EI gross about Y:	1.77E+11 N-m ²
I trans (SargiliC25) about X:	7.475 m ⁴
I trans (SargiliC25) about Y:	7.475 m ⁴
Reinforcing Bar Area:	90.07E-3 m ²
Percent Longitudinal Steel:	1.001 %
Overall Width:	3.000 m
Overall Height:	3.000 m
Number of Fibers:	7200
Number of Bars:	112
Number of Materials:	3

Material Types and Names:

Confined Concrete:	 SargiliC25
Strain Hardening Steel:	 S420
Unconfined Concrete:	 SargisizC25

Comments:

User Comments



Şekil 2.12: Kesit karakteristikleri.

Şekil 2.16'da verilen plastik rijitlik EI_e 'nin (EI Effective), Şekil 2.12'de verilen elastik rijitlik EI_g 'ye (EI gross) oranı $51100000/177000000=0.289$ 'dur ve hesaplarda bu rijitlik kullanılmıştır.

XTRACT Material Report - Demonstration

Ferhat PAKDAMAR

Material Name: SargısızC25

12.02.2009

Material Type: Unconfined Concrete

Kopru Ayak

Page __ of __

Input Parameters:

Tension Strength: 0 kPa
 28 Day Strength: 25.00E+3 kPa
 Post Crushing Strength: .1000E-3 kPa
 Tension Strain Capacity: 0 Ten
 Spalling Strain: 5.000E-3 Comp
 Failure Strain: 5.000E-3 Comp
 Elastic Modulus: 2.37E+7 kPa
 Secant Modulus: 1813 kPa

Model Details:

For Strain - $\varepsilon < \varepsilon_{st}$ $f_c = 0$

For Strain - $\varepsilon < 0$ $f_c = \varepsilon E_c$

For Strain - $0 < \varepsilon < \varepsilon_{cu}$ $f_c = \frac{f_{ck} \times \varepsilon}{\varepsilon_{st} + \varepsilon^2}$

For Strain - $0 < \varepsilon < \varepsilon_{sp}$ $f_c = f_{ck} + (f_{cp} - f_{ck}) \left(\frac{\varepsilon - \varepsilon_{st}}{\varepsilon_{sp} - \varepsilon_{st}} \right)$

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E_c}$$

$$\varepsilon = \frac{\sigma - \sigma_{sec}}{E_c}$$

$$\varepsilon_{sec} = \frac{f_{ck}}{E_c}$$

ε = Concrete Strain

f_c = Concrete Stress

E_c = Elastic Modulus

ε_{sec} = Secant Modulus

ε_{st} = Tension Strain Capacity

ε_{cu} = Ultimate Concrete Strain

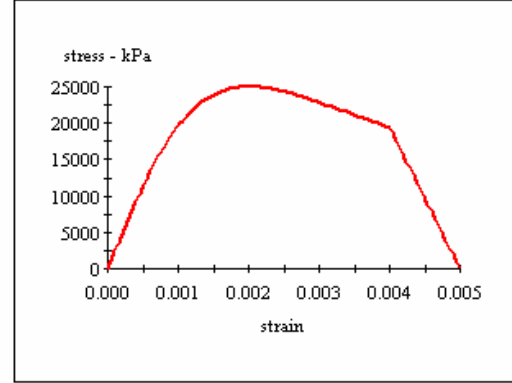
ε_{cr} = Strain at Peak Stress = 0.02

ε_{sp} = Spalling Strain

f_{ck} = 28 Day Compressive Strength

f_{cp} = Stress at ε_{cu}

f_{cp} = Post Spalling Strength



Material Color States:

- Tension strain after tension capacity
- Tension strain before tension capacity
- Initial state
- Compression before crushing strain
- Compression before end of spalling
- Compression after spalling

Reference:

Mander, J.B., Priestley, M. J. N., "Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, August 1988, pp. 1827-1849

Comments:

User Comments

Şekil 2.13: Sargısız C25 betonu malzeme özellikleri.

XTRACT Material Report - Demonstration

Ferhat PAKDAMAR

Material Name: SargılıC25

12.02.2009

Material Type: Confined Concrete

Kopru Ayak

Page __ of __

Input Parameters:

Tension Strength: 0 kPa
 28 Day Strength: 25.00E+3 kPa
 Confined Concrete Strength: 39.74E+3 kPa
 Tension Strain Capacity: 0 Ten
 Strain at Peak Stress: 7.896E-3
 Crushing Strain: 20.00E-3 Comp
 Elastic Modulus: 2.37E+7 kPa
 Secant Modulus: 730.0 kPa

Model Details:

forStrain - $\varepsilon < \varepsilon_t$ $f_c = 0$
 forStrain - $\varepsilon < U$ $f_c = \varepsilon E_c$
 forStrain - $\varepsilon < \varepsilon_{cc}$ $f_c = \frac{f_{cc} \cdot x \cdot r}{1 - 1 + x^r}$

$$x = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_{cc}}$$

$$\varepsilon_{cc} = 0.02 \cdot \left[1 + 5 \cdot \left(\frac{f_{cc}}{f_c} - 1 \right) \right]$$

$$r = \frac{E_c}{2.1 \cdot 10^6}$$

$$E_{sec} = \frac{f_{cc}}{\varepsilon_{cc}}$$

ε = Concrete Strain

f_c = Concrete Stress

E_c = Elastic Modulus

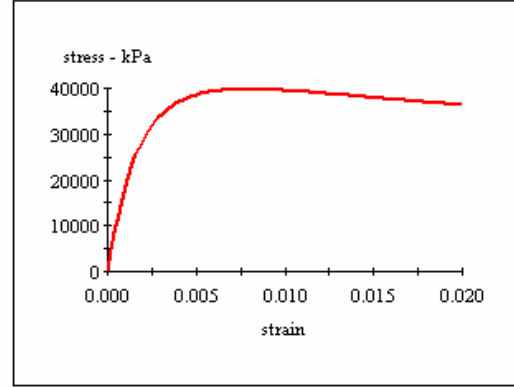
ε_t = Tension Strain Capacity

ε_{cu} = Ultimate Concrete Strain

ε_{cc} = Strain at Peak Stress

f_c = 28 Day Compressive Strength

f_{cc} = Confined Concrete Strength



Material Color States:

- ☐ Tension strain after tension capacity
- ☐ Tension strain before tension capacity
- ☐ Initial state
- ☐ Compression before crushing strain

Reference:

Mander, J.B., Priestley, M. J. N., "Observed Stress-Strain Behavior of Confined Concrete", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 114, No. 8, August 1988, pp. 1827-1849

Comments:

User Comments

Şekil 2.14: Sargılı C25 betonu malzeme özellikleri.

XTRACT Material Report - Demonstration

Ferhat PAKDAMAR

12.02.2009

Material Name: S420

Material Type: Strain Hardening Steel

Kopru Ayak

Page __ of __

Input Parameters:

Yield Stress: 420.0E+3 kPa
Fracture Stress: 550.0E+3 kPa
Yield Strain: 2.100E-3
Strain at Strain Hardening: 11.50E-3
Failure Strain: .1200
Elastic Modulus: 2.00E+8 kPa
Additional Information: Symetric Tension and Comp.

Model Details:

For Strain $\varepsilon < \varepsilon_y$ $\sigma = E \cdot \varepsilon$
For Strain $\varepsilon < \varepsilon_{sh}$ $\sigma = f_y$
For Strain $\varepsilon < \varepsilon_{su}$ $\sigma = f_u \cdot \left(\frac{\varepsilon_{su} - \varepsilon}{\varepsilon_{su} - \varepsilon_{sh}} \right)^2$

ε = Steel Strain

σ = Steel Stress

f_y = Yield Stress

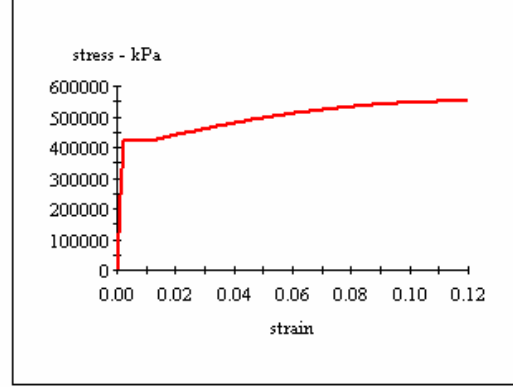
f_u = Fracture Stress

ε_y = Yield Strain

ε_{sh} = Strain at Strain Hardening

ε_{su} = Failure Strain

E = Elastic Modulus



Material Color States:

- Tension force after onset of strain hardening
- Tension force after yield
- Initial state
- Compression force after yield
- Compression force after onset of strain hardening

Comments:

User Comments

Şekil 2.15: S420 betonarme çeliği malzeme özellikleri.

XTRACT Analysis Report - Demonstration

Ferhat PAKDAMAR

12.02.2009

Section Name: AYAK

Loading Name: MKAPAX

Analysis Type: Moment Curvature

Kopru Ayak

Page __ of __

Section Details:

X Centroid: -.4936E-15 m

Y Centroid: .1914E-15 m

Section Area: 9.000 m²

Loading Details:

Constant Load - P: 18.00E+3 kN

Incrementing Loads: Myy Only

Number of Points: 30

Analysis Strategy: Displacement Control

Analysis Results:

Failing Material: SargisizC25

Failure Strain: 5.000E-3 Compression

Curvature at Initial Load: -.5341E-18 1/m

Curvature at First Yield: 1.067E-3 1/m

Ultimate Curvature: 10.22E-3 1/m

Moment at First Yield: 54.53E+3 kN-m

Ultimate Moment: 72.65E+3 kN-m

Centroid Strain at Yield: .5956E-3 Ten

Centroid Strain at Ultimate: 10.17E-3 Ten

N.A. at First Yield: .5583 m

N.A. at Ultimate: .9943 m

Energy per Length: 672.8 kN

Effective Yield Curvature: 1.340E-3 1/m

Effective Yield Moment: 68.48E+3 kN-m

Over Strength Factor: 1.061

Plastic Rotation Capacity: 20.36E-3 rad

EI Effective: 5.11E+10 N-m²

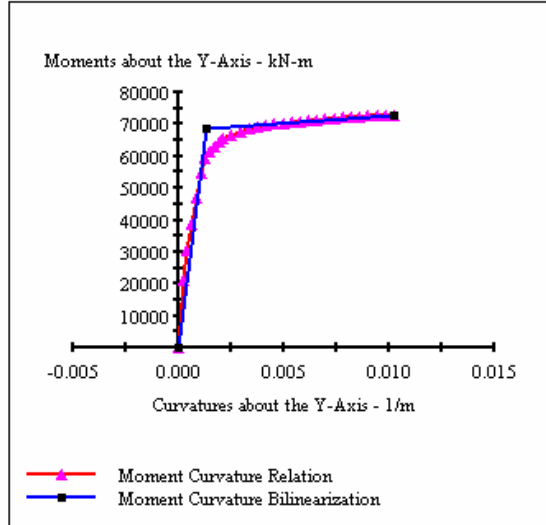
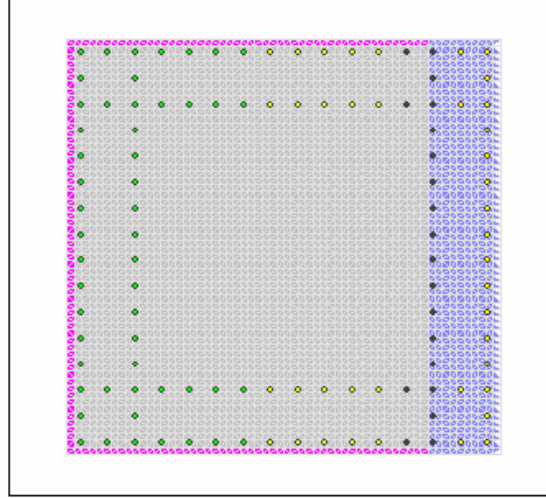
Yield EI Effective: 4.70E+8 N-m²

Bilinear Harding Slope: .9192 %

Curvature Ductility: 7.631

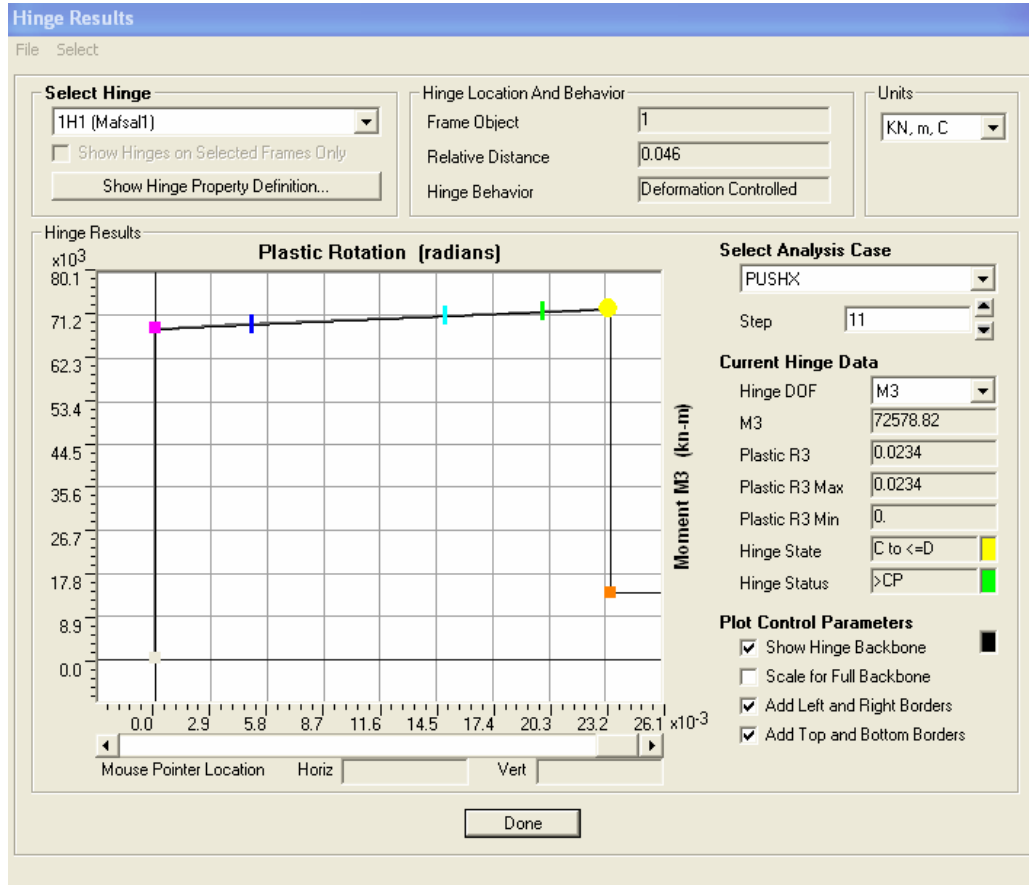
Comments:

User Comments



Şekil 2.16: x doğrultusunda (y eksenini etrafında) M- χ (moment-eğrilik) ilişkisi.

Şekil 2.16'da verilen moment-eğrilik ilişkisi $\chi = \frac{\theta}{L_p}$ denkleminde kullanılarak, eğrilikler plastik mafsallık boyu ile çarpılarak bu örnek için moment-dönme eğrisi rahatlıkla bulunabilir ki, bu eğri Şekil 2.17'de verilmiştir.



Şekil 2.17: x doğrultusunda (y eksenini etrafında) M- θ (moment-dönme) ilişkisi.

Ayrıca şekil üzerinde MN, GV, GC performans seviyeleri de FEMA356 Çizelge 6-8'e göre MN=0.005 rad, GV=0.015 rad, GC=0.02 rad olarak işaretlenmiştir. Kontrol olarak Şekil 2.17'de görülen "Plastik R3 Max" dönme 0.0234 rad değeri $L_p=2.3$ m plastik mafsallı boyuna bölünürse Şekil 2.16'daki "ultimate curvature" $0.0234/2.3=0.0102$ 1/m eğrilik değeri bulunur.

2.6.4 Spektrum Tespiti

Söz konusu köprü ayağı için 50 yılda olma olasılığı %2 olan (2475 yıl dönüş periyotlu) şiddetli deprem durumu değerlendirilirken Şekil 2.18'deki gibi özel bir spektrum kullanılmıştır. Bu spektrum FEMA356 (2000) birinci bölümdeki esaslara göre çıkartılmıştır.

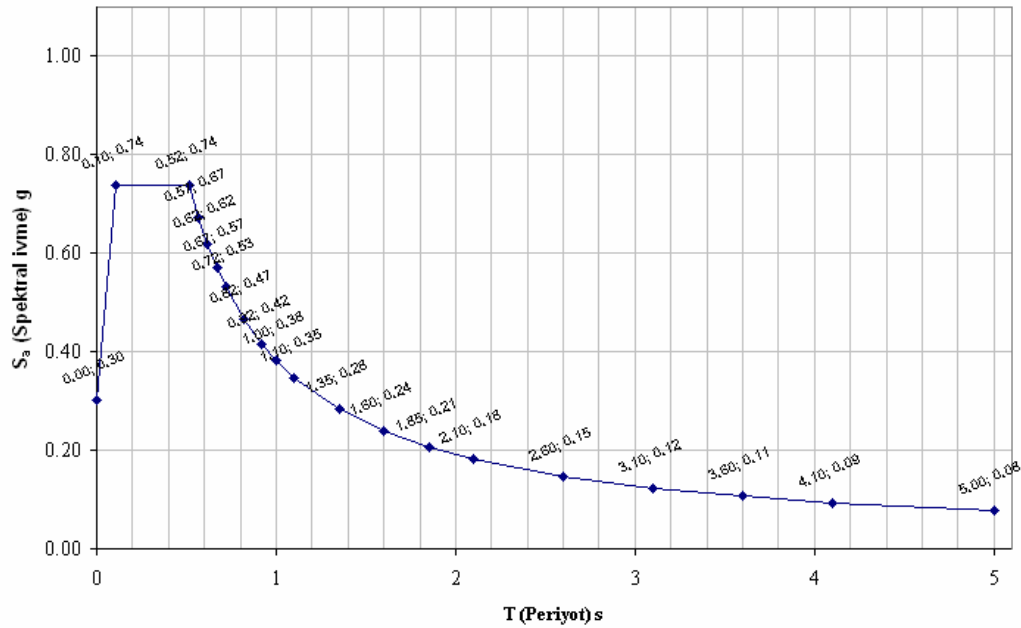
Spektral İvmelerin Hesap Spektrumu Haline Çevrilmesi

PGA = 0.301	2475 YILLIK S.Sapmalı İVMELER
$S_s = A_{T=0.2s} = 0.645$	2475 YILLIK S.Sapmalı İVMELER
$S_1 = A_{T=1.0s} = 0.246$	2475 YILLIK S.Sapmalı İVMELER
$F_a = 1.142$	FEMA356 Tablo1-4
$F_v = 1.554$	FEMA356 Tablo1-5
$B_s = 1.0$	FEMA356 Tablo1-6 (%5 Sönüm için)
$B_1 = 1.0$	FEMA356 Tablo1-6 (%5 Sönüm için)
$S_{ss} = 0.737$	$S_{ss} = F_a \times S_s$
$S_{s1} = 0.382$	$S_{s1} = F_v \times S_1$
$T_s = 0.52$	$T_s = (S_{s1} B_s) / (S_{ss} B_1)$
$T_0 = 0.10$	$T_0 = 0,2 T_s$

T =	0.00	0.10	0.52	0.57	0.62	0.67	0.72	0.82	0.92	1.00	1.10	1.35	1.60	1.85	2.10	2.60	3.10	3.60	4.10	5.00
$S_s =$	0.30	0.74	0.74	0.67	0.62	0.57	0.53	0.47	0.42	0.38	0.35	0.28	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12	0.11	0.09	0.08

Grafik Alanı

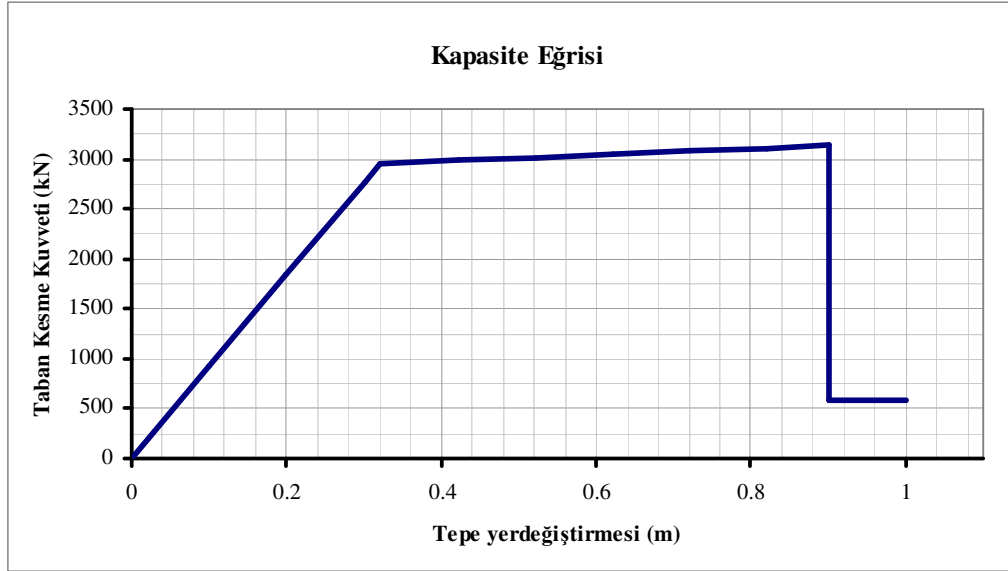
SPEKTRUM EĞRİSİ



Şekil 2.18: Köprü koordinatına özel 50 yılda %2 olma olasılıklı deprem için ivme spektrumu.

2.6.5 Kapasite Eğrisi

Oluşturulan SAP2000 modelinin hesabı sonucu Şekil 2.19'daki gibi bir kapasite eğrisi bulunur. Şekilde görüldüğü gibi kesitin güç tükenmesi için gerekli tepe yerdeğiştirmesi $\delta_y = 0.90$ m'dir.



Şekil 2.19: Kapasite eğrisi.

2.6.6 Hedef yerdeğiştirmeyi, Performans Noktasını Bulma

Hedef yerdeğiştirme FEMA356 ve FEMA440 katsayılar yöntemine göre yapılırsa işlem aşağıdaki gibidir.

Denklem 2.22 ($\delta_t = C_0 C_l C_2 C_3 S_a \frac{T_e^2}{4\pi^2} g$) deki katsayılar örnek için hesaplanabilir

$C_0 = 0.8862$ (modal kütle katılım oranı)

$C_l = 1$ (yerdeğiştirmeyle ilgili katsayı, FEMA356 için ve FEMA440 için bu örnekte aynı)

$C_2 = 1$ (Histeretik şekil katsayısı, FEMA356 için ve FEMA440 için bu örnekte aynı)

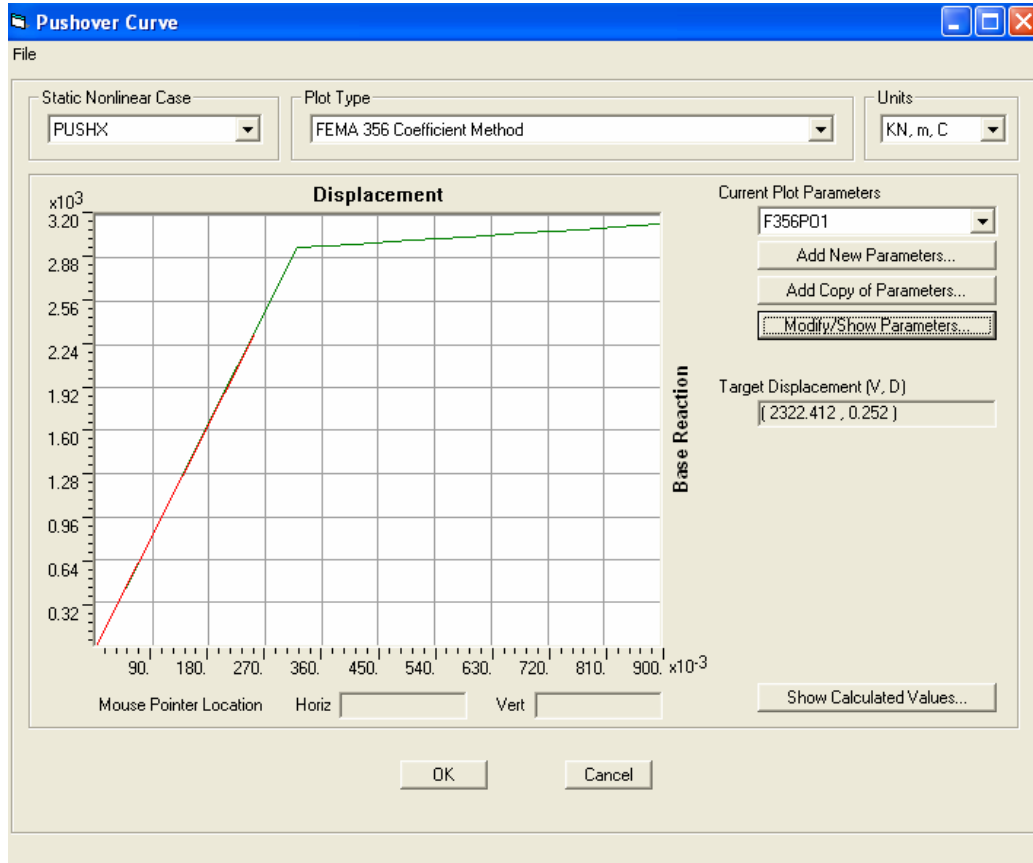
$C_3 = 1$ (Dinamik P-Δ etkisi için katsayı, bu katsayı FEMA 440'ta kaldırılmıştır)

$S_a = 0.1296$ g (Bina birinci periyodu için spektral ivme değeri)

$T_e = 2.97$ s (Bina periyodu)

$$\delta_t = 0.8862 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0.1296 \frac{2.9666^2}{4\pi^2} \cdot 9.81 = 0.252 \text{ m}$$

Söz konusu hedef yerdeğiştirme ya da performans noktası değeri. SAP2000 programı penceresinde ise Şekil 2.20 ve Şekil 2.21'deki gibi bulunmuştur.



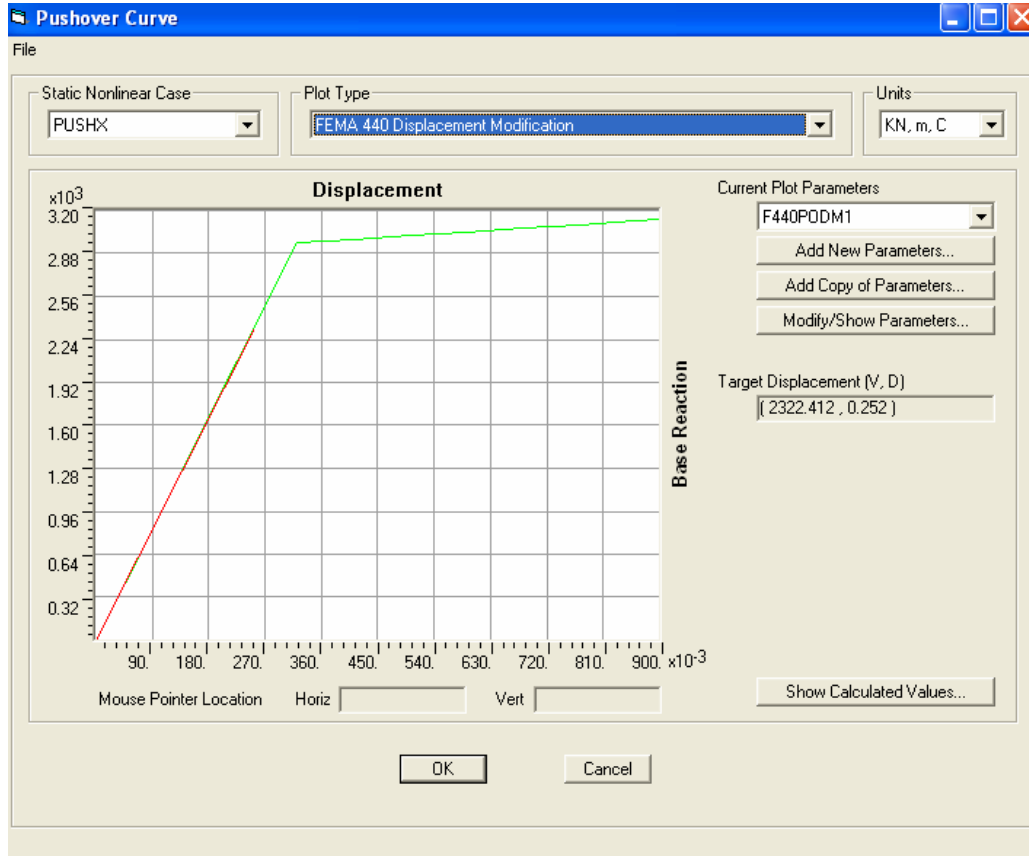
Calculated Items

Edit:

Units: KN, m, C

Item	Value
C0	0.8862
C1	1.
C2	1.
C3	1.
Sa	0.1296
Te	2.9666
Ti	2.9666
Ki	9202.5217
Ke	9202.5217
Alpha	1.
R	1.6306
Vy	1876.8877
Weight	23623.079
Cm	1.

Şekil 2.20: SAP2000’de FEMA356 katsayılar yöntemi ile hedef yerdeğiştirme.



Calculated Items

Edit

Units: KN, m, C

Item	Value
C0	0.8862
C1	1.
C2	1.
Sa	0.1296
Te	2.9666
Ti	2.9666
Ki	9202.5217
Ke	9202.5217
Alpha	1.
R	1.6306
Vy	1876.8877
Dy	0.204
Weight	23623.079
Cm	1.

Şekil 2.21: SAP2000’de FEMA440 katsayılar yöntemi ile hedef yerdeğiştirme.

2.6.7 Hedef Yerdeğiştirme Durumundaki Eleman Dönmesi ve Performansı

Şekil 2.16'dan görüleceği üzere akma durumundaki eğrilik $\chi = 0.00134$ 1/m'dir. Yani plastik şekil değiştirme için başlangıç kesit dönmesi $\theta = 0.001341 \times 2.3 = 0.00308$ rad'dır. Fakat söz konusu hedef yerdeğiştirme olan 0.252 m sisteme uygulandığında Şekil 2.22'de görüldüğü gibi kesit dönmesi 0.00177 rad kadar olmaktadır. Bu durum söz konusu kesitin bu hedef yerdeğiştirme altında elastik davrandığını veya bir başka deyişle kesitin verilen deprem durumu için gerekli performansı sağladığını göstermektedir.



Şekil 2.22: Hedef yerdeğiştirme için plastik mafsalda oluşan radyan dönme.

2.6.8 Güç Tükenmesi Sınır Durumu için Performans Değerlendirmesi

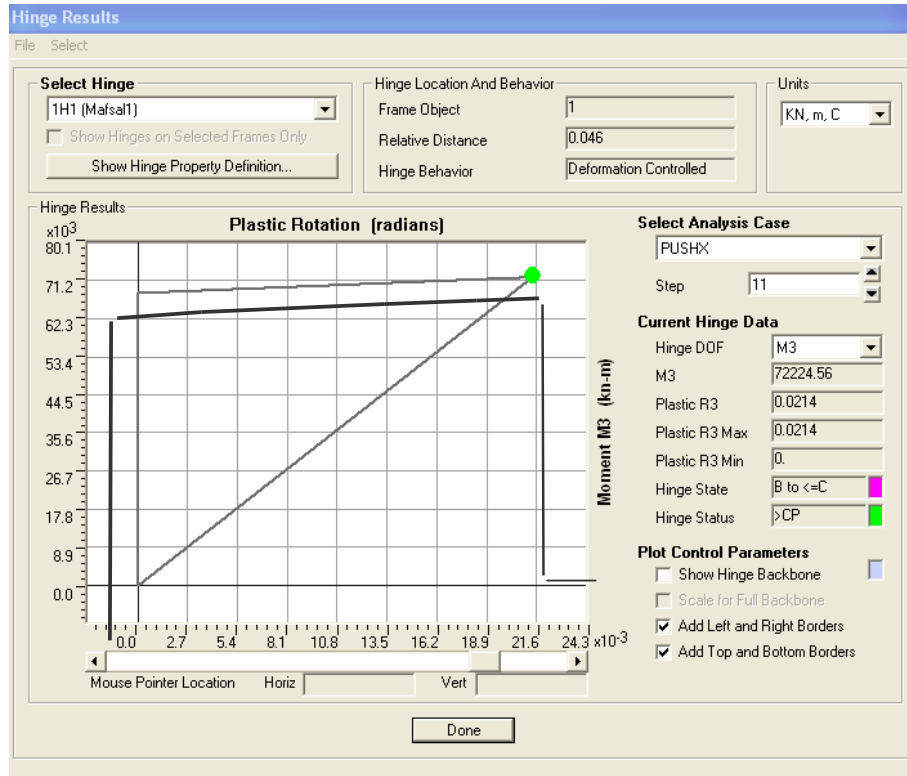
Bu aşamada yukarıda performans değerlendirmesi yapılan örnek için gerekli olan performans değerleri yaklaşık 3.4 kat daha küçük dönme kapasiteli bir kolonla sağlanmaya çalışılırsa veya öngörülen deprem spektrumu verilenden yaklaşık 3.4 kat daha büyük olursa, bu taktirde söz konusu köprü ayağının performansı değerlendirildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılır.

Sisteme yaklaşık 3.4 kat daha büyük spektrumlu bir deprem uygulandığında tepe yerdeğiştirmesi $\delta_t = 0.85$ m olmaktadır ki bu değer Şekil 2.19'da görüleceği üzere en büyük tepe yerdeğiştirme sınırı olan $\delta_t = 0.90$ m'yi aşmamaktadır. Bu tepe yerdeğiştirmesinin oluştuğu anda plastik mafsaldaki dönme durumu ise Şekil 2.23'te verilmiştir.

Şekil 2.16'dan görüleceği üzere kesitin karşılayabileceği en büyük eğrilik $\chi = 0.0102$ 1/m'dir. Yani plastik şekildeğiştirme sınırı için kesit dönme değeri $\theta = 0.0102 \times 2.3 = 0.024$ rad'dır. Güç tükenme sınır durumu değerlendirmesi için hedef yerdeğiştirmesi olan 0.85 m tepe yerdeğiştirmesi sisteme uygulandığında Şekil 2.23'te görüldüğü gibi en büyük kesit dönmesi 0.0214 rad olmaktadır. FEMA356 Çizelge 6-8 kriterlerine göre değerlendirilme yapılacak olursa güç tükenmesi sınır dönmesi 0.02 rad olarak görülür. Bu da kesitin hiç hak etmediği halde bu hedef yerdeğiştirmesini karşılayamadığını veya bir başka deyişle kesitin öngörülen deprem durumu için FEMA356 kriterlerine göre GÖ veya eleman düzeyinde hasar ifadesiyle GÇ performans düzeyini sağlamadığını ve göçtüğünü göstermektedir. Bulunan değerler Çizelge 2.25'te verilmiştir.

Çizelge 2.25: Güç tükenmesi durumu için bulunan dönme değerleri.

FEMA356'ya göre göçme öncesi plastik mafsal dönme sınırı (rad)	Muhtemel deprem için plastik mafsalda oluşan dönme (rad)	Kesitteki güç tükenmesi için dönme sınırı (rad)
0.020	0.0214	0.024



Şekil 2.23: Sınır performans değerlendirmesi için kesitte oluşan radyan dönme.

Buradan görüldüğü üzere, kesit üzerinde ayrıntılı analiz yapıldığında yönetmeliklerdeki kriterlerden daha büyük veya daha küçük aşılma kriterleri bulmak mümkündür. Sonuç olarak, içerisinde ihtimaller ve görecelilikler barındıran hesap yöntemlerinin verdiği değerlerle, kriterlerle yorum yapılması çok doğru olmamaktadır. Bu eksik durumun düzeltilebilmesi için tezin 4. bölümünde sunulan yeni bir matematiksel ve mantıksal esnekleştirme yöntemi olan “Esnek Performans” yaklaşımı ayrıntılı olarak anlatılmış ve bu köprü ayağı örneği esnek performans yaklaşımı ile 4. bölüm sonunda tekrar değerlendirilmiştir.

3 BULANIK MANTIK

Tez çalışmasının bu bölümünde bulanık mantık hakkında genel bilgiler ana hatlarıyla verilmiştir.

3.1 Giriş

Bulanık mantık (BM) Zadeh'in 1965'te ilk defa yayınladığı "bulanık kümeler" çalışması sonrası geçen uzun yıllar içinde teknik olarak çok uzun yol katetmiş ve bilim dünyasında kendine geç de olsa geniş bir uygulama alanı bulmuştur. O zamandan beri BM dünyada matematikçilerin, bilim adamlarının ve mühendislerin bağımsız araştırmalarına konu olmuş, birçok ülke ve firma BM üzerine araştırma yapan bölümler kurmuş, binlerce uygulama ve proje gerçekleştirilmiş ve insanların kullanımına sunulmuştur. Ancak BM son 25 yıla kadar Japonya hariç dünyanın diğer ülkelerinin dikkatini bu ülke kadar çok çekememiştir. 1987'de, Uluslararası Bulanık Sistemler Derneği'nin (IFSA) Tokyo'da düzenlediği bir konferans sonrası bulanık mantığa duyulan ilgi birden artmıştır. Bu konferansta Yamakawa (1987) BM ile programladığı bir robota, bir çiçeği, ince bir çubuğun üzerinden düşmeyecek şekilde bıraktırmayı başarmıştır. Bundan daha fazla ilgi çeken gerçek ise, robotun bunu yaptığını gören bir seyircinin Yamakawa'ya, sistemden bir devreyi çıkarmasını teklif etmesinden sonra görülmüştür. Yamakawa önce, devreyi çıkarırsam çiçek düşer diye bunu kabul etmemiş, fakat seyircinin çiçeğin ne tarafa doğru düştüğünü görmek istediğini söylemesi üzerine devreyi çıkarmıştır. Robot yine aynı hassaslıkla çiçeği düşürmeden çubuğun üzerine bırakınca herkes hayretler içinde kalmıştır (URL-3). Kısacası BM sistemleri, bazı durumlarda, yetersiz bilgi temin edilse bile tıpkı insanların yaptığı gibi bir tür "sağduyu" kullanarak (yani mevcut bilgiler yardımıyla neticeye götürücü akıl yürütmeler yaparak) işlemleri gerçekleştirebilmektedir.

Zadeh'in (1965) bulanık kümeler hakkındaki ilk çalışması sonrası geçen yıllar

içerisinde BM üzerine birçok teorik gelişme Amerika, Avrupa ve Japonya’da yaşanmıştır. 70’li yılların ortalarından günümüze kadar Japon bilim adamları bu teoriyi pratik uygulamalarda başarı ile kullanarak büyük ilerlemeler kaydetmişler, teoriyi ticari projelerde çok iyi kullandıklarını aldıkları patentlerle göstermişler ve bulanık mantığın gelişmesinde öncü olmuşlardır (Ross, 2004).

Gerçek dünya karmaşıktır, dünyadaki karmaşıklık genel olarak hayattaki belirsizliklerden kaynaklanmaktadır. Karmaşıklığın ve belirsizliğin meydana getirdiği problemler insanoğlu düşünebildiğinden beri insanların bilinçaltına yerleşmiştir. Her yere yayılan bu karmaşıklıklar insanların karşısına sosyal, ekonomik ve teknik problemler olarak çıkmıştır ve insanlar bu problemleri çözmek için problemleri belirli sistemler olarak kabul etmiş ve çözüm teknikleri geliştirmiştir.

Bir sistem hakkında daha çok bilgi sahibi olundukça, sistemin karmaşıklığı azalmakta ve analizcinin anlama kapasitesi yükselmektedir. Karmaşıklık seviyesi azaldıkça modelleme sistemlerindeki hesaplama yöntemlerinin sağladığı kesinlik daha kullanışlı bir hal almaktadır. Az karmaşık ve az belirsizlik içeren sistemlerde kapalı formdaki matematiksel ifadeler sistemin kesin olarak tanımının yapılabilmesini sağlamaktadır. Biraz daha karışık ancak daha çok kesin veriye sahip sistemlerde ise, yapay sınır ağları gibi, bağımsız modelleme yöntemleri öğrenmedeki belirsizliğin düşürülebilmesi için güçlü bir anlayış sağlamaktadır. Eğer sistem çok karmaşık bir halde ve çok az sayısal veriye sahip ise ve bu veriler belirsiz bilgiler şeklinde ise BM gözlenen giriş çıkış durumlarını hesaba katarak sistemin davranışının açıklanmasını ve sistemin etkili bir şekilde çözülebilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle bulanık modellerdeki belirsizlik genellikle oldukça yüksektir. Kesinlik durumunun görüldüğü yerlerde bulanık sistemler, problemin en iyi şekilde anlaşılmasını sağlayan kesin algoritmalarından daha az etkili olmaktadır. Ancak belirsiz bilgiler ile oluşturulmuş problemlerin modellenmesine daha çok konu olmaktadır ve bu problemlerin çözümünde çok daha etkili ve başarılıdır.

Bulanık modeller tam olarak olasılık modellerinin karşılığı değildir. Bulanık modeller bazen diğer modelleme tekniklerine göre daha iyi çalışmakta bazen de daha kötü sonuçlar verebilmektedirler. Burada esas yapılması gereken eldeki problemde

hangi modelleme tekniğinin kullanılması ve çözülmesi gerektiğinin belirlenmesidir. Sonuç olarak bir hesap modelinin değerlendirilebilmesi için söz konusu problemin çözümündeki etkinliğine bakılması gerekmektedir.

3.1.1 Belirsizlik ve Kesin Olmama

Bulanık kümeler teorisi belirsizliklerin gösterilmesi için problemi modelleyen kişiye iyi bir bakış açısı sağlamaktadır ve belirsizliklerin modellenmesi için son derece kullanışlıdır. BM teorisinden önce matematik modellemelerdeki olasılık teorisi belirsizliklerin ifade edilmesi için en önemli ve en çok kullanılan teori olmuştur. Bazı belirsizlik formları rastgele değildir ve bu nedenle olasılık teorisi tarafından modellenememekte ve işleme konulamamaktadır. Bir problem üzerinde çalışma yapıldıkça, o problem hakkında çok az veriye sahip olduğu anlaşılmaktadır ve birçok değişken ise belirsiz kalmıştır, bu nedenle bulanık kümeler teorisi belirsizliğin modellenmesi için son derece iyi bir araçtır ve bunu söz konusu uygulamada elde çok az veri olmasına karşın başarmaktadır.

Bilginin taşınması için en yaygın yol insanlar arasındaki iletişimi sağlayan doğal dildir. Karmaşıklık ve belirsizlik içermesine karşın, kullanılan dil doğal yapısı sayesinde insanlar arasındaki iletişim ve bilgi alış veriş için en kuvvetli yöntemdir. Doğal dildeki belirsizliklere rağmen insanlar diğer insanların fikirlerini ve düşüncelerini anlamakta çok küçük problemler yaşamaktadır ve bu anlayış bilgisayarlar ile olan iletişimde bilgisayarların yapısı dolayısıyla mümkün değildir. Bilgisayarlarla ancak son derece kesin komutlar vasıtasıyla haberleşilmesi mümkündür. Farkın daha iyi ifade edilmesi için bir örnek verilmesi gerekirse; bir insan için belirli bir boy uzunluğundaki insanlar uzun insanlar grubuna girerken, diğer bir kişi için bu grup kısaların grubu olabilmektedir. Bu aradaki potansiyel belirsizliğe rağmen, uzunluk terimi her ne kadar farklı düşünülüyorsa da, bu iki birey için benzer bilgileri barındırmakta ve aralarında doğru bir iletişim yaşanabilmektedir. A kişisi ya da B kişisi için boyları ne olursa olsun aralarında iyi bir iletişim kurulması için uzunluk kavramı hakkında kesin bir tanıma ihtiyaçları yoktur. Ancak bilgisayar uzunluk bilgisi için daha önceden tanımlanmış özel verilere ihtiyaç duymakta ve bu kesin veriler ile ancak kendi sınırları içerisinde iletişim kurabilmektedir. Bulanık kümeler teorisinin altında yatan güç, bulanık kümelere

kesin olmayan durumların gösterilebilmesi için kesin veriler yerine işte bu sözel değişkenlerin kullanılabilmesidir.

Bulanık kümelerin ve bulanık mantığın bilgisayar modellemelerinde birleşmesi sonucu, sezginin model üzerinde büyük rol oynadığı alanlarda maddi yönden çok önemli kazanımlar elde edilmiştir. Sıcaklık kontrolü, trafik kontrolü, işlemci kontrolü gibi uygulama kontrolleri şu an kullanılan en yaygın BM uygulamalarıdır ve BM bunu sözel değişkenler sayesinde başarmaktadır.

Mühendislik modellemelerinin ve ürünlerinin gereksinimi olan kesinlik ifade eden veriler, üretimde ve ürünün geliştirilmesinde zaman ve maliyet gideri olarak geri dönüşüm vermektedir. Böyle sistemlerde kesinlik arttıkça maliyet de, harcanan zaman da artmaktadır. Oysa verilen bir problemde BM kullanılması düşünüldüğünde, mühendis ya da bilim adamının problemdeki hassasiyeti düşünmesi ve belirsizliğin kaldırılması durumunu irdelemesi gerekmektedir.

Bu konuda ünlü bir örnek olan “pazarlamacı” örneği düşünülürse; şehirlerarası yolculuk yapan bir pazarlamacı gideceği toplam yolu en aza indirmeye çalışmakta ve bunun için çeşitli hesaplamalar yaparak kendisine bir program çıkarmaktadır. Gidilecek şehir sayısı az ise en küçük yolun seçilmesi ya da bütün olasılıkların hesaplanması küçük bir egzersiz olarak yapılabilmektedir, ne zaman ne de maliyet olarak fazla bir götürüsü olmamaktadır. Ancak, gidilecek şehir sayısında artma yaşandıkça, uzun ve yorucu uğraşlara rağmen problemin çözümü bırakın insanlar için bilgisayarlar için bile imkânsız bir hal almaktadır. Dolayısıyla, satıcının n şehir sayısında $(n-1)!/2$ değişik tur arasından seçim hakkı olacaktır. Bu, 100 şehirlik bir tur için bile 9.33×10^{157} değişik tur etmektedir. Şu an itibarıyla, bulunabilmiş en güçlü algoritma, problemi en az $n^2 \times 2^n$ gibi bir adımda çözebilmektedir. Yani, 100 şehirlik bir tur için bu 1.26×10^{30} adım etmektedir. Bugüne kadar çözülen en büyük seyyar satıcı problemi 24,978 noktalıdır ve İsveç'te yerleşimi olan her nokta için çözülmüştür. Bu çözüm, 2.8 Ghz bir işlemcinin 92 yılına denk bir sürede yapılmıştır. Öte yandan, 96 bilgisayarlı bir ağ üzerinde çözüldüğünden, çözüm 3 yıl sürmüştür (URL-2).

3.1.2 Bilgideki Belirsizlik

Şekil 3.1'deki şema tipik problemlerin içermiş olduğu bilgilerin dağılımını Evrensel bir bilgi kümesi E içinde göstermektedir. Mühendislik öğretilerinin çok büyük bir kısmı kesinlik içeren olayların ve durumların irdelenmesi ve tartışılmasına yöneliktir. Pek çok işlem kapalı yapıdaki algoritmalara, eşitliklere ve formüllere dönüştürülmek

istenmekte ve dönüştürülmektedir. Bu formüller kesin olarak tanımlanmış durumları göstermekte ve işlemin fiziğinde ve parametrelerinde belirsizlik bulunmamaktadır. Oysa yaşanan problemlerden kaç tanesi için bilgi içeriğinin tam olarak bilindiği söylenebilir ki? Belirsiz bilgi çok farklı durumlarda bulunabilmektedir. Karmaşıklık yüzünden meydana gelmiş belirsizlikler olabilmektedir. Bilgisizlik yüzünden meydana gelmiş belirsizlikler olabilmektedir. Bunca belirsizlik durumuna rağmen olayların kesinmiş gibi düşünülmesi bu olayların tam olarak değerlendirilememesi sonucunu doğurmaktadır.



Şekil 3.1: Bilgi dünyasındaki belirsizliğin durumları.

Bir problemdeki belirsizliğin doğası çok önemlidir. Belirsizliğin ifade edilmesi için seçilecek en uygun yöntemin bulunmasında mühendislerin özellikle bu konu üzerine kafa yormaları gerekmektedir. İnsanların karşılaştığı sistemlerde bulanık kümeler belirsizliğin gösterilmesi için matematik yöntem olarak bir yol sağlamaktadır. Mesela, yoldan geçen bir insanın başına balkondan saksının düşmekte olduğunu görüyorsunuz. Klasik düşünceyle ve klasik bilgisayar modelleme anlayışına göre ona hitap tarzınız “Beyefendi; $g=9.81 \text{ m/s}^2$ bir ivme ile düşey doğrultuda size yaklaşan 5 kg kütleyle sahip bir cisim var kaçınız” olur. Hâlbuki normal hayatta böyle olmayacağına göre, BM işte bu olması gereken tarzı matematiğe yansıtmaya çalışır ve “EĞER kaçmaz İSEniz başınıza saksı düşer!” diyerek işin hızlıca çözülmesini sağlar.

3.1.3 Bulanık Kümeler ve Üyelik

Önceki kısımlarda belirsizliğin değişik şekilleri incelendi. Doğal dildeki belirsizlikler gibi rastgele olmayan belirsizlikler içeren fonksiyonlar hakkında bir fikir yürütülecek

olunursa, bunların kusursuz olamayacağına karar verilmektedir. Zadeh yeni bir belirsizlik ile karşılaşılınca karar vermenin anahtarının küme üyeliği olduğunu belirtmiştir (Zadeh, 1965).

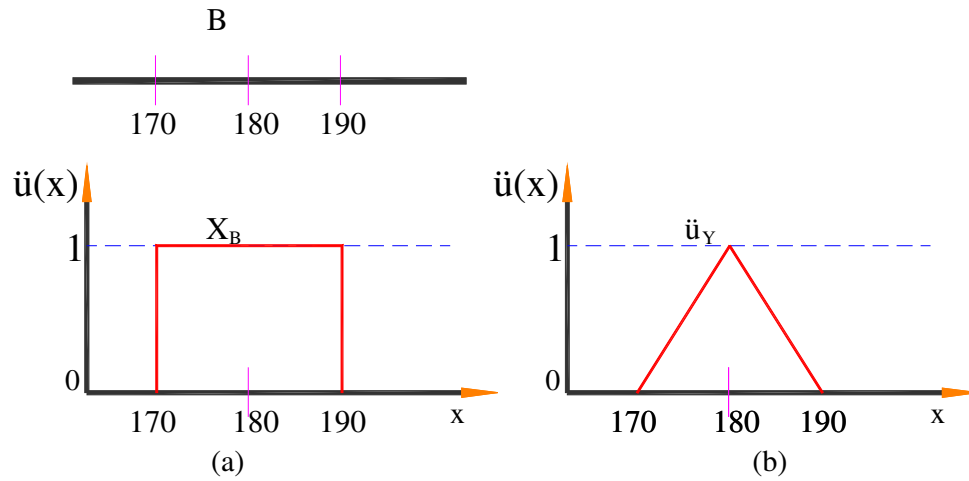
Üyelik konusu bir örnekle ele alınırsa daha iyi anlaşılacaktır. Bir insan 180 cm ya da üzerinde bir boya sahipse, bu kişi kolaylıkla uzun olarak sınıflandırılabilir. Mesela “uzunluk” bilgisi 180 cm’ye eş ya da daha uzun olarak tanımlanmış ise bilgisayar daha küçük bir uzunluğu “uzunluk kümesinin” bir elemanı olarak tanımlayamamaktadır. Öyleyse “kişi yaklaşık 180 cm uzunluğunda” sorgusundaki belirsizliğin ne şekilde ifade edileceği tanımsızdır. Buradaki belirsizlik, sıfat olan “neredeyse” ifadesiyle sağlanmaktadır. O zaman burada “neredeyse uzun” diye yeni bir kümenin açılması gerekmektedir. İlk durumda, uzunluğu bilinmeyen bir kişinin uzunlar kümesinde olup olmaması buradaki belirsizliği ortaya çıkaran nedendir. O zaman birçok insandan alınan uzunluk verileri ile bir olasılık değerlendirmesi yapılabilir. Ancak bir kişinin yaklaşık olarak 180 cm olmasındaki belirsizlik rastgele olmayan bir belirsizlik değildir. Bir insanın 180 cm’ye yakın bir değerde uzun olması derecesi bulanıktır. Aslında “uzunluk” bir derecelendirme işlemidir ve görecelidir. Dünyanın çeşitli ülkelerinde 180 cm uzun olarak değerlendirileceği gibi dünyanın birçok ülkesinde orta boy olarak değerlendirilebilmektedir. Gerçek dünyada yani bulanık dünyada ise uzun insanlar kümesi uzun olmayan insanlar kümesi ile çakışma gösterebilmektedir. Ancak ikili mantıkta böyle bir şey yoktur ve bu da aralarındaki farkı göstermektedir.

Küme üyeliği kavramı evrendeki nesnelerin yine evrende tanımlanan kümeler tarafından gösterilmesi anlamına gelmektedir. Klasik kümeler üyeliğin kesin özelliklerini içeren nesneler içermekte, bulanık kümeler ise üyeliğin kesin olmayan özelliklerini içeren nesneler içermektedir. Bulanık kümelerde bir nesnenin üyeliği yaklaşık bir değerde olabilmektedir.

Zadeh, (1965) çeşitli “üyelik derecelerinin” gösterilmesi için ikili üyelik mantığını sürekli aralıklarda $[0, 1]$ genişletmiştir. Burada sonuç noktaları olan 0 hiç üyelik yok, 1 ise tam üyelik var demektir. Sonuç noktaları arasındaki sonsuz sayıdaki değerler, evrendeki kümelerde bulunan herhangi bir x elemanının çeşitli üyelik derecelerini gösterebilmektedir. Üyelik derecelerini içerisinde barındıran evrendeki kümeler,

Zadeh tarafından “bulanık kümeler” olarak adlandırılmıştır. Uzunluk örneğine geri dönülecek olunursa, Y (boy yüksekliği) adlı bir kümenin “yaklaşık 180 cm uzunluktaki kişileri” içerdiği düşünülürse “yaklaşık uzun kişiler” özelliğinin bulanık olması sonrası, Y için birçok üyelik fonksiyonu mevcuttur. Şekil 3.2’de üçgen üyelik fonksiyonu gösterilmiştir.

Analizi yapan kimse Y kümesinin üyelik fonksiyonunun ne olduğuna karar verir. Aynı Şekil 3.2’de gösterilen üyelik fonksiyonları gibi, klasik kümelerin eşsiz bir üyelik fonksiyonu olması buna karşın bulanık kümelerin kendisini göstermesi için sonsuz sayıda üyelik fonksiyonuna sahip olması klasik kümeler ve bulanık kümeler arasındaki temel farklılıktır. Bulanık kümelerde girişim olmakta ve böylece esneklik kazanılmaktadır. Bunun nedeni de üyelik fonksiyonlarının belirli bir uygulamadaki faydasının artırılabilmesi için değiştirilebilmesidir.



Şekil 3.2: (a) Klasik kümeler ve (b) Bulanık kümeler için yükseklik üyelik fonksiyonları.

3.2 Klasik Kümeler ve Bulanık Kümeler

Evrensel küme ile ifade edilen evren kavramı verilen bir problemdeki bütün muhtemel bilgiler demektir. Bu bilgi evreni oluşturulurken bilgi uzayındaki kesin olayların tanımlanması mümkündür. Kümeler bu olayların ve bu evrenin matematiksel gösterimi olarak kullanılmaktadır. Klasik kümeler kesin sınırlar ile belirlenmekte ve küme sınırlarında herhangi bir belirsizlik bulunmamaktadır. Ancak

bulanık kümeler belirsiz özellikler ile belirlenmekte ve sınırları bulanık bir şekilde çizilmektedir. Bulanık kümeler klasik kümelerde belirlenmiş tanımlamaların ve kuralların çoğunu aynen içermektedir. Aslında klasik kümeler bulanık kümelerin özel bir gösteriminden ibarettir ve üyeliklerinde belirsizlik içermeyerek sınırları kesin çizgiler ile çizilmektedir. Klasik kümeler ve bulanık kümeler arasında belli başlı birkaç özellik haricinde her iki teori de ortak kurallara sahiptir.

3.2.1 Klasik Kümeler

Bir evrendeki elemanlar topluluğu kümeler olarak adlandırılmakta ve kümeler içindeki elemanların kendi aralarında oluşturdukları topluluklara ise alt kümeler denilmektedir. Her bir kümenin ayrıca evrensel E kümesinin alt kümesi olduğu bulunduğundan bu yana kümeler ve alt kümeler eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Evrensel kümedeki bütün elemanların oluşturduğu topluluğa ayrıca “bütün küme” denilmektedir.

E evrensel kümesinde bulunan ve bazı eleman topluluklarını içeren A ve B gibi iki küme için aşağıdaki eşitlikler söz konusu olmaktadır:

$x \in E$	x E'ye aittir
$x \in A$	x A'ya aittir
$x \notin A$	x A'ya ait değildir
$A \subset B$	A tamamen B'nin içinde ($x \in A$ ise $x \in B$ 'dir)
$A \subseteq B$	A tamamen B'nin içinde ya da B'ye eşit
$A = B$	$A \subseteq B$ ve $B \subseteq A$

Boş küme $\emptyset$ şeklinde gösterilmekte ve hiçbir eleman içermemektedir. Boş küme imkânsız bir olayın sembolüdür, bütün küme ise kesin bir olayın sembolüdür. Herhangi bir E kümesinin tüm olası kümelerini içeren özel bir küme vardır ve güç kümesi $G(E)$ olarak adlandırılmaktadır. Örnek olarak $E = \{d, e, f\}$ evreni için $G(E) = \{\emptyset, \{d\}, \{e\}, \{f\}, \{d, e\}, \{d, f\}, \{e, f\}, \{d, e, f\}\}$ 'dir. Bir kümenin alt küme sayısı ise küme eleman sayısı n olmak üzere $n_{G(E)}=2^n$ 'dir

3.2.1.1 Klasik küme işlemleri

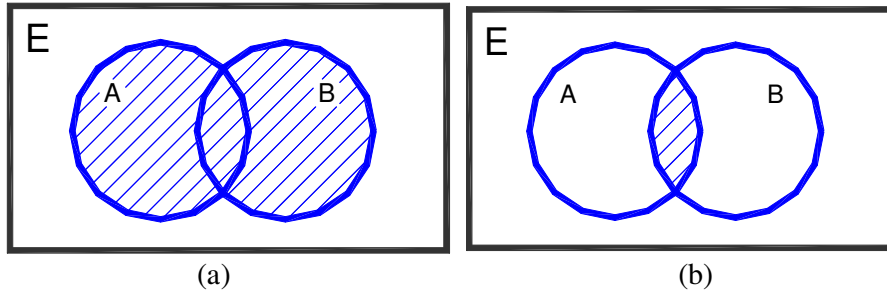
E evreninde A ve B adlı iki küme tanımlanmış olsun. Bu iki kümenin birleşimi olan $A \cup B$ kümesi yalnız A kümesinde bulunan elemanları ve yalnız B kümesinde bulunan elemanları ve A ve B kümesinin ortak elemanlarını içermektedir. Bu işlemin başka bir adı ise mantıksal VEYA'dır. İki kümenin kesişimi olan $A \cap B$ kümesi hem A hem de B'de bulunan elemanları içermektedir. Bu işlemin başka bir adı ise mantıksal VE'dir. A'nın tümleyeni diye adlandırılan $\bar{A}$ kümesi A kümesinde bulunmayan, ancak evrensel kümede bulunan elemanları temsil etmektedir. A kümesinde bulunan ancak B kümesinde bulunmayan elemanların gösterimi ise $A \setminus B$ şeklindedir ve bu işleme fark alma denilmektedir. Yukarıdaki işlemlerin matematik ifadeleri 3.1 - 3.4'teki gibidir ve Şekil 3.3 - Şekil 3.4'te gösterilmiştir.

$$\text{Birleşim} \quad A \cup B = \{x \mid x \in A \text{ veya } x \in B\} \quad (3.1)$$

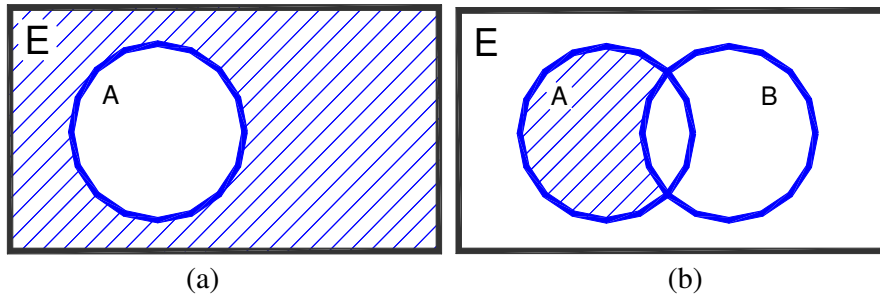
$$\text{Kesişim} \quad A \cap B = \{x \mid x \in A \text{ ve } x \in B\} \quad (3.2)$$

$$\text{Tümleme} \quad \bar{A} = \{x \mid x \notin A, x \in E\} \quad (3.3)$$

$$\text{Fark} \quad A \setminus B = \{x \mid x \in A \text{ ve } x \notin B\} \quad (3.4)$$



Şekil 3.3: (a) A ve B kümelerinin birleşimi (mantıksal VEYA), (b) A ve B kümelerinin kesişimi (mantıksal VE).



Şekil 3.4: (a) A kümesinin tümleyeni, (b) A fark B İşlemi.

3.2.1.2 Klasik kümelerin özellikleri

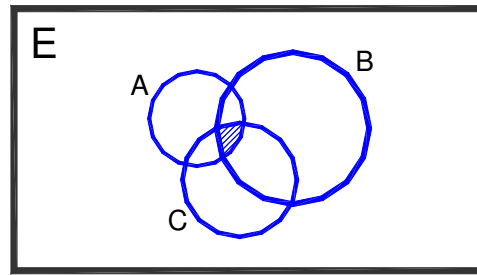
Kümelerin belli başlı özellikleri matematiksel işlemlerdeki etkileri ve işlemlere kolaylık getirmesi bakımından önemlidir. Klasik kümelerin tanımlanması ve bulanık kümelerle benzerliklerinin gösterilmesi için en uygun özellikler 3.5 - 3.14 ifadelerinde ve Şekil 3.5 - Şekil 3.8’de verilmiştir.

Değişme Özelliği $A \cup B = B \cup A$ (3.5)

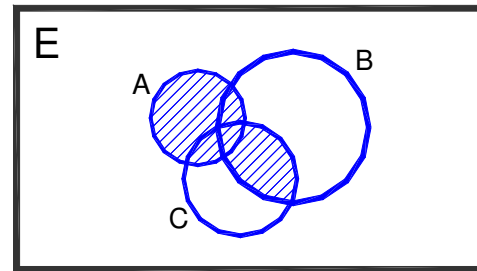
$$A \cap B = B \cap A$$

Birleşme Özelliği $A \cap (B \cap C) = (A \cap B) \cap C$ (3.6)

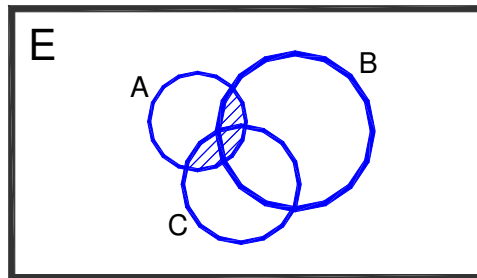
$$A \cup (B \cup C) = (A \cup B) \cup C$$



Şekil 3.5: $A \cap (B \cap C)$ ve $(A \cap B) \cap C$ ifadelerinin grafik gösterimi.



Şekil 3.6: $A \cup (B \cap C)$ ve $(A \cup B) \cap (A \cup C)$ ifadelerinin grafik gösterimi.



Şekil 3.7: $A \cap (B \cup C)$ ve $(A \cap B) \cup (A \cap C)$ ifadelerinin grafik gösterimi.

$$\text{Dağılma Özelliği} \quad A \cup (B \cap C) = (A \cup B) \cap (A \cup C) \quad (3.7)$$

$$A \cap (B \cup C) = (A \cap B) \cup (A \cap C)$$

$$\text{Değişmezlik Özelliği} \quad A \cup A = A \quad (3.8)$$

$$A \cap A = A$$

$$\text{Benzeme Özelliği} \quad A \cup \emptyset = A \quad (3.9)$$

$$A \cap E = A$$

$$A \cap \emptyset = \emptyset$$

$$A \cup E = E$$

$$\text{Geçişlilik Özelliği} \quad \text{Eğer } A \subseteq B \subseteq C \text{ ise } A \subseteq C \text{’dir} \quad (3.10)$$

Bu eşitliklerde kullanılan $\subseteq$ sembolü “kapsar” ya da “-e eşittir” $\subset$ sembolü ise yalnızca “kapsar” anlamına gelmektedir.

$$\text{Dönüşme Özelliği} \quad \overline{\overline{A}} = A \quad (3.11)$$

“De Morgan” ve “ara değeri dışlama” kanunları klasik küme işlemleri için bilinen en özel kanunlardır. Ara değeri dışlama kanunları klasik ve bulanık kümelerin her ikisi için geçerli olmayan tek kanun olması itibarıyla önem arz etmektedir. İki tane ara değeri dışlama kanunu vardır. Birincisi yine aynı isimle “ara değeri dışlama kanunu” diye adlandırılmaktadır ve verilen kümenin ve tümleyeninin birleşimi ile ilgilidir. İkincisi ise “çelişki kanunu” olarak adlandırılmaktadır ve verilen küme ve tümleyeninin kesişimi ile ilgilidir.

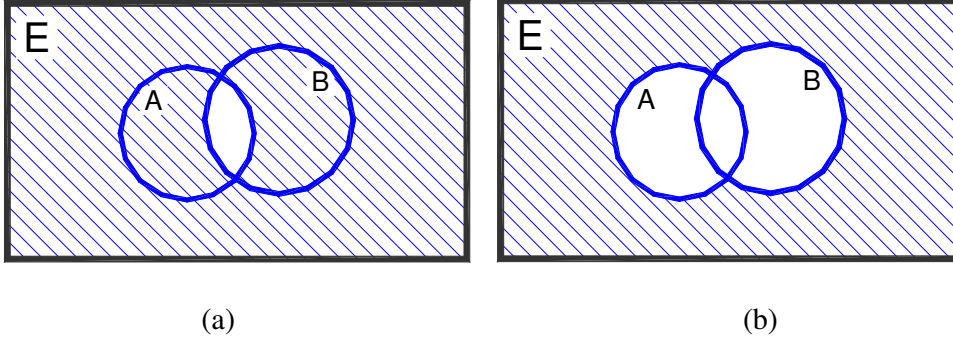
$$\text{Ara Değeri Dışlama Kanunu} \quad A \cup \overline{A} = E \quad (3.12a)$$

$$\text{Çelişki kanunu} \quad A \cap \overline{A} = \emptyset \quad (3.12b)$$

De Morgan kanunu, mantıktaki çelişkilere ve aşikâr durumlara vurgu yapması bakımından oldukça önemli bir kanundur. De Morgan kanunu aşağıda denklem ve grafik ile ifade edilmiştir.

$$\text{De Morgan Kanunu 1.} \quad \overline{A \cap B} = \overline{A} \cup \overline{B} \quad (3.13a)$$

$$\text{De Morgan Kanunu 2.} \quad \overline{A \cup B} = \overline{A} \cap \overline{B} \quad (3.13b)$$



Şekil 3.8: De Morgan Kanunları; (a) $\overline{A \cap B}$, (b) $\overline{A \cup B}$.

De Morgan kanunu n tane küme için gerçekleştirilebilmektedir. T_i kümeleri için:

$$\overline{T_1 \cup T_2 \cup \dots \cup T_n} = \overline{T_1} \cap \overline{T_2} \cap \dots \cap \overline{T_n} \quad (3.14a)$$

$$\overline{T_1 \cap T_2 \cap \dots \cap T_n} = \overline{T_1} \cup \overline{T_2} \cup \dots \cup \overline{T_n} \quad (3.14b)$$

Küme topluluklarının, yani Şekil 3.8 için düşünülürse, $A \cup B$ 'nin kendileri içinde değil de tümleyenleri hakkında veri bulunduğu zaman De Morgan kuralları küme işlemleri için büyük kolaylık arz eder.

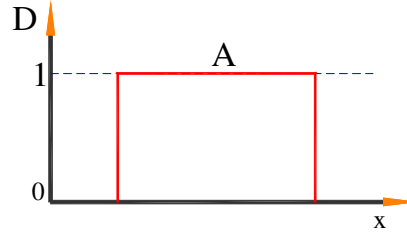
3.2.1.3 Klasik kümelerin fonksiyonlara eşlenmesi

Kümelerin teorik biçimlerinin fonksiyon şeklinde gösterilmesi işlem ve anlama kolaylığı bakımından çok önemlidir. En genel anlamda, bir bilgi evrenindeki elemanlar ve alt kümeler başka bir evrendeki elemanlara ve alt kümelere eşlenerek kullanılabilir. Örneğin, E ve Y gibi iki farklı bilgi evreni olsun. E evrenindeki x adlı bir elemanın Y evrenindeki y adlı bir eleman ile eşlendiği düşünölsün. Bu işleme E'den Y'ye bir eşleme denilmekte ve $f : E \rightarrow Y$ şeklinde gösterilmektedir. Eşleme işleminin karakteristik fonksiyonu aşağıda 3.15 deki gibi tanımlanabilir:

$$f_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (3.15)$$

Burada $f_A(x)$, evrensel kümede bulunan A kümesinin içerdığı x elemanın üyeliğini ifade etmektedir ve grafik olarak gösterimi Şekil 3.9'daki gibidir. Örnekte E evrenindeki x elemanın Y evreninde bulunan iki farklı elemandan birine eşlenmesi

durumu gösterilmektedir. E evreninde tanımlı her A kümesinin “değer kümesi” vardır ve $D(A)$ şeklinde gösterilmektedir. Bu $D(A)$ kümesinde A kümesi için tanımlı alt küme $G(A)$ elemanlarının üyelik değerleri bulunmaktadır. Örneğin, $G(A) = \{\emptyset, \{a\}, \{b\}, \{c\}, \{a, b\}, \{b, c\}, \{a, c\}, \{a, b, c\}\}$ kümesi için değer kümesi $D(A) = \{\{0, 0, 0\}, \{1, 0, 0\}, \{0, 1, 0\}, \{0, 0, 1\}, \{1, 1, 0\}, \{0, 1, 1\}, \{1, 0, 1\}, \{1, 1, 1\}\}$ olarak bulunmaktadır. Boş küme 0, bütün küme ise 1 üyelik değerine sahiptir.



Şekil 3.9: A klasik kümesinin üyelik fonksiyonu.

E evreninde tanımlanmış A ve B gibi iki kümenin birleşme, kesişme, tümlene ve kapsama özelliklerinin fonksiyonel gösterimleri aşağıda 3.16-3.19’de verildiği gibidir. $\vee$ ifadesi mantıktaki VEYA’yı, En Büyüklemeyi, maksimumlamayı, EB’yi ifade eder. $\wedge$ ifadesi mantıktaki VE’yi, En Küçüklemeyi, minimumlamayı, EK’yi ifade eder.

$$\text{Birleşme} \quad A \cup B \Leftrightarrow D_{A \cup B}(x) = D_A(x) \vee D_B(x) = \text{EB}(D_A(x), D_B(x)) \quad (3.16)$$

$$\text{Kesişme} \quad A \cap B \Leftrightarrow D_{A \cap B}(x) = D_A(x) \wedge D_B(x) = \text{EK}(D_A(x), D_B(x)) \quad (3.17)$$

$$\text{Tümlene} \quad \bar{A} \Leftrightarrow D_{\bar{A}}(x) = 1 - D_A(x) \quad (3.18)$$

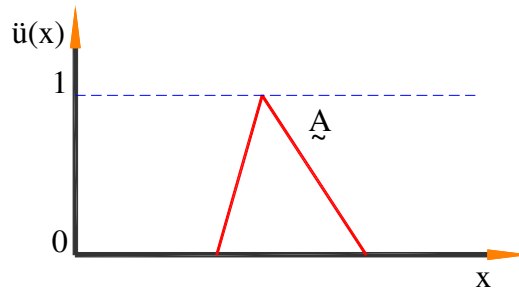
$$\text{Kapsama} \quad A \subseteq B \Leftrightarrow D_A(x) \leq D_B(x) \quad (3.19)$$

3.2.2 Bulanık Kümeler

Klasik kümelerde evrensel kümedeki bir elemanın üyelik ile üyelik dışı geçişleri keskin ve katı bir şekilde tanımlanmaktadır. Bulanık kümelerde ise evrensel kümedeki bir eleman için bu geçişler kademe kademedir. Çeşitli üyelik dereceleri arasındaki bu geçişler bulanık kümelerin sınırlarının kesin olmadığını vurgulamaktadır. Evrensel kümede bulunan bir küme elemanının üyeliği ve üyelik derecesi elemanın belirsizliği ile ilişkili (üçgen, yamuk, gauss v.b. gibi) bir fonksiyon tarafından ölçülmektedir.

Bulanık kümeler, çeşitli üyelik derecelerinde elemanlara sahiptir. Klasik kümelerde tam üyeliğe sahip olmayan elemanlar o kümede bulunamamaktadır. Şekil 3.9’da görüldüğü üzere bir x elemanının A klasik kümesinde bulunabilmesi için üyeliğinin 1’e eşit olması gerekmektedir. Üyeliği 1’e eşit olmayan hiç bir eleman A kümesinde bulunamamaktadır. Bulanık kümelerdeki elemanların üyeliğinin ise tam olması gerekmemektedir ve ayrıca küme elemanları aynı evrende bulunan başka bulanık kümelerin elemanı da olabilmektedir.

Bulanık kümelerin elemanları da klasik küme elemanları gibi üyelik değerleri evrenine fonksiyon teorisi kullanılarak eşlenebilmektedir. A kümesinin bulanık gösterimi $\tilde{A}$ şeklindedir. Kullanılan fonksiyon $\tilde{A}$ bulanık kümesinin elemanlarını 0 ile 1 arasındaki gerçak sayılara eşlemektedir. Şekil 3.10 $\tilde{u}_A(x) \in [0,1]$ ifadesinin grafik gösterimidir (Zadeh, 1965).



Şekil 3.10: $\tilde{A}$ Bulanık kümesinin üyelik fonksiyonu.

E, sınırlı araştırma evreninde bulunan bulanık kümeler için 3.20 eşitliği geçerlidir.

$$\tilde{A} = \left\{ \frac{\tilde{u}_A(x_1)}{x_1} + \frac{\tilde{u}_A(x_2)}{x_2} + \dots \right\} = \left\{ \sum_i \frac{\tilde{u}_A(x_i)}{x_i} \right\} \quad (3.20)$$

Eğer evren sınırsız ve devamlı ise 3.21 eşitliği geçerlidir.

$$\tilde{A} = \left\{ \int \frac{\tilde{u}_A(x)}{x} \right\} \quad (3.21)$$

Burada $\tilde{u}(x)$ düşey eksen üyeliğin değerini x yatay eksen ise üye değerini göstermektedir. Kullanılan “bölme” işaretleri matematiksel bölmeyi ifade etmemektedir. Paydada bulunan ifade elemanı, eleman değerini, üye değerini; payda

bulunan ifade ise paydadaki elemanın üyelik değerini göstermektedir. İlk ifadedeki toplama işareti matematiksel toplama değildir, sadece küme üyelerinin topluluğunu ifade etmektedir. İkinci ifadedeki integral işareti de matematiksel integral değildir, bu işaret de küme üyelerinin topluluğunu ifade etmektedir.

3.2.2.1 Bulanık küme işlemleri

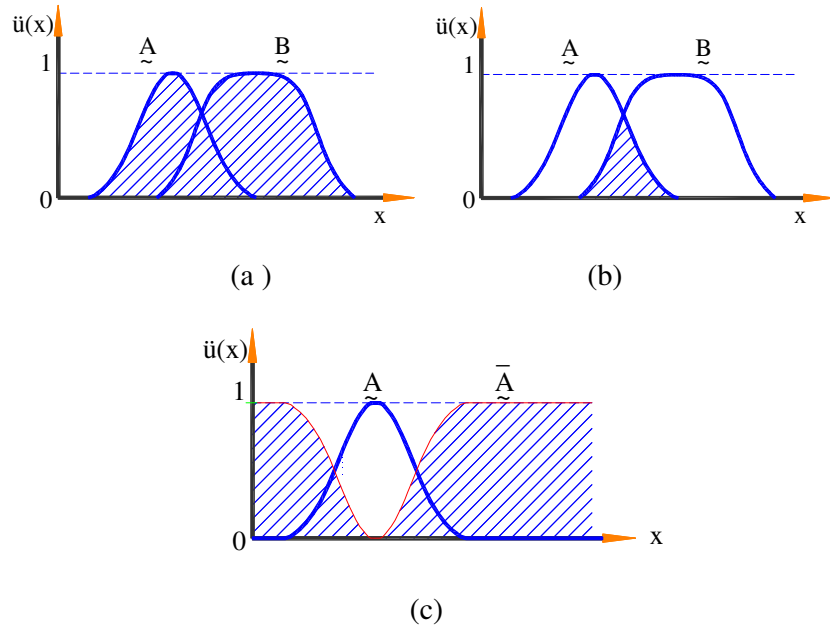
E evreninde $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ gibi üç bulanık küme verilmiş olsun. Bulanık kümelerde, E evrenindeki $\tilde{A}$, $\tilde{B}$ ve $\tilde{C}$ kümelerinde bulunan x elemanı için aşağıda 3.22-3.24'te verilen birleşme, kesişme ve tümlleme özellikleri mevcuttur.

$$\text{Birleşme} \quad \tilde{u}_{\tilde{A} \cup \tilde{B}}(x) = \tilde{u}_{\tilde{A}}(x) \vee \tilde{u}_{\tilde{B}}(x) \quad (3.22)$$

$$\text{Kesişme} \quad \tilde{u}_{\tilde{A} \cap \tilde{B}}(x) = \tilde{u}_{\tilde{A}}(x) \wedge \tilde{u}_{\tilde{B}}(x) \quad (3.23)$$

$$\text{Tümlleme} \quad \tilde{u}_{\tilde{A}^c}(x) = 1 - \tilde{u}_{\tilde{A}}(x) \quad (3.24)$$

Bu işlemlerin grafiksel ifadeleri Şekil 3.13, a, b ve c'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.11: Bulanık kümeler için (a) Birleşim, (b) Kesişim ve (c) Tümlleme özelliklerinin grafik gösterimi.

E evreninde tanımlanmış bütün bulanık kümeler o evrenin birer alt kümesidir. Ayrıca tanım gereği aynı klasik kümelerde olduğu gibi bulanık kümelerde de, herhangi bir x

elemanın üyelik değeri boş küme için 0, bütün küme için ise 1'e eşittir. Bu içerikte bulunan boş küme ve bütün küme birer bulanık küme değildir. Bu ifadelerin uygun gösterimi 3.25'te verilmiştir.

$$\underline{A} \subseteq E \Leftrightarrow \bar{u}_A(x) \leq \bar{u}_E(x) \quad (3.25a)$$

$$\text{Bütün } x \in E \text{ ler için, } \bar{u}_\emptyset(x) = 0 \quad (3.25b)$$

$$\text{Bütün } x \in E \text{ ler için, } \bar{u}_E(x) = 1 \quad (3.25c)$$

E evreninde bulunan bütün bulanık küme ve alt kümelerinin oluşturduğu topluluk bulanık güç kümesi olarak adlandırılmakta ve $\mathcal{G}(E)$ şeklinde gösterilmektedir.

Klasik kümelerde tanımlanan De Morgan kanunları bulanık kümeler için de geçerlidir ve aşağıdaki 3.26 ifadeleriyle gösterilmektedir.

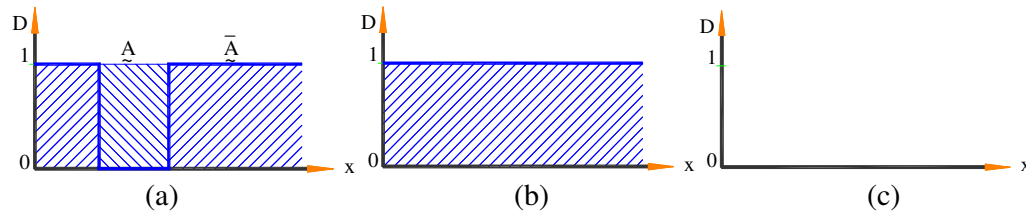
$$\overline{\underline{A} \cap \underline{B}} = \underline{\bar{A}} \cup \underline{\bar{B}} \quad (3.26a)$$

$$\overline{\underline{A} \cup \underline{B}} = \underline{\bar{A}} \cap \underline{\bar{B}} \quad (3.26b)$$

Daha önce de ifade edildiği gibi “ara değeri dışlama kanunları” dışında klasik kümelerde tanımlanan bütün işlemler bulanık kümeler için de geçerlidir. Ara değeri dışlama kanunları bulanık kümelerde üst üste çakışma gösterebilecekleri için bulanık kümeler için geçerli değildir. Bu geçersizliğin matematiksel ifadesi 3.27'deki gibidir.

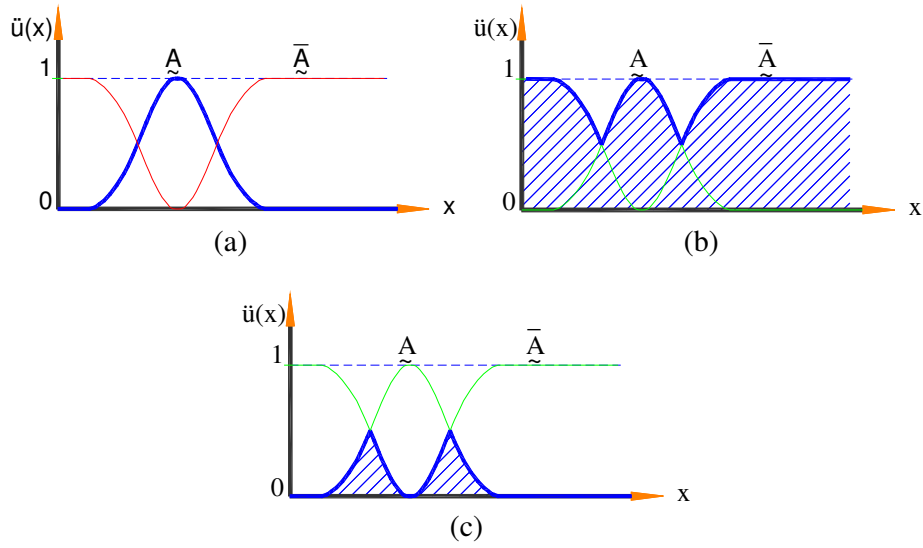
$$\underline{A} \cup \underline{\bar{A}} \neq E \quad (3.27a)$$

$$\underline{A} \cap \underline{\bar{A}} \neq \emptyset \quad (3.27b)$$



Şekil 3.12: Klasik kümeler için ara değeri dışlama kanunları (a) Klasik küme ve tümleyeni, (b) $\underline{A} \cup \underline{\bar{A}} = E$, (c) $\underline{A} \cap \underline{\bar{A}} = \emptyset$.

Şekil 3.12'de klasik kümeler için ara değeri dışlama kanunu gösterilmektedir ve Şekil 3.13 bu kanunun bulanık kümeler için geçerli olamayacağını kanıtlar.



Şekil 3.13: Bulanık kümeler için ara değeri dışlama kanunları (a) Bulanık küme ve tümleyeni, (b) $\tilde{A} \cup \tilde{\bar{A}} \neq E$, (c) $\tilde{A} \cap \tilde{\bar{A}} \neq \emptyset$.

3.2.2.2 Bulanık kümelerin özellikleri

Bulanık kümeler klasik kümelerle aynı özellikleri göstermektedir. Klasik kümeler yalnızca 0 ya da 1 üyelik değerlerine sahip elemanları içerdiğine göre klasik kümeler bulanık kümelerin özel bir gösterimidir denilebilir. Bulanık kümelerin en çok kullanılan özellikleri aşağıda 3.28 – 3.34’te verilmektedir (Ross, 2004).

$$\text{Değişme Özelliği} \quad \tilde{A} \cup \tilde{B} = \tilde{B} \cup \tilde{A} \quad (3.28)$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{B} = \tilde{B} \cap \tilde{A}$$

$$\text{Birleşme Özelliği} \quad \tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap \tilde{C} \quad (3.29)$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup \tilde{C}$$

$$\text{Dağılma Özelliği} \quad \tilde{A} \cup (\tilde{B} \cap \tilde{C}) = (\tilde{A} \cup \tilde{B}) \cap (\tilde{A} \cup \tilde{C}) \quad (3.30)$$

$$\tilde{A} \cap (\tilde{B} \cup \tilde{C}) = (\tilde{A} \cap \tilde{B}) \cup (\tilde{A} \cap \tilde{C})$$

$$\text{Değişmezlik Özelliği} \quad \tilde{A} \cup \tilde{A} = \tilde{A} \quad (3.31)$$

$$\tilde{A} \cap \tilde{A} = \tilde{A}$$

$$\text{Benzeme Özelliği} \quad \tilde{A} \cup \emptyset = \tilde{A} \quad (3.32)$$

$$\tilde{A} \cap E = \tilde{A}$$

$$\tilde{A} \cap \emptyset = \emptyset$$

$$\tilde{A} \cup E = E$$

Geçişlilik Özelliği Eğer $\tilde{A} \subseteq \tilde{B} \subseteq \tilde{C}$ ise $\tilde{A} \subseteq \tilde{C}$ 'dir (3.33)

Dönüşme Özelliği $\overline{\tilde{A}} = \tilde{A}$ (3.34)

Bu ifadelerin bulanık kümelerde daha iyi anlaşılması için aşağıda sayısal örnek verilmiştir. $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ gibi iki küme

$\tilde{A} = \{1/2 + .8/3 + .6/4 + .4/5\}$ ve $\tilde{B} = \{.6/2 + .8/3 + .3/4 + .5/5\}$ olarak verilirse.

Tümleme $\overline{\tilde{A}} = \{1/1 + 0/2 + .2/3 + .4/4 + .6/5\}$

$\overline{\tilde{B}} = \{1/1 + .4/2 + .2/3 + .7/4 + .5/5\}$

Birleşme $\tilde{A} \cup \tilde{B} = \{1/2 + .8/3 + .6/4 + .5/5\}$

Kesişme $\tilde{A} \cap \tilde{B} = \{.6/2 + .8/3 + .3/4 + .4/5\}$

Fark $\tilde{A} \setminus \tilde{B} = \tilde{A} \cap \overline{\tilde{B}} = \{.4/2 + .2/3 + .6/4 + .4/5\}$

$\tilde{B} \setminus \tilde{A} = \tilde{B} \cap \overline{\tilde{A}} = \{0/2 + .2/3 + .3/4 + .5/5\}$

De Morgan Kanunları $\overline{\tilde{A} \cup \tilde{B}} = \overline{\tilde{A}} \cap \overline{\tilde{B}} = \{1/1 + 0/2 + .2/3 + .4/4 + .5/5\}$

$\overline{\tilde{A} \cap \tilde{B}} = \overline{\tilde{A}} \cup \overline{\tilde{B}} = \{1/1 + .4/2 + .2/3 + .7/4 + .6/5\}$

Ara Değeri Dışlama Kanunları $\overline{\tilde{A}} \cup \tilde{A} = \{1/1 + 1/2 + .8/3 + .6/4 + .6/5\}$

$\overline{\tilde{B}} \cap \tilde{B} = \{.4/2 + .2/3 + .3/4 + .5/5\}$

olarak yazılabilir.

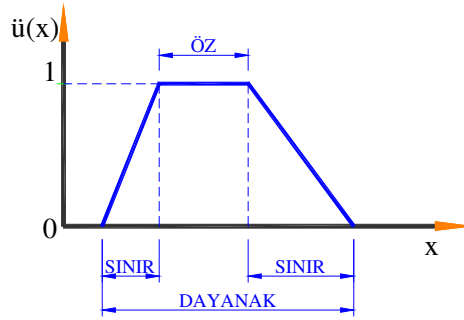
3.3 Üyelik Fonksiyonları

Gerçek hayatta karşılaşılan problemlerin çok azı kesindir ve bunların çok azı matematik model ve teoriler ile açıklanabilecek bir yapıya çevrilebilmektedir. Doğadaki birçok şey basit ve uygun şekillerde ya da dağılımda karakterize edilememektedir. Bulanıklığı açıklamaya çalışan kurallar da bulanıktır. Zaman içerisinde, matematiksel yapılardaki gelişmeler gibi üyelik fonksiyonlarının şekilleri ile ilgili standart terimler ve ifadeler geliştirilmiştir. Bulanıklığın karakterize edilmesi için çok sayıda yöntem olduğu gibi, bulanıklığı tanımlayan üyelik fonksiyonlarının

grafik olarak gösterilmesi için de çok sayıda yöntem bulunmaktadır (Ross, 2004). Üyelik fonksiyonu, bulanık işlem ve özelliklerin tanımı için kullanılmaktadır ve küme tanımlamada liste ve matematiksel işlemlere oranla en pratik yöntemdir.

3.3.1 Üyelik Fonksiyonlarının Karakteristikleri

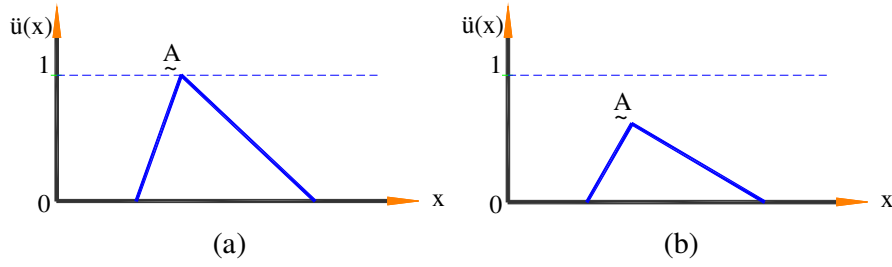
Şekil 3.14'te bir bulanık küme üyelik fonksiyonu verilmektedir. Buradaki tanımların anlamları aşağıda verilmiştir (Şen, 2004).



Şekil 3.14: Bir bulanık küme için tanımlanan öz, sınır ve dayanak değerleri.

Bir üyelik fonksiyonunun özü, üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmıdır. Yani $\bar{u}_A(x) = 1$ olan elemanlar bulanık kümenin özüne dahildir. Bir üyelik fonksiyonunun dayanağı, üyelik dereceleri 0'dan büyük olan öğelerin toplandığı alt küme kısımlarıdır. Yani $\bar{u}_A(x) > 0$ olan elemanlar bulanık kümenin dayanağı içerisinde. Bir üyelik fonksiyonunun sınırları, üyelik dereceleri 0'dan büyük olan ancak yine de tam bir üyeliğe sahip olmayan öğelerin toplandığı alt küme kısımlarıdır. Yani $0 < \bar{u}_A(x) < 1$ olan elemanlar bulanık kümenin sınırları içerisinde.

Bulanık kümeler için tanımlanması gereken kavramlardan bazıları ise “normal bulanık küme” ve “normal olmayan bulanık küme” kavramlarıdır. Üyelik değeri 1'e eşit en azından 1 tane eleman barındıran bulanık kümelere normal bulanık küme denilmektedir. Burada üyelik derecesi 1'e eşit sadece bir eleman var ise o elemana kümenin “ilk örneği” denilmektedir. Eğer bulanık kümelere üyelik derecesi 1'e eşit hiçbir eleman bulunmuyor ise bu bulanık kümeye normal olmayan bulanık küme denilmektedir. Normal ve normal olmayan bulanık kümeler Şekil 3.15'te gösterildiği gibidir.

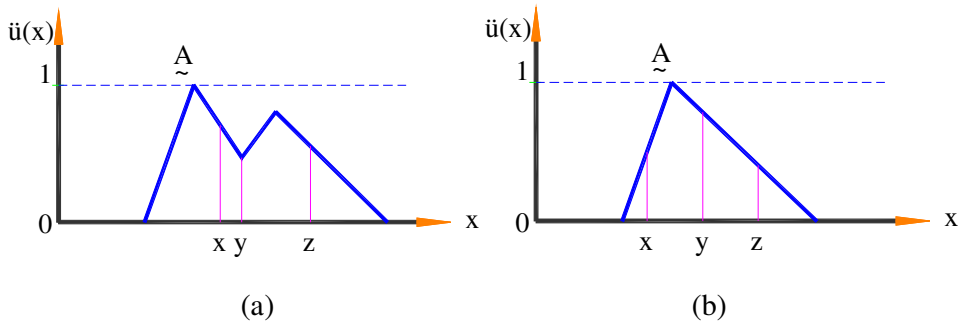


Şekil 3.15: (a) Normal bulanık küme, (b) Normal olmayan bulanık küme.

Üyelik fonksiyonunun önemli diğer bir özelliği ise dışbükey olmasıdır. Dışbükey olan bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde, ya sürekli artmakta veya sürekli azalmakta veya üçgen üyelik fonksiyonunda olduğu gibi önce sürekli olarak üyelik derecesi bir öğede 1'e eşit oluncaya kadar artmakta ondan sonraki dayanağa düşen öğeler için sürekli azalmaktadır. Daha anlaşılır bir ifadeyle, bir $\tilde{A}$ bulanık kümesindeki herhangi x , y ve z elemanları için ($x < y < z$);

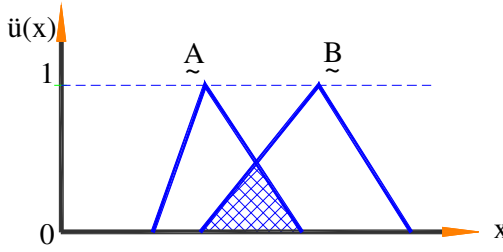
$$\tilde{u}_A(y) \geq \text{EK}[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_A(z)] \quad (3.35)$$

denklem 3.35 ile verilen ifade sağlanıyorsa $\tilde{A}$ bulanık kümesi bir dışbükey bulanık kümedir. Şekil 3.16 a ve b dışbükey olmayan ve dışbükey bulanık kümelerdir. Bulanık dışbükeylik terimi matematikte kullanılan dışbükeylik ile aynı şey değildir.



Şekil 3.16: (a) Dışbükey olmayan, (b) Dışbükey normal bulanık kümeler

$\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ gibi iki bulanık dışbükey kümenin önemli bir özelliği, bu iki bulanık dışbükey kümenin kesişiminin de ayrıca bir bulanık dışbükey kümeyi vermesidir. Bu işlem Şekil 3.17'de gösterildiği gibidir. Yani $\tilde{A}$ ve $\tilde{B}$ dışbükey ise $\tilde{A} \cap \tilde{B}$ 'de dışbükeydir.



Şekil 3.17: İki dışbükey bulanık kümenin kesişiminden bir dışbükey bulanık küme oluşumu.

Bu küme ve fonksiyon tanımları ve karakteristikleri ışığında üçgen ve yamuk üyelik fonksiyonları dışında gauss, çan, sigmoid, z, s...v.b. gibi birçok üyelik fonksiyonu vardır ve türetilbilir, fakat üyelik fonksiyonu üçgen veya yamuktan eğriye döndüğü zaman kümenin mutlaka eğitilmesi gerekir.

3.3.2 Bulanıklaştırma

Bulanıklaştırma klasik bir niceliği bulanık yapma işlemidir. Bulanıklaştırma, az da olsa bir belirsizlik içeren klasik niceliklere uygulanabilmektedir. Eğer bu belirsizlik kesin olmayıştan doğan bir belirsizlik ise, değişkenler muhtemelen bulanık olmakta ve bir üyelik fonksiyonu tarafından gösterilebilmektedir. Örneğin bir sismografin veriyi çevresel etkenlerden arınmış bir şekilde kaydetmesi sırasında bazı hataların olması muhtemeldir. Bu da demektir ki, sismografin veri kaydetmesinde belirsizlikler vardır ve buradaki belirsizliğin belirli bir üyelik fonksiyonu ile açıklanabilme imkânı vardır.

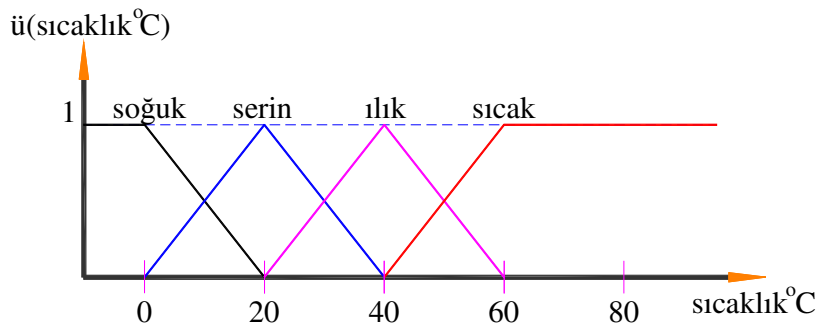
Üyelik değerlerinin ya da fonksiyonlarının bulanık değişkenlere atanması işleminde pek çok yöntem vardır. Bu atama işlemi sezgiye dayalı olabilmekte ya da bu işlem algoritmik ya da mantıksal işlemlerle olabilmektedir. Aşağıda verilen yöntemler üyelik değerlerinin ya da fonksiyonlarının bulanık değerlere atanması için tanımlanmış en yaygın yöntemlerdir. Burada yöntemlerden Önsezi ve Açısal bulanık kümeler açıklanacak olup diğer yöntemler için aşağıdaki kaynaklara başvurulabilir.

- Önsezi (Zadeh, 1972)
- Rütbe Verme (Saaty, 1974; Ross, 2004)
- Açısal Bulanık Kümeler (Hadipriono ve Sun, 1990; Ross, 2004)

- Sinir Ağları (Takagi ve Hayashi, 1991, Ross, 2004)
- Genetik Algoritmalar (Karr ve Gentry, 1993)
- Tümevarımlı Mantık (Christensen, 1980; Ross, 2004)
- İstatistik

3.3.2.1 Önsezi

Bu yöntem insanların doğuştan sahip oldukları zekâ seviyesi ve anlama kabiliyeti vasıtasıyla üyelik fonksiyonları geliştirilmesi işlemidir. Önsezi, bir konu hakkında sözel ve anlamsal bilgi içermektedir; ayrıca bu bilgi hakkında sözel doğruluk değerleri de içerebilmektedir (Zadeh, 1972). Örneğin sıcaklık değişkeni için üyelik fonksiyonundan bahsedilirse, Şekil 3.18 sıcaklık evreninde celsius cinsinde ölçülmüş değerlerin çeşitli gösterimlerini içermektedir. Her bir eğri bir bulanık değerle ilişkilendirilmiş üyelik fonksiyonudur. Bulanık değerler “soğuk”, “serin”, “ılık”, “sıcak” olabilmektedir. Buradaki üyelik fonksiyon eğrileri hem içeriği gösterir hem de analizde kullanılır. Örneğin sıcaklık insan konforu için kullanılacaksa bir tür eğri seçilmelidir, buhar türbini için en uygun değer kullanılacaksa başka bir tür eğri seçilmelidir. Ancak asıl önemli olan nokta, buradaki eğrilerin bulanık işlemlerde kullanılırken üst üste gelebilmesidir. Bu şekil eğrilerin kesin kısımları işlemler için çok önemli değildir. Eğrilerin araştırma evreninde uygun yerlere yerleştirilmesi, üst üste çakıştıkları noktalar ve eğrilerin sayısı asıl önemli kısımdır. Yani alt kümeler arasındaki sınır değerler, BM için önemlidir.



Şekil 3.18: “Sıcaklık” bulanık değişkeni için üyelik fonksiyonu.

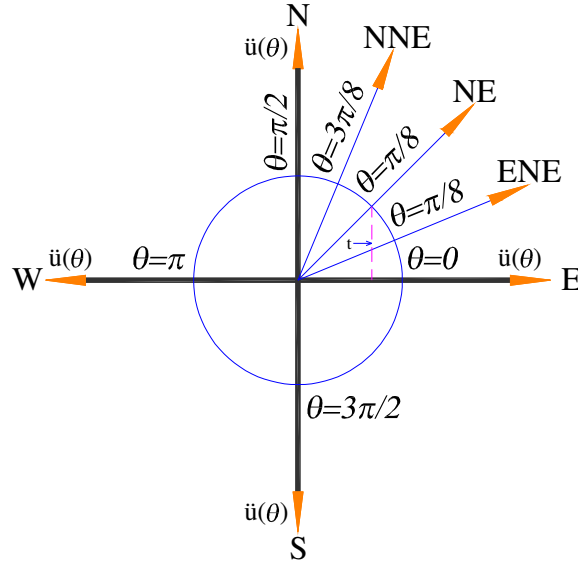
3.3.2.2 Açısal bulanık kümeler

Açısal bulanık kümelerle standart bulanık kümeler yalnızca koordinat tanımlaması

işleminde ayırım göstermektedir. Açısal bulanık kümeler açılar evreninde tanımlıdır, bu nedenle her 2π aralığında bir kez tekrar etmektedir. Kesin bir öneri 1 üyelik değerine sahip olunca bu öneri doğrudur denir. 0 ile 1 arasındaki üyelik değerlerine sahip öneriler ise kısmen doğrudur ya da başka bir ifadeyle kısmen yanlıştır.

Açısal bulanık kümeler aşağıda verilen bir örnekle açıklanmıştır. Bir pusula üzerinde yönler düşünülecek olursa “Kuzey, Batı, Güney, Doğu” ve bunların ara değerleri “NE, NW, SE, SW” e daha ara değerler de sadece kuzey ve doğu aralığı için düşünülürse “NNE ve ENE” bir çember üzerinde rahatlıkla ifade edilebilir. Sadece Kuzey ve Doğu aralığı için kullanılan sözel ifadeler ve açısal değerler sonrası ortaya çıkan açısal bulanık küme grafik olarak Şekil 3.19’da gösterildiği gibidir. Pusula kümesinin bazı değişkenleri aşağıda verilmiştir.

Kuzey	(N)	$\theta = \pi / 2$
Biraz Kuzey	(NNE)	$\theta = 3\pi / 8$
Biraz Doğu	(ENE)	$\theta = \pi / 8$
Doğu	(E)	$\theta = 0$



Şekil 3.19: Birim çemberde tanımlanan açısal bulanık pusula kümesi.

Buradaki sözel ifadeler θ eksenini ile üyelik değerleri ise $\bar{u}(\theta)$ eksenleri ile değişmektedir. Sözel terimlerin üyelik değerleri aşağıdaki 3.36 ifadesiyle

hesaplanmaktadır.

$$\ddot{u}_t(\theta) = t \cdot \tan(\theta) \quad (3.36)$$

Buradaki t , yarıçap vektörünün yatay bileşenidir. Açısal bulanık kümeler değişkenlerin değerlerinin periyodik olduğu durumlarda oldukça kullanışlıdır. Burada kullanılan bir önerme doğruluktan kararsızlık durumu boyunca ilerleyerek yanılsıza varabilmekte ve bu işleme devam edip tekrar yanılsızdan doğruya gelebilmektedir. Dairesel bir yapı olduğundan bu mümkündür.

3.4 Durulaştırma

Bulanık bilgilerin modellenmesi, hesaplanması ve bunlardan sonuç çıkartılması başka bir şeydir, bulanık sonuçların gerçek dünyaya uyarlanması ise başka bir şeydir. Her gün karşılaşılan bilgi yığınlarının bulanık olmasına karşın, kararların ve işlemlerin pek çoğu insanlar ve makineler tarafından ikili mantıkla ve klasik olarak algılanmakta ve uygulanmaktadır. Verilen kararlar ikilidir, kullanılan donanım ikilidir ve kullanılan bilgisayarlar tam olarak ikili komut sistemine göre çalışmaktadır.

Şu ana kadar anlatılan konular matematik ve mühendislik ilkelerinin bulanıklaştırılması hakkındaydı. Ancak çeşitli uygulamalarda ve mühendislik senaryolarında bulanık bir küme analizinden çıkan bulanık sonuçların “durulaştırılması” gerekmektedir. Başka bir deyişle, bulanık sonuçların klasik sonuçlara çevrilmesine ihtiyaç duyulmaktadır. “Durulaştırma” işlemi bulanık bir kümenin klasik tek değerli bir niceliğe çevrilme işlemi, bulanık bir sayının klasikleştirilmesi işlemi ya da bulanık bir matrisin klasik bir matrise çevrilmesi işlemi gibi işlemlerin sonucudur.

Matematik olarak bir bulanık kümenin durulaştırılması, kümenin bulunduğu hiperküpteki konumdan en yakın zirveye doğru konumlanması işlemidir (Kosko, 1998). Bulanık kümelerin klasik kümelere ya da sayısal tek değerlere çevrilmesi işleminin bazı türleri aşağıda verilmiştir.

3.4.1 Lamda Kesimleri

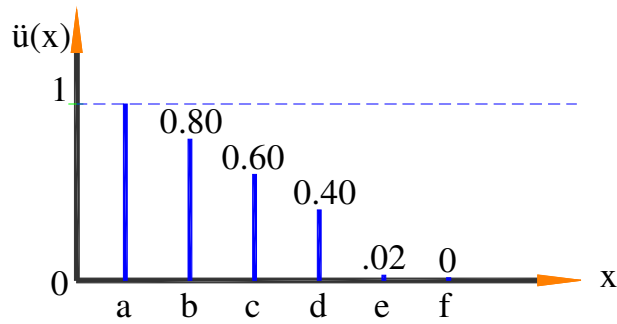
$\tilde{A}$ bulanık kümesinin lamda kesimi kümesi A_λ 'dır ve $\lambda \in [0,1]$ aralığındadır. A_λ , $\tilde{A}$ bulanık kümesinin lamda (λ) kesimi kümesi şeklinde adlandırılan klasik bir küme olup, $A_\lambda = \{x \mid \tilde{u}_A(x) \geq \lambda\}$ olarak ifade edilir. λ kesimi kümesi A_λ herhangi bir alt çizgi işaretine sahip değildir. Bu nedenle A_λ kümesi, $\tilde{A}$ bulanık kümesinden türetilmiş klasik bir kümedir denilmektedir. Herhangi bir $\tilde{A}$ bulanık kümesi sonsuz sayıda λ kesim kümesine çevrilebilmekte olup bunun nedeni $[0, 1]$ aralığında sonsuz sayıda λ değeri bulunmasıdır.

$x \in A_\lambda$ eşitliğini sağlayan, λ değerine eşit ya da daha büyük üyelik derecesine sahip elemanlar $\tilde{A}$ bulanık kümesine aittir. $E = \{a, b, c, d, e, f\}$ evreni için yukarıdaki fikir aşağıda açıklanmıştır.

$$\tilde{A} = \{1/a + 0.80/b + 0.60/c + 0.40/d + 0.02/e + 0/f\}$$

$\tilde{A}$ bulanık kümesi Şekil 3.20'de grafik olarak gösterilmektedir. Buradaki bulanık küme çeşitli λ kesim kümelerine ayrılabilir ki bu kümeler klasik küme olmaktadır. Örneğin $\lambda = 1, 0.80, 0.60, 0.40, 0.02$ ve 0 değerleri için λ kesim kümeleri tanımlanabilir.

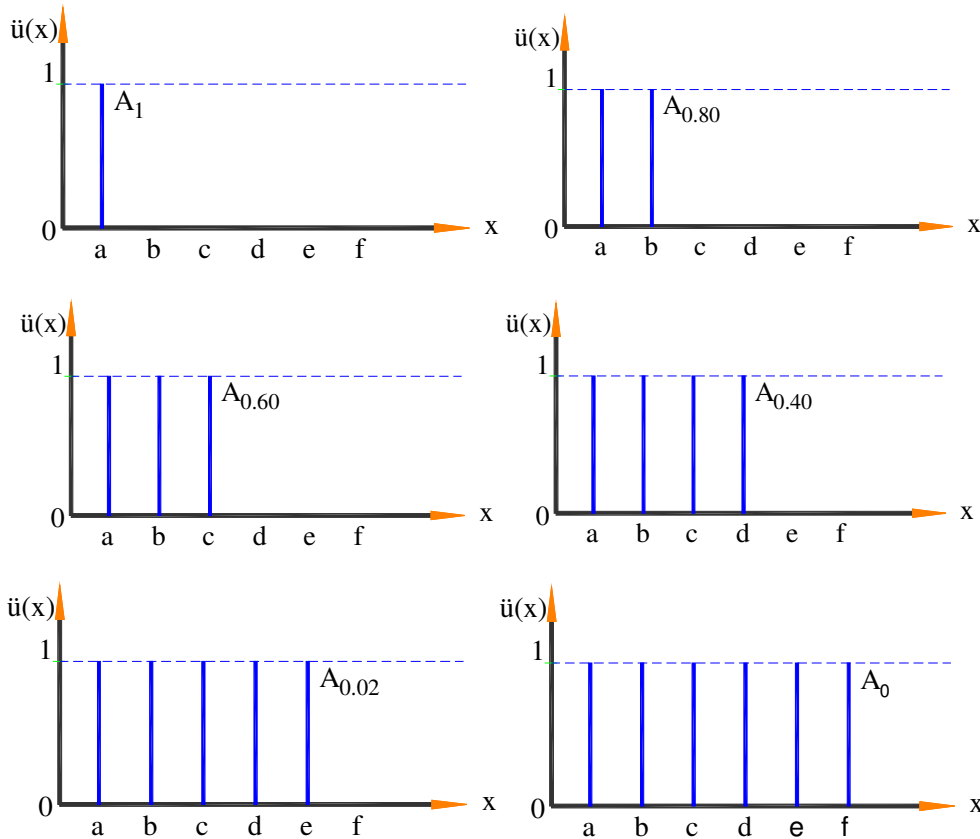
$$A_1 = \{a\} \quad A_{0.80} = \{a, b\} \quad A_{0.60} = \{a, b, c\} \quad A_{0.40} = \{a, b, c, d\} \quad A_{0.02} = \{a, b, c, d, e\} \quad A_0 = E$$



Şekil 3.20: $\tilde{A}$ bulanık kümesi.

$\lambda=0.02$ niceliği küçük bir “ δ ” değeri olarak tanımlanmaktadır. Tanım gereği evrendeki bütün elemanlar en azından 0 üyelik değerine sahip olması sonucu $\lambda=0$ ifadesi E evrenini üretmektedir. Bütün A_λ 'ların klasik olması sonucu örnekte

gösterilen λ kesim kümelerindeki bütün elemanlar ait oldukları λ kesim kümelerinde 1 üyelik değerine sahiptir. Örneğin, $\lambda=0.4$ için a, b, c ve d elemanları $A_{0.4}$ lamda kesim kümesinde 1 üyelik değerine sahiptir, e ve f elemanları $A_{0.4}$ lamda kesim kümesinde 0 üyelik değerine sahiptir. Şekil 3.21, $\lambda = 1, 0.8, 0.6, 0.4, 0.02$ ve 0 değerleri için klasik λ kesim kümelerini göstermektedir. A bulanık kümesinde bulunan λ 'dan daha büyük ve eşit üyelik değerine sahip bütün elemanların üyelik değeri 1, λ 'dan daha küçük üyelik değerine sahip bütün elemanların üyelik değeri ise 0'dır.



Şekil 3.21: $\lambda = 1, 0.80, 0.60, 0.40, 0.02$ ve 0 değerleri için λ kesim kümeleri.

Örnek olarak Şekil 3.20'de gösterilen bulanık kümede $\lambda = 0.80$ ve $\lambda = 0.15$ değerleri için λ kesim kümesi değerleri aşağıdaki gibidir.

$$A_{0.80} = \{1/a + 1/b + 0/c + 0/d + 0/e + 0/f\}$$

$$A_{0.15} = \{1/a + 1/b + 1/c + 1/d + 0/e + 0/f\}$$

Lamda kesim kümeleri aşağıda 3.37-3.40'taki 4 önemli özelliği sağlamaktadır.

$$1. (\underline{A} \cup \underline{B})_\lambda = \underline{A}_\lambda \cup \underline{B}_\lambda \quad (3.37)$$

$$2. (\underline{A} \cap \underline{B})_\lambda = \underline{A}_\lambda \cap \underline{B}_\lambda \quad (3.38)$$

$$3. (\bar{\underline{A}})_\lambda \neq (\bar{\underline{A}}_\lambda) \quad (\lambda = 0.50 \text{ değeri dışında sağlanmaktadır}) \quad (3.39)$$

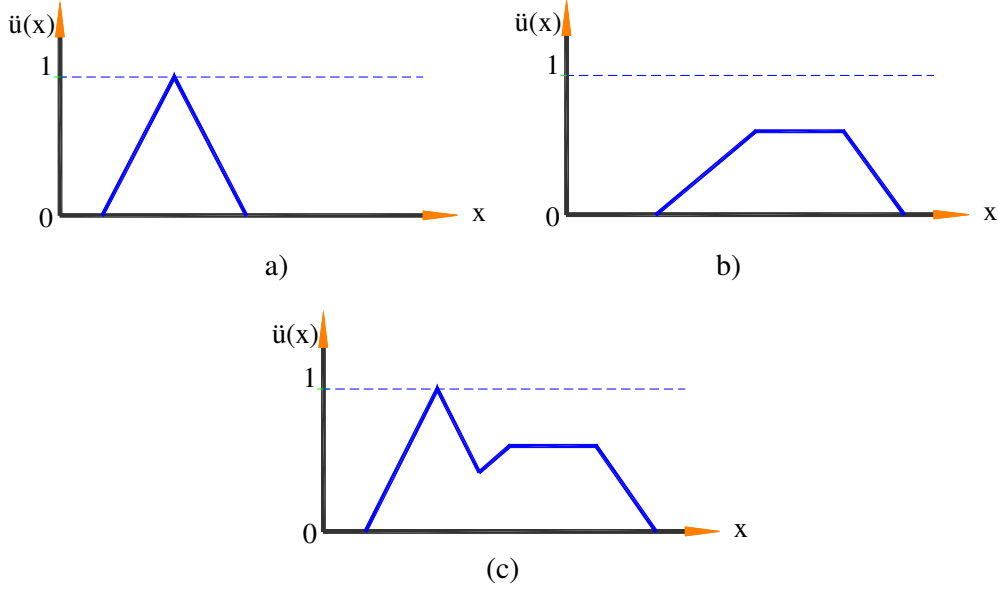
$$4. \lambda \leq \alpha \text{ ve } 0 \leq \alpha \leq 1 \text{ için } A_0 = E \text{ iken } A_\alpha \subseteq A_\lambda \text{ 'dır} \quad (3.40)$$

Bu özellikler, bulanık kümelerdeki standart işlemlerin λ kesimlerinin, λ kesim kümelerindeki standart küme işlemleri ile aynı olduğunu göstermektedir. Daha önceki konularda bahsedilen üyelik fonksiyonları hakkındaki çeşitli tanımların çoğu λ kesim kümeleri kullanımında da geçerlidir.

3.4.2 Durulaştırma Yöntemleri

Yukarıda da bahsedildiği gibi, bulanık işlemin sonucunun sayısal tek bir niceliğe karşılık gelmesi ihtiyacının doğduğu durumlar olabilmektedir. Bulanıklaştırma işlemi kesin bir niceliğin bulanık bir niceliğe dönüştürülmesi işlemi olduğu gibi, durulaştırma işlemi de bulanık bir niceliğin kesin bir niceliğe dönüştürülmesi işlemidir. Bulanık bir işlemin sonucu, çıkış değişkenlerinden oluşan araştırma evreninde tanımlanmış bir ya da daha fazla bulanık üyelik fonksiyonunun mantıksal birleşimi olabilmektedir. Örneğin bulanık bir çıkışın iki parçanın birleşiminden oluştuğu düşünülün. $\underline{S}_1$ Şekil 3.22a'da gösterildiği gibi üçgen, $\underline{S}_2$ ise Şekil 3.22b'de gösterildiği gibi yamuk bir üyelik şekli olsun. Bu iki üyelik fonksiyonunun birleşimi $\underline{S} = \underline{S}_1 \cup \underline{S}_2$ (en büyük, EB) işlemini içermektedir. Bu işlem iki şeklin birleşiminden doğan şeklin dış çizgilerini oluşturmakta, diğer çizgiler kalkmakta ve Şekil 3.22c'de gösterilen küme elde edilmektedir. Tabii ki genel bulanık bir işlem birçok çıkış parçası içermekte ve her bir çıkış parçasının üyelik fonksiyonu ikizkenar yamuk ya da üçgenden farklı bir şekil olabilmektedir. Genel olarak aşağıda verilen 3.41 geçerlidir.

$$\underline{S}_k = \bigcup_{i=1}^k \underline{S}_i = \underline{S} \quad (3.41)$$



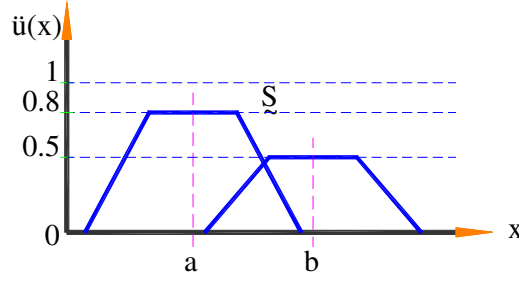
Şekil 3.22: Tipik bir bulanık işlem çıkışı: (a) Bulanık çıkışın ilk bölümü; (b) Bulanık çıkışın ikinci bölümü; (c) İki bölümün birleşimi.

Bulanık çıkış üyelik fonksiyonlarının durulaştırılması işlemi için çok kullanılan 7 yöntem vardır (Hellendoorn vd., 1993). Bu yöntemlerden hangisinin kullanılacağına araştırma veya analiz yapan mühendisin, elindeki problemin türüne göre karar vermesi gereklidir (Şen, 2004).

3.4.2.1 Ağırlık merkezi yöntemi

Bu yöntem en yaygın olan durulaştırma yöntemidir (Sugeno, 1985; Lee, 1990; Ross, 2004). Yöntem “alan merkezi” veya “sentroid” diye de anılır. 3.42’de matematik ifadesi verilen yöntem Şekil 3.23’te grafik olarak gösterilmiştir. S sonuç kümesi olmakla birlikte eşitlikteki $\int$ işareti matematik integral anlamına gelmektedir.

$$x^* = \frac{\int \ddot{u}_s(x) \cdot x \, dx}{\int \ddot{u}_s(x) \, dx} \quad (3.42)$$



Şekil 3.25: Ağırlıklı ortalama durulaştırma yöntemi.

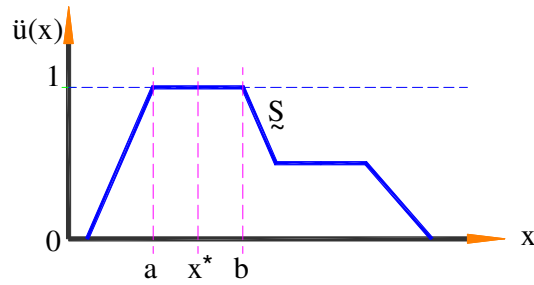
Ağırlıklı ortalama yöntemi, her bir üyelik fonksiyonunun sahip olduğu en büyük üyelik değerine göre ağırlıklandırılması işlemine dayanmaktadır. Örnek olarak Şekil 3.25'te gösterilen iki fonksiyondan durulaştırılmış bir değer bulunması için aşağıdaki gibi hesaplama gerekmektedir.

$$x^* = \frac{0.8a + 0.5b}{0.5 + 0.8}$$

3.4.2.4 Ortalama en büyük üyelik yöntemi

Bu yöntem, en büyük üyelik ilkesi yöntemiyle yakından alakalıdır. Ortalama en büyük üyelik yöntemi “MOM” olarak da anılmaktadır. Bazı durumlarda en büyük üyeliğin konumları birden çok olabilmektedir (en büyük üyelik tek bir nokta yerine bir düzlem şeklinde olabilmektedir). Bu yöntem aşağıdaki 3.45 ifadesinde verilmektedir (Sugeno, 1985; Lee, 1990; Ross, 2004). a ve b değerleri Şekil 3.26'da tanımlandığı gibidir.

$$x^* = \frac{a+b}{2} \quad (3.45)$$



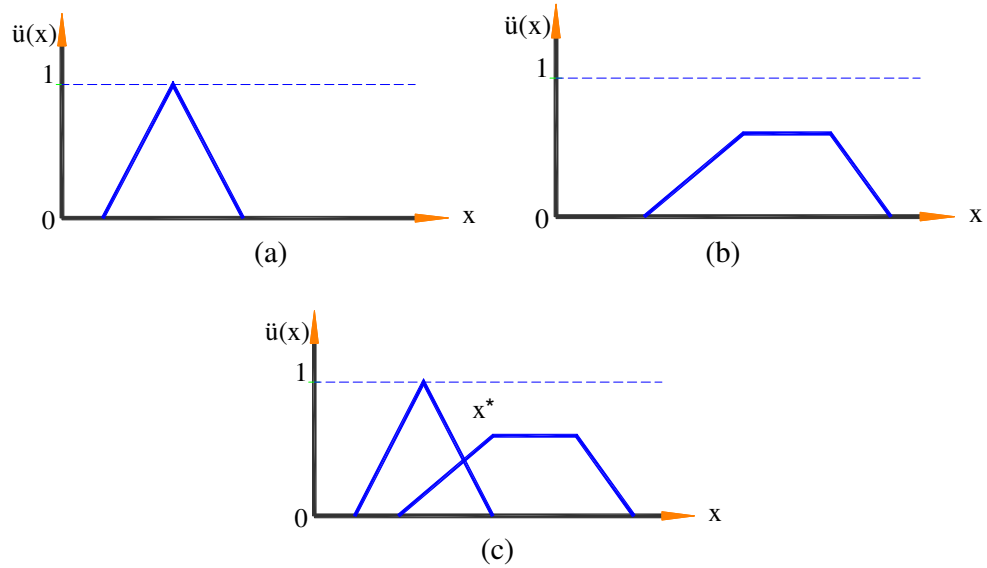
Şekil 3.26: Ortalama en büyük üyelik durulaştırma yöntemi.

3.4.2.5 Toplamların merkezi yöntemi

Bu yöntem şu anda kullanılan birçok durulaştırma yöntemine göre daha hızlı çalışmaktadır. Bu işlem $\underline{S}_1$ ve $\underline{S}_2$ bireysel bulanık çıkış kümelerinin birleşimleri yerine matematiksel olarak toplanması işlemini içermektedir. Ancak bu yöntemin bir sakıncası, kesişen alanların iki kez eklenmesidir. Durulaştırılmış x^* değeri aşağıda 3.46’da verilmiştir.

$$x^* = \frac{\int_x x \sum_{k=1}^n \ddot{u}_{S^k}(x) dx}{\int_x \sum_{k=1}^n \ddot{u}_{S^k}(x) dx} \quad (3.46)$$

Bu yöntem ağırlıklı ortalama yöntemine benzerlik göstermektedir. Ancak toplamların merkezi yönteminde ağırlıklar üyelik fonksiyonlarının alanlarıdır. Ağırlıklı ortalama yönteminde ise ağırlıklar bireysel üyelik fonksiyonları olup, Şekil 3.27’de verilmiştir.



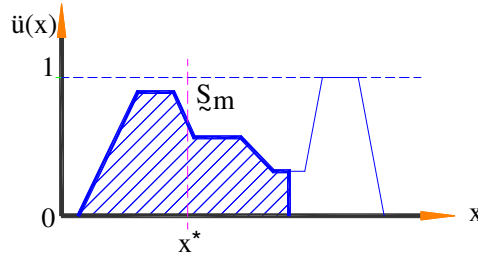
Şekil 3.27: Toplamların merkezi yöntemi: (a) İlk üyelik fonksiyonu S_1 ; (b) İkinci üyelik fonksiyonu S_2 ; (c) Durulaştırma adımı.

3.4.2.6 En büyük alanın merkezi yöntemi

Eğer çıkış bulanık kümesi en az 2 dışbükey alt bölgeyi içeriyor ise o zaman en büyük

alana sahip dışbükey bulanık alt bölgenin ağırlık merkezi, çıkışın durulaştırılmış değerinin bulunmasında kullanılmaktadır. Bu işlem 3.47’de matematik ifade ile ve Şekil 3.28’de ise grafik gösterimle verilmiştir.

$$x^* = \frac{\int \ddot{u}_{\underline{S}_m}(x) \cdot x \, dx}{\int \ddot{u}_{\underline{S}_m}(x) \, dx} \quad (3.47)$$



Şekil 3.28: En büyük alanın merkezi yöntemi (Kalın çizgi ile gösterilen).

$\underline{S}_m$ en büyük alana sahip dışbükey alt bölgedir. x^* değeri ağırlık merkezi yönteminde ve en büyük alanın merkezi yönteminde hesaplananla aynı değerdir.

3.4.2.7 En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi

Bu yöntem $\underline{S}_k$ ’daki (tüm sonuç kümesi) üyelik değerini en büyük yapan en küçük alan değerinin bulunması için bütün $\underline{S}_k$ bireysel bulanık kümelerinin toplam çıkışını ya da birleşimini almaktadır. En büyük ilk üyelik derecesi yöntemi “SOM”, En büyük son üyelik derecesi yöntemi “LOM” diye de anılmaktadır. x^* değeri için kurulan eşitlikler 3.48 - 3.50’deki gibidir.

İlk olarak sonuç birleşim kümesindeki en büyük yükseklikler (EBY) kararlaştırılır.

$$EBY(\underline{S}_k) = \max_{x \in X} \ddot{u}_{\underline{S}_k}(x) \quad (3.48)$$

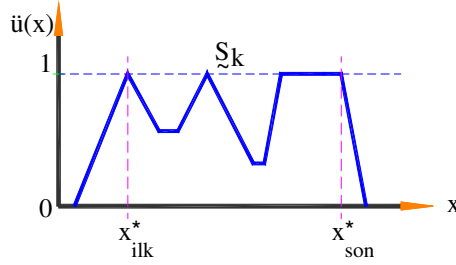
Daha sonra birinci en büyük değer bulunur.

$$x^* = \min_{x \in X} \{x \mid \ddot{u}_{\underline{S}_k}(x) = EBY(\underline{S}_k)\} \quad (3.49)$$

“En büyük son üyelik derecesi” yöntemi matematik olarak 3.50’de gösterilmektedir.

$$x^* = \underset{x \in X}{EB\ddot{U}S} \{x \in X \mid \ddot{u}_{\tilde{S}_k}(x) = EBY(\tilde{S}_k)\} \quad (3.50)$$

Yukarıdaki eşitliklerde kullanılan EBÜS fonksiyonu en büyük üst sınır ve EBAS fonksiyonu en küçük alt sınır anlamına gelmektedir. Bu yöntem grafik olarak aşağıda Şekil 3.29’da gösterilmektedir.



Şekil 3.29: En büyük ilk veya son üyelik derecesi yöntemi.

3.5 Bulanık Kural Tabanlı Sistemler

Kural tabanlı sistemlerde kurallar, koşullu cümlelerle ve EĞER, İSE, VE, VEYA mantıksal bağlaçları ile tanımlanır. VE ve VEYA bağlaçları sırasıyla en küçükleme (EK) ve en büyükleme (EB) yi ifade eder.

Yapay zekâ alanında bilginin tanımlaması ve gösterilmesi için çeşitli yollar vardır. Belki de insan bilgisinin gösterilmesi için en yaygın yol, doğal dil ifadeleri ile şekillendirilmesidir. Bir kural cümlesinin, koşullu cümle kısımları 3.51’de verilmiştir.

$$\text{EĞER öncül İSE çıkarım} \quad (3.51)$$

Burada “EĞER, İSE” kural tabanı olarak bilinmektedir. Bu kural tipik olarak bir sonuç ifade etmektedir. Bu sonuç, bir gerçek biliniyorsa (şart, varsayım, öncül), o zaman çıkarım (karar, sonuç) olarak adlandırılan başka bir gerçek türetilbilir anlamına gelmektedir.

3.5.1 Kabul Edilmiş Kural Formları

Sözel değişkenler için yaygın olarak kullanılan 3 genel form vardır (Ross, 1995). Bu

formlar (i) atama ifadeleri, (ii) koşullu ifadeler ve (iii) koşulsuz ifadelerdir. Bu formların her biri için aşağıda örnekler verilmiştir.

i) Atama ifadeleri:

x = küçük

Yaprak rengi = yeşil

Mevsim = kış

Dış sıcaklık = soğuk

ii) Koşullu ifadeler:

EĞER kek kahverengi İSE pişmiştir

EĞER hız çok artmış İSE frene bas

EĞER beton az çatlamış İSE az tehlikelidir

EĞER plastik dönme büyük İSE performans düşüktür

EĞER kapasite oranı düşük İSE performans yüksektir

iii) Koşulsuz ifadeler:

110'a git;

x ile çarp

Vanayı aç

Dur

Atama ifadeleri bir değişkenin değerini özel bir nicelikle sınırlandırmaktadır. Koşulsuz ifadeler koşullu ifadeler gibi düşünülebilir, bunlar “EĞER” cümlesindeki koşulları daima doğru olan ifadelerdir. Yani bulanık halin özel bir durumudur.

Bundan dolayı ilgili kural tabanı, bir koşullu sınırlayıcı cümleler topluluğu, yani kural cümlecikleri kullanılarak tanımlanabilmektedir. Bu ifadeler ayrıca aşağıdaki gibi bulanık koşullu ifadeler olarak da modellenabilmektedir.

EĞER koşul C^1 İSE kısıtlama R^1

dir. Çizelge 3.1 bir koşullu kurallar kümesi tarafından oluşturulmuş kural tabanlı sistemdir. Bundan dolayı kabul edilmiş kurallar kümesi Çizelge 3.1’de gösterildiği forma sokulabilir.

Çizelge 3.1: Bulanık kural tabanlı bir sistem için kabul edilmiş form.

Kural 1:	EĞER	koşul C^1	İSE	Kısıt R^1
Kural 2:	EĞER	koşul C^2	İSE	Kısıt R^2
...				
Kural r	EĞER	koşul C^r	İSE	Kısıt R^r

Aşağıda, kesitteki plastik dönmeye karşılık hasar miktarı problemi bazı sınırlandırıcı ifadelerle birlikte örneklendirilmiştir.

Eğer kesitteki plastik dönme fazla İSE hasar miktarı fazladır.

Eğer kesitteki plastik dönme düşük İSE hasar miktarı azdır.

Eğer kesitteki plastik dönme orta İSE hasar miktarı ortadır.

...

3.5.1.1 Bileşik kuralların ayrıştırılması

İnsan tarafından ifade edilen sözel bir ifade bileşik kural yapıları içerebilir. Örneğin bina deprem güvenliği için yapılabilecekler konusuna ilişkin bir problem için kural tabanı düşünülürse, problem aşağıdaki kuralları içerebilir.

EĞER şekildeğiştirme çok İSE

şekildeğiştirme kapasitesini artır.

EĞER deprem büyüklüğü orta İSE

EĞER plastik mafsal dönmeleri çok fazla ise İSE

bina göçme performansındadır.

YOKSA

EĞER kesitler iyi VE sönümleyici yok İSE

sönümleyici koy

VE yapı ağır İSE

hafiflet

Bulanık kümeler için tanımlanmış basit işlemler ve özellikler kullanılarak herhangi bileşik kural yapısı parçalanabilmekte ve Çizelge 3.1’de gösterildiği gibi, belirli sayıda basit standart kuralla düşürülebilmektedir. Bu kurallar doğal dil gösterimleri ve

modellerine dayanmaktadır. Aşağıdaki örnekler bileşik sözel kuralların basit standart formlara parçalanması işlemini gerçekleştiren en yaygın teknikleri göstermektedir.

3.5.1.1.1 Çoklu birleşme şartları

EĞER $x = \tilde{A}^1$ VE $x = \tilde{A}^2 \dots$ VE $x = \tilde{A}^L$ İSE $y = \tilde{B}^S$ 'dir (3.52)

$\tilde{A}^S$ gibi yeni bir bulanık küme düşünülürse

$$\tilde{A}^S = \tilde{A}^1 \cap \tilde{A}^2 \cap \dots \cap \tilde{A}^L$$

Bu bulanık küme aşağıdaki üyelik fonksiyonu ile ifade edilmektedir:

$$\tilde{u}_{\tilde{A}^S}(x) = \text{EK}[\tilde{u}_{\tilde{A}^1}(x), \tilde{u}_{\tilde{A}^2}(x), \dots, \tilde{u}_{\tilde{A}^L}(x)]$$

Bu işlem bulanık kesişim tanımına dayanmakta ve bileşik kural aşağıdaki gibi yazılabilmektedir:

$$\text{EĞER } \tilde{A}^S \text{ İSE } \tilde{B}^S$$

3.5.1.1.2 Çoklu kesişme şartları

EĞER $x = \tilde{A}^1$ VEYA $x = \tilde{A}^2 \dots$ VEYA $x = \tilde{A}^L$ İSE $y = \tilde{B}^S$ 'dir (3.53)

Yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi yeniden yazılabilmektedir:

$$\text{EĞER } x = \tilde{A}^S \text{ İSE } y = \tilde{B}^S$$

Yukarıdaki $\tilde{A}^S$ bulanık kümesi aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır:

$$\tilde{A}^S = \tilde{A}^1 \cup \tilde{A}^2 \cup \dots \cup \tilde{A}^L$$

$$\tilde{u}_{\tilde{A}^S}(x) = \text{EB}[\tilde{u}_{\tilde{A}^1}(x), \tilde{u}_{\tilde{A}^2}(x), \dots, \tilde{u}_{\tilde{A}^L}(x)]$$

Yukarıdaki işlem bulanık birleşim işlemi tanımına dayanmaktadır.

3.5.1.1.3 “YOKSA” ve “OLMADIĞA” ifadelerini içeren koşullu ifadeler

$$(a) \text{ EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } (\underline{B}^1 \text{ YOKSA } \underline{B}^2) \quad (3.54)$$

Yukarıdaki bileşik kural aşağıdaki gibi “VEYA” bağı ile bağlı 2 basit standart form kuralına parçalanabilmektedir.

$$\begin{aligned} & \text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } \underline{B}^1 \\ & \text{VEYA} \\ & \text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ DEĞİL İSE } \underline{B}^2 \end{aligned}$$

$$(b) \text{ EĞER } \underline{A}^1 (\text{İSE } \underline{B}^1) \text{ OLMADIĞA } \underline{A}^2 \quad (3.55)$$

Yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi parçalanabilmektedir:

$$\begin{aligned} & \text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } \underline{B}^1 \\ & \text{VEYA} \\ & \text{EĞER } \underline{A}^2 \text{ İSE } \underline{B}^1 \text{ DEĞİL} \end{aligned}$$

$$(c) \text{ EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } (\underline{B}^1 \text{ YOKSA, EĞER } \underline{A}^2 \text{ İSE } (\underline{B}^2)) \quad (3.56)$$

Yukarıdaki ifade aşağıdaki şekle sokulabilmektedir:

$$\begin{aligned} & \text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } \underline{B}^1 \\ & \text{VEYA} \\ & \text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ VE } \underline{A}^2 \text{ DEĞİL İSE } \underline{B}^2 \end{aligned}$$

3.5.1.1.4 İç içe geçmiş “EĞER İSE” kuralları

$$\text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ İSE } (\text{EĞER } \underline{A}^2 \text{ İSE } (\underline{B}^1)) \quad (3.57)$$

Yukarıdaki ifade aşağıdaki şekle sokulabilmektedir:

$$\text{EĞER } \underline{A}^1 \text{ VE } \underline{A}^2 \text{ İSE } \underline{B}^1$$

Kurallar, standart form serilerine parçalandığı zaman, bu formların her biri bir gerektirmez ve bu gerektirmeler bir seriyi oluşturur. Ana kuralı tam anlamıyla ifade edebilmesi için birbiri ile ilişkili seri bütün olarak kullanılmalıdır.

3.5.1.2 Bulanık kuralların birleştirilmesi

Çoğu kural tabanlı sistemler birden fazla kural içerir. Kural tabanlı sistemlerdeki her bir kuralın bireysel çıkarımlarının bir araya getirilmesi ve toplam çıkarımın bulunması işlemi kuralların birleştirilmesi olarak adlandırılır. Bir birleştirme tekniğinin belirlenmesi için aşağıdaki iki basit uç durum gözden geçirilmelidir (Hellendoorn vd., 1993; Ross, 2004).

a) Birleşim Kural Sistemi: Doğru bir çıkarım verilmesi için birleştirilmesi gereken kural sistemlerinde kurallar “VE” bağı ile bağlanmaktadır. Çıkışların (sonuçların, y) birleştirilmesi işleminde bütün bireysel kuralların sonuçları (y^i , $i = 1, 2, \dots, r$) arasında bulanık kesişim işlemi yapılmaktadır. Bu işlemin matematik gösterimi aşağıda 3.58’deki gibidir:

$$y = y^1 \text{ ve } y^2 \text{ ve } \dots \text{ ve } y^r \quad (3.58)$$

veya

$$y = y^1 \cap y^2 \cap \dots \cap y^r$$

Yukarıdaki ifade aşağıda 3.59’daki üyelik fonksiyonu tarafından tanımlanabilmektedir:

$$\mu_y(y) = \text{EK}(\mu_{y^1}(y), \mu_{y^2}(y), \dots, \mu_{y^r}(y)) \quad y \in Y \quad (3.59)$$

b) Kesişim Kural Sistemi: Kesişim kural sistemlerinde doğru bir çıkarım alınması için kurallar “VEYA” bağı ile bağlanmaktadır. Çıkışların (sonuçların, y) birleştirilmesi işleminde bütün bireysel kuralların sonuçları arasında bulanık birleşim işlemi yapılmaktadır. Bu işlemin matematik gösterimi aşağıda 3.60’taki gibidir.

$$y = y^1 \text{ veya } y^2 \text{ veya } \dots \text{ veya } y^r \quad (3.60)$$

veya

$$y = y^1 \cup y^2 \cup \dots \cup y^r$$

Yukarıdaki ifade 3.61’deki üyelik fonksiyonu ile tanımlanabilir.

$$\ddot{u}_y(y) = EB(\ddot{u}_{y^1}(y), \ddot{u}_{y^2}(y), \dots, \ddot{u}_{y^r}(y)) \quad y \in Y \quad (3.61)$$

3.5.2 Bulanık Mantıkta Kullanılan Bazı Gerektirme İşlemleri

“EĞER $\underline{A}$ İSE $\underline{B}$ ” veya $\underline{R} = \underline{A} \rightarrow \underline{B}$ şeklinde bulanık bir $\underline{R}$ bağıntısı elde edebilmek için bilinen totolojiler dışında başka teknikler de kullanılmaktadır. Bunlar bulanık gerektirme işlemleri olarak bilinir ve bütün $x \in X$ ve $y \in Y$ değerleri için geçerlidirler. Aşağıda 3.62-3.71’de gerektirme işleminin değişik ifadeleri, $X \times Y$ kartezyen çarpım uzayında tanımlı $\underline{R}$ bulanık bağıntısının üyelik fonksiyonu değerlerinin elde edilmesi için kullanılan bazı teknikleri göstermektedir: (Ross, 2004)

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EB\{EK[\ddot{u}_{\underline{A}}(x), \ddot{u}_{\underline{B}}(y)], 1 - \ddot{u}_{\underline{A}}(x)\} \quad (3.62)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EB\{\ddot{u}_{\underline{B}}(y), 1 - \ddot{u}_{\underline{A}}(x)\} \quad (3.63)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EK[\ddot{u}_{\underline{A}}(x), \ddot{u}_{\underline{B}}(y)] \quad (3.64)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EK\{1, [1 - \ddot{u}_{\underline{A}}(x) + \ddot{u}_{\underline{B}}(y)]\} \quad (3.65)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EK\{1, [\ddot{u}_{\underline{A}}(x) + \ddot{u}_{\underline{B}}(y)]\} \quad (3.66)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EK\{1, [\ddot{u}_{\underline{B}}(y) / \ddot{u}_{\underline{A}}(x)]\}, \quad \ddot{u}_{\underline{A}}(x) > 0 \quad (3.67)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = EB\{\ddot{u}_{\underline{A}}(x) \cdot \ddot{u}_{\underline{B}}(y), [1 - \ddot{u}_{\underline{A}}(x)]\} \quad (3.68)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = \ddot{u}_{\underline{A}}(x) \cdot \ddot{u}_{\underline{B}}(y) \quad (3.69)$$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = \{1, \ddot{u}_{\underline{A}}(x) \leq \ddot{u}_{\underline{B}}(y)\} \quad (3.70)$$

$\{\ddot{u}_{\underline{B}}(y), \text{diğer durumlar}\}$

$$\ddot{u}_{\underline{R}}(x, y) = \{1, \ddot{u}_{\underline{A}}(x) \leq \ddot{u}_{\underline{B}}(y)\} \quad (3.71)$$

$\{0, \text{diğer durumlar}\}$

Eşitlik 3.62 klasik gerektirme işlemidir, bu gerektirme Zadeh tarafından ortaya koyulmuştur (1973). Eşitlik 3.63, eşitlik 3.62’ye $\ddot{u}_{\underline{B}}(y) \leq \ddot{u}_{\underline{A}}(x)$ koşulu ile eşittir. Eşitlik 3.64 “en küçük bağlılık” ve “Mamdani’nin gerektirmesi” olarak bilinmektedir (Mamdani, 1976). Bu gerektirme işlemi $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ bulanık kümelerinin bulanık çapraz çarpımına eşittir ($\underline{R} = \underline{A} \times \underline{B}$). $\ddot{u}_{\underline{A}}(x) \geq 0.5$ ve $\ddot{u}_{\underline{B}}(y) \geq 0.5$ şartları için klasik gerektirme Mamdani’nin gerektirmesi şekline dönüşmektedir. 3.65’deki eşitlik Lukasiewicz’in gerektirmesi olarak bilinmektedir (Rescher, 1969). Eşitlik 3.66

“sınırlandırılmış toplam gerektirme” olarak adlandırılmaktadır. 3.67 eşitliği Goguen (1969) tarafından öne sürülmüştür. 3.68 ve 3.69 eşitlikleri çarpım bağıntısı gerektirmesinin formlarındandır ve bu eşitlikler şartlandırma ve güçlendirme işlemlerine dayandırılmaktadır. Bu iki çarpım formu bağlı üyelik değerinin (küçük değerli üyelik fonksiyonları için) etkisini azaltmaya çalışmaktadır. Eşitlik 3.68 klasik ve bulanık durumlar için eşittir (Vadiee, 1993). Eşitlik 3.70 Brouwerian gerektirmesi olarak anılmaktadır (Sanchez, 1976). Eşitlik 3.71 eşitlik 3.70’in basit bir formunu vermekte ve literatürde R-SEQ (standart sıra mantığı) gerektirmesi olarak bilinmektedir (Maydole, 1975). Klasik gerektirme işleminin klasik ve bulanık uygulamalar için geçerli ve çok yaygın olmasına rağmen tanıtılan bu yöntemlerin $\tilde{u}_A(x)$ ve $\tilde{u}_B(y)$ üyelik değerlerinin kesin şartları durumunda etkili oldukları ortaya konulmuştur. Bir gerektirme işlemi içeriğe bağımlı olduğu için uygun yöntemin seçimi analizciye kalmaktadır (Ross, 2004).

3.5.3 Bulanık Mantıkta Kullanılan Bazı Kompozisyon İşlemleri

Bulanık bağıntılarda uygulanan kompozisyon işleminin en büyük - en küçük (EB-EK) ve en büyük çarpım (EB-çarpım, en büyük nokta olarak da adlandırılmaktadır) yöntemleri en çok kullanılan tekniklerdir. EB-EK yöntemi Zadeh’in bulanık mantık çalışmalarında kullandığı tekniktir (Ross, 1995).

Aşağıda 3.72-3.78’deki yöntemler $B = A \circ R$ kompozisyon işlemi için önerilen yöntemlerdendir. Bu işlemde A , X evreninde tanımlı giriş değeri ya da koşul; B , Y evreninde tanımlı çıkış ya da sonuç ve R ise özel girişler (x) ve özel çıkışlar (y) arasındaki ilişkiyi karakterize eden bulanık bağıntıdır.

$$\text{en büyük – en küçük} \quad \tilde{u}_B(y) = EB_{x \in X} \{ EK[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_R(x, y)] \} \quad (3.72)$$

$$\text{en büyük çarpım} \quad \tilde{u}_B(y) = EB_{x \in X} [\tilde{u}_A(x) \cdot \tilde{u}_R(x, y)] \quad (3.73)$$

$$\text{en küçük – en büyük} \quad \tilde{u}_B(y) = EK_{x \in X} \{ EB[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_R(x, y)] \} \quad (3.74)$$

$$\text{en büyük – en büyük} \quad \tilde{u}_B(y) = EB_{x \in X} \{ EB[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_R(x, y)] \} \quad (3.75)$$

$$\text{en küçük – en küçük} \quad \tilde{u}_B(y) = EK_{x \in X} \{ EK[\tilde{u}_A(x), \tilde{u}_R(x, y)] \} \quad (3.76)$$

$$\text{en büyük ortalama} \quad \tilde{u}_B(y) = (1/2) EB_{x \in X} [\tilde{u}_A(x) + \tilde{u}_R(x, y)] \quad (3.77)$$

$$\text{toplam - çarpım} \quad \tilde{u}_B(y) = f \left\{ \sum_{x \in X} [\tilde{u}_A(x) \cdot \tilde{u}_R(x, y)] \right\} \quad (3.78)$$

Burada kullanılan $f(\cdot)$ fonksiyonu sigmoid ve basamak fonksiyonları gibi bir biçim fonksiyonudur. Bu fonksiyon, fonksiyonun sonucunu $[0,1]$ aralığında sınırlandırmaktadır. Bu kompozisyon yöntemi, yapay sinir ağları uygulamalarında çok katmanlı ağlarda paralel katmanlar arasında eşleme yapılırken yaygın olarak kullanılmaktadır (Vadiee 1993, Ross 2004)

3.5.4 Grafiksel Çıkarım Teknikleri

“EĞER, İSE” cümleleri ile çıkarımın belirlenmesi önceki bölümlerde matematik işlemlerle gösterilmiştir. Bu çıkarımlar bilgisayar sayesinde çok hızlı yapılabilmektedir. Ancak bazen sonuç hesaplamalarının birkaç kural kullanılarak el ile yapılması bilgisayar programlarının kontrol edilmesi veya sonuç işlemlerinin doğrulanması açısından oldukça faydalıdır. Matris işlemlerinin bazı kural kümelerine uygulanması oldukça zahmetli bir hal alabilmektedir. Sonuç işlemlerini gösteren grafik yöntemler basit birkaç kural vasıtasıyla hesaplamalar yapmaktadır. Bu belirtilenlerin örneklenmesi için her bir kuralın iki şarta ve bir sonuca sahip olduğu 2 kurallı basit bir sistem ele alınsın. Bu sistem çift giriş ve tek çıkışlı bulanık sistemlere benzemektedir. Burada gösterilecek grafik işlemler istenilen sayıda koşulu (giriş) ve sonucu (çıkış) bulunan bulanık kural tabanlarına (veya bulanık sistemlere) genişletilebilmektedir. İki bağımsız girişe (koşul, x_1 ve x_2) ve bir basit çıkışa (sonuç, y) sahip bulanık bir sistem r tane sözel “EĞER, İSE” önermesi ile 3.79’da tanımlanmıştır:

$$\text{EĞER } x_1 = \tilde{A}_1^k \text{ ve } x_2 = \tilde{A}_2^k \text{ İSE } y^k = \tilde{C}^k \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (3.79)$$

$\tilde{A}_1^k$ ve $\tilde{A}_2^k$ k . koşul ikilisini gösteren bulanık kümeler ve $\tilde{C}^k$ k . sonucu gösteren bulanık kümedir.

İki girişli bir sistem için aşağıdaki dört farklı durum mevcut olup bu durumlardan sadece 1) açıklanacaktır.

1) Sistemin girişleri klasik değerlidir ve kullanılan yöntem en büyük-en küçük sonuç yöntemidir.

- 2) Sistemin girişleri klasik değerlidir ve kullanılan yöntem en büyük çarpım sonuç yöntemidir.
- 3) Sistemin girişleri bulanık kümelerdir ve kullanılan yöntem en büyük-en küçük sonuç yöntemidir.
- 4) Sistemin girişleri bulanık kümelerdir ve kullanılan yöntem en büyük çarpım sonuç yöntemidir.

3.5.4.1 Klasik değerli girişli, EB, EK sonuç yöntemli grafik teknik

En uygun ve kolay anlaşılır çıkarım tekniği grafik teknik olduğu için bu çalışmanın 4.Bölüm'ündeki esnek performans modelinde grafik teknik kullanılmıştır.

x_1 ve x_2 giriş değerleri klasikdir. Kural tabanlı sistem denklem 3.79'da tanımlanmaktadır. Bu nedenle x_1 ve x_2 girişleri için üyelik fonksiyonları aşağıdaki 3.80-3.82'deki gibi verilmektedir.

$$\begin{aligned} \bar{u}(x_1) = \delta(x_1 - \text{giriş}(i)) = \{ 1, x_1 = \text{giriş}(i) \\ \{0, \text{diğer durumlar} \end{aligned} \quad (3.80)$$

$$\begin{aligned} \bar{u}(x_2) = \delta(x_2 - \text{giriş}(j)) = \{ 1, x_2 = \text{giriş}(j) \\ \{0, \text{diğer durumlar} \end{aligned} \quad (3.81)$$

Mamdani sonuç gerektirme yöntemine göre r kuralları için birleştirilmiş çıkış aşağıda 3.82-3.83'deki gibi verilmektedir:

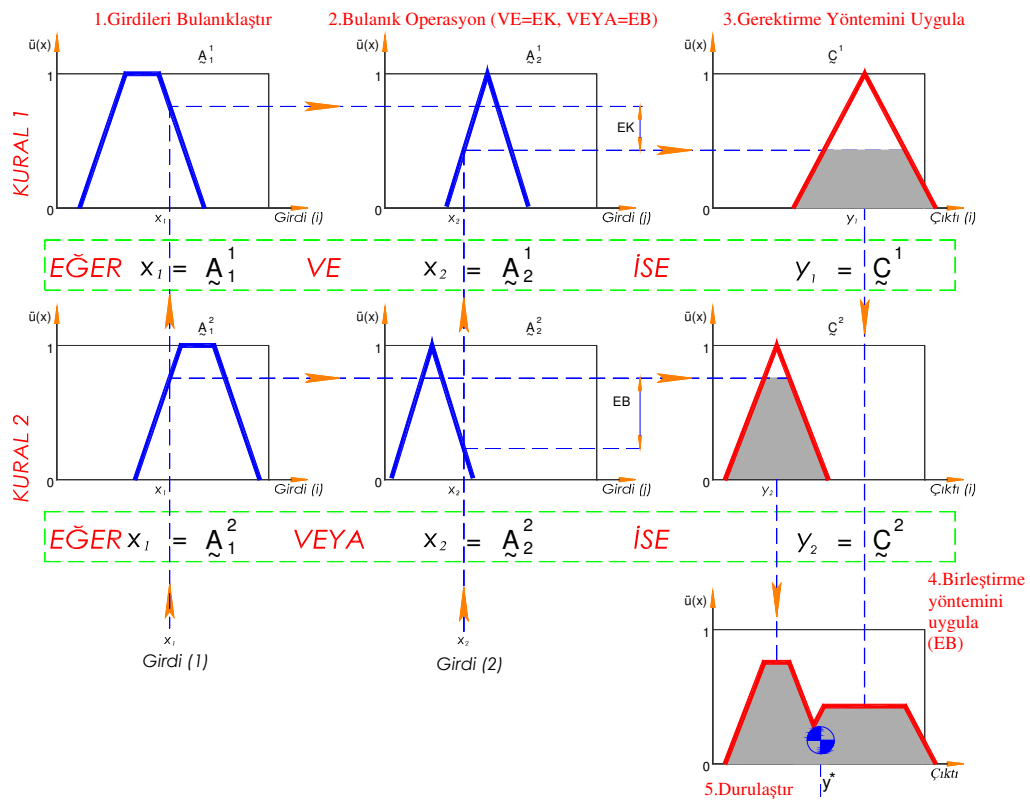
$$\bar{u}_{C^k}(y) = EB_k [EK[\bar{u}_{A_1^k}(\text{giriş}(i)), \bar{u}_{A_2^k}(\text{giriş}(j))]] \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (3.82)$$

$$\bar{u}_{C^k}(y) = EB_k [EB[\bar{u}_{A_1^k}(\text{giriş}(i)), \bar{u}_{A_2^k}(\text{giriş}(j))]] \quad k = 1, 2, \dots, r \quad (3.83)$$

Eşitlik 3.82 ve 3.83'ün Şekil 3.30'da gösterildiği gibi çok basit bir grafik yorumu vardır. Şekil 3.30 iki kuralın grafik analizini göstermektedir. Buradaki A_1^1 ve A_2^1 sembolleri ilk kuralın birinci ve ikinci bulanık koşulunu göstermekte, C^1 sembolü ise ilk kuralın bulanık sonucunu göstermektedir. A_1^2 ve A_2^2 sembolleri ikinci kuralın birinci ve ikinci koşulunu göstermekte, C^2 sembolü ise ikinci kuralın bulanık sonucunu göstermektedir. Eşitlik 3.82'deki en küçük fonksiyonu Şekil 3.30 kural 1'de gösterilmektedir. Eşitlik 3.83'teki en büyük fonksiyonu Şekil 3.30 kural 2'de

gösterilmektedir ve sistemin genel kural yapısında verilen birleştirme ifadesi EB ise sonuç bulanık kümelerinin birleştirilmesinde görülmektedir.

Koşullar için en küçük veya en büyük üyelik değeri sonuçlara doğru yayılmakta ve her bir kuralın sonucunun üyelik fonksiyonunda kırpma işlemi yapmaktadır. Bu grafiksel sonuç her bir kural için uygulanmaktadır. Sonra her bir kural için kırpılmış sonuç üyelik fonksiyonları, birleşim kuralları için 3.61'deki grafiksel eşitlik, kesişim kuralları için ise 3.59'daki grafiksel eşitlik kullanılarak birleştirilmektedir. Eğer birleştirilmiş çıkış için klasik bir değer bulunması istenirse, birleştirilmiş üyelik fonksiyonu üzerinde bazı uygun durulaştırma teknikleri uygulanabilmekte ve Şekil 3.30'da gösterilen y^* gibi bir değer ortaya çıkmaktadır.



Şekil 3.30: Klasik girişlere sahip grafiksel Mamdani (EB-EK) sonuç yöntemi.

Bulanık küme dayanak açıklıkları (üçgen küme düşünülürse) üçgen ayak açıklıklarının tespiti bulanık mantığın önemli noktalarından birini oluşturmaktadır. Bulanık mantıkta üçgen ayak açıklıklarının nasıl belirlendiği tezin “Bulanıklaştırma” başlığında kısmen verilmiştir. Bir bulanık mantık modeli oluşturulmasında kümeyi

oluşturan alt kümeler arasındaki bağlantılar, ilişkiler bilinmiyorsa model eğitilmeden önce oluşturulan ilk küme sistemindeki küme açıklıkları eşit alınır (Şen, 2004). Daha sonra elde mevcut olan girdi ve çıktı verileri ile sistemin sınanmasında doğru sonuçlar alınamıyorsa üçgen ayak açıklıklarının değiştirilmesi ile sistem eğitilir. Genellikle sayısal değerler için üçgen açıklıkları sayılarla tanımlanabilirken sözel değişkenler için sayısal tanımlamalar yapmak imkânsız olabilir. Bazı durumlarda da çıktı değeri sayısal olan bir rakam değil de sözel bir değişken olabilir. Örneğin tezin 4. bölümünde yapılan modellemelerde sayısal değerleri belirli dört adet girdi değeri ile sözel bir değişken olan performans seviyesi (MN, GV, GÇ, G) bulunmaktadır. Sonuçta hesap yapan mühendisin karar vermesi için sayısal bir değer değil, eleman performansı denilen sözel bir ifade gereklidir. Böyle bir durumda sözel değişkenler eşit açıklıklarla modellenmiş, sistemin eğitilmesi sonucunda eldeki mevcut girdi ve çıktı değerleri için modelin doğru sonuçları verdiği görüldüğünden, MN, GV, GÇ ve G performans seviyeleri küme ayak açıklıklarında herhangi bir oynamaya, değişiklik yapılmasına gerek duyulmamıştır.

4 ESNEK PERFORMANS

Bu bölümde, performans (bina sismik performansı) kavramının bulanık mantık kullanılarak esnekleştirilmesi işlemleri yani bulanıklaştırma aşamaları, kuralların belirlenmesi, sistemin modellenmesi, durulaştırma işlemi ve oluşturulan esnek performans sisteminin sınanması ayrı ayrı başlıklar altında verilmiştir.

4.1 Esnek Performans Kavramı

Esnek performans: Performansa dayalı tasarım kriterlerinin keskin sınırlarla değil de, esnek değerlerle ifade edilmesidir. Daha önce de belirtildiği gibi, bu ifadeyle doğru-yanlıştan, iyi-kötüden sert bir çizgi ile değil kabul edilebilir oranlarla ayrılmaktadır ve bu da insan düşünce yapısına daha uygun bir anlayıştır.

Bu bölümde sunulan yöntemin ayrıntıları verilmiştir. Betonarme yapıların doğrusal olmayan davranışlarının sınırlandırıldığı değerler bulanıklaştırılmış ve böylece bulanık çıkarım sistemi oluşturulmuştur.

4.2 Performans Kabul Kriterleri

Tüm birincil ve ikincil yapı bileşenleri, belirlenmiş performans seviyesinin kuvvet ya da şekildeğiştirme cinsinden öngörölmüş kabul kriterlerini sağlamalıdır (FEMA356, 2000). Bütün yapı elemanlarının performans noktası şekildeğiştirmesi altında gerekli performans seviyesini sağlayıp sağlamadığı kontrol edilmelidir (ATC40,1996). Böylelikle yapının deprem davranış durumu belirlenebilir. İkinci bölümde de ifade edildiği gibi doğrusal elastik olmayan davranışın değerlendirilmesi için kullanılan iki yöntem mevcuttur.

- 1) Rijitlik ve taşıyıcı sistem davranış katsayısı gibi ufak değişiklikler yapılarak yapı sistemlerinin doğrusal elastik çözümlenmesi sonucu elde edilen etki/kapasite oranları üzerinden yapılan kıyaslama yöntemi.

2) Bütün malzeme ve eleman kesitlerinin modele doğrusal elastik ötesi davranışları göz önüne alınarak dahil edilmesi sonucu elde edilen kesit dönmeleri veya kesitteki malzeme şekildeğiştirme oranlarının mertebelerinin kontrol edildiği yöntem.

1. yöntem TDY2007’de “Bina performansının doğrusal elastik hesap yöntemi ile belirlenmesi”, 2. yöntem ise “Bina performansının doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi ile belirlenmesi” başlıklarında ele alınmıştır. ATC40’ta “Karşılık sınırları”, FEMA356’da ise “Doğrusal olmayan statik yöntem” ve “Doğrusal olmayan dinamik yöntem” başlıklarında ele alınmıştır. Performans kabul kriterleri ile ilgili ayrıntılar önceki bölümlerde verilmiştir.

4.3 FEMA356 ’daki Yöntemler için Esnek Performans

“Doğrusal Elastik” ve “Doğrusal Elastik Olmayan” hesap yöntemleri ile performans analizi 2. Bölüm’de ayrıntılı olarak verilmiş ve bu yöntemlerden doğrusal elastik olmayan yöntemle ilgili bir de örnek sunulmuştur.

4.3.1 Doğrusal Elastik Yöntem için Bulanık Küme Tanımı

Bu bölümde, eğilmeye maruz (gevrek olmayan) birincil betonarme kiriş, kolon ve perde elemanlarının doğrusal elastik yöntemle hesabının bulanık mantıkla esnekleştirilmesi gösterilmiştir. Esnekleştirmek ile ifade edilen, söz konusu konunun kabul kriterlerinin bulanık küme ve alt kümelerinin belirlenmesi ve değerlendirilmesi demektir.

4.3.1.1 Betonarme kirişler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.19’da verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Kirişler için esnek performans modelinde ise bir başlangıç olması bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.1’de betonarme kirişler için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.1: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri.

Durumlar			m-katsayıları		
			Eğilme etkisinde birincil kiriş Performans Seviyeleri		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	VAR	≤ 0.25	3	6	7
≤ 0.0	VAR	≥ 0.5	2	3	4
≥ 0.5	VAR	≤ 0.25	2	3	4
≥ 0.5	VAR	≥ 0.5	2	2	3
≤ 0.0	YOK	≤ 0.25	2	3	4
≤ 0.0	YOK	≥ 0.5	1.25	2	3
≥ 0.5	YOK	≤ 0.25	2	3	3
≥ 0.5	YOK	≥ 0.5	1.25	2	2

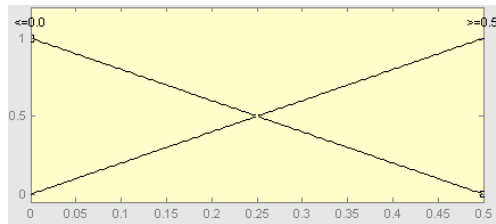
Tablolardaki değişkenler 2. Bölüm’de verilmiştir.

Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$, Sargılama, $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$, m-katsayıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Çizelge 4.2’de verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.2: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	yenidag
2	Sargılama	sargılama
3	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	kesme
4	m-katsayıları	m-faktor
5	Performans seviyeleri	PerSev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri de mevcuttur. Alt kümelerin üyelik fonksiyonları Şekil 4.1 – Şekil 4.5’te üçgen olarak grafik teknikle verilmiştir.



Şekil 4.1: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık yenidag kümesi.

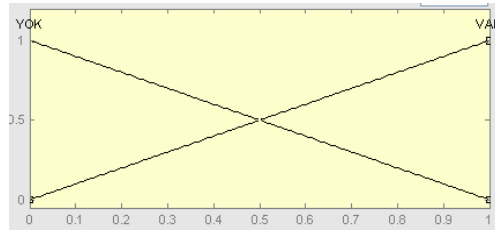
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{yenidag}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.0}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.0} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"yenidag'ın 0.0'dan küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"yenidag'ın 0.5'ten büyük olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.2: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi.

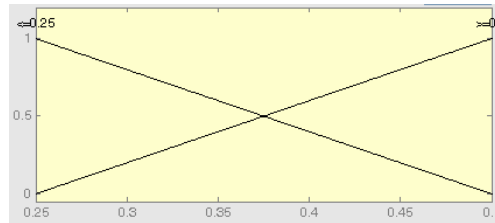
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargılama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargılama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargılama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.3: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi.

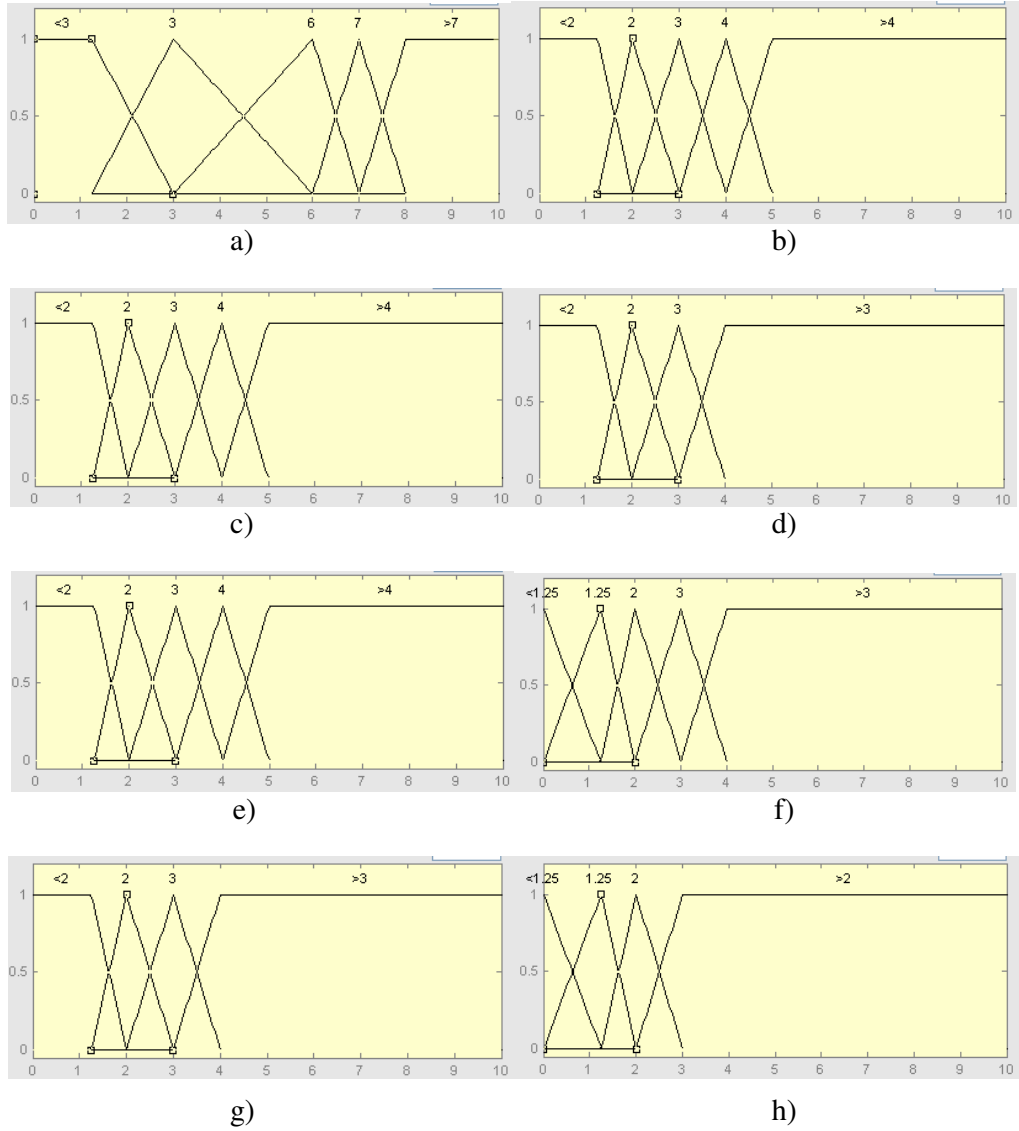
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

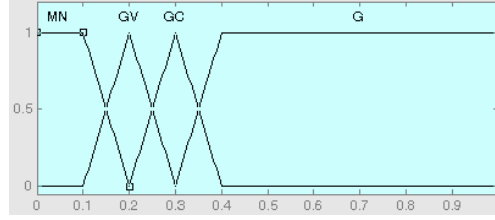
$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.4: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi.

Çizelge 4.1’deki her bir satır için m-faktor kümelerinin ayrı ayrı yazılması gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.4’te gösterilmiştir.



Şekil 4.5: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi ise

$$\underset{\sim}{\text{PerLev}} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{GÇ}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GÇ} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“GÇ Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.1.1 Kiriş için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir. İki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISBEAM1, FISBEAM2, FISBEAMn şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISBEAM0) ile girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme kirişler için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla kiriş girdi kümelerindeki Yenidag (Şekil 4.1), Sargılama (Şekil 4.2) ve Kesme (Şekil 4.3) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISBEAMi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.1.2 Betonarme kolonlar için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde de ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.20’de verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Kolonlar için esnek performans modelinde bir başlangıç olması bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.3’te betonarme kolonlar için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.3: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri.

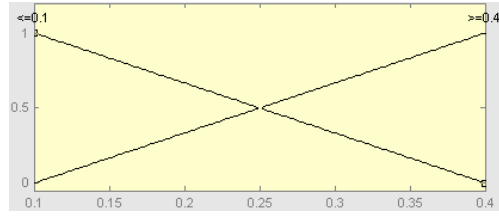
Durumlar			m-katsayıları		
			Eğilme etkisinde birincil kolon Performans Seviyeleri		
$\frac{P}{A_g f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	VAR	≤ 0.25	2	3	4
≤ 0.1	VAR	≥ 0.5	2	2.4	3.2
≥ 0.4	VAR	≤ 0.25	1.25	2	3
≥ 0.4	VAR	≥ 0.5	1.25	1.6	2.4
≤ 0.1	YOK	≤ 0.25	2	2	3
≤ 0.1	YOK	≥ 0.5	1.6	1.6	2.4
≥ 0.4	YOK	≤ 0.25	1.25	1.5	2
≥ 0.4	YOK	≥ 0.5	1.25	1.5	1.75

Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{P}{A_g f_c}$, Sargılama, $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$, m-katsayıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Şekil 4.4’te verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.4: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{P}{A_g f_c}$	eksenelF
2	Sargılama	Sargılama
3	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	Kesme
4	m-katsayıları	m-faktör
5	Performans seviyeleri	PerSev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri de mevcuttur. Alt kümelerin üyelik fonksiyonları Şekil 4.6 –Şekil 4.10’da üçgen olarak grafik teknikle verilmiştir.



Şekil 4.6: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “eksenelF” kümesi.

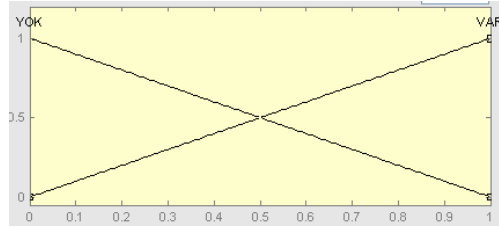
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{eksenelF}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.1}, \underset{\sim}{\geq 0.4} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.1} = \left\{ \frac{0}{-0.5} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.0'dan küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.4} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.4} + \frac{0}{0.9} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.4'ten büyük olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.7: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi.

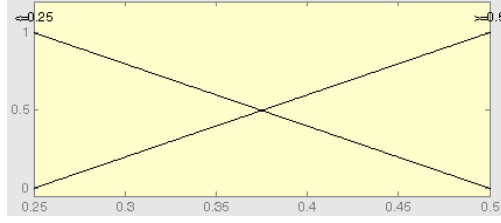
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargılama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargılama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargılama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.8: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi.

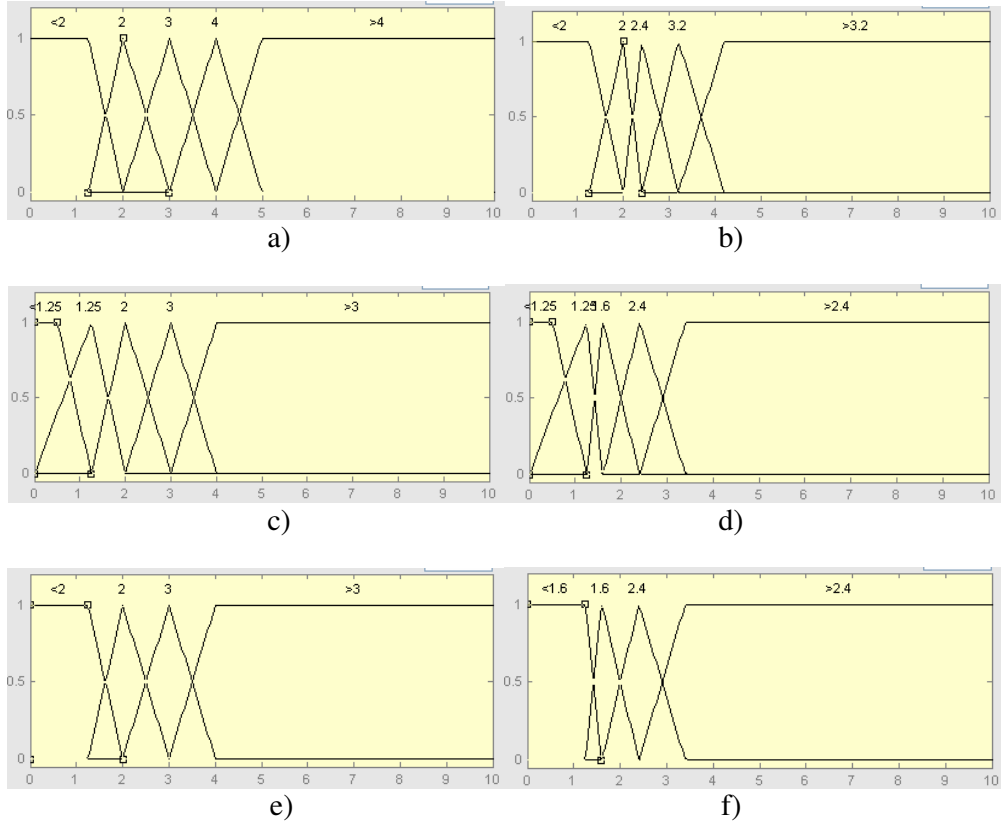
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

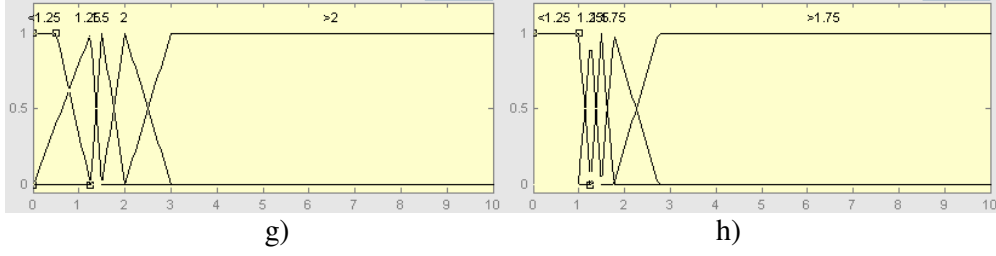
$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.

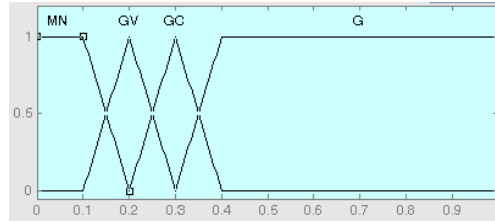


Şekil 4.9: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi.



Şekil 4.9 (devam): Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi.

Çizelge 4.3’teki her bir satır için m-faktor kümelerinin ayrı ayrı yazılması gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.10: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{PerLev}} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{GÇ}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GÇ} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“GÇ Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.1.2.1 Kolon için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir. İki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır

sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISCOLUMN1, FISCOLUMN2, FISCOLUMNn şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISCOLUMN0) ile girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme kolonlar için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla kolon girdi kümelerindeki EksenelF (Şekil 4.6), Sargılama (Şekil 4.7) ve Kesme (Şekil 4.8) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISCOLUMNi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.1.3 Betonarme perdeler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.21’de verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Perdeler için esnek performans modelinde ise bir başlangıç olması bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.5’te eğilmeye maruz birincil betonarme perdeler için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.5: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri.

Durumlar			m-katsayıları		
			Eğilme etkisinde birincil perde Performans Seviyeleri		
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$	Perde uç sargılama	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	VAR	≤ 0.25	2	4	6
≤ 0.1	VAR	≥ 0.5	2	3	4
≥ 0.25	VAR	≤ 0.25	1.5	3	4
≥ 0.25	VAR	≥ 0.5	1.25	2	2.5
≤ 0.1	YOK	≤ 0.25	2	2.5	4
≤ 0.1	YOK	≥ 0.5	1.5	2	2.5
≥ 0.25	YOK	≤ 0.25	1.25	1.5	2
≥ 0.25	YOK	≥ 0.5	1.25	1.5	1.75

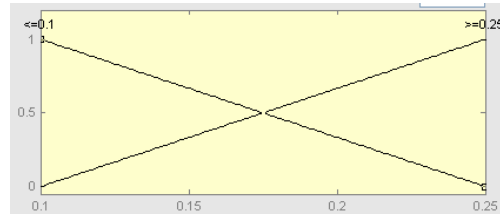
Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$, Perde uç sargılama, $\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c}}$, m-

katsayıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Çizelge 4.6'da verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.6: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$	eksenelF
2	Perde uç sargılama	Sargılama
3	$\frac{V}{t_w l_w \sqrt{f_c}}$	Kesme
4	m-katsayıları	m-faktör
5	Performans seviyeleri	Persev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri mevcuttur. Alt kümelerin üyelik fonksiyonları Şekil 4.11 – Şekil 4.15'te üçgen olarak grafik teknikle verilmiştir. Matematik ifadeleri ise şekillerin hemen altındadır.



Şekil 4.11: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “eksenelF” kümesi.

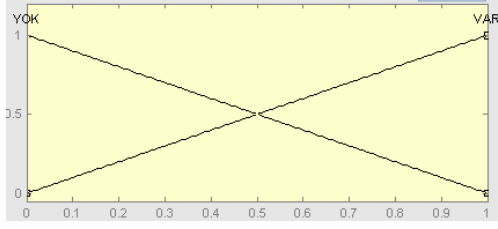
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{eksenelF}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.1}, \underset{\sim}{\geq 0.25} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.1} = \left\{ \frac{0}{-0.15} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.25} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.1'den küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.25'den büyük olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.12: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “sargılama” kümesi.

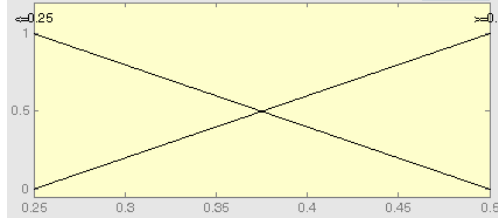
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargılama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargılama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargılama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.13: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “kesme” kümesi.

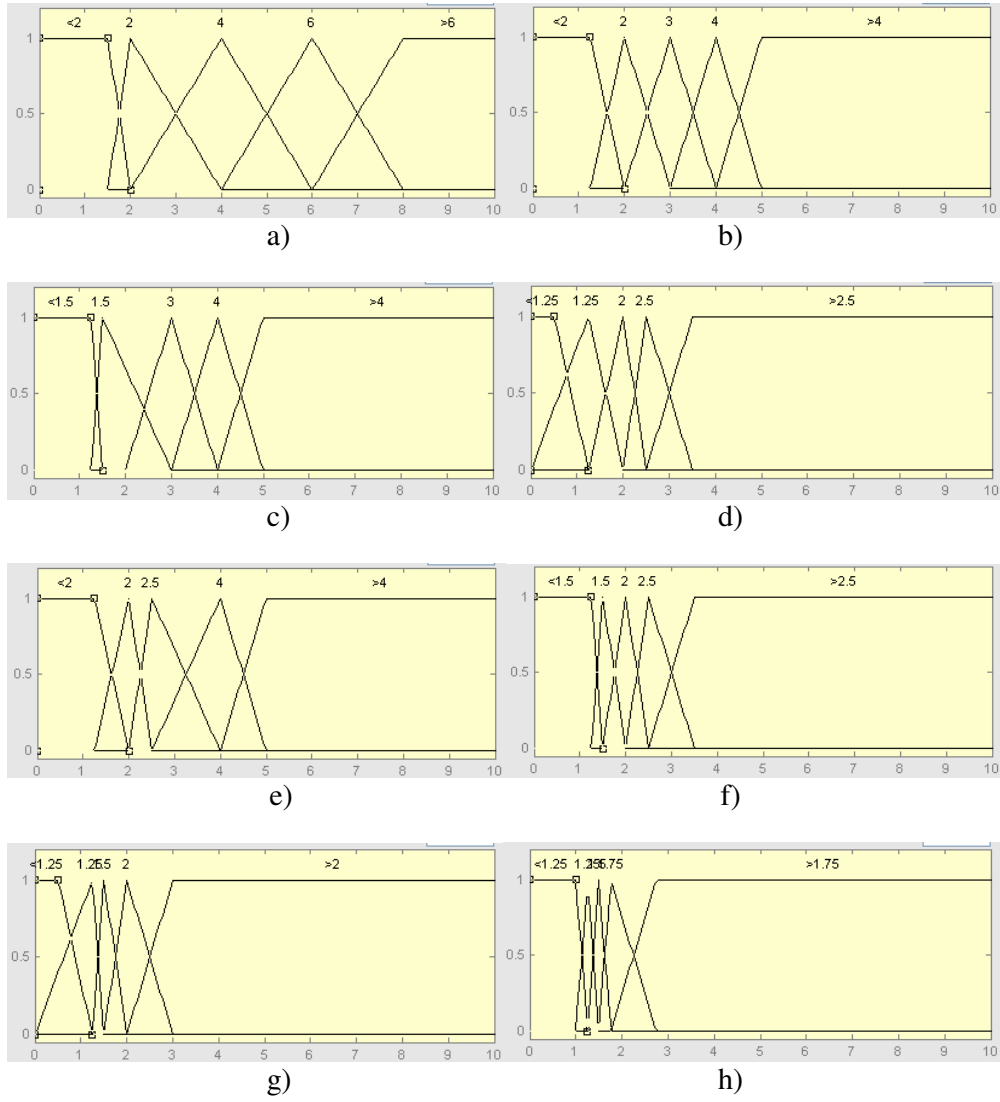
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

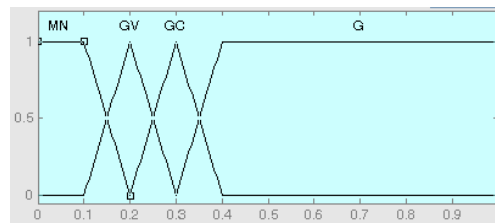
$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.14: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “m-faktor” kümesi.

Çizelge 4.6’daki her bir satır için m-faktor kümelerinin ayrı ayrı yazılmalısı gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.14’te gösterilmiştir.



Şekil 4.15: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{PerSev} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{G\check{C}}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G\check{C}} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“G\check{C} Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.1.3.1 Perde için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir ve iki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISWALL1, FISWALL2, FISWALLn şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISWALL0) ile de girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme perdeler için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla perde girdi kümelerindeki EksenelF (Şekil 4.11), Sargılama (Şekil 4.12) ve Kesme (Şekil 4.13) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISWALLi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.2 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem için Bulanık Küme Tanımları

Bu bölümde, birincil betonarme kiriş, kolon ve perde elemanlarının doğrusal elastik olmayan yöntemle hesabının bulanık mantıkla esnekleştirilmesi gösterilmiştir. Esnekleştirmek ile ifade edilen, söz konusu kabul kriterlerinin bulanık küme ve alt kümelerinin belirlenmesi demektir.

4.3.2.1 Betonarme kirişler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik olmayan yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.22’de verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Kirişler için esnek performans modelinde ise bir başlangıç olması bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.7’de betonarme kirişler için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.7: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri.

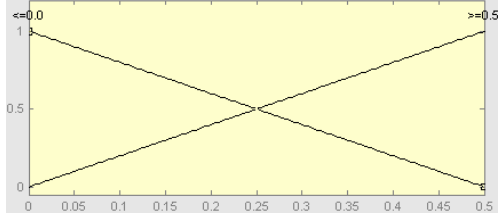
Durumlar			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları		
			Eğilme etkisinde birincil kiriş Performans Seviyeleri		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	VAR	≤ 0.25	0.01	0.02	0.025
≤ 0.0	VAR	≥ 0.5	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	VAR	≤ 0.25	0.005	0.01	0.02
≥ 0.5	VAR	≥ 0.5	0.005	0.005	0.015
≤ 0.0	YOK	≤ 0.25	0.005	0.01	0.02
≤ 0.0	YOK	≥ 0.5	0.0015	0.005	0.01
≥ 0.5	YOK	≤ 0.25	0.005	0.01	0.01
≥ 0.5	YOK	≥ 0.5	0.0015	0.005	0.005

Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$, Sargılama, $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$, Radyan dönme açıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Çizelge 4.8’de verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.8: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	yenidag
2	Sargılama	sargılama
3	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	kesme
4	Radyan Dönme Açıları	DonmeRadyan
5	Performans seviyeleri	PerSev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri mevcuttur. Alt kümelerin üyelik fonksiyonları Şekil 4.16 – Şekil 4.20’de üçgen olarak grafik teknikle verilmiştir. Matematik ifadeleri ise şekillerin hemen altındadır.



Şekil 4.16: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “yenidag” kümesi.

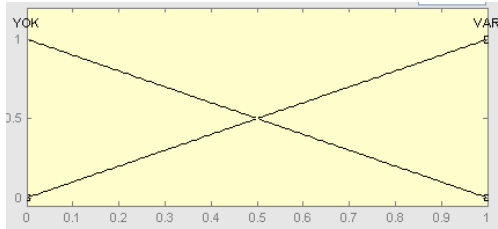
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{yenidag}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.0}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.0} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"yenidag'ın 0.0'dan küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"yenidag'ın 0.5'ten büyük olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.17: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargılama” kümesi.

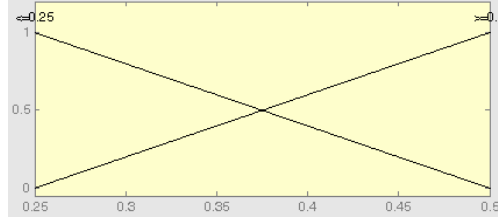
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargılama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargılama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargılama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.18: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “kesme” kümesi.

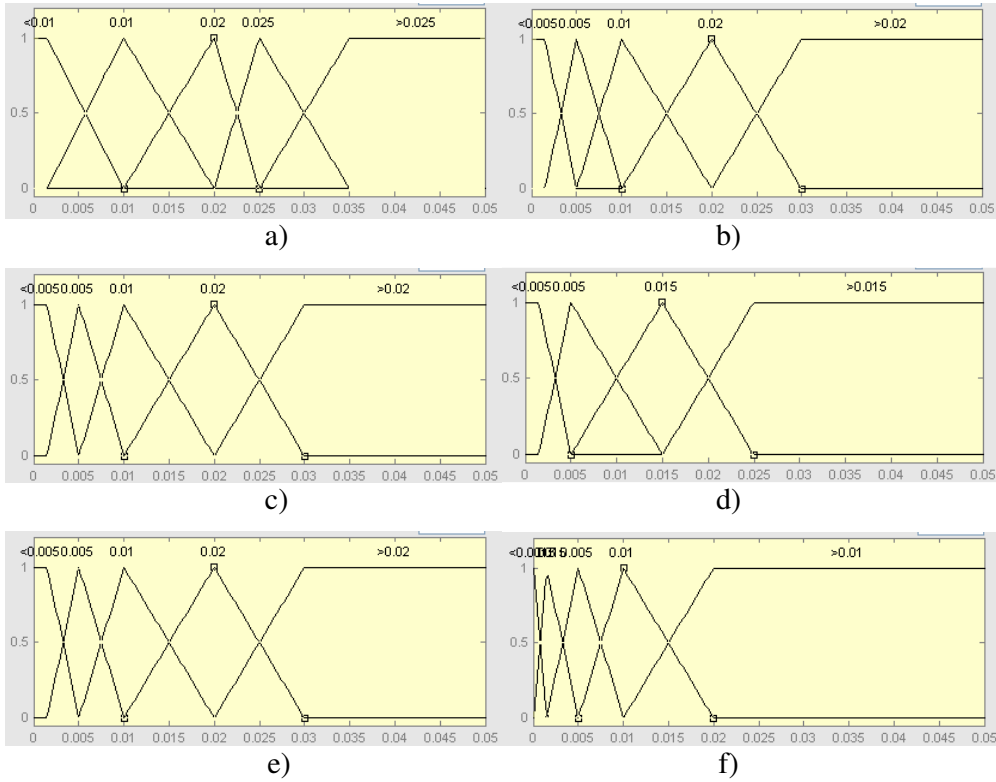
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

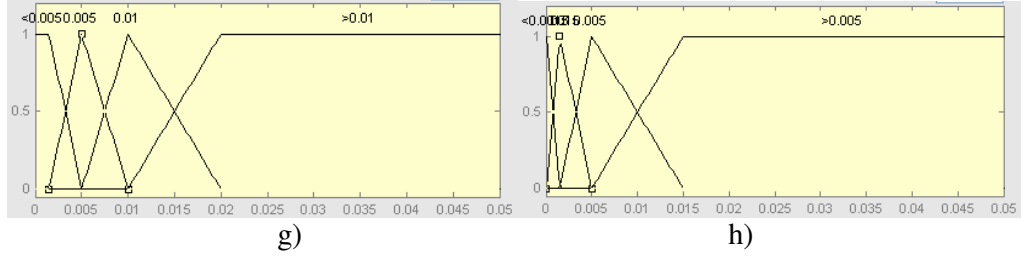
$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.

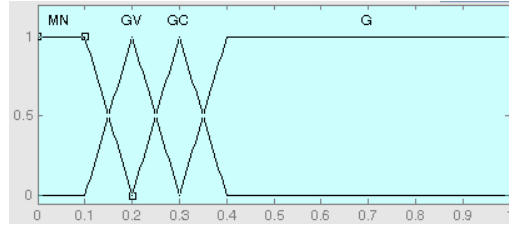


Şekil 4.19: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.



Şekil 4.19 (devam): Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.

Çizelge 4.7’deki her bir satır için DonmeRadyan kümelerinin ayrı ayrı yazılmalısı gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.19’da gösterilmiştir.



Şekil 4.20: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{PerSev}} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{GÇ}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GÇ} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“GÇ Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.2.1.1 Kiriş için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir. İki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı

için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISBEAM1, FISBEAM2, FISBEAM_n şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISBEAM0) ile de girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme kirişler için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla kiriş girdi kümelerindeki Yenidag (Şekil 4.16), Sargılama (Şekil 4.17) ve Kesme (Şekil 4.18) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISBEAMi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.2.2 Betonarme kolonlar için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik olmayan yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.23'te verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Kolonlar için esnek performans modelinde ise bir başlangıç olması bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.9'da betonarme kolonlar için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.9: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri.

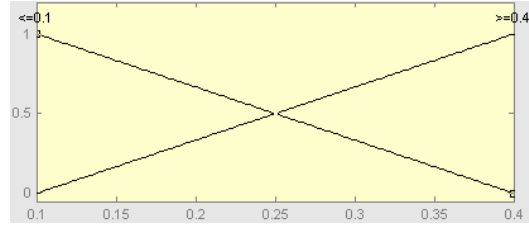
Durumlar			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları Eğilme etkisinde birincil kolon Performans Seviyeleri		
$\frac{P}{A_g f_c}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	VAR	≤ 0.25	0.005	0.015	0.020
≤ 0.1	VAR	≥ 0.5	0.005	0.012	0.016
≥ 0.4	VAR	≤ 0.25	0.003	0.012	0.015
≥ 0.4	VAR	≥ 0.5	0.003	0.01	0.012
≤ 0.1	YOK	≤ 0.25	0.005	0.005	0.006
≤ 0.1	YOK	≥ 0.5	0.005	0.004	0.005
≥ 0.4	YOK	≤ 0.25	0.002	0.002	0.003
≥ 0.4	YOK	≥ 0.5	0.002	0.002	0.002

Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{P}{A_g f_c}$, Sargılama, $\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$, Radyan dönme açıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Çizelge 4.10'da verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.10: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{P}{A_g f_c}$	eksenelF
2	Sargılama	Sargılama
3	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	Kesme
4	Radyan Dönme Açıları	DonmeRadyan
5	Performans seviyeleri	PerSev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri mevcuttur. Alt kümelerin üyelik fonksiyonları Şekil 4.21 – Şekil 4.25'te üçgen olarak grafik teknikle verilmiştir. Matematik ifadeleri ise şekillerin hemen altındadır.



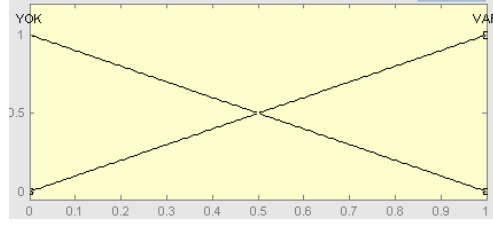
Şekil 4.21: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “eksenelF” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi aşağıdaki şekilde yazılabilir.

$$\underset{\sim}{\text{eksenelF}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.1}, \underset{\sim}{\geq 0.4} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.1} = \left\{ \frac{0}{-0.5} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.1'den küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.4} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.4} + \frac{0}{0.9} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.4'ten büyük olması durumu"}$$



Şekil 4.22: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargilama” kümesi.

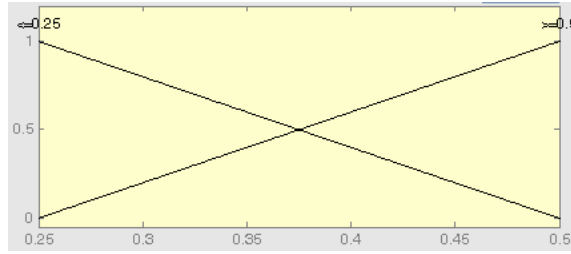
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargilama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargilama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargilama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.23: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “kesme” kümesi.

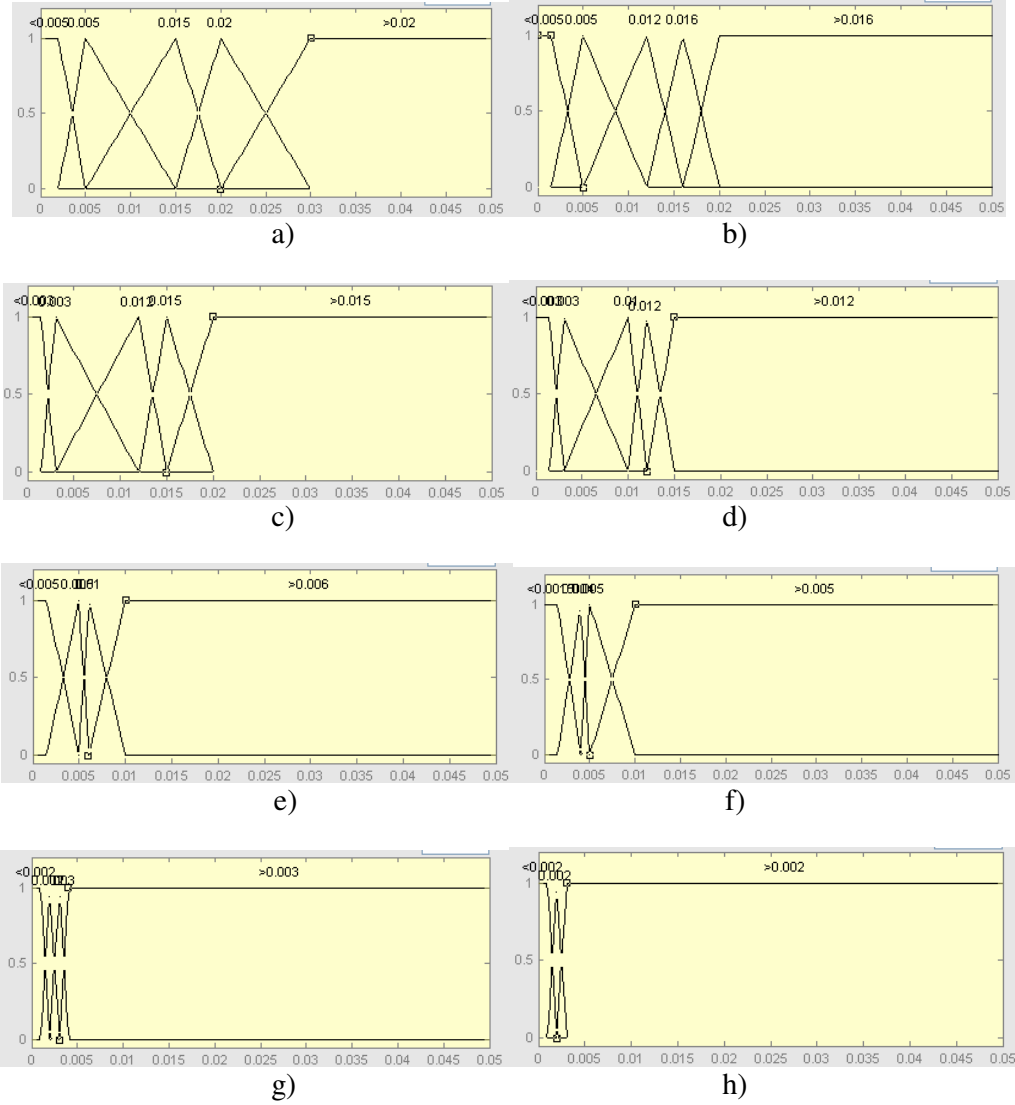
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

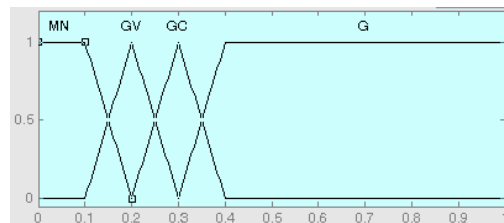
$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.24: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.

Çizelge 4.9’deki her bir satır için DonmeRadyan kümelerinin ayrı ayrı yazılması gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.24’te gösterilmiştir.



Şekil 4.25: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{PerSev}} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{G\check{C}}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G\check{C}} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“G\check{C} Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.2.2.1 Kolon için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir. İki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISCOLUMN1, FISCOLUMN2, FISCOLUMNn şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISCOLUMN0) ile de girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme kolonlar için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla kolon girdi kümelerindeki EksenelF (Şekil 4.21), Sargılama (Şekil 4.22) ve Kesme (Şekil 4.23) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISCOLUMNi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.2.3 Betonarme perdeler için küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

2. Bölümde ayrıntılı bir şekilde açıklanan performans kavramının yapı performansı değerlendirme aşamasında FEMA356 esaslarına göre doğrusal elastik olmayan yöntemle belirlenmesinde Çizelge 2.24'te verilen eleman sayısal kabul kriterleri kullanılmaktadır. Perdeler için esnek performans modelinde ise bir başlangıç olması

bakımından bu çizelgenin bir kısmı modellenmiştir. Aşağıdaki Çizelge 4.11’de eğilmeye maruz birincil betonarme perdeler için küme tanımları yapılacak elemanlar verilmiştir.

Çizelge 4.11: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntemin kabul kriterleri.

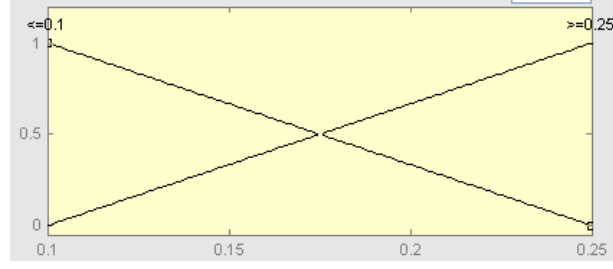
Durumlar			Radyan Olarak Plastik Dönme Açıları		
			Eğilme etkisinde birincil perde Performans Seviyeleri		
$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$	Perde uç sargılama	$\frac{V}{t_w l_w f_c}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.1	VAR	≤ 0.25	0.005	0.01	0.015
≤ 0.1	VAR	≥ 0.5	0.004	0.008	0.01
≥ 0.25	VAR	≤ 0.25	0.003	0.006	0.009
≥ 0.25	VAR	≥ 0.5	0.0015	0.003	0.005
≤ 0.1	YOK	≤ 0.25	0.002	0.004	0.008
≤ 0.1	YOK	≥ 0.5	0.002	0.004	0.006
≥ 0.25	YOK	≤ 0.25	0.001	0.002	0.003
≥ 0.25	YOK	≥ 0.5	0.001	0.001	0.002

Bu çizelgedeki değişkenler $\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$, Perde uç sargılama, $\frac{V}{t_w l_w f_c}$, Radyan dönme açıları ve performans seviyeleridir. Değişkenler ve atanan küme isimleri Çizelge 4.12’de verilmiştir. Bu değişkenlerden 1, 2, 3 ve 4 girdi kümesi 5 ise çıktı kümesidir.

Çizelge 4.12: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem esnek performans kümeleri.

Değişken no	Değişken	Küme adı
1	$\frac{(A_s - A_s')f_y + P}{t_w l_w f_c}$	eksenelF
2	Perde uç sargılama	Sargılama
3	$\frac{V}{t_w l_w f_c}$	Kesme
4	Radyan Dönme Açıları	DonmeRadyan
5	Performans seviyeleri	PerSev

Söz konusu kümelerin alt kümeleri mevcuttur. Kümelerin alt kümeleri ve alt küme öğeleri aşağıda hem matematik olarak hem de grafik teknikle verilmiştir.



Şekil 4.26: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “eksenelF” kümesi.

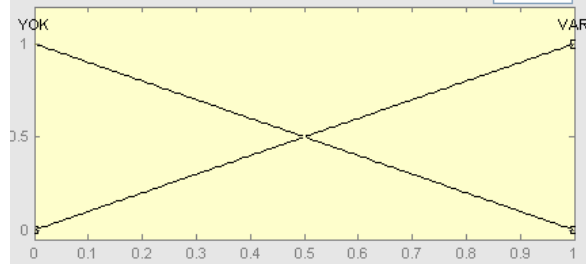
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{eksenelF}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.1}, \underset{\sim}{\geq 0.25} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\leq 0.1} = \left\{ \frac{0}{-0.15} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.25} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.1'den küçük olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{"eksenelF'in 0.25'den büyük olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.27: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “sargılama” kümesi.

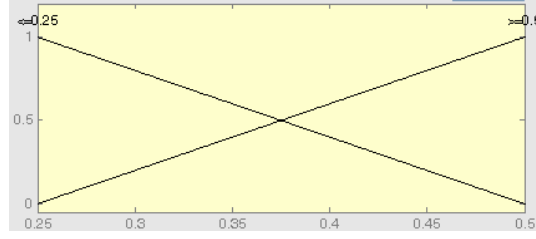
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{sargılama}} = \left\{ \underset{\sim}{\text{YOK}}, \underset{\sim}{\text{VAR}} \right\}$$

$$\underset{\sim}{\text{YOK}} = \left\{ \frac{0}{-1} + \frac{1}{0} + \frac{0}{1} \right\} = \text{"sargılama'nın yetersiz olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\text{VAR}} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{1} + \frac{0}{2} \right\} = \text{"sargılama'nın iyi olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 4.28: Betonarme perde için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kesme” kümesi.

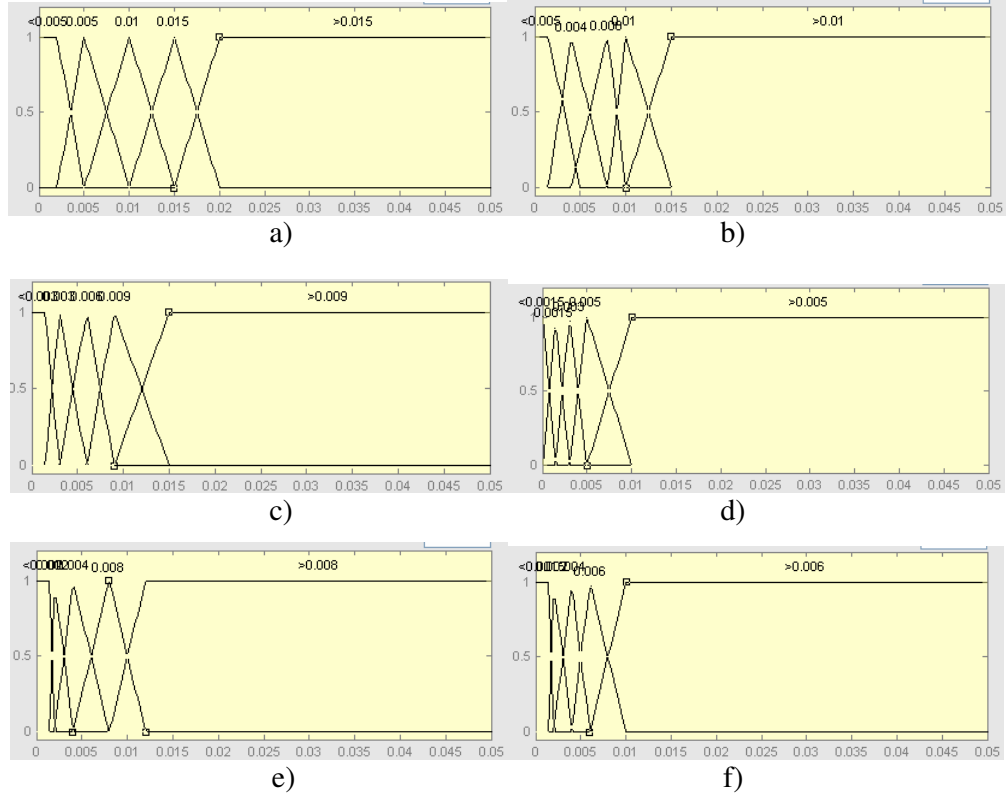
Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{kesme}} = \left\{ \underset{\sim}{\leq 0.25}, \underset{\sim}{\geq 0.5} \right\}$$

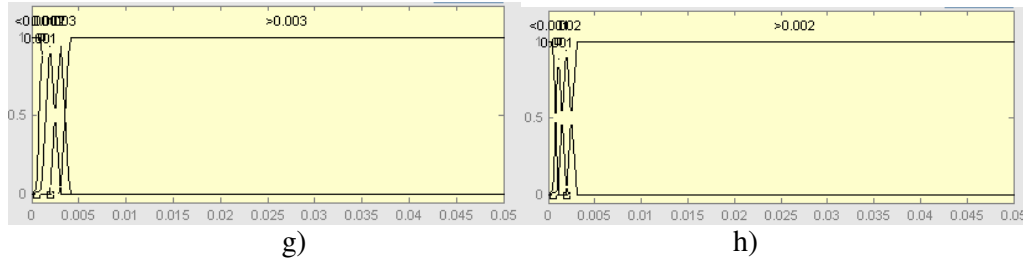
$$\underset{\sim}{\leq 0.25} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0.25} + \frac{0}{0.5} \right\} = \text{"kesme'nin } \leq 0.25 \text{ olması durumu"}$$

$$\underset{\sim}{\geq 0.5} = \left\{ \frac{0}{0.25} + \frac{1}{0.5} + \frac{0}{2.0} \right\} = \text{"kesme'nin } \geq 0.5 \text{ olması durumu"}$$

şeklinde yazılabilir.

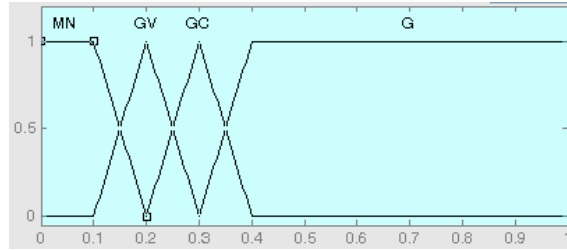


Şekil 4.29: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.



Şekil 4.29 (devam): Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “DonmeRadyan” kümesi.

Çizelge 4.11’deki her bir satır için DonmeRadyan kümelerinin ayrı ayrı yazılmalısı gerekli olup sekiz adet olan kümeler Şekil 4.29’da gösterilmiştir.



Şekil 4.30: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık “PerSev” kümesi.

Kümenin matematik ifadesi

$$\underset{\sim}{\text{PerSev}} = \left\{ \underset{\sim}{MN}, \underset{\sim}{GV}, \underset{\sim}{GÇ}, \underset{\sim}{G} \right\}$$

$$\underset{\sim}{MN} = \left\{ \frac{0}{0} + \frac{1}{0} + \frac{1}{0.1} + \frac{0}{0.2} \right\} = \text{“MN Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GV} = \left\{ \frac{0}{0.1} + \frac{1}{0.2} + \frac{0}{0.3} \right\} = \text{“GV Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{GÇ} = \left\{ \frac{0}{0.2} + \frac{1}{0.3} + \frac{0}{0.4} \right\} = \text{“GÇ Performans seviyesini gösterir”}$$

$$\underset{\sim}{G} = \left\{ \frac{0}{0.3} + \frac{1}{0.4} + \frac{1}{1.0} + \frac{0}{1.0} \right\} = \text{“G Performans seviyesini gösterir”}$$

şeklinde yazılabilir.

4.3.2.3.1 Perde için öncül sistem küme tanımlaması ve bulanıklaştırma

Kabul kriterleri çizelgelerindeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir. İki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince Bulanık Çıkarım Sistemi oluşmasına yol açmıştır. Bu sistemler FISWALL1, FISWALL2, FISWALLn şeklinde isimlendirilmiştir. Oluşan bu çıkarım sistemleri MATLAB Simulink platformunda birleştirilmiş ve gelen girdi kümelerinin durumuna göre hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirleyen bir öncül çıkarım sistemi (FISWALL0) ile de girdiler yönlendirilmiştir. Öncül sistem ile elde edilen sonuç hangi çıkarım sisteminin kullanılacağını belirler. Betonarme perdeler için öncül çıkarım sistem kümeleri esas itibarıyla perde girdi kümelerindeki EksenelF (Şekil 4.26), Sargılama (Şekil 4.27) ve Kesme (Şekil 4.28) kümeleridir. Bu kümeler kendi içlerinde değerlendirilir ve sonuç olarak hangi FISWALLi kümesinin kullanılacağına karar verilir.

4.3.3 Kural Tanımları ve Esnek Sistem

Bölüm 4.3.1 ve bölüm 4.3.2 altında FEMA356'daki doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için tanımlanan bulanık kümelerin arasındaki ilişkiler kurallarla tanımlanmıştır. Bu kurallar EĞER (IF), İSE (THEN), VE (AND), VEYA (OR), DEĞİL (NOT) mantıksal ifadeleri ile Çizelge 4.1, Çizelge 4.3, Çizelge 4.5, Çizelge 4.7, Çizelge 4.9, Çizelge 4.11'deki ölçütler için belirlenmiştir. Örnek olarak Çizelge 4.1'de 1. satırdaki GV performans seviyesi için ve 6. satırdaki GC performans seviyesi için kurallar aşağıdaki gibi yazılabilir:

EĞER (yenidag $\leq$ 0.0) VE (Sargılama VAR) VE (kesme $\geq$ 0.25) VE (m-faktor 6) İSE (PerSev GV)

EĞER (yenidag $\leq$ 0.0) VE (Sargılama YOK) VE (kesme $\geq$ 0.5) VE (m-faktor 3) İSE (PerSev GC) dir.

İlgili çizelgedeki her bir satır farklı girdi alt kümeleri içermektedir ve iki girdi alt kümesinin aynı anda bir çıktı alt kümesine eşit olması mantıklı olmayacağı için, ilgili çizelgedeki her bir satırın kuralları ayrı yazılmıştır. Bu da çizelgedeki satır sayısı adedince “Bulanık Çıkarım Sistemi” ve “Kural Takımı” oluşmasına yol açmıştır.

4.3.4 Doğrusal Elastik Yöntem için Kural Tanımları

Bölüm 4.3.3 altında verilen genel kural tanımlama koşulları çerçevesinde doğrusal elastik yöntem içerisinde eğilmeye maruz birincil betonarme kiriş, kolon ve perde elemanları için oluşturulan esnek sistemlere ait kurallar aşağıda verilmiştir. Bölüm 4.3.3'te verildiği gibi, her bir satır sayısı adedince (8 adet) çıkarım sistemi mevcuttur ve çıkarım sistemi adedince de kural takımı söz konusudur.

Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem mantıksal kural takımları Çizelge 4.13'te verilmiştir.

Çizelge 4.13: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<3	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>7	İSE	PerSev	G									
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	6	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	7	İSE	PerSev	GC
2. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>4	İSE	PerSev	G									
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
3. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>4	İSE	PerSev	G									
EĞER	yenidag	≥0.5	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≥0.5	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≥0.5	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
4. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥0.5	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≥0.5	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GC
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>3	İSE	PerSev	G									
5. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>4	İSE	PerSev	G									
EĞER	yenidag	≤0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN

Çizelge 4.13 (devam): Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

5. bulanık kural takımı (devam)														
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
6. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 3	İSE	PerSev	G									
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GC
7. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GC
EĞER	m-faktor	< 2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 3	İSE	PerSev	G									
8. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GC
EĞER	m-faktor	< 1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 2	İSE	PerSev	G									

Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem mantıksal kural takımları Çizelge 4.14’te verilmiştir. Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem mantıksal kural takımları ise Çizelge 4.15’te verilmiştir.

Çizelge 4.14: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
2. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	2.4	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	3.2	İSE	PerSev	GC
3. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 3	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN

Çizelge 4.14 (devam): Betonarme kolonlar için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

3. bulanık kural takımı (devam)														
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GC
4. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2.4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.6	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2.4	İSE	PerSev	GC
5. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GC
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>3	İSE	PerSev	G									
6. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.6	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2.4	İSE	PerSev	GC
EĞER	m-faktor	<1.6	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2.4	İSE	PerSev	G									
7. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GC
8. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>1.75	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.4	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.75	İSE	PerSev	GC

Çizelge 4.15: Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 6	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	m-faktor	6	İSE	PerSev	GC
2. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	< 2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	> 4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC

Çizelge 4.15 (devam): Betonarme perdeler için doğrusal elastik yöntem bulanık kural takımları.

3. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.5	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	3	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
4. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2.5	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	VAR	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2.5	İSE	PerSev	GC
5. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<2	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>4	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2.5	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	4	İSE	PerSev	GC
6. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.5	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2.5	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≤0.1	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	2.5	İSE	PerSev	GC
7. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>2	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≤0.25	VE	m-faktor	2	İSE	PerSev	GC
8. bulanık kural takımı														
EĞER	m-faktor	<1.25	İSE	PerSev	MN									
EĞER	m-faktor	>1.75	İSE	PerSev	G									
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.25	İSE	PerSev	MN
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-faktor	1.5	İSE	PerSev	GV
EĞER	eksenelF	≥0.25	VE	sargılama	YOK	VE	kesme	≥0.5	VE	m-fa.	1.75	İSE	PerSev	GC

4.3.5 Doğrusal Elastik Olmayan Yöntem için Kural Tanımları

Bölüm 4.3.3'te verilen genel kural tanımlama koşulları çerçevesinde, doğrusal elastik olmayan yöntem içerisinde eğilmeye maruz birincil betonarme kiriş, kolon ve perde elemanları için oluşturulan esnek sistemlere ait kurallar aşağıda verilmiştir. Bölüm 4.3.3'te verildiği gibi her bir satır sayısı adedince çıkarım sistemi mevcuttur ve sistem adedince de kural takımı mevcuttur. Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem mantıksal kural takımları Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16: Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	Sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	Sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.02	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	Sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.025	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	Sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.01	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	Sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.025	İSE	Per Sev	G
2. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.02	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.02	İSE	Per Sev	G
3. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.02	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.02	İSE	Per Sev	G
4. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.015	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.015	İSE	Per Sev	G
5. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.02	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.02	İSE	Per Sev	G
6. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GV
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≤ 0.0	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.01	İSE	Per Sev	G
7. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN

Çizelge 4.16 (devam): Betonarme kirişler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

7. bulanık kural takımı (devam)														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.01	İSE	Per Sev	G
8. bulanık kural takımı														
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GC
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	yenidag	≥ 0.5	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.005	İSE	Per Sev	G

Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem kural takımları Çizelge 4.17’de verilmiştir.

Çizelge 4.17: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.015	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.02	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.02	İSE	Per Sev	G
2. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.012	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.016	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.016	İSE	Per Sev	G
3. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.012	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.015	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.003	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.015	İSE	Per Sev	G
4. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.012	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.003	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.012	İSE	Per Sev	G
5. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.006	İSE	Per Sev	GC

Çizelge 4.17 (devam): Betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

5. bulanık kural takımı (devam)														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.006	İSE	Per Sev	G
6. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.004	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.004	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.005	İSE	Per Sev	G
7. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.003	İSE	Per Sev	G
8. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.4	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.002	İSE	Per Sev	G

Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem mantıksal kural takımları Çizelge 4.18’de verilmiştir.

Çizelge 4.18: Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.015	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.005	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.015	İSE	Per Sev	G
2. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.004	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.008	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.01	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.004	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.01	İSE	Per Sev	G
3. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.006	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.009	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.003	İSE	Per Sev	MN

Çizelge 4.18 (devam): Betonarme perdeler için doğrusal elastik olmayan yöntem bulanık kural takımları.

3. bulanık kural takımı (devam)														
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.009	İSE	Per Sev	G
4. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.005	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.0015	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	VAR	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.005	İSE	Per Sev	G
5. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.004	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.008	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.008	İSE	Per Sev	G
6. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.004	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.006	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.002	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≤ 0.1	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.006	İSE	Per Sev	G
7. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.001	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	0.003	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	< 0.001	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≤ 0.25	VE	Donme Radyan	> 0.003	İSE	Per Sev	G
8. bulanık kural takımı														
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.001	İSE	Per Sev	GV
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	0.002	İSE	Per Sev	GC
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	< 0.001	İSE	Per Sev	MN
EĞER	eksenelF	≥ 0.25	VE	sargı lama	YOK	VE	kesme	≥ 0.5	VE	Donme Radyan	> 0.002	İSE	Per Sev	G

4.3.6 Elde Edilen Bulanık Çıkarım Sistemleri için Durulaştırma Yöntemi Seçimi

BM yöntem bilimi gereği elde edilen sonuçlardan bir tek sonuca ulaşabilmek için durulaştırma yapmak gerekir. Yukarıdaki bölümlerde kümeleri ve kuralları belirlenen çıkarım sistemleri için 3. Bölüm’de anlatılan durulaştırma yöntemlerinden biri belirlenmiştir. Durulaştırma yöntemi belirlemenin herhangi bir kuralı yoktur. Mühendisin sistemi en iyi ifade edebileceğini düşündüğü yöntemi ataması ve mevcut

verilerle sınıyarak değerdendirilmesi en uygun yöntemdir (Şen, 2004). FEMA356 doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem kriterlerinin esnekleştirilmesi sırasında çizelgedeki her bir satır için oluşturulan sistem (ki bu sistem ve tüm MATLAB modeli sonraki bölümlerde verilecektir) için kullanılan durulaştırma yöntemleri Çizelge 4.19’da verilmiştir.

Çizelge 4.19: Seçilen durulaştırma yöntemleri.

Eleman ismi	Çıkarım sistemi ismi ¹⁴	Seçilen durulaştırma yöntemi	
		Doğrusal elastik yöntem için	Doğrusal elastik olmayan yöntem için
Betonarme kiriş	FISBEAM1	CENTROID ¹⁵	CENTROID
	FISBEAM2	CENTROID	CENTROID
	FISBEAM3	CENTROID	CENTROID
	FISBEAM4	MOM	MOM
	FISBEAM5	CENTROID	CENTROID
	FISBEAM6	CENTROID	CENTROID
	FISBEAM7	MOM	MOM
	FISBEAM8	MOM	MOM
Betonarme kolon	FISCOLUMN1	CENTROID	CENTROID
	FISCOLUMN2	CENTROID	CENTROID
	FISCOLUMN3	CENTROID	CENTROID
	FISCOLUMN4	CENTROID	CENTROID
	FISCOLUMN5	MOM	MOM
	FISCOLUMN6	MOM	MOM
	FISCOLUMN7	MOM	CENTROID
	FISCOLUMN8	MOM	CENTROID
Betonarme perde	FISWALL1	CENTROID	CENTROID
	FISWALL2	CENTROID	CENTROID
	FISWALL3	CENTROID	CENTROID
	FISWALL4	CENTROID	CENTROID
	FISWALL5	CENTROID	CENTROID
	FISWALL6	CENTROID	CENTROID
	FISWALL7	CENTROID	CENTROID
	FISWALL8	MOM	CENTROID

Çizelge 4.19’daki bulanık çıkarım sistemlerinin dışında her bir eleman için bir sistem daha kullanılmış olup, bu öncül çıkarım sistemlerinin adı FISBEAM0, FISCOLUMN0 ve FISWALL0’dır. Bu sistemlerin durulaştırma yöntemi de MOM’dur.

¹⁴ Bu sistemler ileriki bölümlerde anlatılacak MATLAB modelinde kullanılan isimlerdir.

¹⁵ CENTROID ve MOM: 3. Bölümde verilen durulaştırma yöntemleridir.

4.3.7 FEMA356’da Verilen Doğrusal Elastik ve Doğrusal Elastik Olmayan Yöntemler için MATLAB Simulink (Esnek Performans) Modeli

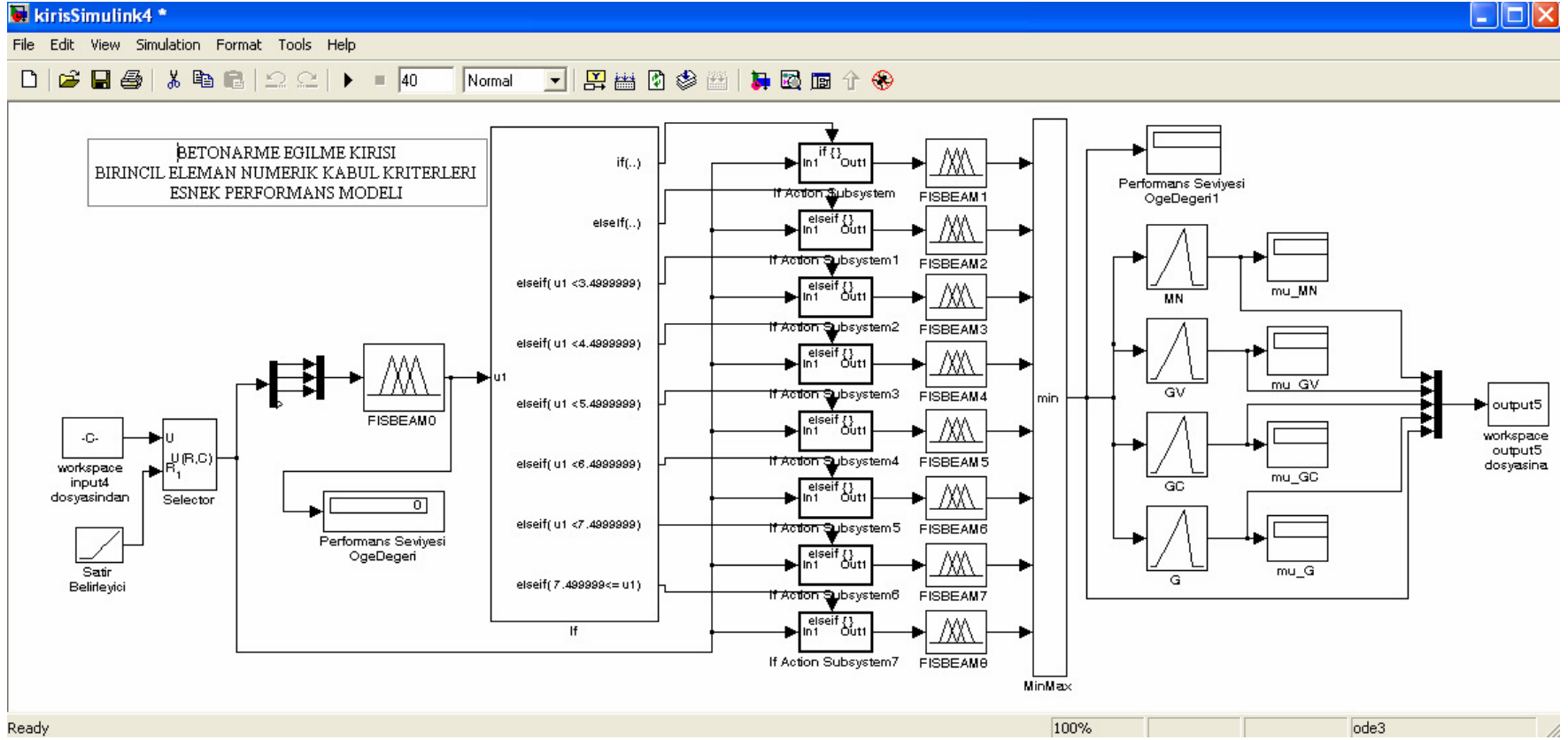
Yukarıdaki bölümlerde kümeleri, kuralları ve durulaştırma yöntemleri belirlenen çıkarım sistemleri MATLAB Fuzzy Toolbox ile modellenmiş ve bu sistemler MATLAB Simulink Platformunda aşağıdaki şekilde birleştirilmiştir.

Şurası bir gerçektir ki deneysiz, sınamasız çalışmalar pratik bilim açısından eksik ve bilimin hayata uyarlaması bakımından yetersizdir. Bu tez çalışmasında, kabul kriterlerinin bulanık kümelerinin bulunması kadar ve hatta daha önemlisi de bu kümelerin birleştirilip sınanmasıdır. Dolayısıyla aşağıdaki MATLAB Simulink platform çalışmaları sistemin uygulanması ve sınanması bakımından çok önemlidir. Bu çalışmada kümeleri sınamak amacıyla aşağıdaki modelleri oluşturmak ve sonuçta kümeleri sınamak çok yoğun emek gerektirmiştir.

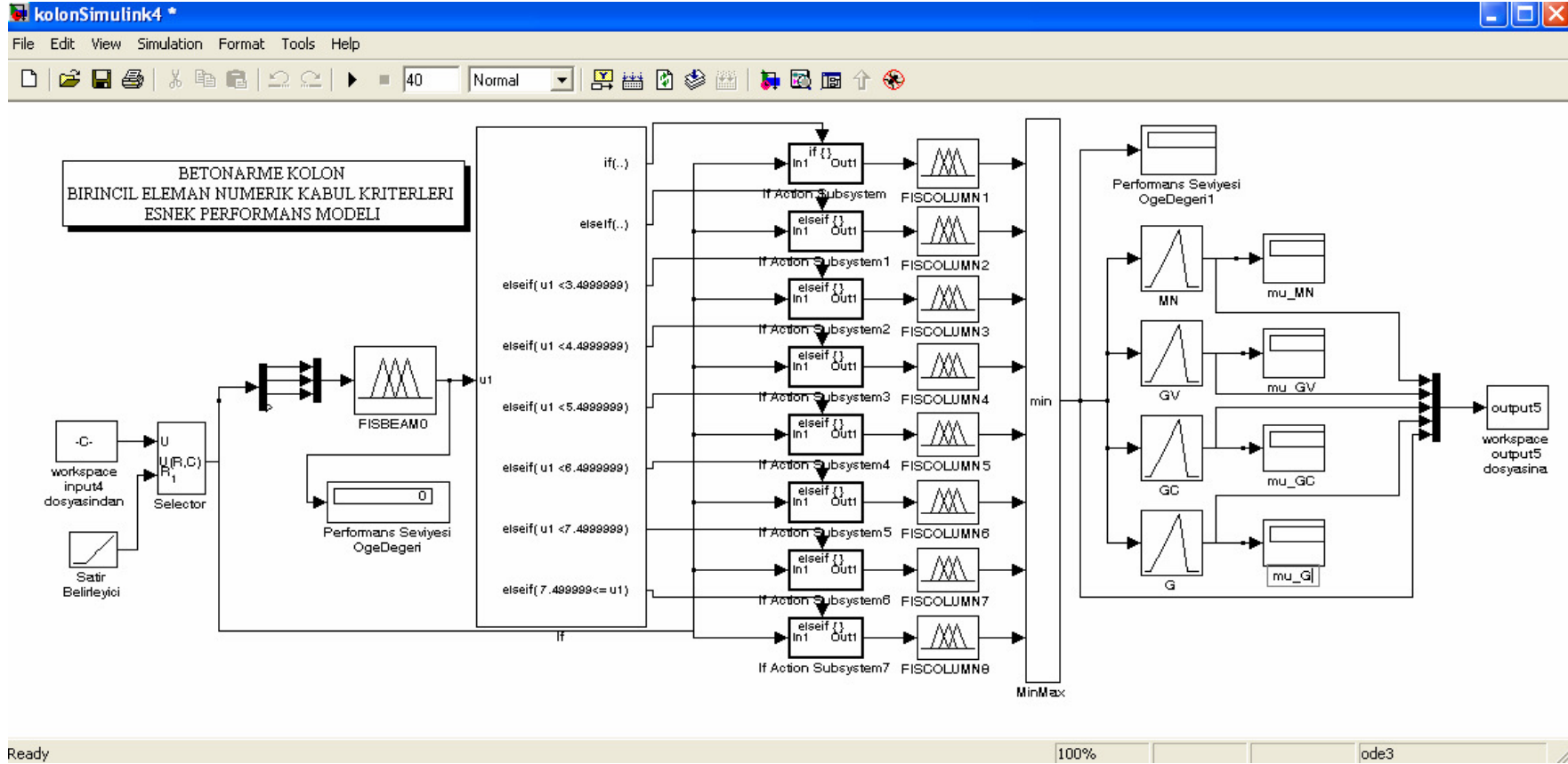
Önceki bölümlerde birincil betonarme kiriş, kolon ve perde elemanları FEMA356 doğrusal elastik yöntem ve doğrusal elastik olmayan yöntem başlıklarında ayrı ayrı ele alınmıştır. Fakat bu yöntemlerin kriter benzerliği dolayısıyla esnek performans modelleri aynıdır. Fakat aynı şemaya sahip bu modellerin çıkarım sistemleri ve dolayısıyla tanımlanmış kuralları farklıdır.

Aşağıda verilen esnek modeller MATLAB bilen tasarım mühendisleri tarafından kolaylıkla kullanılabilir ve bunun sonucunda da FEMA356’ya göre olan eleman düzeyinde bina performans değerlendirmesi daha hızlı yapılabilir.

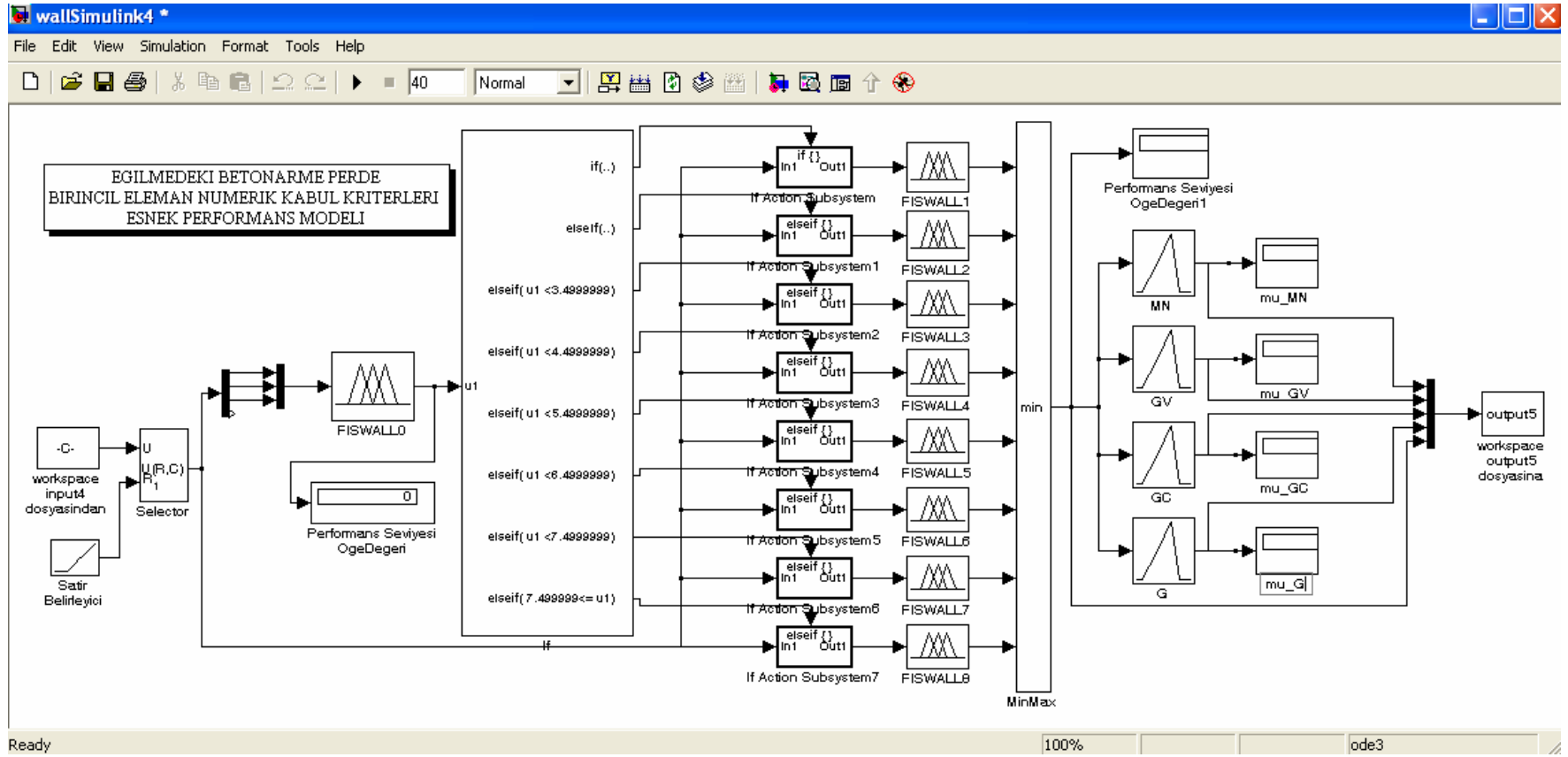
Kirişler için esnek performans modeli Şekil 4.31, kolonlar için esnek performans modeli Şekil 4.32 ve perdeler için esnek performans modeli Şekil 4.33’teki şemalarda bulunan öğelerin anlamı ve işlem akışı aşağıdaki gibidir:



Şekil 4.31: Betonarme kirişler için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli.



Şekil 4.32: Betonarme kolonlar için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli.



Şekil 4.33: Betonarme perdeler için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem için Simulink (Esnek Performans) Modeli.

Girdi kümelerinin üyeleri Matlab'ın workspace'inde bulunan input4 isimli dosyadan şemaların en solunda bulunan “workspace input4 dosyasından” sonuç bloğu vasıtasıyla matris formatında alınır. Çıkarım sistemlerinde kullanılacak girdilerin vektör olması gerekir, dolayısıyla bir seçici vasıtasıyla kullanılacak matris satırı seçilir. “FIS....0” öncül çıkarım sistemi ile hangi çıkarım sisteminin kullanılacağı belirlenir ve bir “If selector” ve “If action subsystem” vasıtası ile işlem yapacak çıkarım sistemi tetiklenir. Tetiklenen “FIS.....i” çıkarım sistemi bulanık işlemi yapar ve durulaştırılmış sonucu “MN, GV, GC, G” bulanık kümelerine gönderir. MN, GV, GÇ ve G kümelerine giren ve bulanıklaştırılan sonuç “workspace output5 dosyasına” sonuç bloğu ile depolanır. İşlem, girdi sayısı adedince tekrarlanır ve sonuç bloğu da matris formatında elde edilir.

Çizelge 4.20: Input4 ve Output5 dosyası sütunlarındaki değerlerin anlamları.

		Input4				
yöntem		1.sütun	2.sütun	3.sütun	4.sütun	
Doğrusal Elastik	Kiriş	Yenidag	Sargılama	Kesme	m-faktör	
	Kolon	EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	
	Perde	EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	
Doğrusal Elastik Olmayan	Kiriş	Yenidag	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	
	Kolon	EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	
	Perde	EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	
		Output5				
yöntem		1.sütun	2.sütun	3.sütun	4.sütun	5.sütun
Doğrusal Elastik	Kiriş	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri
	Kolon	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri
	Perde	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri
Doğrusal Elastik Olmayan	Kiriş	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri
	Kolon	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri
	Perde	MN (üyelik değeri)	GV (üyelik değeri)	GC (üyelik değeri)	G (üyelik değeri)	Çıktı kümesi üye değeri

Input4 dosyası $n \times 4$ sütundan oluşan bir matristir. Output5 dosyası da $n \times 5$ sütundan oluşan bir matristir. Input4 ve Output5 dosyaları sütunlarının anlamları Çizelge

4.20’de gösterilmiştir. Output5 dosyasının 5. sütunundaki değer “üyelik değeri” değil “üye değeridir”¹⁶.

4.3.8 FEMA356 için Esnek Performans Modelinin Sınanması

Bu bölümde, oluşturulmuş esnek performans modeli iki şekilde sınanmıştır. Birinci yöntemde sına ma verileri türetilmiş ve bu türetilmiş veriler ile sistem değerlendirilmiştir. İkinci yöntemde ise gerçek bir projedeki veriler kullanılmış ve sonuçlar üzerinde esnek performans yorumları yapılmıştır.

4.3.8.1 Türetilmiş örnek sına ma verisi ve veri oluşturma mantığı

Bu bölümde, oluşturulmuş esnek performans modeli sınanmıştır. Sına ma için kullanılan veriler çizelgelerden öngörü ile elde edilmiştir.

Örnek olarak Çizelge 4.1’deki betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntem kabul kriterlerinin birinci satırı ele alınmıştır (bkz. Çizelge 4.21).

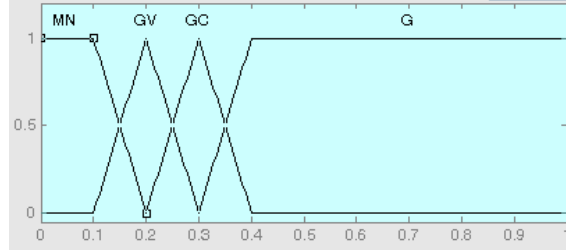
Sına ma aşaması m-faktör girdi kümesinin MN, GV, GÇ ve G değerleri için yapılmıştır. Bulanık sistemi en iyi temsil edecek değerler sınır değerlere yakın değerler olduğu için örneklemler iki aşama için yapılmıştır. Birinci aşamada sına ma verileri sadece çizelgedeki 3, 6, 7 değerlerini görmek için; ikinci aşamada ise uç durumları görmek için 0 ve 10 için yapılmıştır. Yani Yenidag, Sargılama, Kesme ve m-faktör değerlerini içeren input4 ve bunların çıktısı output5, sına ma-1 için aşağıdaki gibidir.

Çizelge 4.21: Betonarme kirişler için doğrusal elastik yöntemin kabul kriterleri.

Durumlar			m-katsayıları		
			Eğilme etkisinde birincil kiriş Performans Seviyeleri		
$\frac{\rho - \rho'}{\rho_b}$	Sargılama	$\frac{V}{b_w d \sqrt{f_c}}$	MN	GV	GÇ
≤ 0.0	VAR	≤ 0.25	3	6	7

¹⁶ Üyelik değeri: Veri değeri ile tetiklenen bulanık kümeden lamda kesimi ile elde edilen ağırlık değeridir.

$$input4 = \begin{bmatrix} 0.0 & 1 & 0.25 & 0 \\ 0.0 & 1 & 0.25 & 3 \\ 0.0 & 1 & 0.25 & 6 \\ 0.0 & 1 & 0.25 & 7 \\ 0.0 & 1 & 0.25 & 10 \end{bmatrix} \quad output5 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0.1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0.2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0.3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0.4 \end{bmatrix}$$



Şekil 4.34: Örnek input4 ve output5 matrisleri ve Persev çıktı kümesi.

Output5 matrisinin son sütunu Persev çıktı kümesindeki MN, GV, GC ve G yi tetikleyen üye değerini göstermektedir. Hatırlanması bakımından PerSev kümesi burada tekrar verilmiştir. Diğer sütunların anlamı Çizelge 4.20’de verilmiştir. Çizelge 4.1, Çizelge 4.3, Çizelge 4.5, Çizelge 4.7, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11’de FEMA356 doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem kriterlerinin yalnızca çizelgedeki değerleri için yapılan sınamaya SINAMA-1; çizelgedeki değerlerin dışındaki ara değerler için yapılan sınamaya da SINAMA-2 ismi verilmiştir. Esnek performans sistemi sonuçlarının daha net ortaya çıkması için bu ara değerler MN, GV, GÇ ve G değerlerine yakın değerler olarak belirlenmiştir.

4.3.8.1.1 SINAMA-1

Çizelge 4.1, Çizelge 4.3, Çizelge 4.5, Çizelge 4.7, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11’de FEMA356’da veirlen doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem kriterlerinin yalnızca çizelgedeki değerler için sınanması aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.22: Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-1.

Yenidag	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.25	3	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.25	6	GV	0.2	GV	OK
0	1	0.25	7	GC	0.3	GC	OK
0	1	0.25	9	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.22 (devam): Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-1.

Yenidag	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.5	2	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.5	3	GV	0.2	GV	OK
0	1	0.5	4	GC	0.3	GC	OK
0	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.5	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.25	3	GV	0.2	GV	OK
0.5	1	0.25	4	GC	0.3	GC	OK
0.5	1	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.5	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.5	2	GV	0.2	GV	OK
0.5	1	0.5	2	GV	0.2	GV	OK
0.5	1	0.5	3	GC	0.3	GC	OK
0.5	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.25	3	GV	0.2	GV	OK
0	0	0.25	4	GC	0.3	GC	OK
0	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.5	2	GV	0.2	GV	OK
0	0	0.5	3	GC	0.3	GC	OK
0	0	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.5	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.25	3	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.25	3	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.5	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.5	2	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.5	2	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.5	9	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.23: Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	3	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.25	4	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.1	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	2	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	2.4	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.5	3.2	GC	0.3	GC	OK

Çizelge 4.23 (devam): Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.1	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.4	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.25	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.25	2	GV	0.2	GV	OK
0.4	1	0.25	3	GC	0.3	GC	OK
0.4	1	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.4	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.5	1.6	GV	0.2	GV	OK
0.4	1	0.5	2.4	GC	0.3	GC	OK
0.4	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	2	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.25	2	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.25	3	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.5	1.6	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	1.6	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	2.4	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.4	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.25	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.25	1.5	GV	0.2	GV	OK
0.4	0	0.25	2	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.4	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.5	1.5	GV	0.2	GV	OK
0.4	0	0.5	1.75	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.5	9	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.24: Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	4	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.25	6	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.25	6	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.1	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	2	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	3	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.5	4	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.25	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.25	1.5	MN	0.1	MN	OK

Çizelge 4.24 (devam): Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.25	1	0.25	3	GV	0.2	GV	OK
0.25	1	0.25	4	GC	0.3	GC	OK
0.25	1	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.25	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.5	2	GV	0.2	GV	OK
0.25	1	0.5	2.5	GC	0.3	GC	OK
0.25	1	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	2	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	2.5	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.25	4	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.5	1.5	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.5	2	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	2.5	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.5	9	G	0.4	G	OK
0.25	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.25	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.25	1.5	GV	0.2	GV	OK
0.25	0	0.25	2	GC	0.3	GC	OK
0.25	0	0.25	9	G	0.4	G	OK
0.25	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.5	1.25	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.5	1.5	GV	0.2	GV	OK
0.25	0	0.5	1.75	GC	0.3	GC	OK
0.25	0	0.5	9	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.25: Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-1.

Yenidag	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.25	0.01	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.25	0.02	GV	0.2	GV	OK
0	1	0.25	0.025	GC	0.3	GC	OK
0	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.5	0.005	MN	0.1	MN	OK
0	1	0.5	0.01	GV	0.2	GV	OK
0	1	0.5	0.02	GC	0.3	GC	OK
0	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.5	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.25	0.01	GV	0.2	GV	OK
0.5	1	0.25	0.02	GC	0.3	GC	OK
0.5	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.5	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	1	0.5	0.005	GV	0.2	GV	OK

Çizelge 4.25 (devam): Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-1.

Yenidag	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.5	1	0.5	0.005	GV	0.2	GV	OK
0.5	1	0.5	0.015	GC	0.3	GC	OK
0.5	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.25	0.01	GV	0.2	GV	OK
0	0	0.25	0.02	GC	0.3	GC	OK
0	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.5	0.0015	MN	0.1	MN	OK
0	0	0.5	0.005	GV	0.2	GV	OK
0	0	0.5	0.01	GC	0.3	GC	OK
0	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.5	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.25	0.01	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.25	0.01	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.5	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.5	0.0015	MN	0.1	MN	OK
0.5	0	0.5	0.005	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.5	0.005	GC	0.3	GC	OK
0.5	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.26: Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	0.015	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.25	0.02	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	0.005	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	0.012	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.5	0.016	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.4	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.25	0.003	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.25	0.012	GV	0.2	GV	OK
0.4	1	0.25	0.015	GC	0.3	GC	OK
0.4	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.4	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.5	0.003	MN	0.1	MN	OK
0.4	1	0.5	0.01	GV	0.2	GV	OK
0.4	1	0.5	0.012	GC	0.3	GC	OK
0.4	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	0.005	GV	0.2	GV	OK

Çizelge 4.26 (devam): Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	0	0.25	0.005	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.25	0.006	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.5	0.004	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	0.004	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	0.005	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.4	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.25	0.002	GV	0.2	GV	OK
0.4	0	0.25	0.002	GV	0.2	GV	OK
0.4	0	0.25	0.003	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.4	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.4	0	0.5	0.002	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.5	0.002	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.5	0.002	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.5	0.002	GC	0.3	GC	OK
0.4	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK

Çizelge 4.27: Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.25	0.01	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.25	0.015	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	0.004	MN	0.1	MN	OK
0.1	1	0.5	0.008	GV	0.2	GV	OK
0.1	1	0.5	0.01	GC	0.3	GC	OK
0.1	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.25	1	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.25	0.003	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.25	0.006	GV	0.2	GV	OK
0.25	1	0.25	0.009	GC	0.3	GC	OK
0.25	1	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.25	1	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.5	0.0015	MN	0.1	MN	OK
0.25	1	0.5	0.003	GV	0.2	GV	OK
0.25	1	0.5	0.005	GC	0.3	GC	OK
0.25	1	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	0.002	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.25	0.004	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.25	0.008	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.1	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.1	0	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK

Çizelge 4.27 (devam): Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-1.

EksenelF	Sargılama	Kesme	DonmeRadyan	Olması Gereken Performans	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY
0.1	0	0.5	0.004	GV	0.2	GV	OK
0.1	0	0.5	0.006	GC	0.3	GC	OK
0.1	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK
0.25	0	0.25	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.25	0.001	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.25	0.002	GV	0.2	GV	OK
0.25	0	0.25	0.003	GC	0.3	GC	OK
0.25	0	0.25	0.05	G	0.4	G	OK
0.25	0	0.5	0	MN	0.1	MN	OK
0.25	0	0.5	0.001	GV	0.2	GV	OK
0.25	0	0.5	0.001	GV	0.2	GV	OK
0.25	0	0.5	0.002	GC	0.3	GC	OK
0.25	0	0.5	0.05	G	0.4	G	OK

4.3.8.1.2 SINAMA-2

Çizelge 4.1, Çizelge 4.3, Çizelge 4.5, Çizelge 4.7, Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.11’de FEMA356’da verilen doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntem kriterlerinin çizelgedeki değerlerin dışındaki ara değerler için sınanması aşağıda verilmiştir.

Çizelge 4.28: Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-2.

Yenidag	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356’ya göre sonuç	ONAY
0	1	0.25	1.75	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.25	2.5	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.25	3.75	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	1	0.25	5.25	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	1	0.25	6.25	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	1	0.25	6.75	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	1	0.25	7.25	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	1	0.25	7.75	G	0.4	G	OK	G	OK
0	1	0.5	0.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.5	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.5	2.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	1	0.5	2.7	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	1	0.5	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	1	0.5	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	1	0.5	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	1	0.5	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	1	0.25	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	1	0.25	2.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.25	2.7	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.5	1	0.25	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.5	1	0.25	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	1	0.25	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!

Çizelge 4.28 (devam): Çizelge 4.1 modeli için SINAMA-2.

Yenidag	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	Üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.5	1	0.25	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.5	1.9	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.5	1	0.5	2.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.5	1	0.5	2.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	1	0.5	3.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	1	0.5	3.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.5	3.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.5	3.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0	0	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.25	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.25	2.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	0	0.25	2.7	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	0	0.25	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	0	0.25	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	0	0.25	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	0	0.25	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0	0	0.5	0.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.5	0.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	0	0.5	1.9	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	0	0.5	2.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	0	0.5	2.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	0	0.5	3.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	0	0.5	3.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.25	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.25	2.3	MN	0.1	MN	OK	GC	ESNEK!
0.5	0	0.25	2.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	0	0.25	3.1	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	0	0.25	3.9	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	3.9	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	3.9	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	0.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.5	0.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	GC	ESNEK!
0.5	0	0.5	1.9	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	0	0.5	2.1	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	0	0.5	2.9	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	2.9	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	2.9	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.29: Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	Üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	2.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.25	2.7	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.25	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!

Çizelge 4.29 (devam): Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	Üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.25	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.25	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	1	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	2.1	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.5	2.3	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.5	2.6	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.5	3	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.5	3.4	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.5	4	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	1	0.25	0.75	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.25	1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	1	0.25	1.9	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	1	0.25	2.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	1	0.25	2.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	1	0.25	3.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	1	0.25	3.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	1	0.5	0.75	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.5	1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	1	0.5	1.5	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	1	0.5	1.8	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	1	0.5	2.2	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	1	0.5	2.6	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	1	0.5	3.2	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.25	1.9	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.25	2.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.25	2.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.25	3.3	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.25	3.7	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	3.7	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	3.7	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.5	1.5	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.5	1.8	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.5	2.2	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.5	2.6	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.5	3.2	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	3.2	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	3.2	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.25	0.75	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	0	0.25	1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	0	0.25	1.32	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	0	0.25	1.43	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	0	0.25	1.65	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!

Çizelge 4.29 (devam): Çizelge 4.3 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	Üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.4	0	0.25	1.85	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	0	0.25	2.15	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	0	0.25	2.85	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.75	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	0	0.5	1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	0	0.5	1.32	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	0	0.5	1.43	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	0	0.5	1.57	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	0	0.5	1.68	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	0	0.5	1.85	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	0	0.5	2.65	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.30: Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	Üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	1.65	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	1.85	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	2.5	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.25	3.5	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.25	4.6	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.25	5.4	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.25	6.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.25	7.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	1	0.5	1.35	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	1.9	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	2.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.5	2.7	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.5	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.5	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.5	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.5	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	1	0.25	1.3	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.25	1.45	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.25	2	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	1	0.25	2.5	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	1	0.25	3.3	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	1	0.25	3.7	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	1	0.25	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	1	0.25	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	1	0.5	0.65	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.5	1.1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.5	1.4	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	1	0.5	1.85	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	1	0.5	2.15	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!

Çizelge 4.30 (devam): Çizelge 4.5 modeli için SINAMA-2.

EkseneIF	Sargılama	Kesme	m-faktör	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.25	1	0.5	2.35	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	1	0.5	2.6	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	1	0.5	3.4	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	1.4	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.25	1.85	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.25	2.15	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.25	2.35	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.25	2.85	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.25	3.65	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.25	4.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.25	4.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	1.3	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.5	1.45	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.5	1.65	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.5	1.85	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.5	2.15	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.5	2.35	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.5	2.6	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.5	3.4	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	0	0.25	0.65	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.25	1.1	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.25	1.3	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	0	0.25	1.45	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	0	0.25	1.65	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	0	0.25	1.85	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	0	0.25	2.2	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	0	0.25	2.8	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	0	0.5	1.05	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.5	1.2	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.5	1.32	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	0	0.5	1.48	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	0	0.5	1.58	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	0	0.5	1.67	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	0	0.5	1.8	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	0	0.5	2.7	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.31: Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-2.

Yenidag	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0	1	0.25	0.003	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.25	0.008	MN	0.1	MN	OK	MN	OK

Çizelge 4.31 (devam): Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-2.

Yenidag	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0	1	0.25	0.012	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	1	0.25	0.018	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	1	0.25	0.021	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	1	0.25	0.024	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	1	0.25	0.028	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	1	0.25	0.032	G	0.4	G	OK	G	OK
0	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.5	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	1	0.5	0.006	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	1	0.5	0.009	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	1	0.5	0.012	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	1	0.5	0.018	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	1	0.5	0.022	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	1	0.5	0.028	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.25	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	1	0.25	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	1	0.25	0.0065	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.25	0.0085	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.5	1	0.25	0.012	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.5	1	0.25	0.018	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	1	0.25	0.022	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	1	0.25	0.028	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.5	1	0.5	0.004	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.5	1	0.5	0.0075	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.5	1	0.5	0.0125	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	1	0.5	0.0175	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	1	0.5	0.0225	G	0.4	G	OK	G	OK
0	0	0.25	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.25	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.25	0.006	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	0	0.25	0.009	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	0	0.25	0.012	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	0	0.25	0.018	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	0	0.25	0.022	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	0	0.25	0.028	G	0.4	G	OK	G	OK
0	0	0.5	0.0005	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.5	0.001	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0	0	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0	0	0.5	0.004	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0	0	0.5	0.0065	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0	0	0.5	0.0085	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0	0	0.5	0.0125	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0	0	0.5	0.0175	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.25	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK

Çizelge 4.31 (devam): Çizelge 4.7 modeli için SINAMA-2.

Yenidag	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.5	0	0.25	0.006	MN	0.1	MN	OK	GC	ESNEK!
0.5	0	0.25	0.009	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	0	0.25	0.012	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	0	0.25	0.018	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	0.02	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.25	0.02	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	0.0005	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.5	0.001	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.5	0	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GC	ESNEK!
0.5	0	0.5	0.004	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.5	0	0.5	0.007	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.5	0	0.5	0.015	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	0.015	G	0.4	G	OK	G	OK
0.5	0	0.5	0.015	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.32: Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0.003	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	0.0075	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.0125	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.25	0.0165	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.0185	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.25	0.0225	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.0275	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	0.004	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	0.007	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.01	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.5	0.013	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.015	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.5	0.017	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.019	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	1	0.25	0.0018	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.25	0.0027	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.25	0.005	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	1	0.25	0.01	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	1	0.25	0.013	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	1	0.25	0.014	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	1	0.25	0.016	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	1	0.25	0.019	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	1	0.5	0.0018	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.4	1	0.5	0.0027	MN	0.1	MN	OK	MN	OK

Çizelge 4.32 (devam): Çizelge 4.9 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.4	1	0.5	0.005	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	1	0.5	0.008	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	1	0.5	0.0105	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	1	0.5	0.0115	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	1	0.5	0.013	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	1	0.5	0.014	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.004	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.25	0.0052	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.0058	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.25	0.007	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.009	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	0.009	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	0.009	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	0.0021	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0034	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.5	0.0042	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0048	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.5	0.0065	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0085	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	0.0085	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	0.0085	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.25	0.0012	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.4	0	0.25	0.0018	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.4	0	0.25	0.0023	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.4	0	0.25	0.0027	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	0	0.25	0.0032	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	0	0.25	0.0038	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.25	0.0038	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.25	0.0038	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.0011	MN	0.1	MN	OK	GC	ESNEK!
0.4	0	0.5	0.0019	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.4	0	0.5	0.0021	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.4	0	0.5	0.0029	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.0031	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.0035	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.0035	G	0.4	G	OK	G	OK
0.4	0	0.5	0.0035	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.33: Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sarglama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.1	1	0.25	0.0028	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	0.0042	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.25	0.006	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.009	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.25	0.0115	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.0135	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.25	0.0165	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.25	0.0185	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	0.0035	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	1	0.5	0.005	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.007	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	1	0.5	0.0085	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.0095	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	1	0.5	0.011	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	1	0.5	0.014	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	1	0.25	0.0019	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.25	0.0026	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.25	0.0037	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	1	0.25	0.0053	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	1	0.25	0.0068	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	1	0.25	0.0082	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	1	0.25	0.01	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	1	0.25	0.014	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	1	0.5	0.0005	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.5	0.001	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	1	0.5	0.002	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	1	0.5	0.0025	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	1	0.5	0.0037	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	1	0.5	0.0043	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	1	0.5	0.006	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	1	0.5	0.009	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.25	0.0016	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.25	0.0019	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.25	0.0025	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.0035	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.25	0.005	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.007	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.25	0.009	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.25	0.011	G	0.4	G	OK	G	OK
0.1	0	0.5	0.0016	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.5	0.0019	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.1	0	0.5	0.0025	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0035	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.1	0	0.5	0.0045	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0055	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.1	0	0.5	0.0065	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.1	0	0.5	0.0095	G	0.4	G	OK	G	OK

Çizelge 4.33 (devam): Çizelge 4.11 modeli için SINAMA-2.

EksenelF	Sargılama	Kesme	Donme Radyan	Olması Gereken Perf.	üye değeri	Programın verdiği sonuç	ONAY	FEMA356'ya göre sonuç	ONAY
0.25	0	0.25	0.00065	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.25	0.00085	MN	0.1	MN	OK	MN	OK
0.25	0	0.25	0.0013	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	0	0.25	0.0017	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	0	0.25	0.0023	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	0	0.25	0.0027	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	0	0.25	0.0032	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	0	0.25	0.0038	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	0	0.5	0.00065	MN	0.1	MN	OK	GV	ESNEK!
0.25	0	0.5	0.00085	GV	0.2	GV	OK	GV	OK
0.25	0	0.5	0.0013	GV	0.2	GV	OK	GC	ESNEK!
0.25	0	0.5	0.0017	GC	0.3	GC	OK	GC	OK
0.25	0	0.5	0.0022	GC	0.3	GC	OK	G	ESNEK!
0.25	0	0.5	0.0028	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	0	0.5	0.0028	G	0.4	G	OK	G	OK
0.25	0	0.5	0.0028	G	0.4	G	OK	G	OK

4.3.8.1.3 Türetilmiş verilerle yapılan sınaama sonuçlarının değerlendirilmesi

Yukarıdaki sınaama sonuç çizelgelerinde EksenelF, Sargılama, Kesme, DonmeRadyan girdi değerlerine karşın olması gereken bulanık-esnek performans değeri “Olması gereken perf.” sütununda; aynı veri için MATLAB Simulink’te oluşturulmuş esnek performans modellerinin verdiği sonuçlar “Programın verdiği sonuç” sütununda ve bu iki sütunun karşılaştırılması da “ONAY” sütununda verilmiştir. Aynı veriler için FEMA356’ya göre olması gereken performans ise “FEMA356’ya göre sonuç” sütununda sunulmuştur. Esnek Performans ile Fema356 sonuçlarının kıyaslandığı sütun ise ikinci “ONAY” sütunudur. Bu sütunda yapılan kıyaslamada, Esnek performans modeli ile FEMA356’nın aynı sonuçları verdiği veriler için “OK”, farklı sonuçlar verdiği veriler için ise “ESNEK!” ifadesi bulunmaktadır. Böylelikle, son sütununda “ESNEK!” yazan verilerin sınırı çok az aşan değerler olduğu ve Esnek performans değerlendirmesine göre sınırdaki performansa ait olabileceği görülmekte ve anlaşılmaktadır.

4.3.8.2 Bölüm 2.6’da verilen köprü ayağı örneğinin esnek performans modeli ile yeniden değerlendirilmesi

Bölüm 2.6’da bir köprü ayağı için detaylı bir şekilde performansa dayalı hesaplamalar yapılmış ve Bölüm 2.6.8’de hesap sonuçları hakkında yapılan yorumlar verilmiştir. Burada ise aynı örneğin esnek performans yöntemi ile çözüldüğünde performansının ne olacağı konusu irdelenecektir.

Öncelikle bölüm 4.3.2.2’de verildiği üzere betonarme kolonlar için doğrusal elastik olmayan yöntem küme tanımlamaları gereği eksenelF, sargılama, kesme ve DonmeRadyan kümelerinin sayısal değerleri elde edilmelidir. Bu değerler hakkında ayrıntı için Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.10’a bakılabilir. Esnek performans değerlendirmesi için girdi değerleri aşağıda verilmiştir. Bunlar:

$$P= 1.8E+7 \text{ N}$$

$$A_g= 9.0E+6 \text{ mm}^2$$

$$f_c' = 25 \text{ MPa}$$

$$V= 3.1E+6 \text{ N}$$

$$b_w= 3000 \text{ mm}$$

$$d= 3000 \text{ mm}$$

$$\theta= 0.0214 \text{ rad}$$

$$\text{eksenelF} = \frac{P}{A_g f_c'} = \frac{1.8E+7}{9.0E+6 \cdot 25} = 0.08$$

$$\text{sargılama} = \text{VAR} = 1$$

$$\text{kesme} = \frac{V}{b_w d \sqrt{f_c'}} = \frac{3.1E+6}{3000 \cdot 3000 \sqrt{25}} = 0.07$$

$$\text{DonmeRadyan} = 0.0214$$

Yukarıdaki değerlere göre Çizelge 4.9’dan FEMA 356 performans kriterlerine bakılacak olursa, çizelgenin birinci satırının örneğe ait performans kriterlerini içerdiği görülecektir. Burada GÇ=0.02 olup, kesit FEMA356’ya göre GÇ seviyesini aşmış G (Göçme) performans seviyesindedir. Kesitte güç tükenmesi olmuştur. Aynı değerler esnek performans modeline uygulanırsa model %71 GÇ, %29 G performans çıktısı verir ki, bu da kesitin GÇ performans seviyesinde olması demektir.

4.3.8.3 Sunulan esnek performans yönteminin gerçek bir bina örneğine uygulanması

Bu bölümde, oluşturulmuş esnek performans modellerinden doğrusal elastik yöntem için olanı sınanmıştır. Sınama için kullanılan veriler Arslan, (2009) da kullanılan gerçek bir bina örneğinden alınmış ve değerlendirme bu bina için yapılan sayısal çözümler kullanılarak yapılmıştır.

4.3.8.3.1 Bina hakkında genel bilgiler, planlar ve görüntüler

Bina hakkında genel bilgiler, Şekil 4.35'te binanın 3D modeli, Şekil 4.36'da ise birinci kat kalıp planı aşağıda verilmiştir. Bu bilgilerin dışında düşey yük ve depremle ilgili olarak yapılan tüm çözümlere Arslan, (2009)'dan ulaşılabilir. Mevcut sayısal çözümlerden konuyla ilgili olan kısım olarak, binanın sadece itme analiz sonuçları alınarak esnek performans modeli ile irdelenmiştir.

Bina Bilgileri

• Kat Adedi	8
• Bina Kat Yüksekliği	3 m
• Toplam Bina Yüksekliği	24 m
• Bina Oturma Alanı	324 m ²
• Kullanım Amacı	Hastane

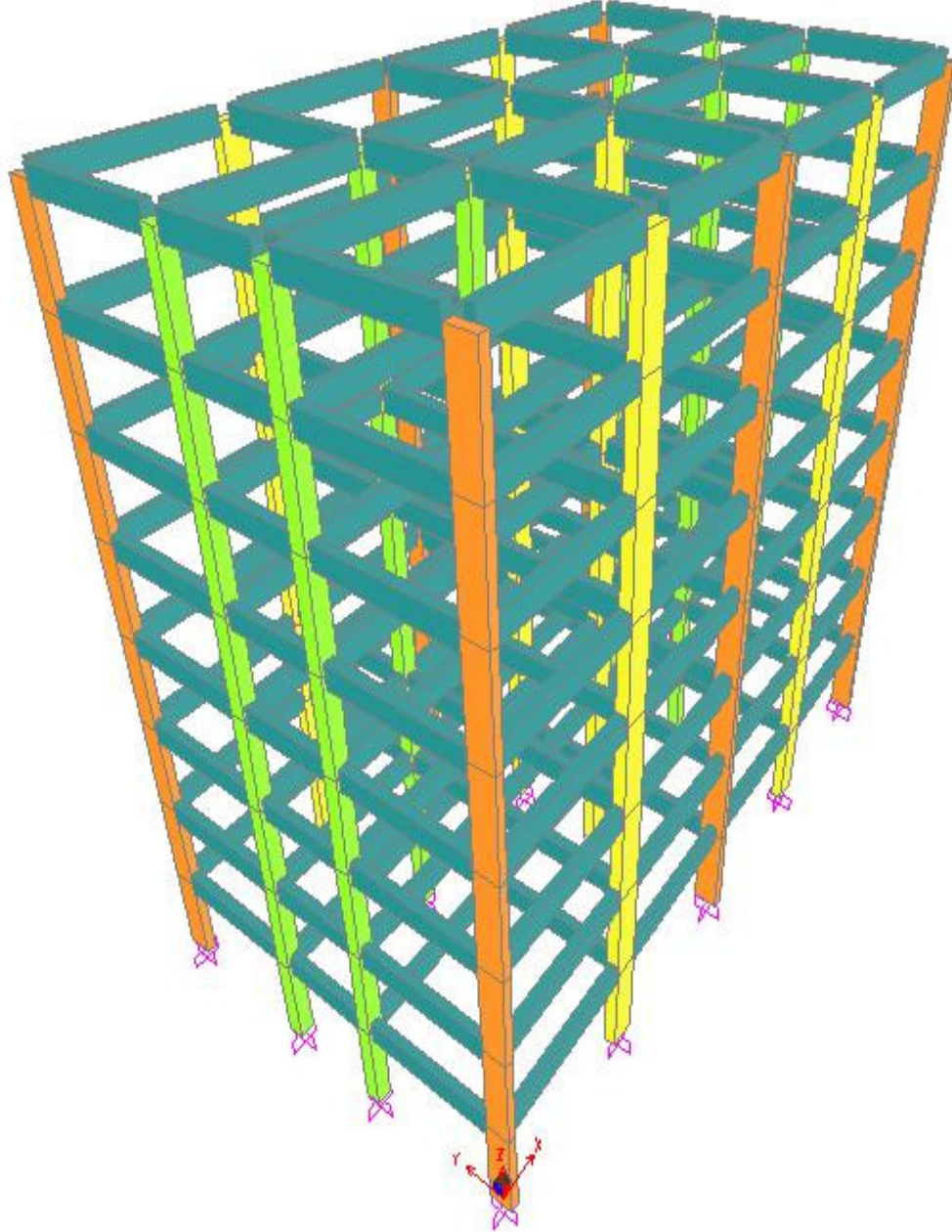
Malzeme Bilgileri

• Beton	C30 ($f_{ck}=30$ MPa)
• Donatı Çeliği	S420 ($f_{yk}=420$ MPa)
• Betonarme Elastisite Modülü	32 GPa
• Donatı Çeliği Elastisite Modülü	200 GPa
• Beton Malzeme Güvenlik Katsayısı	1.50
• Donatı Çeliği Malzeme Güvenlik Katsayısı	1.15

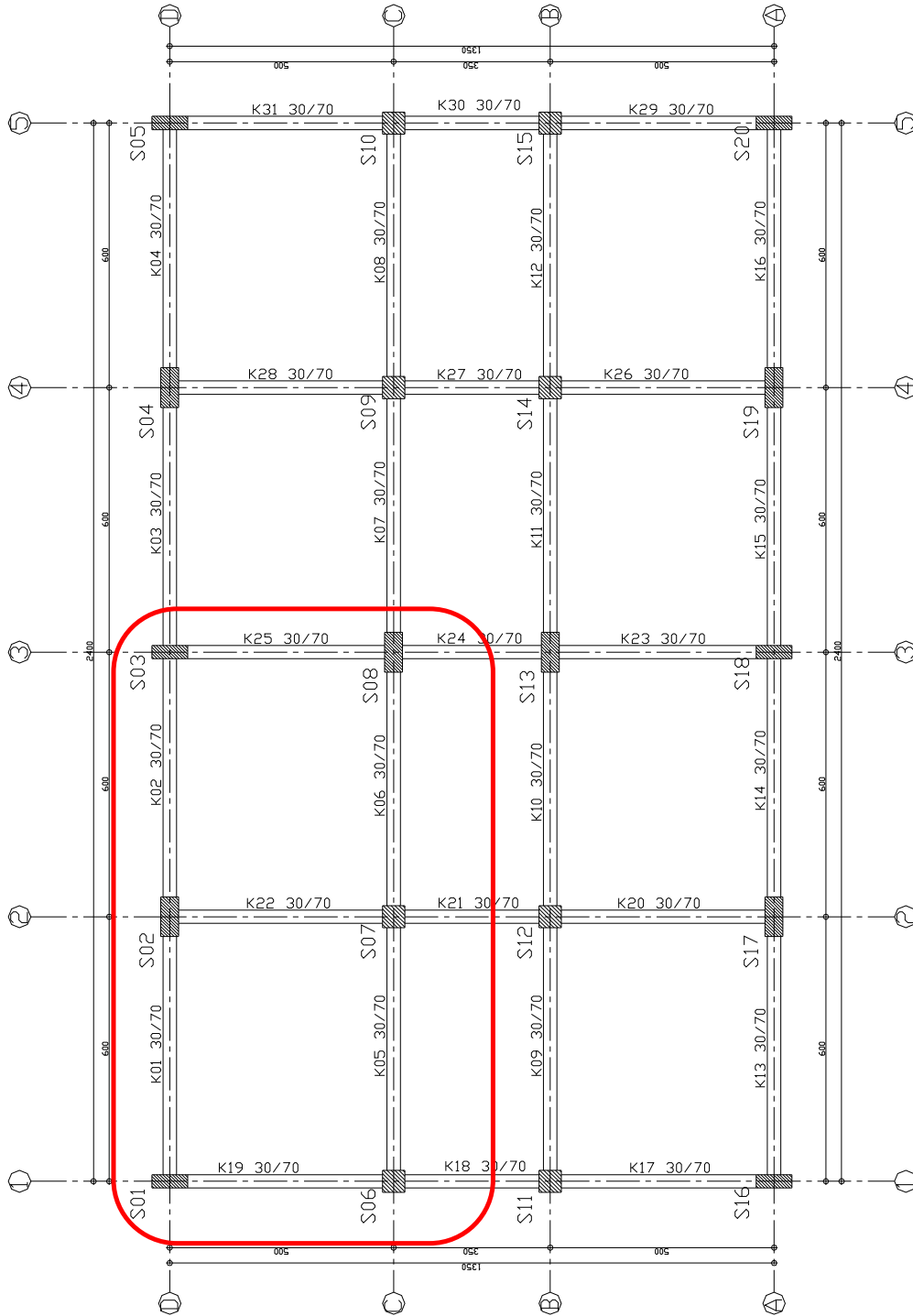
Proje Parametreleri

• Deprem Bölgesi	1
------------------	---

• Etkin Yer İvme Katsayısı, A_0	0.40
• Yerel Zemin Sınıfı	Z2
• Spektrum Karakteristik Periyotları	$T_a = 0.15$ s , $T_b = 0.40$ s
• Hareketli Yük Katılım Katsayısı, n	0.3



Şekil 4.35: Binanın üç boyutlu bilgisayar modeli.



Şekil 4.36: Birinci kat kalıp planı.

4.3.8.3.2 Performans çizelgeleri

Bina simetrik olduğu için, sadece K01, K02, K05, K06, K18, K19, K21, K22, K24, K25 kirişlerinin ve S01, S02, S03, S06, S07, S08 kolonlarının her bir kattaki sonuçları verilmiştir. Bu söz konusu kolon ve kirişler Şekil 4.36'da verilen kalıp planında kırmızı bir dikdörtgen içine alınmıştır. Binada toplam 248 adet kiriş ve 160 adet kolon mevcuttur. Yapılan değerlendirme sonucunda esnek performans uygulaması nedeni ile farklı sonuçlar veren kiriş ve kolonlar toplam kiriş ve kolon adedine bölünerek oran bulunmuş ve bu oranlar Çizelge 4.36'da verilmiştir.

Örnek bina ile ilgili çizelgeler iki sayfayı aştığı için Ek A, Ek B ve Ek C'de verilmiştir. Ek A'da "Tasarım depremi için bina kiriş performansları", Ek B'de "Şiddetli deprem için bina kiriş performansları", Ek C'de "Tasarım depremi için bina kolon performansları" verilmiştir. Bu performanslar söz konusu çizelgelerde Esnek Performans Modeli ile karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelgelerin kullanılması hakkında genel bir bilgiler aşağıda verilmiştir. Verilen bu bilgilerle çizelgelerin takip edilmesi uygundur.

Örneğin, Çizelge A.1'e, Çizelge A.2'ye, Çizelge B.1'e, Çizelge B.2'ye, bakılacak olursa, bu çizelgeler bina kirişlerinin sol ya da sağ uçlarının tasarım ya da şiddetli deprem için performanslarını gösterir. En sol sütunda kiriş numarası vardır ve çizelge kiriş numarasına göre sıralanmıştır. Soldan ikinci sütunda kiriş pozitif ve negatif momentleri için elde edilen performanslar üst/alt olarak gösterilmiştir. Çizelgenin "FEMA356'ya göre performans" bölümünde, soldan üçüncü sütun donatı ile ilgili oranı, soldan dördüncü sütun kesme dayanımı ile ilgili oranı, soldan beşinci sütun ise "m-katsayısı" olarak ifade edilen kapasite oranlarını göstermektedir. Soldan 6., 7., 8. sütunlar söz konusu donatı oranı, sargı durumu (sargı VAR olarak kabul edilmiştir) ve kesme oranına bağlı olarak FEMA356 çizelgelerinden alınan HK, CG ve GÖ performans kriterleridir. Soldan 9, 10, 11 ve 12. sütunlarda FEMA356 kriterlerine göre kıyaslanmış eleman pozitif ve negatif (alt/üst) performansları mevcuttur. Eleman uç performansı sütununda ise, söz konusu kirişin sol ya da sağ ucundaki performansı mevcuttur. Çizelgenin "Esnek Performans Modeline göre performans" bölümünde, donatı oranı, sargı durumu (sargı VAR olarak alınmıştır) ve kesme oranına bağlı olarak MATLAB Simulink platformundaki esnek performans

modelinden alınan HK, CG ve GÖ performans ağırlık değerleri verilmiştir. Esnek performans sütununda ise durulaştırılmış performans mevcuttur.

Çizelge A.3 ve Çizelge B.3'te kiriş sırasına göre ve performans sırasına göre FEMA356 ve Esnek Performans Model performansları karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge A.3'ün özeti Çizelge 4.34'te verilmiştir.

Çizelge 4.34: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kirişler.

Kiriş adı	FEMA356'ya göre eleman performansı	Esnek performans modeline göre eleman performansı	Kattaki eleman adedi
K105	G	GÖ	4
K118	GÖ	CG	2
K121	GÖ	CG	2
K201	G	GÖ	4
K202	GÖ	CG	4
K206	G	GÖ	4
K224	GÖ	CG	1
K225	G	GÖ	2
K306	G	GÖ	4
K318	GÖ	CG	2
K319	GÖ	CG	4
K321	GÖ	CG	2
K324	GÖ	CG	1
K401	GÖ	CG	4
K405	G	GÖ	4
K418	GÖ	CG	2
K419	GÖ	CG	4
K421	GÖ	CG	2
K422	G	GÖ	4
K424	GÖ	CG	1
K425	G	GÖ	2
K501	CG	HK	4
K505	CG	HK	4
K506	GÖ	CG	4
K519	GÖ	CG	4
K525	G	GÖ	2
K619	GÖ	CG	4
K622	CG	HK	4
K625	G	GÖ	2
Tüm binada farklı performans gösteren toplam kiriş adedi			87

Çizelge 4.34'te verilen kirişlerin hepsini değerlendirmek belki zaman harcanacaktır ancak, K201 kirişi noktasal bir değerlendirme için esnek performansı gösteren iyi

örneklerden biridir. Çizelge C.1 kolon performans çizelgesidir ve kiriş çizelgelerine benzer fakat üçüncü sütunda donatı oranı yerine eksenel kuvvet oranı verilmiştir. Çizelge C.2’de ise, kolon ve performans sırasına göre; FEMA356 ve Esnek Performans Modeli’nden elde edilen performanslar karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Çizelge C.2’nin özeti Çizelge 4.35’te verilmiştir.

Çizelge 4.35: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kolonlar.

Kolon adı	FEMA356’ya göre eleman performansı	Esnek performans modeline göre eleman performansı	Kattaki eleman adedi
S102	CG	HK	4
S103	GÖ	HK	2
S107	CG	HK	4
S108	GÖ	HK	2
S203	GÖ	CG	2
S303	GÖ	CG	2
S403	GÖ	CG	2
S407	CG	HK	4
S503	CG	HK	2
S603	CG	HK	2
S102	CG	HK	4
S103	GÖ	HK	2
S107	CG	HK	4
Tüm binada farklı performans gösteren toplam kolon adedi			26

Çizelge 4.36’da elde edilen farklılık oranları kesinlikle bir ölçüt olarak alınmamalıdır. Çünkü her binada aynı mertebede farklılık görülmeyebilir. Esnek performans modeli ile binadaki elemanların ne kadarında farklı sonuçlar bulunabileceğini kestirmek güçtür. Bu örnek için kirişlerde bulunan performanslar arasındaki farklılık %35, kolonlarda bulunan performanslar arasındaki farklılık ise %16 olmuştur.

Çizelge 4.36: Tasarım depremi için esnek performans modeli kullanılarak farklı sonuçların elde edildiği kiriş ve kolonların tüm kiriş ve kolon sayılarına oranı.

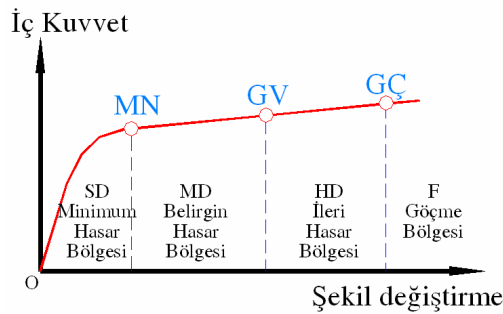
	Binadaki toplam eleman sayısı	Tasarım depremi için performansı farklı bulunan eleman sayısı	Esnek performans modeli ile farklı sonuçlar bulma oranı
Kiriş	248	87	%35
Kolon	160	26	%16

4.4 TDY2007 Bina Performansı için Esnek Performans Modeli

Deprem Yönetmeliği 2007 (TDY2007) için bina performans belirleme ölçütleri FEMA kriterlerinden biraz farklıdır. Daha önce de bahsedildiği gibi FEMA ve ATC belgelerindeki yaklaşım, en düşük performanslı elemanın tüm yapı performansını belirlemesi şeklindedir. Bu husus FEMA356 Bölüm 2.4.4.1’de: “*Birincil ve ikincil bileşenler (yapı elemanları) tespit edilmiş performans seviyesinin kuvvet ve şekildeğiştirme düzeyindeki kabul kriterlerini sağlamalıdır (FEMA356, 2000)*” şeklinde ifade edilmiştir. Bu kesinlik ifade eden kural TDY2007’de biraz esnetilmeye çalışılmış, fakat yine de yeterli esneklik düzeyinde olduğunu belirtmek güçtür. Biraz açıklamak gerekirse, TDY2007’de yapı performansları kat düzeyinde belirlenir ve istenilen performans seviyesini aşan yapı elemanlarının, performansı bulunması hedeflenen yapı katındaki diğer elemanlara oranı üzerinden bir değerlendirme yapılır. Bu oran ifadesi çok önemlidir, zira bina performansının esnekleştirilmesini amaçlayarak 2001 yılında çalışılmaya başlanan bu tez çalışmasının konusunun uygunluğu 2007 yılında yürürlüğe giren TDY2007 ile doğrulanmış olmaktadır.

4.4.1 TDY2007’de Bina Performans Değerlendirmesi

2007 yılında yürürlüğe giren yönetmeliğin yedinci bölümü, mevcut binaların değerlendirilmesi ve güçlendirilmesi için gerekli bilgi ve yöntemleri içermektedir. Bina performans değerlendirme işlemi tezin ikinci bölümünde ayrıntılı bir şekilde anlatılmıştır. Burada, TDY2007’de verilen Bina Deprem Performansının Belirlenmesi konusundan bahsedilecektir.



Şekil 4.37: Hasar sınır ve bölgelerini gösteren temsili iç kuvvet – şekildeğiştirme eğrisi.

Yönetmelikte belirtilen hesap yöntemlerinden biri ile performansları belirlenen yapı elemanlarının kat düzeyinde MN, GV ve GÇ performans seviyelerini (Bkz. Şekil 4.37) aşma olasılıkları cinsinden bina performansını belirleme ölçütleri aşağıda TDY2007 bölüm 7.7.2 - 7.7.5'ten alıntı olarak aşağıda verilmiştir:

7.7.2. Hemen Kullanım Performans Düzeyi

*Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %10'u Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının **tümü** Minimum Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile bu durumdaki binaların Hemen Kullanım Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir.*

7.7.3. Can Güvenliği Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Can Güvenliği Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %30'u ve kolonların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadari İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.

(b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların, her bir katta kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki kolonların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm kolonların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.

*(c) Diğer taşıyıcı elemanların **tümü** Minimum Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).*

7.7.4. Göçme Öncesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçme Öncesi Performans Düzeyi'nde olduğu kabul edilir:

(a) Herhangi bir katta, uygulanan her bir deprem doğrultusu için yapılan hesap sonucunda, ikincil (yatay yük taşıyıcı sisteminde yer almayan) kirişler hariç olmak üzere, kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.

*(b) Diğer taşıyıcı elemanların **tümü** Minimum Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Minimum Hasar Sınırı aşılmış olan kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm kolonlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının*

%30'u aşmaması gerekir (Doğrusal elastik yöntemle hesapta, alt ve üst düğüm noktalarının ikisinde birden Denk.(3.3)'ün sağlandığı kolonlar bu hesaba dâhil edilmezler).
(c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

7.7.5. Göçme Durumu

Bina Göçme Öncesi Performans Düzeyi'ni sağlayamıyorsa Göçme Durumu'ndadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

Yönetmelik 7.7.2 - 7.7.5 maddelerinde açıkça görüldüğü gibi, %10, %20, %30, %40 şeklindeki oran ifadeleri ile performans kavramına görecelilik, bağıllık, bulanıklık bir başka deyişle de esneklik getirilmiştir. Elbette ki bu esnekleştirme umut vericidir, ancak yeterli değildir, çünkü bir yöntemle bağlı değildir. Olayın bilgisayar diliyle daha hızlı işlem yapabilir olması ve sistemli hale gelebilmesi için, olasılık hesaplarından farklı bir yöntem olan bulanık mantığın performans esnekleştirmesinde kullanılması uygun olabilecektir.

Yönetmelik 7.7.2-7.7.5 maddelerinin daha kolay anlaşılır olabilmesi için, performans durumlarını bir çizelge üzerinde göstermek daha uygun olacaktır. Çizelge 4.37 Kuran ve diğ., (2007) çalışmasından alınmıştır:

Çizelge 4.37: TDY2007'de eleman hasar durumuna göre bina performansı (Kural 1).

Eleman hasarı ↓	Bina Performansı							
	SROC				PB			
	MN	GV	GÇ	G	MN	GV	GÇ	G
SD	%100	%80	%100		%90	%70	%80	
MD	%0				%10			
HD	%0				%0			
F	%0	%0	%0	>%0	%0	%0	%20	>%20

SROC: Bir kat içindeki kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranı

PB: Kirişlerin performansı

Eleman hasarı olan SD, MD, HD ve F için Şekil 4.37'ye bakınız.

Çizelge 4.38: TDY2007'de eleman hasar durumuna göre bina performansı (Kural 2).

Eleman hasarı ↓	Bina Performansı							
	SROC				PB			
	MN	GV	GÇ	G	MN	GV	GÇ	G
SD		%70	%70			%70	%100	
MD		%30						
HD		%0				%30		
F		%0	%0			%0	%0	

Çizelge 4.37 genel kuralları, Çizelge 4.38 yönetmelik 7.7.3 ve 7.7.4 maddelerindeki c. ve b. bentlerini ifade eder. Dolayısıyla, Kuran ve diğ. (2007) çalışmasındaki eksik bazı yönetmelik kuralları bu çalışmada göz önüne alınmıştır.

Çizelgeler yorumlanırken kurallar şöyle düşünülmelidir. MN sütunundaki SROC ve PB değerleri MN kurallarını birlikte verir. GV sütunundaki SROC ve PB değerleri GV kurallarını birlikte verir. GC sütunundaki SROC ve PB değerleri GC kurallarını birlikte verir. G sütunundaki SROC ve PB değerleri G kurallarını birlikte verir. Örneğin:

EĞER SROC için $SD=\%100$ VE PB için $MD=\%10$ İSE Performans=MN 'dir.

Bu değişkenler bir sonraki başlıkta daha basit bir isimlendirmeye daha sistematik olarak verilecektir.

4.4.2 TDY2007'ye Göre Performans Karar Değişkenleri

TDY2007'deki performans karar değişkenlerine atanan isimler girişler için: BSD, BMD, BHD, BF, BR1, BR2; kolonlar için: CSD, CMD, CHD, CF, CR1 olarak tanımlanmıştır. Bu değişkenler Şekil 4.38'de iç kuvvet-şekildeğiştirme eğrisi üzerinde gösterilmiştir.

CSD: Bir kat içindeki O-MN arasında hasarlı (minimum hasar bölgesinde) kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranını,

CMD: Bir kat içindeki MN-GV arasında hasarlı (belirgin hasar bölgesinde) kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranını,

CHD: Bir kat içindeki GV-GÇ arasında hasarlı (iler hasar bölgesinde) kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranını,

CF: Bir kat içindeki G'de hasarlı (göçme bölgesinde) kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranını,

CR1: Bir kat içindeki MN-GÇ arasında hasarlı (belirgin ve iler hasar bölgelerinde) kolonların o katın toplam kesme kuvvetine oranını,

BSD: Bir kat içindeki O-MN arasında hasarlı (minimum hasar bölgesindeki) girişlerin o kattaki toplam giriş adedine oranını,

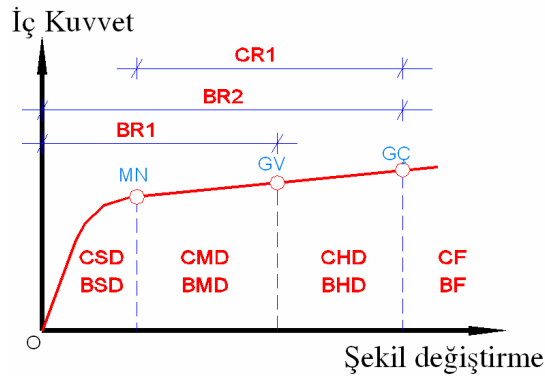
BMD: Bir kat içindeki MN-GV arasında hasarlı (belirgin hasar bölgesindeki) girişlerin o kattaki toplam giriş adedine oranını,

BHD: Bir kat içindeki GV-GÇ arasında hasarlı (ileri hasar bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranını,

BF: Bir kat içindeki G'de hasarlı (göçme bölgesindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranını,

BR1: Bir kat içindeki O-GV arasında hasarlı (minimum ve belirgin hasar bölgelerindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranını,

BR2: Bir kat içindeki O-GÇ arasında hasarlı (minimum, belirgin ve ileri hasar bölgelerindeki) kirişlerin o kattaki toplam kiriş adedine oranını göstermektedir.



Şekil 4.38: TDY2007 Performans karar değişkenleri.

Bu değişkenler vektör olarak aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

input11={BSD, BMD, BHD, BF, BR1, BR2, CSD, CMD, CHD, CF, CR1}

Burada değişkenlerin birbirine bağlı olduğu görülmektedir. İşlem kolaylığı açısından aralarındaki kurallar aşağıda verilmiştir:

$$BSD + BMD + BHD + BF = 100 \quad (4.1)$$

$$CSD + CMD + CHD + CF = 100 \quad (4.2)$$

$$BR1 = BSD + BMD \quad (4.3)$$

$$BR2 = BSD + BMD + BHD \quad (4.4)$$

$$CR1 = CMD + CHD \quad (4.5)$$

4.4.3 TDY2007 Esnek Performans Modelinin Bulanıklaştırılması, Kuralları ve Durulaştırılması

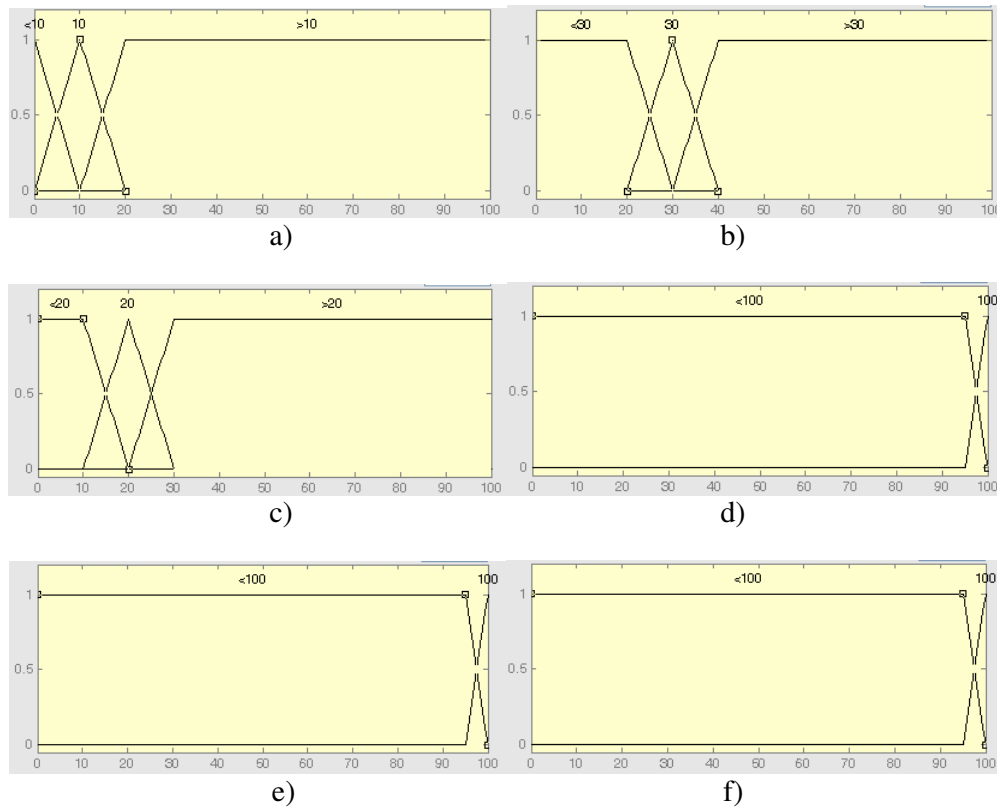
4.4.3.1 Bulanıklaştırma

input11={BSD, BMD, BHD, BF, BR1, BR2, CSD, CMD, CHD, CF, CR1}

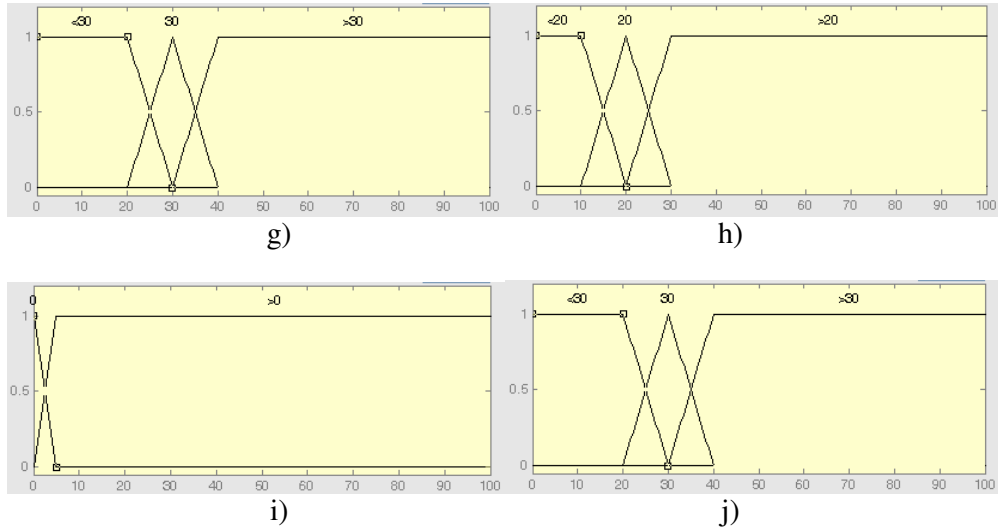
olarak verilen vektörde BSD değişkeni karar verme aşamasında sistem içinde kullanılmamakta, sadece BMD, BHD, BF, BR1, BR2 değişkenlerinin değerlerinin belirlenmesinde kullanılmaktadır. Dolayısıyla Matlab fuzzy toolbox'ta oluşturulan bulanık esnek performans sistemleri girdi vektörleri 10 bileşenli bir vektördür.

input10={BMD, BHD, BF, BR1, BR2, CSD, CMD, CHD, CF, CR1} 'dir.

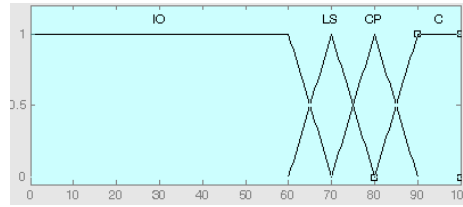
Bu vektörün elemanları için öngörülen bulanık kümeler ve alt kümeler aşağıda Şekil 4.39'da verilmiştir.



Şekil 4.39: TDY2007'ye göre performans karar değişkenleri a)BMD, b)BHD, c)BF, d) BR1, e) BR2; f) CSD, g) CMD, h) CHD, i) CF, j) CR1 bulanık girdi kümeleri.



Şekil 4.39 (devam): TDY2007’ye göre performans karar değişkenleri a)BMD, b)BHD, c)BF, d) BR1, e) BR2; f) CSD, g) CMD, h) CHD, i) CF, j) CR1 bulanık girdi kümeleri.



Şekil 4.40: TDY2007’ye göre performans çıktı kümesi.

4.4.3.2 Kural Takımları

İlerleyen bölüm başlıklarında görüleceği üzere, yukarıda kümeleri belirlenerek bulanıklaştırılan ve Matlab Fuzzy Toolbox’ta oluşturulan esnek sistemler kurallardaki ayrılık nedeniyle aynı sistem içerisinde açıklanamamaktadır. Bu nedenle dört ayrı esnek sistem, Çizelge 4.39’da verilen dört ayrı kural takımı ile Matlab Simulink platformunda birleştirilmiştir.

Çizelge 4.39: TDY2007 esnek performans sistemi için bulanık kural takımları.

1. bulanık kural takımı									
EĞER	BMD	=10	VE	CSD	=100	İSE	Per Lev	MN	
EĞER	BMD	>10	VEYA	CSD	<100	İSE	Per Lev	GV	
2. bulanık kural takımı									
EĞER	BHD	=30	VE	CHD	=20	GV			
EĞER	BHD	>30	VEYA	CHD	>20	GÇ			
EĞER	BHD	=30	VE	CHD	>20	GÇ			
EĞER	BHD	>30	VE	CHD	=20	GÇ			
EĞER	BHD	>30	DEĞİL	VE	BR1	<100	VE	CHD	>20
								DEĞİL	İSE
									Per Lev
									GV

Çizelge 4.39 (devam): TDY2007 esnek performans sistemi için bulanık kural takımları.

3. bulanık kural takımı											
EĞER	BF	=20	VE	CF	=0	İSE	Per Lev	GÇ			
EĞER	BF	>20	VEYA	CF	>0	İSE	Per Lev	G			
EĞER	BF	<20	VE	BR2	<100	VE	CF	=0	İSE	Per Lev	GÇ
4. bulanık kural takımı											
EĞER	BR1	=100	VE	CMD	=30	İSE	Per Lev	GV			
EĞER	BR1	=100	VE	CMD	>30	İSE	Per Lev	GÇ			
EĞER	BR2	=100	VE	CHD	>0	VE	CR1	>30	İSE	Per Lev	GÇ

4.4.3.3 Durulaştırma

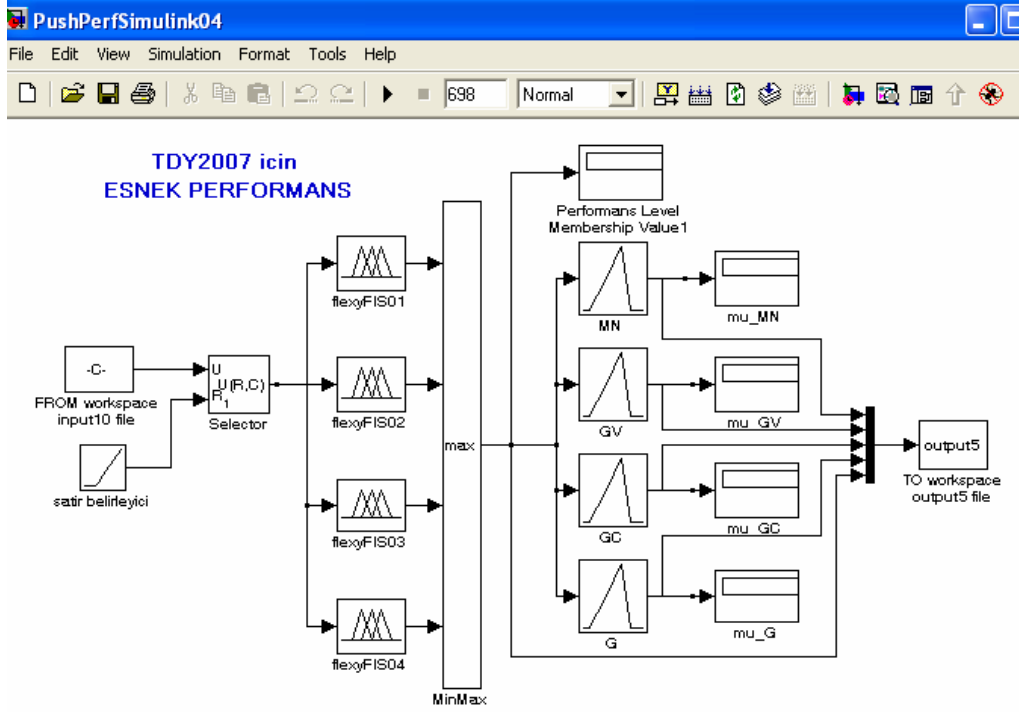
Daha önceki bölümlerde de ifade edildiği gibi, durulaştırma yöntemine karar verilmesinde herhangi bir yöntem yoktur. Mühendisin sistemi en iyi ifade edebileceğini düşündüğü yöntemi ataması ve mevcut verilerle sınayarak değerlendirmesi en uygun yöntemdir (Şen, 2004). Burada TDY2007'ye göre esnek performans model ve sistemleri için ağırlık merkezi yönteminin uygun olduğu yapılan çözümlerde görülmüştür.

4.4.4 MATLAB Simulink Platformunda Birleştirme

Yukarıdaki bölümlerde kümeleri, kuralları ve durulaştırma yöntemleri belirlenen TDY2007'ye göre esnek çıkarım sistemleri, MATLAB Fuzzy Toolbox ile modellenmiş ve bu sistemler MATLAB Simulink Platformunda Şekil 4.41'deki gibi birleştirilmiştir.

MATLAB Simulink platform çalışmalarında sistemin uygulanması ve sınanması çok önemlidir. Sunulan bu tezde kümeleri sınamak amacıyla aşağıdaki modelleri oluşturmak ve kümeleri sınamak uzun zaman almıştır.

Aşağıda verilen esnek modeller, MATLAB'i kullanan tasarım mühendisleri tarafından kolaylıkla kullanılabilir ve bunun sonucunda da TDY2007'ye göre olan eleman düzeyinde bina performans değerlendirmesi daha hızlı olarak yapılabilir.



Şekil 4.41: TDY2007’ye göre Esnek Performans Modeli Simulink platform görünümü.

4.4.5 TDY2007 için Esnek Performans Modelinin Sınanması

Bu bölümde TDY2007 için oluşturulmuş olan esnek performans modelinin sınanması anlatılmıştır. Sınama amacıyla kullanılan veriler uygun değerler için türetilmiştir. Tüm değişkenler [0-100] arasında değişim göstereceğinden ve tüm girdi verileri için sınır değerler belirli olduğundan, bu verilerin birbiri ile kombinasyonu sınama verilerini oluşturmuştur.

Örneğin; kolonların hasarının tamamının minimum hasar bölgesinde (CMD) olması ve kirişlerin en fazla %10’unun belirgin hasar bölgesinde (BMD) olması durumu için sınama verisi üretildiğinde, aşağıdaki (Şekil 4.42) gibi bir “input10” girdi matrisi ve bu matris sisteme uygulandığında da yine aşağıdaki (Şekil 4.42) gibi bir “output5” çıktı matrisi elde edilir.

$$input10 = \begin{bmatrix} BMD & BHD & BF & BR1 & BR2 & CSD & CMD & CHD & CF & CR1 \\ 0 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2.5 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 7.5 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 12.5 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 17.5 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 20 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 100 & 0 & 0 & 100 & 100 & 100 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}_{8 \times 10}$$

$$output5 = \begin{bmatrix} MN & GV & G\check{C} & G & uye\ degeri \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 60 \\ 0.75 & 0.25 & 0 & 0 & 63 \\ 0.25 & 0.75 & 0 & 0 & 67 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 70 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 70 \end{bmatrix}_{8 \times 5}$$

Şekil 4.42: Örnek “input10” ve “output5” matrisleri.

Yukarıdaki matrislerden net bir şekilde görüldüğü gibi, sınır değeri olan %10 aşılma değerinin %2.5 aşılması durumunda bulanık model binayı yine de MN yani hemen kullanım performans seviyesinde olarak kabul etmektedir. Yönetmelikler ile bulanık modeller arasındaki fark sadece bu sınır durumlarda söz konusudur. Diğer koşullarda iki yaklaşımın da aynı sonuçları vermesi gerekir.

Yukarıdaki örnek esas alınarak input10 olarak ifade edilen ve BMD, BHD, BF, BR1, BR2, CSD, CMD, CHD, CF, CR1 değişkenlerini içeren vektörün elemanları için çeşitli kombinasyonlar düşünülerek oluşturulan veriler yaklaşık 700 vektör yani 7000 adettir. Üretilen bu 7000 veri Matlab Simulink platformunda oluşturulmuş Esnek Performans Modeli’ne tatbik edilmiş ve yaklaşık 700 adet performans sonucu elde edilmiştir. Başka bir deyişle bu işlem, bir başka deyişle, 700 adet birbirinden farklı veri içeren bina katının performans değerlendirmesi demektir.

Söz konusu 700 adet sınama vektöründen, yönetmelik ile farklı sonuçlar veren sadece 81 vektör verisi Çizelge 4.40’da özet olarak verilmiştir.

Çizelge 4.40: TDY2007 Esnek Performans Modeli Veri Sınama Sonuçları.

BSD (%95-100)	BMD (%10)	BHD (%30)	BF (%20)	BR1 (%95-100)	BR2 (%95-100)	CSD (%95-100)	CMD (%30)	CHD (%20)	CF (%0-%5)	CR1 (%30)	Ömek no	Yönetmelik Performansı	MATLAB Model Perf.
87.5	12.5	0	0	100	100	100	0	0	0	0	5	LS	IO
97.5	2.5	0	0	100	100	99	0	0	0	0	10	LS	IO
92.5	7.5	0	0	100	100	99	0	0	0	0	11	LS	IO
90	10	0	0	100	100	99	0	0	0	0	12	LS	IO
87.5	12.5	0	0	100	100	99	0	0	0	0	13	LS	IO
67.5	0	32.5	0	67.5	100	100	0	0	0	0	38	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	90	0	10	0	10	47	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	87.5	0	12.5	0	12.5	56	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	82.5	0	17.5	0	17.5	65	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	80	0	20	0	20	74	CP	LS
80	0	20	0	80	100	77.5	0	22.5	0	22.5	79	CP	LS
77.5	0	22.5	0	77.5	100	77.5	0	22.5	0	22.5	80	CP	LS
72.5	0	27.5	0	72.5	100	77.5	0	22.5	0	22.5	81	CP	LS
70	0	30	0	70	100	77.5	0	22.5	0	22.5	82	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	77.5	0	22.5	0	22.5	83	CP	LS
67.5	0	32.5	0	67.5	100	0	100	0	0	100	119	CP	LS
100	0	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	220	CP	LS
99	1	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	221	CP	LS
96	4	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	222	CP	LS
95	5	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	223	CP	LS
0	100	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	224	CP	LS
0	100	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	270	CP	LS
1	99	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	271	CP	LS
4	96	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	272	CP	LS
5	95	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	273	CP	LS
90	10	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	274	CP	LS
100	0	0	0	100	100	67.5	32.5	0	0	32.5	275	CP	LS
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	100	0	0	0	0	299	C	CP
90	0	0	10	90	90	98.75	0	0	1.25	0	304	C	CP
87.5	0	0	12.5	87.5	87.5	98.75	0	0	1.25	0	305	C	CP
82.5	0	0	17.5	82.5	82.5	98.75	0	0	1.25	0	306	C	CP
80	0	0	20	80	80	98.75	0	0	1.25	0	307	C	CP
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	98.75	0	0	1.25	0	308	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	100	0	0	0	0	344	C	CP
0	90	0	10	90	90	98.75	0	0	1.25	0	349	C	CP
0	87.5	0	12.5	87.5	87.5	98.75	0	0	1.25	0	350	C	CP
0	82.5	0	17.5	82.5	82.5	98.75	0	0	1.25	0	351	C	CP
0	80	0	20	80	80	98.75	0	0	1.25	0	352	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	98.75	0	0	1.25	0	353	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	100	0	0	0	0	389	C	CP
0	0	90	10	0	90	98.75	0	0	1.25	0	394	C	CP
0	0	87.5	12.5	0	87.5	98.75	0	0	1.25	0	395	C	CP
0	0	82.5	17.5	0	82.5	98.75	0	0	1.25	0	396	C	CP
0	0	80	20	0	80	98.75	0	0	1.25	0	397	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	98.75	0	0	1.25	0	398	C	CP
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	0	100	0	0	100	434	C	CP
90	0	0	10	90	90	0	98.75	0	1.25	98.75	439	C	CP
87.5	0	0	12.5	87.5	87.5	0	98.75	0	1.25	98.75	440	C	CP
82.5	0	0	17.5	82.5	82.5	0	98.75	0	1.25	98.75	441	C	CP

Çizelge 4.40 (devam): TDY2007 Esnek Performans Modeli Veri Sınama Sonuçları.

BSD (95-100)	BMD (%10)	BHD (%30)	BF (%20)	BR1 (95-100)	BR2 (95-100)	CSD (95-100)	CMD (%30)	CHD (%20)	CF (%0-%5)	CR1 (%30)	Örnek no	Yönetmelik Performansı	MATLAB Model Perf.
80	0	0	20	80	80	0	98.75	0	1.25	98.75	442	C	CP
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	0	98.75	0	1.25	98.75	443	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	0	100	0	0	100	479	C	CP
0	90	0	10	90	90	0	98.75	0	1.25	98.75	484	C	CP
0	87.5	0	12.5	87.5	87.5	0	98.75	0	1.25	98.75	485	C	CP
0	82.5	0	17.5	82.5	82.5	0	98.75	0	1.25	98.75	486	C	CP
0	80	0	20	80	80	0	98.75	0	1.25	98.75	487	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	0	98.75	0	1.25	98.75	488	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	0	100	0	0	100	524	C	CP
0	0	90	10	0	90	0	98.75	0	1.25	98.75	529	C	CP
0	0	87.5	12.5	0	87.5	0	98.75	0	1.25	98.75	530	C	CP
0	0	82.5	17.5	0	82.5	0	98.75	0	1.25	98.75	531	C	CP
0	0	80	20	0	80	0	98.75	0	1.25	98.75	532	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	0	98.75	0	1.25	98.75	533	C	CP
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	0	0	100	0	100	569	C	CP
90	0	0	10	90	90	0	0	98.75	1.25	98.75	574	C	CP
87.5	0	0	12.5	87.5	87.5	0	0	98.75	1.25	98.75	575	C	CP
82.5	0	0	17.5	82.5	82.5	0	0	98.75	1.25	98.75	576	C	CP
80	0	0	20	80	80	0	0	98.75	1.25	98.75	577	C	CP
77.5	0	0	22.5	77.5	77.5	0	0	98.75	1.25	98.75	578	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	0	0	100	0	100	614	C	CP
0	90	0	10	90	90	0	0	98.75	1.25	98.75	619	C	CP
0	87.5	0	12.5	87.5	87.5	0	0	98.75	1.25	98.75	620	C	CP
0	82.5	0	17.5	82.5	82.5	0	0	98.75	1.25	98.75	621	C	CP
0	80	0	20	80	80	0	0	98.75	1.25	98.75	622	C	CP
0	77.5	0	22.5	77.5	77.5	0	0	98.75	1.25	98.75	623	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	0	0	100	0	100	659	C	CP
0	0	90	10	0	90	0	0	98.75	1.25	98.75	664	C	CP
0	0	87.5	12.5	0	87.5	0	0	98.75	1.25	98.75	665	C	CP
0	0	82.5	17.5	0	82.5	0	0	98.75	1.25	98.75	666	C	CP
0	0	80	20	0	80	0	0	98.75	1.25	98.75	667	C	CP
0	0	77.5	22.5	0	77.5	0	0	98.75	1.25	98.75	668	C	CP

4.4.6 Sınama Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Çizelge 4.40'ta input10={BMD, BHD, BF, BR1, BR2, CSD, CMD, CHD, CF, CR1} verilerinin haricinde BSD girdisi sütunu da bilgi amaçlı verilmiştir. Örnek No sütunu, örneğin 700 örnek takımı içerisindeki sırasını gösterir. Yönetmelik performansı sütunu ise, TDY2007'ye göre aynı veriler kullanılarak hangi performans elde edilir onu göstermektedir. Matlab Model perf. Sütunu ise TDY2007'ye göre Esnek Performans modelinin sonuçlarını göstermektedir. Çizelge 4.40'ta verilen veriler dışındaki bütün verilerde yönetmelik ile aynı sonuçlar elde edilmiştir. Çünkü

söz konusu 81 vektör verisi hariç bütün veriler sınır durumları göstermemektedir.
Bulanık sistemler sınır durumlarda önem kazanan, üstünlük gösteren sistemlerdir.

5 SONUÇLAR ve ÖNERİLER

5.1 Çalışmanın Uygulama Alanı ve Amacı

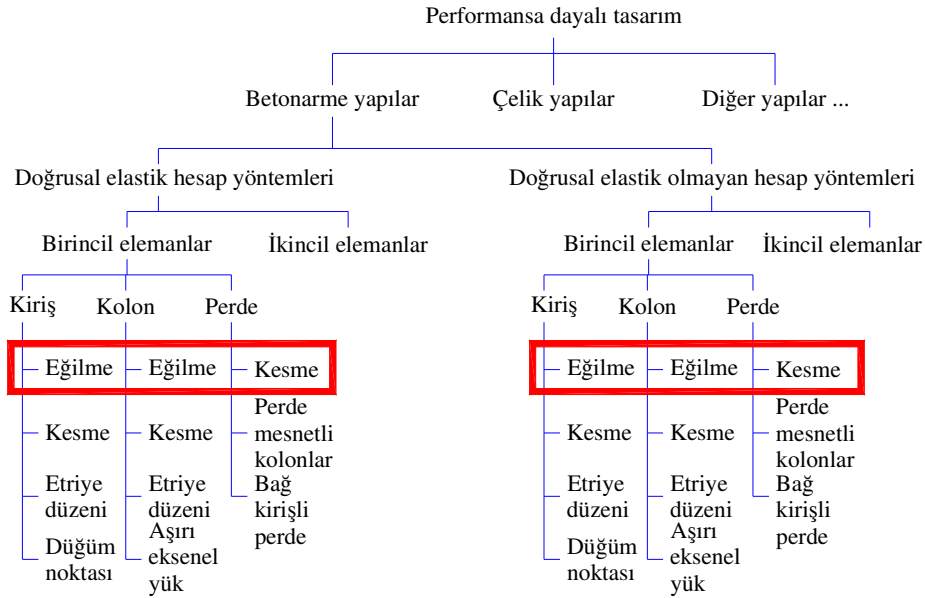
Yakın zamana kadar yapıların tasarımında, kuvvet esas alınarak boyutlandırma yapılmaktaydı. Son zamanlarda, gerek mevcut yapıların ve gerekse yeni inşa edilecek yapıların kuvvete dayalı tasarımı sonrasında, deprem performanslarının değerlendirilmesi de güncel hale gelmektedir. Yakın bir gelecekte, yeni tasarımlarda performans değerlendirmesinin zorunlu olabileceği tahmin edilebilir. Bu çerçevede TDY2007’de yapıların deprem performanslarının değerlendirilmesine ilişkin yeni bir bölüm verilmiştir. Performans değerlendirmesi için doğrusal elastik ve doğrusal elastik olmayan yöntemlerin kullanılabileceği belirtilmiş, hasar oranlarına bağlı olarak ilgili kriterler verilmiştir. Bu çalışmada mevcut ya da yeni inşa edilecek olan betonarme yapılarda performansa dayalı değerlendirme yapılmasında, performans seviyelerinin belirlenmesi konusu ele alınmıştır. Performansa dayalı tasarım yönteminde yapılan kabuller çerçevesinde, oldukça uzun ve karmaşık işlemler sonucunda performans seviyesi konusunda ulaşılan sonucun tek bir yapı elemanına bağlanmasının (FEMA356, 2000), ve o elemanın da çok katı, keskin sınırlarla verilen performans kriterleri ile değerlendirilmesinin uygun olduğu söylenemez. Örneğin bir binadaki bütün kolonların 0.020 radyan dönme değeri 0.021 gibi çok küçük bir değerle aşılması durumunda, bilgisayar yazılımı bu dönme değerinin $\theta > 0.02$ olması nedeniyle “Göçme” performans seviyesindedir, yani göçmüştür şeklinde değerlendirecektir. Ancak, analizi yapan yapı mühendisinin, tüm kolonlardaki dönme değerlerini tek tek ele alıp tecrübesini ve mühendislik öngörüsünü kullanarak değerlendirmeyi insan sezgisi ve bilgisi ile yapması ve bilgisayar yazılımının verdiği sonuçları tekrar yorumlaması durumunda sonuçlar gerçekçi olarak belirlenebilir. Bu nedenle performans kriterlerinin “Sınır Durumları” için esnekleştirme yapılmasının kaçınılmaz olduğu görülmektedir. Bu tez çalışması ile performans kriterleri bulanık mantık yaklaşımı ile esnekleştirilmiş ve “Esnek Performans” kavramı oluşturulmuş, ilk defa, mühendislik tecrübesi ve deneyimi bilgisayarın anlayacağı bir dile çevrilmiş

ve performans değerlendirmesinde esneklik sağlanmıştır. Çalışma kapsamında performans değerlendirilmesinde TDY2007 ve FEMA356’da ngrlen kriterler kullanılmıştır. Ancak, bu kriterlerin doğruluğunun değerlendirilmesi farklı bir çalışmanın konusudur.

5.2 Tezdeki Bölümler ve İçerikleri

Tezin giriş bölümünde mevcut betonarme binaların değerlendirilmesi konusu ve bulanık mantık konularına çok genel fakat kısa bir giriş yapılmış ve tezin amacı üzerinde durulmuştur. İkinici bölümde ise, betonarme yapılarda performansa dayalı tasarım konusunda FEMA356, FEMA440 ve ATC40 belgeleri ile TDY2007 yönetmeliğinde performans seviyeleri (düzeyleri) konusunda verilen hususlar ana hatlarıyla karşılaştırmalı olarak verilmiştir. Tezin bu bölümünde verilen değerlendirmeler çok önemli olup, uygulamada görev alan mühendisler için yapıların doğrusal elastik olmayan çözümlerine dayanarak yapılacak performans değerlendirmesi konusunda oldukça iyi bir rehber kaynak olacağı düşünülmektedir. İkinici bölümün sonunda 2.6.8 başlığı altında, betonarme bir viyadük ayağı için yapılan performans değerlendirmesi ile performansa dayalı tasarımlarda elemanların kriterlerle karşılaştırılmasının yetersizliği ve bu değerlendirmelerdeki mantık yanlışlığı açıkça gösterilmiş ve açıklanmıştır. Tez konusunun belirlenmesi ve sunulan bu çalışmanın ortaya çıkmasında en önemli sebep, performans değerlendirmesinde gerek TDY2007 yönetmeliği ve gerekse yukarıda belirtilen FEMA ve ATC belgelerinde bulunan eksikliklerin giderilmesi için yeni bir yaklaşımın sunulması ihtiyacıdır. nc bölümde bulanık mantığın terminolojisi, matematiği, işleyişi ve gösterimi konularında öz bilgi verilmiştir. Bu bölümün son sayfasındaki grafik çıkarım tekniği ile ilgili şema, Mamdani tipi çıkarımı gösteren oldukça açık, anlaşılır bir şemadır. Küme kavramlarının bilinmesi durumunda bulanık mantık işleyişi bu örnekle rahatlıkla kavranabilir. Kolay anlaşılabilir olan bu yöntem, tezin dördüncü bölümündeki esnekleştirme işlemi için kullanılmış, performans yönteminin bulanık küme teorisi ile esnekleştirilmesi, kısa adıyla “Esnek Performans Yöntemi” ayrıntılı bir şekilde verilmiştir. Burada şu husus tekrar hatırlatılmalıdır ki, bu çalışmada esnekleştirilen performans kriterleri (sayısal kabul kriterleri) sadece FEMA356’daki ve TDY2007’deki kriterlerin bir kısmını içermektedir. Dolayısıyla şekil 4.43’teki şemada koyu dikdörtgenler içindeki hesap

kısımları, bu tezde esnekleştirilen hesap kriterlerinin yapı ve hesap sistemleri içindeki yerini göstermektedir. Burada ele alınmayan kriterler, verilen kurallar çerçevesinde kolayca elde edilebilir. Hesapların dinamik veya statik yöntemlerle yapılması, kriterleri etkilememektedir. Dördüncü bölümün sonunda modelin hem türetilmiş verilerle ve hem de gerçek bina örnekleri ile sınındığı bölümler vardır. Sınama ve bina örneği bölümlerinin ayrıntılı incelenmesi, tez çalışmasının rahatlıkla kavranması için yeterli olacaktır. Çözümü yapılan bu örnekler, sunulan tez çalışmasındaki yaklaşımın doğruluğunu ve yapıların performans değerlendirmesinde bu tür yaklaşımlara ihtiyaç olduğunu açık bir biçimde göstermektedir. Ayrıca, çalışmanın içerisinde bir adet ankastre köprü ayağı için de, yüzlerce elemanlı binalar için de örnekler mevcuttur.



Şekil 4.43: Modellenen kriterlerin hesap sistemi içindeki yerini gösterir şema.

5.3 Sunulan Yöntemin İnşaat Mühendisliği Problemlerinin Çözümüne Katkısı

“Esnek Performans Yöntemi”nin inşaat mühendisliği problemlerinin çözümüne kazandıracağı önemli katkılar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Performansa dayalı tasarımda mühendisin yorum yaptığı hesap kısımlarının azaltılması mümkündür.

2. Bilgisayarın -insan kadar olamasa da- bazı yorum yapılabilen noktalarda mühendis adına yorum yapabileceği gösterilmiştir. Bilgisayarın yorum yapabilme yetisi daha önceden tecrübe ve deneyim ile kendisine verilmiş sınırlar çerçevesinde olmaktadır.
3. Esnek performans yöntemi ile bina performanslarının belirlenmesi daha doğru bir şekilde yapılabilmektedir.
4. Bir tek yapı elemanında performans seviyesi yetersizliği sebebiyle tüm yapının cezalandırılması gerçekçi olmayıp, büyük maliyetlere ve sıkıntılara yol açmaktadır. Böylece “yapının güçlendirilmesi” kararı önlenerek ekonomi sağlanması mümkündür.
5. Mühendisin daha az zaman ve dikkat harcayarak sonuca ulaşması, yapı işletmesinde zamandan ve yetişmiş iş gücünden kazanç anlamına da gelmektedir. Bu husus “Esnek Performans Yöntemi”nin kullanılması durumunda ekonomik olarak kazanç sağlanabileceğini göstermektedir.

5.4 Bu Çalışmanın Bir Basamak Olabileceği Çalışmalar

Esnek Performans Yöntemi kullanılarak veya esas alınarak aşağıda belirtilen çalışmalar yapılabilir. Bunlar:

1. Betonarme yapılardan başka, çelik, ahşap ve benzeri malzemeden inşa edilmiş yapıların taşıyıcı sistemleri; ikincil yapı elemanları; Şekil 4.43’te verilen hesap şemasındaki yapı sistemleri ve yapı elemanlarının, kesme kuvveti ve burulma momenti etkisinde ya da burkulma ve benzeri mukavemet halleri ve stabilite problemleri durumunda, sunulan esnek modelleme yaklaşımı tasarım için de geliştirilerek kullanılabilir.
2. Üçgen küme ayak açıklıklarının, yani küme kesişimlerinin, daha gerçekçi olarak tespit edilmesi (bu işlem için c-ortalama kümelere ayırma yöntemi uygun olabilir) önerilir.
3. Eksik veri ile sonuçların değerlendirilmesi işlemi, kabul edilebilir bir yaklaşımla gerçekleştirilebilir

4. Bilgisayar ortamında performans değerlendirmesinde işlem hızının arttığı gösterilebilir.
5. Yapay sinir ağı ve genetik algoritma gibi yapay zekâ sistemleri kullanılarak, esnek performans modeli hibrid sistem haline getirilebilir ve bu sayede kendi kendini eğitebilen bir sistem haline alabilir.
6. Esnek performans modeli, bina performans hesaplarında kullanılan inşaat mühendisliği yazılımlarına dâhil edilerek, yazılımların daha doğru karar vermesi sağlanabilir.

KAYNAKLAR

- AASHTO**, 2002. Standard Design Specifications for Highway Bridges, *American Association of State Highway and Transportation Officials*, Washington.
- ACI 318-02, 318R-02**, 2002. Building Code Requirements for Reinforced Concrete and Commentary, *American Concrete Institute*, Detroit.
- Ahlawat, A. S., Ramaswamy, A.**, 2001. Multiobjective optimal structural vibration control using fuzzy logic control system, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 127, 11, 1330-1337.
- Ahlawat, A. S., Ramaswamy, A.**, 2004. Multiobjective optimal fuzzy logic control system for response control of wind-excited tall buildings, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 130, 4, 524-530.
- Ali, M. A.**, 1998. Utilizing fuzzy logic for the seismic assessment of bridge piers, *11th European Conference on Earthquake Engineering*, Balkema, Rotterdam.
- Alli, H., Yakut, O.** 2005. Fuzzy sliding mode control structures, *Engineering Structures*, 27, 277-284.
- FEMA356**, 2000. *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, Federal Emergency Management Agency.
- ATC40**, 1996. *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings Volume1-2*, Seismic Safety Commission, Vol.1 No:SSC 96-01.
- ATC58**, 2002. *Development of Performance-based Seismic Design Guidelines, Phase 1-Project initiation*, Federal Emergency Management Agency.
- FEMA440**, 2004. *Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures*, Federal Emergency Management Agency.
- Arslan, Y.**, 2009. Çok katlı betonarme bir binanın deprem performansının doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler kullanılarak belirlenmesi ve karşılaştırılması, *Yüksek Lisans Tezi*, İTÜ, İstanbul.
- Aydinoglu, M. N.**, 2003. An incremental response spectrum analysis procedure based on inelastic spectral displacements for multi-mode seismic performance Evaluation. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1: 3-36.
- Bayındırlık ve İskan Bakanlığı**, 2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik, (TDY2007).

- FEMA273**, 1997. *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitations of buildings*, Federal Emergency Management Agency.
- CALTRANS**, 2004. *Seismic Design Criteria Ver. 1.3*, California Department of Transportation, Sacramento, Calif.
- Canberi, O. Kuzucu, A.**, 2005. Bulanık yapay sinir ağıyla model referans robot denetimi, *İTÜ Dergisi*, Cilt:4 Sayı: 1; 83-94.
- Celep, Z.**, 2007. *Betonarme taşıyıcı sistemlerde doğrusal olmayan davranış ve çözümleme*. Beta dağıtım.
- Chao, R.J., Ayyub, B.M.**, 1995. Fuzzy-based analysis of structures, *Third Int. Symp. on Uncertainty Modeling and Analysis and Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society (ISUMA-NAFIPS)*, IEEE Computer Society Press, 355–360
- Chopra, A. K., Goel, R. K.**, 2001. A Modal pushover analysis procedure for estimating seismic demands for buildings, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 561-582.
- Cristea, G.**, 2003. Fuzzy dynamic analysis of single degree of freedom nonlinear systems, *Computers&Structures*, 63, 6, 1101-1111.
- Euripides, S. M., Georgiou, N. D.**, 2003. Fuzzy sets in seismic inelastic analysis and design of reinforced concrete frames, *Advanced in Engineering Software*, 34, 589-599.
- Ersoy, U., Orakçal, K.**, 2007. Betonarmede malzeme kesit ve eleman davranışı seminer notları, *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*.
- Ersoy, U., Orakçal, K.**, 2007. Deprem için itme analizi seminer notları, *İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi*.
- FEMA450**, 2003. *NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings and Other Structures*, Building Seismic Safety Council National Institute of Building Sciences, Washington.
- Ganzerli, S., Pantelides, C. P., Reaveley, L. D.** 2000. Performance-based design using structural optimization, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 29, 1677-1690.
- Ghobarah, A.** 2001. Performance-based design in earthquake engineering: state of development, *Engineering Structures*, 23, 878-884.
- Güçlü, R.**, 2003. Fuzzy logic control of vibrations of analytical multi-degree of freedom structural systems, *Turkish Journal of Engineering and Environmental Science.*, 27, 157-167.
- Hamburger, R. O., Moehle, J. P.**, 1999. State of performance based engineering in the United States, <http://www.eerc.berkeley.edu/lessons/general.html>

- Hellendoorn, H., Driankov, D., Reinfrank M.,** 1993. An introduction to fuzzy control, *John Springer*, New York.
- Hong, N. K., Hong, S., Chang, S.** 2003. Computer-supported evaluation for seismic performance of existing buildings, *Advances in Engineering Software*, 34, 87-101.
- Hines, J.W.,** 1997. *MATLAB Supplement to Fuzzy and Neural Approaches in Engineering*, John Wiley&Sons Inc., New York.
- IEC 1131-7.,** 1997. Fuzzy controll programming, *Technical Committee No:65*, International Electrotechnical Commission (IEC)
- Jung, C. Y., Pulmano V. A.,** 1996. Improved fuzzy linear programming model for structure designs, *Computers&Structures*, 58, 3, 471-477.
- Karr, C. L., Gentry E. J.,** 1993. Fuzzy control of pH using genetic algorithms, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 1, 1, 46-53.
- Koo, T. J.,** 2001. Stable model reference adaptive fuzzy control of a class of nonlinear systems, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 9, 4, 624-636.
- Kosko, B.,** 1998. Global stability of generalized additive fuzzy systems, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 28, 3, 441-452.
- Kuran, F., Demir, C., Koroglu, O., Kocaman, C., İlki, A.,** 2007. Seismic safety analysis of an existing 1502 TYPE disaster building using new version of Turkish Seismic Design Code, *ECCOMAS Thematic Conference on Computational Methods in Structural Dynamics and Earthquake Engineering*, Rethymno, Crete Greece.
- Lee, C. C.,** 1990. Fuzzy logic in control systems: Fuzzy logic controller, Part II, *IEEE Transactions On Systems Man and cybernetics*, 20, 2, 419-435.
- Lin, C. T. ve Lee, C. S. G.,** 1996. Neural fuzzysystems: A neural-fuzzy synergism to intelligent systems. *Englewood Cliffs*, NJ: Prentice-Hall.
- Mistakidis, E. S., Georgiou D. N.,** 2003. Fuzzy sets inseismic inelastic analysis and design of reinforced concrete frames, *Advances in Engineering Software*, 34, 589-599.
- Muhanna R., Mullen R. L.,** 1998. Formulation of Fuzzy Finite Element Methods for Mechanic Problems, Special Issue Microcomputers in Civil Engineering on Fuzzy Modelling in Civil Engineering.
- Murlidharan, T. L.,** 1999. Fuzzy behaviour of beams on winkler foundation, *Journal of Engineering Mechanics*, 117, 9, 1953-1972.
- Priestley, M. J. N., Seible, F., Calvi, G. M.,** 1996. *Seismic Design and Retrofit of Bridges*, John Wiley&Sons, Inc, New York.

- Rajasekaran, S., Febin, M. F., Ramasamy, J. V.,** 1996. Artificial fuzzy neural networks in civil engineering, *Computers&Structures*, 61, 2, 291-302.
- Reinhorn. A.,** 1997. Inelastic techniques in seismic evaluations, *Seismic Design Methodologies for the Next Generation of Codes*, Fajfar, P., and Krawinkler, H., eds., Bled, Slovenia.
- Ross, T. J.,** 2004. *Fuzzy Logic with Engineering Applications*, John Wiley&Sons, Inc.
- Spooner, J. T. ve Passino, K. M.,** 1996. Stable adaptive control using fuzzy systems and neural networks, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4, 339-359.
- Şen, Z.,** 2004. *Bulanık (Fuzzy) Mantık ve Modelleme İlkeleri*, Su Vakfı Yayınları.
- Şen, Z., Karaosmanoğlu, F., Öztopal, A.,** 2001. *Mühendislikte modern yöntemler sempozyumu Bildiri Kitabı*, İTÜ BUMAT Kulübü.
- Url-1** < <http://world.honda.com/ASIMO>>, alındığı tarih 08.04.2009.
- Url-2** < http://tr.wikipedia.org/wiki/Seyyar_sat%C4%B1c%C4%B1_problemi>, alındığı tarih 08.04.2009.
- Url-3** < <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=00144509>>, alındığı tarih 22.04.2009.
- Url-4** < http://en.wikipedia.org/wiki/De_Morgan%27s_laws >, alındığı tarih 27.08.2009.
- Wang, A., Lee, C.,** 2002. Fuzzy sliding mode control for a building structure based on genetic algorithms, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 31, 4, 881-895.
- Yang, Y., Soh, C. K.,** 2000. Fuzzy logic integrated genetic programming and design, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 14, 4, 249-254.
- Zadeh, L. A.,** 1965. Fuzzy sets, *Information and Control*, 8, 338 – 353
- Zadeh, L. A.,** 1972. A rationale for fuzzy control, *J. Dyn. Syst. Meas. Control Trans. ASME*, 94, 3 –4
- Zadeh, L. A.,** 1988. Fuzzy logic, *IEEE computers*, 21, 4, 83 – 93
- Zadeh, L. A.,** 1994. Soft computing and fuzzy, *IEEE Software*, 11, 6, 48 - 56

EKLER

EK A: Tasarım depremi için örnek bina kiriş performansları

Çizelge A.1: Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SOL UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K101	Üst	0.07	0.42	2.64	2	3	4		CG		GÖ	0.39	0.61	0.00	0.00	0.16	0.26	GÖ	
	Alt	-0.07	0.42	3.57	2	3	4			GÖ		0.00	0.44	0.56	0.00	0.26			
K102	Üst	0.08	0.35	2.41	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.08	0.35	2.76	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K105	Üst	0.16	0.38	2.50	2	3	4		CG		G	0.50	0.50	0.00	0.00	0.15	0.34	GÖ	
	Alt	-0.16	0.38	4.40	2	3	4			G		0.00	0.00	0.55	0.45	0.34			
K106	Üst	0.03	0.50	2.60	2	3	4		CG		CG	0.42	0.58	0.00	0.00	0.16	0.16	CG	
	Alt	-0.03	0.50	2.61	2	3	4		CG			0.41	0.59	0.00	0.00	0.16			
K118	Üst	0.04	0.73	2.77	2	3	4		CG		GÖ	0.27	0.73	0.00	0.00	0.17	0.22	CG	
	Alt	-0.04	0.73	3.14	2	3	4			GÖ		0.00	0.82	0.18	0.00	0.22			
K119	Üst	0.04	0.69	3.20	2	3	4			GÖ	GÖ	0.00	0.76	0.24	0.00	0.22	0.24	CG	
	Alt	-0.04	0.69	3.43	2	3	4			GÖ		0.00	0.56	0.44	0.00	0.24			
K121	Üst	0.04	0.77	2.98	2	3	4		CG		GÖ	0.03	0.97	0.00	0.00	0.20	0.24	CG	
	Alt	-0.04	0.77	3.35	2	3	4			GÖ		0.00	0.62	0.38	0.00	0.24			
K122	Üst	0.10	0.54	2.71	2	3	4		CG		GÖ	0.33	0.67	0.00	0.00	0.17	0.26	GÖ	
	Alt	-0.10	0.54	3.57	2	3	4			GÖ		0.00	0.44	0.56	0.00	0.26			
K124	Üst	0.04	0.58	2.62	2	3	4		CG		CG	0.40	0.60	0.00	0.00	0.16	0.19	CG	
	Alt	-0.04	0.58	2.94	2	3	4		CG			0.08	0.92	0.00	0.00	0.19			
K125	Üst	0.05	0.65	3.59	2	3	4			GÖ	GÖ	0.00	0.43	0.57	0.00	0.26	0.29	GÖ	
	Alt	-0.05	0.65	3.96	2	3	4			GÖ		0.00	0.06	0.94	0.00	0.29			
K201	Üst	0.07	0.50	3.02	2	3	4			GÖ	G	0.00	0.97	0.03	0.00	0.20	0.31	GÖ	
	Alt	-0.07	0.50	4.07	2	3	4				G	0.00	0.00	0.90	0.10	0.31			
K202	Üst	0.08	0.42	2.71	2	3	4		CG		GÖ	0.33	0.67	0.00	0.00	0.17	0.22	CG	
	Alt	-0.08	0.42	3.12	2	3	4			GÖ		0.00	0.83	0.17	0.00	0.22			

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

Kiriş SOL UÇ																			
FEMA356'ya göre performans												Esnek Performans Modeline göre performans							
(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA m kriteri				Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans	
			HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G									
K205	Üst	0.16	0.46	2.76	2	3	4	CG			G	0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.39	G	
	Alt	-0.16	0.46	4.93	2	3	4				G	0.00	0.00	0.10	0.90	0.39			
K206	Üst	0.03	0.58	2.94	2	3	4	CG			CG	0.08	0.92	0.00	0.00	0.19	0.20	CG	
	Alt	-0.03	0.58	2.99	2	3	4	CG				0.01	0.99	0.00	0.00	0.20			
K218	Üst	0.04	0.85	3.15	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.81	0.19	0.00	0.22	0.26	GÖ
	Alt	-0.04	0.85	3.58	2	3	4			GÖ			0.00	0.44	0.56	0.00	0.26		
K219	Üst	0.04	0.69	3.32	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.65	0.35	0.00	0.24	0.25	GÖ
	Alt	-0.04	0.69	3.54	2	3	4			GÖ			0.00	0.47	0.53	0.00	0.25		
K221	Üst	0.04	0.85	3.28	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.68	0.32	0.00	0.23	0.27	GÖ
	Alt	-0.04	0.85	3.71	2	3	4			GÖ			0.00	0.33	0.67	0.00	0.27		
K222	Üst	0.10	0.58	2.92	2	3	4	CG				GÖ	0.11	0.89	0.00	0.00	0.19	0.28	GÖ
	Alt	-0.10	0.58	3.81	2	3	4			GÖ			0.00	0.23	0.77	0.00	0.28		
K224	Üst	0.04	0.77	3.00	2	3	4	CG				GÖ	0.00	1.00	0.00	0.00	0.20	0.24	CG
	Alt	-0.04	0.77	3.38	2	3	4			GÖ			0.00	0.60	0.40	0.00	0.24		
K225	Üst	0.05	0.69	3.71	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.33	0.67	0.00	0.27	0.31	GÖ
	Alt	-0.05	0.69	4.09	2	3	4				G		0.00	0.00	0.88	0.12	0.31		
K301	Üst	0.07	0.46	2.84	2	3	4	CG				GÖ	0.20	0.80	0.00	0.00	0.18	0.28	GÖ
	Alt	-0.07	0.46	3.82	2	3	4			GÖ			0.00	0.22	0.78	0.00	0.28		
K302	Üst	0.08	0.38	2.61	2	3	4	CG				CG	0.44	0.56	0.00	0.00	0.16	0.20	CG
	Alt	-0.08	0.38	2.99	2	3	4	CG					0.02	0.98	0.00	0.00	0.20		
K305	Üst	0.16	0.42	2.59	2	3	4	CG				G	0.43	0.57	0.00	0.00	0.16	0.36	G
	Alt	-0.16	0.42	4.65	2	3	4				G		0.00	0.00	0.38	0.62	0.36		
K306	Üst	0.03	0.54	2.80	2	3	4	CG				CG	0.24	0.76	0.00	0.00	0.18	0.18	CG
	Alt	-0.03	0.54	2.85	2	3	4	CG					0.19	0.81	0.00	0.00	0.18		
K318	Üst	0.04	0.77	2.96	2	3	4	CG				GÖ	0.06	0.94	0.00	0.00	0.19	0.24	CG

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SOL UÇ																		
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G									
K319	Alt	-0.04	0.77	3.36	2	3	4			GÖ				0.00	0.61	0.39	0.00	0.24		
	Üst	0.04	0.65	3.14	2	3	4			GÖ		GÖ		0.00	0.82	0.18	0.00	0.22	0.24	CG
K321	Alt	-0.04	0.65	3.34	2	3	4			GÖ				0.00	0.63	0.37	0.00	0.24		
	Üst	0.04	0.81	3.00	2	3	4			GÖ		GÖ		0.00	1.00	0.00	0.00	0.20	0.24	CG
K322	Alt	-0.04	0.81	3.40	2	3	4			GÖ				0.00	0.58	0.42	0.00	0.24		
	Üst	0.10	0.54	2.78	2	3	4		CG			GÖ		0.26	0.74	0.00	0.00	0.17	0.26	GÖ
K324	Alt	-0.10	0.54	3.60	2	3	4			GÖ				0.00	0.42	0.58	0.00	0.26		
	Üst	0.04	0.73	2.84	2	3	4		CG			GÖ		0.20	0.80	0.00	0.00	0.18	0.22	CG
K325	Alt	-0.04	0.73	3.19	2	3	4			GÖ				0.00	0.77	0.23	0.00	0.22		
	Üst	0.05	0.65	3.47	2	3	4			GÖ		GÖ		0.00	0.52	0.48	0.00	0.25	0.28	GÖ
K401	Alt	-0.05	0.65	3.81	2	3	4			GÖ				0.00	0.23	0.77	0.00	0.28		
	Üst	0.07	0.42	2.52	2	3	4		CG			GÖ		0.48	0.52	0.00	0.00	0.15	0.24	CG
K402	Alt	-0.07	0.42	3.37	2	3	4			GÖ				0.00	0.61	0.39	0.00	0.24		
	Üst	0.03	0.35	2.72	3	6	7	HK				HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
K405	Alt	-0.03	0.35	2.69	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
	Üst	0.13	0.38	2.60	2	3	4		CG			G		0.45	0.55	0.00	0.00	0.16	0.32	GÖ
K406	Alt	-0.13	0.38	4.13	2	3	4				G			0.00	0.00	0.79	0.21	0.32		
	Üst	-0.03	0.50	2.95	2	3	4		CG			CG		0.07	0.93	0.00	0.00	0.19	0.19	CG
K418	Alt	0.03	0.50	2.56	2	3	4		CG					0.45	0.55	0.00	0.00	0.15		
	Üst	0.01	0.69	3.22	2	3	4			GÖ		GÖ		0.00	0.74	0.26	0.00	0.23	0.24	CG
K419	Alt	-0.01	0.69	3.35	2	3	4			GÖ				0.00	0.62	0.38	0.00	0.24		
	Üst	0.10	0.58	2.77	2	3	4		CG			GÖ		0.27	0.73	0.00	0.00	0.17	0.24	CG
K421	Alt	-0.10	0.58	3.42	2	3	4			GÖ				0.00	0.56	0.44	0.00	0.24		
	Üst	0.01	0.69	3.22	2	3	4			GÖ		GÖ		0.00	0.74	0.26	0.00	0.23	0.24	CG
	Alt	-0.01	0.69	3.33	2	3	4			GÖ				0.00	0.64	0.36	0.00	0.24		

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

Kiriş SOL UÇ																			
FEMA356'ya göre performans											Esnek Performans Modeline göre performans								
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K422	Üst	0.16	0.50	2.54	2	3	4	CG			G	0.47	0.53	0.00	0.00	0.15	0.31	GÖ	
	Alt	-0.16	0.50	4.08	2	3	4				G	0.00	0.00	0.88	0.12	0.31			
K424	Üst	0.01	0.69	3.12	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.84	0.16	0.00	0.22	0.22	CG
	Alt	-0.01	0.69	3.20	2	3	4			GÖ			0.00	0.76	0.24	0.00	0.22		
K425	Üst	0.10	0.58	3.10	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.86	0.14	0.00	0.21	0.31	GÖ
	Alt	-0.10	0.58	4.05	2	3	4				G		0.00	0.00	0.93	0.07	0.31		
K501	Üst	0.06	0.35	2.65	3	6	7	HK				CG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.13	HK
	Alt	-0.06	0.35	3.68	3	6	7	CG					0.71	0.29	0.00	0.00	0.13		
K502	Üst	0.05	0.31	2.51	3	6	7	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	-0.05	0.31	2.72	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K505	Üst	0.13	0.31	2.18	3	6	7	HK				CG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.12	HK
	Alt	-0.13	0.31	3.44	3	6	7	CG					0.81	0.19	0.00	0.00	0.12		
K506	Üst	-0.08	0.42	3.06	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.91	0.09	0.00	0.21	0.21	CG
	Alt	0.08	0.42	2.17	2	3	4	CG					0.78	0.22	0.00	0.00	0.12		
K518	Üst	0.01	0.62	2.75	2	3	4	CG				CG	0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.18	CG
	Alt	-0.01	0.62	2.85	2	3	4	CG					0.19	0.81	0.00	0.00	0.18		
K519	Üst	0.06	0.50	2.98	2	3	4	CG				GÖ	0.03	0.97	0.00	0.00	0.20	0.24	CG
	Alt	-0.06	0.50	3.43	2	3	4			GÖ			0.00	0.56	0.44	0.00	0.24		
K521	Üst	-0.04	0.58	3.50	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.50	0.50	0.00	0.25	0.25	GÖ
	Alt	0.04	0.58	2.76	2	3	4	CG					0.28	0.72	0.00	0.00	0.17		
K522	Üst	0.17	0.42	2.47	2	3	4	CG				G	0.52	0.48	0.00	0.00	0.15	0.37	G
	Alt	-0.17	0.42	4.75	2	3	4				G		0.00	0.00	0.29	0.71	0.37		
K524	Üst	0.01	0.58	2.66	2	3	4	CG				CG	0.37	0.63	0.00	0.00	0.16	0.17	CG
	Alt	-0.01	0.58	2.73	2	3	4	CG					0.31	0.69	0.00	0.00	0.17		
K525	Üst	0.16	0.50	2.54	2	3	4	CG				G	0.47	0.53	0.00	0.00	0.15	0.33	GÖ

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SOL UÇ																			
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans								
	FEMA m kriteri				Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans					
	HK				CG	GÖ	HK	CG									GÖ	G			
	Alt	-0.16	0.50	4.27	2	3	4	G					0.00	0.00	0.68	0.32	0.33				
K601	Üst	0.06	0.27	2.03	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.06	0.27	2.75	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K602	Üst	0.00	0.23	2.20	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	0.00	0.23	1.87	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K605	Üst	0.07	0.27	2.03	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.07	0.27	2.61	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K606	Üst	-0.08	0.35	2.40	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	0.08	0.35	1.68	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K618	Üst	-0.04	0.46	2.75	2	3	4	CG						CG	0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.17	CG
	Alt	0.04	0.46	2.18	2	3	4	CG							0.78	0.22	0.00	0.00	0.12		
K619	Üst	0.06	0.38	2.79	2	3	4	CG						GÖ	0.30	0.70	0.00	0.00	0.17	0.24	CG
	Alt	-0.06	0.38	3.28	2	3	4	GÖ					0.00	0.64	0.36	0.00	0.24				
K621	Üst	-0.04	0.46	2.65	2	3	4	CG						CG	0.38	0.62	0.00	0.00	0.16	0.16	CG
	Alt	0.04	0.46	2.08	2	3	4	CG							0.89	0.11	0.00	0.00	0.11		
K622	Üst	0.11	0.35	2.39	3	6	7	HK					CG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.11	HK	
	Alt	-0.11	0.35	3.70	3	6	7	CG							0.89	0.11	0.00	0.00	0.11		
K624	Üst	-0.04	0.46	2.38	2	3	4	CG						CG	0.60	0.40	0.00	0.00	0.14	0.14	HK
	Alt	0.04	0.46	1.83	2	3	4	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K625	Üst	0.11	0.38	2.76	2	3	4	CG						G	0.33	0.67	0.00	0.00	0.17	0.35	GÖ
	Alt	-0.11	0.38	4.45	2	3	4	G					0.00	0.00	0.53	0.47	0.35				
K701	Üst	0.01	0.19	1.84	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.01	0.19	1.73	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K702	Üst	0.00	0.19	1.94	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	0.00	0.19	1.60	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

Kiriş SOL UÇ																			
(p-p')/pb Ve/(bwd√fc') m					FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K705	Üst	-0.04	0.15	1.70	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.04	0.15	2.22	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K706	Üst	-0.14	0.23	2.19	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.14	0.23	1.49	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K718	Üst	-0.04	0.35	1.86	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.04	0.35	1.46	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K719	Üst	0.06	0.27	2.31	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	-0.06	0.27	2.80	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K721	Üst	-0.04	0.31	1.68	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.04	0.31	1.29	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K722	Üst	0.11	0.23	1.71	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	-0.11	0.23	2.48	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K724	Üst	-0.04	0.35	1.92	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.04	0.35	1.47	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K725	Üst	0.06	0.27	1.65	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	-0.06	0.27	1.88	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K801	Üst	-0.02	0.08	1.22	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.02	0.08	0.85	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K802	Üst	-0.03	0.08	1.57	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.03	0.08	0.98	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K805	Üst	0.01	0.08	1.21	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	-0.01	0.08	0.96	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K806	Üst	-0.06	0.12	1.18	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.06	0.12	0.71	3	6	7	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K818	Üst	0.01	0.12	0.77	3	6	7	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		

Çizelge A.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Tasarım depremi için).

Kiriş SOL UÇ																			
(p-p')/pb Ve/(bwd√fc') m					FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Perfomans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K819	Alt	-0.01	0.12	0.66	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
	Üst	0.04	0.12	1.57	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
K821	Alt	-0.04	0.12	1.69	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
	Üst	-0.01	0.12	0.58	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
K822	Alt	0.01	0.12	0.46	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
	Üst	0.04	0.12	1.68	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
K824	Alt	-0.04	0.12	1.53	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
	Üst	-0.01	0.15	0.88	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
K825	Alt	0.01	0.15	0.71	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
	Üst	0.04	0.12	1.57	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.04	0.12	1.69	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			

Çizelge A.2: Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																				
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans					
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı	HK CG GÖ G inp max. inp. Esnek Performans							
K101	Üst	0.08	0.42	2.69	2	3	4		CG		GÖ		0.35	0.65	0.00	0.00	0.17	0.21	CG			
	Alt	-0.08	0.42	3.09	2	3	4				GÖ		0.00	0.87	0.13	0.00	0.21					
K102	Üst	-0.04	0.35	2.88	3	6	7	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK			
	Alt	0.04	0.35	2.30	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10					
K105	Üst	0.04	0.38	2.16	2	3	4		CG		CG		0.76	0.24	0.00	0.00	0.12	0.12	HK			
	Alt	-0.04	0.38	2.15	2	3	4		CG				0.77	0.23	0.00	0.00	0.12					
K106	Üst	0.16	0.50	2.70	2	3	4		CG		GÖ		0.34	0.66	0.00	0.00	0.17	0.27	GÖ			
	Alt	-0.16	0.50	3.79	2	3	4				GÖ		0.00	0.26	0.74	0.00	0.27					
K118	Üst	0.04	0.73	2.77	2	3	4		CG		GÖ		0.27	0.73	0.00	0.00	0.17	0.22	CG			
	Alt	-0.04	0.73	3.14	2	3	4				GÖ		0.00	0.82	0.18	0.00	0.22					
K119	Üst	0.04	0.69	3.14	2	3	4				GÖ		0.00	0.82	0.18	0.00	0.22	0.25	GÖ			
	Alt	-0.04	0.69	3.54	2	3	4				GÖ		0.00	0.47	0.53	0.00	0.25					
K121	Üst	0.04	0.77	2.98	2	3	4		CG		GÖ		0.03	0.97	0.00	0.00	0.20	0.24	CG			
	Alt	-0.04	0.77	3.35	2	3	4				GÖ		0.00	0.62	0.38	0.00	0.24					
K122	Üst	0.04	0.54	2.75	2	3	4		CG		GÖ		0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.21	CG			
	Alt	-0.04	0.54	3.04	2	3	4				GÖ		0.00	0.94	0.06	0.00	0.21					
K124	Üst	0.04	0.58	2.62	2	3	4		CG		CG		0.40	0.60	0.00	0.00	0.16	0.19	CG			
	Alt	-0.04	0.58	2.94	2	3	4		CG				0.08	0.92	0.00	0.00	0.19					
K125	Üst	0.04	0.65	3.08	2	3	4				GÖ		0.00	0.89	0.11	0.00	0.21	0.24	CG			
	Alt	-0.04	0.65	3.40	2	3	4				GÖ		0.00	0.58	0.42	0.00	0.24					
K201	Üst	0.08	0.50	2.94	2	3	4		CG		GÖ		0.08	0.92	0.00	0.00	0.19	0.24	CG			
	Alt	-0.08	0.50	3.42	2	3	4				GÖ		0.00	0.56	0.44	0.00	0.24					
K202	Üst	-0.04	0.42	3.49	2	3	4				GÖ		0.00	0.51	0.49	0.00	0.25	0.25	CG			

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																				
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans					
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı								
															HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G	HK
K205	Alt	0.04	0.42	2.83	2	3	4		CG					0.22	0.78	0.00	0.00	0.18				
	Üst	0.04	0.46	2.48	2	3	4		CG		CG			0.52	0.48	0.00	0.00	0.15	0.15	HK		
	Alt	-0.04	0.46	2.45	2	3	4		CG					0.54	0.46	0.00	0.00	0.15				
K206	Üst	0.16	0.58	3.02	2	3	4				GÖ	G		0.00	0.97	0.03	0.00	0.20	0.33	GÖ		
	Alt	-0.16	0.58	4.26	2	3	4					G		0.00	0.00	0.69	0.31	0.33				
K218	Üst	0.04	0.85	3.15	2	3	4				GÖ	GÖ		0.00	0.81	0.19	0.00	0.22	0.26	GÖ		
	Alt	-0.04	0.85	3.58	2	3	4				GÖ			0.00	0.44	0.56	0.00	0.26				
K219	Üst	0.04	0.69	3.30	2	3	4				GÖ	GÖ		0.00	0.67	0.33	0.00	0.23	0.27	GÖ		
	Alt	-0.04	0.69	3.74	2	3	4				GÖ			0.00	0.30	0.70	0.00	0.27				
K221	Üst	0.04	0.85	3.28	2	3	4				GÖ	GÖ		0.00	0.68	0.32	0.00	0.23	0.27	GÖ		
	Alt	-0.04	0.85	3.71	2	3	4				GÖ			0.00	0.33	0.67	0.00	0.27				
K222	Üst	0.04	0.58	2.96	2	3	4		CG			GÖ		0.06	0.94	0.00	0.00	0.19	0.24	CG		
	Alt	-0.04	0.58	3.32	2	3	4				GÖ			0.00	0.65	0.35	0.00	0.24				
K224	Üst	0.04	0.77	3.00	2	3	4		CG			GÖ		0.00	1.00	0.00	0.00	0.20	0.24	CG		
	Alt	-0.04	0.77	3.38	2	3	4				GÖ			0.00	0.60	0.40	0.00	0.24				
K225	Üst	0.04	0.69	3.23	2	3	4				GÖ	GÖ		0.00	0.73	0.27	0.00	0.23	0.26	GÖ		
	Alt	-0.04	0.69	3.59	2	3	4				GÖ			0.00	0.43	0.57	0.00	0.26				
K301	Üst	0.08	0.46	2.76	2	3	4		CG			GÖ		0.28	0.72	0.00	0.00	0.17	0.22	CG		
	Alt	-0.08	0.46	3.20	2	3	4				GÖ			0.00	0.76	0.24	0.00	0.22				
K302	Üst	-0.04	0.38	3.67	2	3	4				GÖ	GÖ		0.00	0.40	0.60	0.00	0.26	0.26	GÖ		
	Alt	0.04	0.38	2.99	2	3	4		CG					0.02	0.98	0.00	0.00	0.20				
K305	Üst	0.04	0.42	2.36	2	3	4		CG			CG		0.61	0.39	0.00	0.00	0.14	0.14	HK		
	Alt	-0.04	0.42	2.31	2	3	4		CG					0.65	0.35	0.00	0.00	0.13				

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																																																
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans																																	
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı	HK					CG					GÖ					G					inp					max. inp.					Esnek Performans					
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans																														
K306	Üst	0.16	0.54	2.90	2	3	4			CG			G	0.15	0.85	0.00	0.00	0.19	0.31	GÖ																														
	Alt	-0.16	0.54	4.06	2	3	4					G	0.00	0.00	0.91	0.09	0.31																																	
K318	Üst	0.04	0.77	2.96	2	3	4			CG			GÖ	0.06	0.94	0.00	0.00	0.19	0.24	CG																														
	Alt	-0.04	0.77	3.36	2	3	4					GÖ	0.00	0.61	0.39	0.00	0.24																																	
K319	Üst	0.04	0.65	3.06	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.92	0.08	0.00	0.21	0.25	CG																														
	Alt	-0.04	0.65	3.47	2	3	4					GÖ	0.00	0.52	0.48	0.00	0.25																																	
K321	Üst	0.04	0.81	3.00	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	1.00	0.00	0.00	0.20	0.24	CG																														
	Alt	-0.04	0.81	3.40	2	3	4					GÖ	0.00	0.58	0.42	0.00	0.24																																	
K322	Üst	0.04	0.54	2.78	2	3	4			CG			GÖ	0.26	0.74	0.00	0.00	0.17	0.22	CG																														
	Alt	-0.04	0.54	3.15	2	3	4					GÖ	0.00	0.81	0.19	0.00	0.22																																	
K324	Üst	0.04	0.73	2.84	2	3	4			CG			GÖ	0.20	0.80	0.00	0.00	0.18	0.22	CG																														
	Alt	-0.04	0.73	3.19	2	3	4					GÖ	0.00	0.77	0.23	0.00	0.22																																	
K325	Üst	0.04	0.65	3.00	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	1.00	0.00	0.00	0.20	0.24	CG																														
	Alt	-0.04	0.65	3.33	2	3	4					GÖ	0.00	0.64	0.36	0.00	0.24																																	
K401	Üst	0.05	0.42	2.80	2	3	4			CG			CG	0.26	0.74	0.00	0.00	0.17	0.18	CG																														
	Alt	-0.05	0.42	2.82	2	3	4			CG			0.24	0.76	0.00	0.00	0.18																																	
K402	Üst	-0.10	0.35	2.68	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK																														
	Alt	0.10	0.35	1.63	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10																																	
K405	Üst	-0.03	0.38	2.50	2	3	4			CG			CG	0.50	0.50	0.00	0.00	0.15	0.15	CG																														
	Alt	0.03	0.38	2.05	2	3	4			CG			0.91	0.09	0.00	0.00	0.11																																	
K406	Üst	0.12	0.50	2.88	2	3	4			CG			GÖ	0.16	0.84	0.00	0.00	0.18	0.26	GÖ																														
	Alt	-0.12	0.50	3.64	2	3	4					GÖ	0.00	0.39	0.61	0.00	0.26																																	
K418	Üst	0.01	0.69	3.22	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.74	0.26	0.00	0.23	0.24	CG																														

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/bwd√fc'	m	FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı						max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp		
K419	Alt	-0.01	0.69	3.35	2	3	4			GÖ			0.00	0.62	0.38	0.00	0.24		
	Üst	-0.01	0.58	3.28	2	3	4			GÖ	GÖ		0.00	0.68	0.32	0.00	0.23	0.24	CG
	Alt	0.01	0.58	3.42	2	3	4			GÖ			0.00	0.56	0.44	0.00	0.24		
K421	Üst	0.00	0.69	3.22	2	3	4			GÖ	GÖ		0.00	0.74	0.26	0.00	0.23	0.24	CG
	Alt	0.00	0.69	3.33	2	3	4			GÖ			0.00	0.64	0.36	0.00	0.24		
K422	Üst	0.07	0.50	3.03	2	3	4			GÖ	GÖ		0.00	0.96	0.04	0.00	0.20	0.22	CG
	Alt	-0.07	0.50	3.16	2	3	4			GÖ			0.00	0.80	0.20	0.00	0.22		
K424	Üst	0.01	0.69	3.12	2	3	4			GÖ	GÖ		0.00	0.84	0.16	0.00	0.22	0.22	CG
	Alt	-0.01	0.69	3.20	2	3	4			GÖ			0.00	0.76	0.24	0.00	0.22		
K425	Üst	0.01	0.58	3.23	2	3	4			GÖ	GÖ		0.00	0.73	0.27	0.00	0.23	0.23	CG
	Alt	-0.01	0.58	3.28	2	3	4			GÖ			0.00	0.68	0.32	0.00	0.23		
K501	Üst	0.05	0.35	2.75	3	6	7	HK			CG		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	-0.05	0.35	3.05	3	6	7		CG				0.97	0.03	0.00	0.00	0.10		
K502	Üst	-0.03	0.31	2.32	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.31	1.81	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K505	Üst	-0.08	0.31	2.60	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.08	0.31	1.70	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K506	Üst	0.06	0.42	2.84	2	3	4		CG		GÖ		0.21	0.79	0.00	0.00	0.18	0.21	CG
	Alt	-0.06	0.42	3.08	2	3	4			GÖ			0.00	0.88	0.12	0.00	0.21		
K518	Üst	0.01	0.62	2.75	2	3	4		CG		CG		0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.18	CG
	Alt	-0.01	0.62	2.85	2	3	4		CG				0.19	0.81	0.00	0.00	0.18		
K519	Üst	0.01	0.50	2.72	2	3	4		CG		CG		0.32	0.68	0.00	0.00	0.17	0.18	CG
	Alt	-0.01	0.50	2.84	2	3	4		CG				0.20	0.80	0.00	0.00	0.18		

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																						
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans						
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı							max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp						
K521	Üst	-0.04	0.58	3.50	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.50	0.50	0.00	0.25	0.25	GÖ				
	Alt	0.04	0.58	2.76	2	3	4			CG				0.28	0.72	0.00	0.00	0.17						
K522	Üst	-0.04	0.42	3.35	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.62	0.38	0.00	0.24	0.24	CG				
	Alt	0.04	0.42	2.69	2	3	4			CG				0.35	0.65	0.00	0.00	0.17						
K524	Üst	0.01	0.58	2.66	2	3	4			CG			CG	0.37	0.63	0.00	0.00	0.16	0.17	CG				
	Alt	-0.01	0.58	2.73	2	3	4			CG				0.31	0.69	0.00	0.00	0.17						
K525	Üst	0.01	0.50	2.81	2	3	4			CG			CG	0.23	0.77	0.00	0.00	0.18	0.18	CG				
	Alt	-0.01	0.50	2.72	2	3	4			CG				0.32	0.68	0.00	0.00	0.17						
K601	Üst	0.00	0.27	2.56	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK				
	Alt	0.00	0.27	2.28	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
K602	Üst	-0.03	0.23	1.84	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK				
	Alt	0.03	0.23	1.41	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
K605	Üst	-0.08	0.27	2.05	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK				
	Alt	0.08	0.27	1.29	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
K606	Üst	0.01	0.35	2.66	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK				
	Alt	-0.01	0.35	2.38	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10						
K618	Üst	-0.04	0.46	2.75	2	3	4			CG			CG	0.29	0.71	0.00	0.00	0.17	0.17	CG				
	Alt	0.04	0.46	2.18	2	3	4			CG				0.78	0.22	0.00	0.00	0.12						
K619	Üst	-0.04	0.38	2.68	2	3	4			CG			CG	0.39	0.61	0.00	0.00	0.16	0.16	CG				
	Alt	0.04	0.38	2.14	2	3	4			CG				0.78	0.22	0.00	0.00	0.12						
K621	Üst	-0.04	0.46	2.65	2	3	4			CG			CG	0.38	0.62	0.00	0.00	0.16	0.16	CG				
	Alt	0.04	0.46	2.08	2	3	4			CG				0.89	0.11	0.00	0.00	0.11						
K622	Üst	-0.04	0.35	2.63	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK				

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

		Kiriş SAĞ UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/bwd√fc'	m	FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı						max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp		
K624	Alt	0.04	0.35	2.10	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
	Üst	-0.04	0.46	2.74	2	3	4		CG		CG		0.30	0.70	0.00	0.00	0.17	0.17	CG
	Alt	0.04	0.46	2.13	2	3	4		CG				0.83	0.17	0.00	0.00	0.12		
K625	Üst	-0.04	0.38	2.71	2	3	4		CG		CG		0.37	0.63	0.00	0.00	0.16	0.16	CG
	Alt	0.04	0.38	2.06	2	3	4		CG				0.89	0.11	0.00	0.00	0.11		
K701	Üst	0.00	0.19	1.66	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.00	0.19	1.41	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K702	Üst	-0.03	0.19	1.30	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.19	0.97	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K705	Üst	-0.03	0.15	1.92	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.15	1.08	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K706	Üst	-0.04	0.23	2.31	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.23	2.09	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K718	Üst	-0.04	0.35	1.86	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.35	1.46	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K719	Üst	-0.04	0.27	1.68	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.27	1.34	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K721	Üst	-0.04	0.31	1.68	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.31	1.29	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K722	Üst	-0.04	0.23	1.79	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.23	1.43	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K724	Üst	-0.04	0.35	1.92	3	6	7	HK			HK		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.35	1.47	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		

Çizelge A.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Tasarım depremi için).

Kiriş SAĞ UÇ																	
				FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans						
				FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı						
(p-p')/pb	Ve/bwd\fc'	m		HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.
K725	Üst	-0.04	0.27	1.74	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.04	0.27	1.28	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K801	Üst	-0.03	0.08	1.18	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.03	0.08	0.70	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K802	Üst	-0.03	0.08	0.64	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.03	0.08	0.41	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K805	Üst	-0.06	0.08	0.88	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.06	0.08	0.40	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K806	Üst	-0.03	0.12	1.80	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.03	0.12	1.06	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K818	Üst	0.01	0.12	0.77	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	-0.01	0.12	0.66	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K819	Üst	-0.01	0.12	0.72	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.01	0.12	0.63	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K821	Üst	-0.01	0.12	0.58	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.01	0.12	0.46	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K822	Üst	-0.01	0.12	0.84	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.01	0.12	0.80	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K824	Üst	-0.01	0.15	0.88	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.01	0.15	0.71	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	
K825	Üst	-0.01	0.12	0.79	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10
	Alt	0.01	0.12	0.59	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	

Çizelge A.3: Örnek bina için kiriş performans karşılaştırmaları (Tasarım depremi için).

Kiriş numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K101	GÖ	K101	GÖ	K101		K102	HK	K102	HK
K102	HK	K102	HK	K102		K402	HK	K402	HK
K105	G	K105	GÖ	K105	ESNEK!	K502	HK	K501	HK
K106	GÖ	K106	GÖ	K106		K601	HK	K502	HK
K118	GÖ	K118	CG	K118	ESNEK!	K602	HK	K505	HK
K119	GÖ	K119	GÖ	K119		K605	HK	K601	HK
K121	GÖ	K121	CG	K121	ESNEK!	K606	HK	K602	HK
K122	GÖ	K122	GÖ	K122		K701	HK	K605	HK
K124	CG	K124	CG	K124		K702	HK	K606	HK
K125	GÖ	K125	GÖ	K125		K705	HK	K622	HK
K201	G	K201	GÖ	K201	ESNEK!	K706	HK	K701	HK
K202	GÖ	K202	CG	K202	ESNEK!	K718	HK	K702	HK
K205	G	K205	G	K205		K719	HK	K705	HK
K206	G	K206	GÖ	K206	ESNEK!	K721	HK	K706	HK
K218	GÖ	K218	GÖ	K218		K722	HK	K718	HK
K219	GÖ	K219	GÖ	K219		K724	HK	K719	HK
K221	GÖ	K221	GÖ	K221		K725	HK	K721	HK
K222	GÖ	K222	GÖ	K222		K801	HK	K722	HK
K224	GÖ	K224	CG	K224	ESNEK!	K802	HK	K724	HK
K225	G	K225	GÖ	K225	ESNEK!	K805	HK	K725	HK
K301	GÖ	K301	GÖ	K301		K806	HK	K801	HK
K302	GÖ	K302	GÖ	K302		K818	HK	K802	HK
K305	G	K305	G	K305		K819	HK	K805	HK

Çizelge A.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırmaları (Tasarım depremi için).

Kiriş numarasına göre sıralama						Performansa göre sıralama			
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K306	G	K306	GÖ	K306	ESNEK!	K821	HK	K806	HK
K318	GÖ	K318	CG	K318	ESNEK!	K822	HK	K818	HK
K319	GÖ	K319	CG	K319	ESNEK!	K824	HK	K819	HK
K321	GÖ	K321	CG	K321	ESNEK!	K825	HK	K821	HK
K322	GÖ	K322	GÖ	K322		K124	CG	K822	HK
K324	GÖ	K324	CG	K324	ESNEK!	K501	CG	K824	HK
K325	GÖ	K325	GÖ	K325		K505	CG	K825	HK
K401	GÖ	K401	CG	K401	ESNEK!	K518	CG	K118	CG
K402	HK	K402	HK	K402		K524	CG	K121	CG
K405	G	K405	GÖ	K405	ESNEK!	K618	CG	K124	CG
K406	GÖ	K406	GÖ	K406		K621	CG	K202	CG
K418	GÖ	K418	CG	K418	ESNEK!	K622	CG	K224	CG
K419	GÖ	K419	CG	K419	ESNEK!	K624	CG	K318	CG
K421	GÖ	K421	CG	K421	ESNEK!	K101	GÖ	K319	CG
K422	G	K422	GÖ	K422	ESNEK!	K106	GÖ	K321	CG
K424	GÖ	K424	CG	K424	ESNEK!	K118	GÖ	K324	CG
K425	G	K425	GÖ	K425	ESNEK!	K119	GÖ	K401	CG
K501	CG	K501	HK	K501	ESNEK!	K121	GÖ	K418	CG
K502	HK	K502	HK	K502		K122	GÖ	K419	CG
K505	CG	K505	HK	K505	ESNEK!	K125	GÖ	K421	CG
K506	GÖ	K506	CG	K506	ESNEK!	K202	GÖ	K424	CG
K518	CG	K518	CG	K518		K218	GÖ	K506	CG
K519	GÖ	K519	CG	K519	ESNEK!	K219	GÖ	K518	CG

Çizelge A.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırmaları (Tasarım depremi için).

Kiriş numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K521	GÖ	K521	GÖ	K521		K221	GÖ	K519	CG
K522	G	K522	G	K522		K222	GÖ	K524	CG
K524	CG	K524	CG	K524		K224	GÖ	K618	CG
K525	G	K525	GÖ	K525	ESNEK!	K301	GÖ	K619	CG
K601	HK	K601	HK	K601		K302	GÖ	K621	CG
K602	HK	K602	HK	K602		K318	GÖ	K624	CG
K605	HK	K605	HK	K605		K319	GÖ	K101	GÖ
K606	HK	K606	HK	K606		K321	GÖ	K105	GÖ
K618	CG	K618	CG	K618		K322	GÖ	K106	GÖ
K619	GÖ	K619	CG	K619	ESNEK!	K324	GÖ	K119	GÖ
K621	CG	K621	CG	K621		K325	GÖ	K122	GÖ
K622	CG	K622	HK	K622	ESNEK!	K401	GÖ	K125	GÖ
K624	CG	K624	CG	K624		K406	GÖ	K201	GÖ
K625	G	K625	GÖ	K625	ESNEK!	K418	GÖ	K206	GÖ
K701	HK	K701	HK	K701		K419	GÖ	K218	GÖ
K702	HK	K702	HK	K702		K421	GÖ	K219	GÖ
K705	HK	K705	HK	K705		K424	GÖ	K221	GÖ
K706	HK	K706	HK	K706		K506	GÖ	K222	GÖ
K718	HK	K718	HK	K718		K519	GÖ	K225	GÖ
K719	HK	K719	HK	K719		K521	GÖ	K301	GÖ
K721	HK	K721	HK	K721		K619	GÖ	K302	GÖ
K722	HK	K722	HK	K722		K105	G	K306	GÖ
K724	HK	K724	HK	K724		K201	G	K322	GÖ

Çizelge A.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırmaları (Tasarım depremi için).

Kiriş numarasına göre sıralama						Performansa göre sıralama			
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K725	HK	K725	HK	K725		K205	G	K325	GÖ
K801	HK	K801	HK	K801		K206	G	K405	GÖ
K802	HK	K802	HK	K802		K225	G	K406	GÖ
K805	HK	K805	HK	K805		K305	G	K422	GÖ
K806	HK	K806	HK	K806		K306	G	K425	GÖ
K818	HK	K818	HK	K818		K405	G	K521	GÖ
K819	HK	K819	HK	K819		K422	G	K525	GÖ
K821	HK	K821	HK	K821		K425	G	K625	GÖ
K822	HK	K822	HK	K822		K522	G	K205	G
K824	HK	K824	HK	K824		K525	G	K305	G
K825	HK	K825	HK	K825		K625	G	K522	G

EK B: Şiddetli deprem için örnek bina kiriş performansları

Çizelge B.1: Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SOL UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans						
	FEMA m kriteri				Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans			
	HK				CG	GÖ	HK	CG									GÖ	G	
K101	Üst	0.07	0.65	3.91	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.12	0.88	0.00	0.29	0.40	G
	Alt	-0.07	0.65	5.35	2	3	4				G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40		
K102	Üst	0.08	0.54	3.53	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.48	0.52	0.00	0.25	0.32	GÖ
	Alt	-0.08	0.54	4.14	2	3	4				G		0.00	0.00	0.82	0.18	0.32		
K105	Üst	0.16	0.62	3.65	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.38	0.62	0.00	0.26	0.40	G
	Alt	-0.16	0.62	6.60	2	3	4				G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40		
K106	Üst	0.03	0.77	3.81	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.23	0.77	0.00	0.28	0.29	GÖ
	Alt	-0.03	0.77	3.91	2	3	4			GÖ			0.00	0.12	0.88	0.00	0.29		
K118	Üst	0.04	1.08	4.13	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.81	0.19	0.32	0.37	G
	Alt	-0.04	1.08	4.71	2	3	4				G		0.00	0.00	0.33	0.67	0.37		
K119	Üst	0.04	1.00	4.75	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.29	0.71	0.37	0.40	G
	Alt	-0.04	1.00	5.14	2	3	4				G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40		
K121	Üst	0.04	1.15	4.42	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.56	0.44	0.34	0.40	G
	Alt	-0.04	1.15	5.02	2	3	4				G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40		
K122	Üst	0.10	0.81	4.01	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.99	0.02	0.30	0.40	G
	Alt	-0.10	0.81	5.36	2	3	4				G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40		
K124	Üst	0.04	0.88	3.89	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.15	0.85	0.00	0.28	0.34	GÖ
	Alt	-0.04	0.88	4.41	2	3	4				G		0.00	0.00	0.57	0.43	0.34		
K125	Üst	0.05	1.00	4.37	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.61	0.39	0.34	0.38	G
	Alt	-0.05	1.00	4.86	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K201	Üst	0.07	0.73	4.21	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.07	0.73	5.74	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K202	Üst	0.08	0.62	3.97	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.08	0.62	4.68	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

Kiriş SOL UÇ																			
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K205	Üst	0.16	0.69	3.86	2	3	4	GÖ			G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.16	0.69	7.03	2	3	4				G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K206	Üst	0.03	0.88	4.33	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.03	0.88	4.49	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K218	Üst	0.04	1.23	4.70	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.04	1.23	5.38	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K219	Üst	0.04	1.08	4.82	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.04	1.08	5.20	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K221	Üst	0.04	1.27	4.65	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.04	1.27	5.30	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K222	Üst	0.10	0.88	4.30	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.10	0.88	5.71	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K224	Üst	0.04	1.15	4.45	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.04	1.15	5.06	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K225	Üst	0.05	1.04	5.50	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.05	1.04	6.14	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K301	Üst	0.07	0.69	4.21	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.07	0.69	5.73	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K302	Üst	0.08	0.58	3.82	2	3	4	GÖ			G	G	0.00	0.00	0.22	0.78	0.38	0.38	G
	Alt	-0.08	0.58	4.48	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K305	Üst	0.16	0.65	3.62	2	3	4	GÖ			G	G	0.00	0.00	0.40	0.60	0.36	0.38	G
	Alt	-0.16	0.65	6.62	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K306	Üst	0.03	0.85	4.12	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.03	0.85	4.28	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K318	Üst	0.04	1.19	4.41	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SOL UÇ																	
		FEMA356'ya göre performans										Esnek Performans Modeline göre performans							
		(ρ-ρ')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA m kriteri			Alt-Üst Perfomans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
HK	CG				GÖ	HK	CG	GÖ	G										
K319	Alt	-0.04	1.19	5.05	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.04	1.00	4.65	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K321	Alt	-0.04	1.00	5.00	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.04	1.19	4.47	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K322	Alt	-0.04	1.19	5.09	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.10	0.85	4.09	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K324	Alt	-0.10	0.85	5.39	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.04	1.12	4.22	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K325	Alt	-0.04	1.12	4.79	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.05	0.96	5.13	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K401	Alt	-0.05	0.96	5.71	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.07	0.62	3.72	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.32	0.68	0.37	0.38	G
K402	Alt	-0.07	0.62	5.05	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.03	0.54	3.97	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K405	Alt	-0.03	0.54	4.04	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.13	0.58	3.82	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.22	0.78	0.38	0.38	G
K406	Alt	-0.13	0.58	6.20	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	-0.03	0.77	4.34	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K418	Alt	0.03	0.77	3.84	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.20	0.80	0.38		
	Üst	0.01	1.08	4.80	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K419	Alt	-0.01	1.08	5.03	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.10	0.88	4.09	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K421	Alt	-0.10	0.88	5.12	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.01	1.04	4.79	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.01	1.04	5.00	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

Kiriş SOL UÇ																			
					FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Perfomans				Eleman UÇ Performansı	HKCGGÖGinpmax. inp.Esnek Performans						
(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans		
K422	Üst	0.16	0.77	3.71	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.33	0.67	0.37	0.38	G
	Alt	-0.16	0.77	6.12	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K424	Üst	0.01	1.00	4.35	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.01	1.00	4.51	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K425	Üst	0.10	0.85	4.18	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.10	0.85	5.55	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K501	Üst	0.06	0.50	3.91	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.06	0.50	5.52	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K502	Üst	0.05	0.46	3.99	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.05	0.46	4.50	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K505	Üst	0.13	0.50	3.20	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.75	0.25	0.32	0.38	G
	Alt	-0.13	0.50	5.17	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K506	Üst	-0.08	0.65	4.21	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	0.08	0.65	3.04	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.94	0.06	0.31		
K518	Üst	0.01	0.92	4.09	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.01	0.92	4.28	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K519	Üst	0.06	0.73	4.16	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.06	0.73	4.87	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K521	Üst	-0.04	0.88	4.83	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	0.04	0.88	3.85	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.19	0.81	0.38		
K522	Üst	0.17	0.65	3.59	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.43	0.57	0.36	0.38	G
	Alt	-0.17	0.65	7.12	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K524	Üst	0.01	0.88	3.95	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	-0.01	0.88	4.09	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K525	Üst	0.16	0.73	3.39	2	3	4			GÖ		G	0.00	0.00	0.59	0.41	0.34	0.38	G

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SOL UÇ																		
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G									
K601	Alt	-0.16	0.73	5.74	2	3	4				G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
	Üst	0.06	0.38	2.97	2	3	4		CG			G	0.00	0.05	0.95	0.00	0.29	0.38	G	
K602	Alt	-0.06	0.38	4.13	2	3	4					G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
	Üst	0.00	0.38	3.87	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K605	Alt	0.00	0.38	3.52	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.48	0.52	0.35		
	Üst	0.07	0.38	2.96	2	3	4		CG				GÖ	0.00	0.07	0.93	0.00	0.29	0.38	G
K606	Alt	-0.07	0.38	3.92	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	-0.08	0.50	3.52	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.48	0.52	0.35	0.35	G
K618	Alt	0.08	0.50	2.52	2	3	4		CG					0.00	0.48	0.52	0.00	0.25		
	Üst	-0.04	0.73	4.09	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K619	Alt	0.04	0.73	3.26	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.70	0.30	0.33		
	Üst	0.06	0.58	4.07	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K621	Alt	-0.06	0.58	4.91	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	-0.04	0.69	3.93	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K622	Alt	0.04	0.69	3.12	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.84	0.16	0.32		
	Üst	0.11	0.50	3.44	2	3	4				GÖ		G	0.00	0.00	0.55	0.45	0.35	0.38	G
K624	Alt	-0.11	0.50	5.54	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	-0.04	0.69	4.05	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K625	Alt	0.04	0.69	3.19	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.77	0.23	0.32		
	Üst	0.11	0.58	4.03	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
K701	Alt	-0.11	0.58	6.68	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	0.01	0.27	2.19	3	6	7	HK					HK	0.77	0.23	0.00	0.00	0.12	0.12	HK
K702	Alt	-0.01	0.27	2.11	3	6	7	HK						0.86	0.14	0.00	0.00	0.11		
	Üst	0.00	0.27	2.33	3	6	7	HK					HK	0.64	0.36	0.00	0.00	0.14	0.14	HK
	Alt	0.00	0.27	1.98	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

Kiriş SOL UÇ																	
					FEMA356'ya göre performans					Esnek Performans Modeline göre performans							
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA m kriteri				Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı				
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G
K705	Üst	-0.04	0.27	2.46	3	6	7	HK					CG	0.53	0.47	0.00	0.00
	Alt	0.04	0.27	3.33	3	6	7		CG					0.00	0.64	0.36	0.00
K706	Üst	-0.14	0.35	3.17	3	6	7		CG				CG	0.00	0.76	0.24	0.00
	Alt	0.14	0.35	2.23	3	6	7	HK						0.70	0.30	0.00	0.00
K718	Üst	-0.04	0.50	2.76	2	3	4		CG				CG	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	0.04	0.50	2.18	2	3	4		CG					0.70	0.30	0.00	0.00
K719	Üst	0.06	0.38	2.34	2	3	4		CG				CG	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	-0.06	0.38	2.83	2	3	4		CG					0.70	0.30	0.00	0.00
K721	Üst	-0.04	0.46	2.48	2	3	4		CG				CG	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	0.04	0.46	1.94	2	3	4	HK						0.70	0.30	0.00	0.00
K722	Üst	0.11	0.38	2.16	2	3	4		CG				GÖ	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	-0.11	0.38	3.27	2	3	4				GÖ			0.70	0.30	0.00	0.00
K724	Üst	-0.04	0.50	2.82	2	3	4		CG				CG	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	0.04	0.50	2.20	2	3	4		CG					0.70	0.30	0.00	0.00
K725	Üst	0.06	0.38	3.31	2	3	4				GÖ		G	0.70	0.30	0.00	0.00
	Alt	-0.06	0.38	4.19	2	3	4					G		0.70	0.30	0.00	0.00
K801	Üst	-0.02	0.12	1.72	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00
	Alt	0.02	0.12	1.27	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00
K802	Üst	-0.03	0.15	2.15	3	6	7	HK					HK	0.79	0.21	0.00	0.00
	Alt	0.03	0.15	1.47	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00
K805	Üst	0.01	0.12	1.66	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00
	Alt	-0.01	0.12	1.44	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00
K806	Üst	-0.06	0.19	1.64	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00
	Alt	0.06	0.19	1.06	3	6	7	HK						1.00	0.00	0.00	0.00
K818	Üst	0.01	0.19	1.11	3	6	7	HK					HK	1.00	0.00	0.00	0.00

Çizelge B.1 (devam): Örnek bina kiriş SOL uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SOL UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/(bwd√fc')	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman UÇ Performansı	HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G								
K819	Alt	-0.01	0.19	0.99	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
	Üst	0.04	0.19	2.20	3	6	7	HK			HK	0.75	0.25	0.00	0.00	0.12	0.15	CG	
	Alt	-0.04	0.19	2.53	3	6	7	HK				0.48	0.52	0.00	0.00	0.15			
K821	Üst	-0.01	0.15	0.82	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	0.01	0.15	0.70	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K822	Üst	0.04	0.19	1.66	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	-0.04	0.19	1.51	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K824	Üst	-0.01	0.23	1.25	3	6	7	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK	
	Alt	0.01	0.23	1.06	3	6	7	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10			
K825	Üst	0.04	0.19	2.20	3	6	7	HK			HK	0.75	0.25	0.00	0.00	0.12	0.15	CG	
	Alt	-0.04	0.19	2.53	3	6	7	HK				0.48	0.52	0.00	0.00	0.15			

Çizelge B.2: Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																						
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans						
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı										
		HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans								
K101	Üst	0.08	0.65	3.94	2	3	4					GÖ		G	0.00	0.12	0.88	0.00	0.29	0.40	G			
	Alt	-0.08	0.65	4.63	2	3	4						G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40					
K102	Üst	-0.04	0.54	2.98	2	3	4			CG				CG	0.00	0.48	0.52	0.00	0.25	0.32	GÖ			
	Alt	0.04	0.54	2.38	2	3	4			CG					0.00	0.00	0.82	0.18	0.32					
K105	Üst	0.04	0.62	3.16	2	3	4					GÖ		GÖ	0.00	0.38	0.62	0.00	0.26	0.40	G			
	Alt	-0.04	0.62	3.22	2	3	4					GÖ			0.00	0.00	0.00	1.00	0.40					
K106	Üst	0.16	0.77	3.95	2	3	4					GÖ		G	0.00	0.23	0.77	0.00	0.28	0.29	GÖ			
	Alt	-0.16	0.77	5.69	2	3	4						G		0.00	0.12	0.88	0.00	0.29					
K118	Üst	0.04	1.08	4.13	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.81	0.19	0.32	0.37	G			
	Alt	-0.04	1.08	4.71	2	3	4						G		0.00	0.00	0.33	0.67	0.37					
K119	Üst	0.04	1.00	4.67	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.29	0.71	0.37	0.40	G			
	Alt	-0.04	1.00	5.31	2	3	4						G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40					
K121	Üst	0.04	1.15	4.42	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.56	0.44	0.34	0.40	G			
	Alt	-0.04	1.15	5.02	2	3	4						G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40					
K122	Üst	0.04	0.81	4.06	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.99	0.02	0.30	0.40	G			
	Alt	-0.04	0.81	4.56	2	3	4						G		0.00	0.00	0.00	1.00	0.40					
K124	Üst	0.04	0.88	3.89	2	3	4					GÖ		G	0.00	0.15	0.85	0.00	0.28	0.34	GÖ			
	Alt	-0.04	0.88	4.41	2	3	4						G		0.00	0.00	0.57	0.43	0.34					
K125	Üst	0.04	1.00	4.54	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.61	0.39	0.34	0.38	G			
	Alt	-0.04	1.00	5.11	2	3	4						G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38					
K201	Üst	0.08	0.73	4.33	2	3	4						G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G			
	Alt	-0.08	0.73	5.12	2	3	4						G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38					
K202	Üst	-0.04	0.62	3.48	2	3	4					GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G			

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																								
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans									
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı	HK					CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans						
K205	Alt	0.04	0.62	2.82	2	3	4		CG					0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
	Üst	0.04	0.69	3.62	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	0.69	3.68	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K206	Üst	0.16	0.88	4.43	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.16	0.88	6.39	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K218	Üst	0.04	1.23	4.70	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	1.23	5.38	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K219	Üst	0.04	1.08	4.69	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	1.08	5.35	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K221	Üst	0.04	1.27	4.63	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	1.27	5.27	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K222	Üst	0.04	0.88	4.39	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	0.88	4.98	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K224	Üst	0.04	1.15	4.45	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	1.15	5.06	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K225	Üst	0.04	1.04	4.78	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.04	1.04	5.39	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K301	Üst	0.08	0.69	4.06	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G						
	Alt	-0.08	0.69	4.80	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K302	Üst	-0.04	0.58	3.34	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.22	0.78	0.38	0.38	G						
	Alt	0.04	0.58	2.71	2	3	4		CG					0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								
K305	Üst	0.04	0.65	3.43	2	3	4				GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.40	0.60	0.36	0.38	G						
	Alt	-0.04	0.65	3.47	2	3	4				GÖ			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38								

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

Kiriş SAĞ UÇ																			
					FEMA356'ya göre performans						Eleman UÇ Performansı	Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				max. inp.	Esnek Performans						
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ				G					
		(p-p')/pb	Ve/bwd√fc'	m								HK	CG	GÖ	G	inp			
K306	Üst	0.16	0.85	4.24	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.16	0.85	6.09	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K318	Üst	0.04	1.19	4.41	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	1.19	5.05	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K319	Üst	0.04	1.00	4.55	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	1.00	5.21	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K321	Üst	0.04	1.19	4.47	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	1.19	5.09	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K322	Üst	0.04	0.85	4.14	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	0.85	4.72	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K324	Üst	0.04	1.12	4.22	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	1.12	4.79	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K325	Üst	0.04	0.96	4.44	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.04	0.96	5.00	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K401	Üst	0.05	0.62	4.11	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.32	0.68	0.37	0.38	G	
	Alt	-0.05	0.62	4.23	2	3	4			G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K402	Üst	-0.10	0.54	3.93	2	3	4			GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	0.10	0.54	2.44	2	3	4		CG			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K405	Üst	-0.03	0.58	3.61	2	3	4			GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.22	0.78	0.38	0.38	G	
	Alt	0.03	0.58	3.07	2	3	4			GÖ		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38			
K406	Üst	0.12	0.77	4.20	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	
	Alt	-0.12	0.77	5.46	2	3	4			G		0.00	0.00	0.20	0.80	0.38			
K418	Üst	0.01	1.08	4.80	2	3	4			G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G	

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı	HK					CG					GÖ					G					inp					max. inp.					Esnek Performans																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
											HK						CG						GÖ						G						inp						max. inp.						Esnek Performans																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
K419	Alt	-0.01	1.08	5.03	2	3	4																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																												
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans													
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı	HK					CG		GÖ		G		inp		max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans										
K521	Üst	-0.04	0.88	4.22	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	0.04	0.88	3.85	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.19	0.81	0.38												
K522	Üst	-0.04	0.65	4.74	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.43	0.57	0.36	0.38	G										
	Alt	0.04	0.65	3.82	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K524	Üst	0.01	0.88	3.95	2	3	4					GÖ	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	-0.01	0.88	4.09	2	3	4					G		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K525	Üst	0.01	0.73	3.90	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.59	0.41	0.34	0.38	G										
	Alt	-0.01	0.73	3.88	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K601	Üst	0.00	0.38	2.88	2	3	4			CG			CG	0.00	0.05	0.95	0.00	0.29	0.38	G										
	Alt	0.00	0.38	2.59	2	3	4			CG				0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K602	Üst	-0.03	0.38	2.31	2	3	4			CG			CG	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	0.03	0.38	1.81	2	3	4	HK						0.00	0.00	0.48	0.52	0.35												
K605	Üst	-0.08	0.38	2.32	2	3	4			CG			CG	0.00	0.07	0.93	0.00	0.29	0.38	G										
	Alt	0.08	0.38	1.51	2	3	4	HK						0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K606	Üst	0.01	0.50	3.35	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.48	0.52	0.35	0.35	G										
	Alt	-0.01	0.50	3.10	2	3	4					GÖ		0.00	0.48	0.52	0.00	0.25												
K618	Üst	-0.04	0.73	4.09	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	0.04	0.73	3.26	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.70	0.30	0.33												
K619	Üst	-0.04	0.58	4.00	2	3	4					G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	0.04	0.58	3.22	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.18	0.82	0.38												
K621	Üst	-0.04	0.69	3.93	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G										
	Alt	0.04	0.69	3.12	2	3	4					GÖ		0.00	0.00	0.84	0.16	0.32												
K622	Üst	-0.04	0.50	3.93	2	3	4					GÖ	GÖ	0.00	0.00	0.55	0.45	0.35	0.38	G										

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																	
		(p-p')/pb	Ve/bwd√fc'	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı						max. inp.	Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ		G	HK	CG	GÖ	G			inp
K624	Alt	0.04	0.50	3.16	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
	Üst	-0.04	0.69	4.05	2	3	4				G	G	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	0.04	0.69	3.19	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.77	0.23	0.32		
K625	Üst	-0.04	0.58	3.97	2	3	4			GÖ		GÖ	0.00	0.00	0.18	0.82	0.38	0.38	G
	Alt	0.04	0.58	3.09	2	3	4			GÖ			0.00	0.00	0.18	0.82	0.38		
K701	Üst	0.00	0.27	2.31	3	6	7	HK				HK	0.77	0.23	0.00	0.00	0.12	0.12	HK
	Alt	0.00	0.27	2.04	3	6	7	HK					0.86	0.14	0.00	0.00	0.11		
K702	Üst	-0.03	0.27	1.87	3	6	7	HK				HK	0.64	0.36	0.00	0.00	0.14	0.14	HK
	Alt	0.03	0.27	1.46	3	6	7	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
K705	Üst	-0.03	0.27	2.52	3	6	7	HK				HK	0.53	0.47	0.00	0.00	0.15	0.24	CG
	Alt	0.03	0.27	1.62	3	6	7	HK					0.00	0.64	0.36	0.00	0.24		
K706	Üst	-0.04	0.35	2.58	3	6	7	HK				HK	0.00	0.76	0.24	0.00	0.22	0.22	CG
	Alt	0.04	0.35	2.51	3	6	7	HK					0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		
K718	Üst	-0.04	0.50	2.58	2	3	4		CG			CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.04	0.50	2.04	2	3	4		CG				0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		
K719	Üst	-0.04	0.38	2.50	2	3	4		CG			CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.04	0.38	2.00	2	3	4		CG				0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		
K721	Üst	-0.04	0.46	2.48	2	3	4		CG			CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.04	0.46	1.94	2	3	4	HK					0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		
K722	Üst	-0.04	0.38	2.60	2	3	4		CG			CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.04	0.38	2.09	2	3	4		CG				0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		
K724	Üst	-0.04	0.50	2.82	2	3	4		CG			CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.04	0.50	2.20	2	3	4		CG				0.70	0.30	0.00	0.00	0.13		

Çizelge B.2 (devam): Örnek bina kiriş SAĞ uç performansları (Şiddetli deprem için).

		Kiriş SAĞ UÇ																					
		(p-p')/pb			Ve/bwd√fc'			m			FEMA356'ya göre performans						Esnek Performans Modeline göre performans						
FEMA m kriteri											Alt-Üst Performans			Eleman UÇ Performansı			HK CG GÖ G inp max. inp. Esnek Performans						
					HK	CG	GÖ		HK	CG	GÖ	G											
K725	Üst	-0.04	0.38	2.38	2	3	4		CG					CG	0.70	0.30	0.00	0.00	0.13	0.13	HK		
	Alt	0.04	0.38	1.81	2	3	4	HK							0.70	0.30	0.00	0.00	0.13				
K801	Üst	-0.03	0.12	1.59	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.03	0.12	1.05	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K802	Üst	-0.03	0.15	0.88	3	6	7	HK						HK	0.79	0.21	0.00	0.00	0.12	0.12	HK		
	Alt	0.03	0.15	0.61	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K805	Üst	-0.06	0.12	1.14	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.06	0.12	0.60	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K806	Üst	-0.03	0.19	1.66	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.03	0.19	0.98	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K818	Üst	0.01	0.19	1.11	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	-0.01	0.19	0.99	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K819	Üst	-0.01	0.19	1.05	3	6	7	HK						HK	0.75	0.25	0.00	0.00	0.12	0.15	CG		
	Alt	0.01	0.19	0.94	3	6	7	HK							0.48	0.52	0.00	0.00	0.15				
K821	Üst	-0.01	0.15	0.82	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.01	0.15	0.70	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K822	Üst	-0.01	0.19	1.26	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.01	0.19	1.21	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K824	Üst	-0.01	0.23	1.25	3	6	7	HK						HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.01	0.23	1.06	3	6	7	HK							1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
K825	Üst	-0.01	0.19	1.10	3	6	7	HK						HK	0.75	0.25	0.00	0.00	0.12	0.15	CG		
	Alt	0.01	0.19	0.88	3	6	7	HK							0.48	0.52	0.00	0.00	0.15				

Çizelge B.3: Örnek bina için kiriş performans karşılaştırması (Şiddetli deprem için).

Kiriş numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K101	G	K101	G	K101	ESNEK!	K701	HK	K701	HK
K102	G	K102	GÖ	K102		K702	HK	K702	HK
K105	G	K105	G	K105	ESNEK!	K801	HK	K718	HK
K106	G	K106	GÖ	K106		K802	HK	K719	HK
K118	G	K118	G	K118	ESNEK!	K805	HK	K721	HK
K119	G	K119	G	K119		K806	HK	K722	HK
K121	G	K121	G	K121	ESNEK!	K818	HK	K724	HK
K122	G	K122	G	K122		K819	HK	K725	HK
K124	G	K124	GÖ	K124	ESNEK!	K821	HK	K801	HK
K125	G	K125	G	K125		K822	HK	K802	HK
K201	G	K201	G	K201	ESNEK!	K824	HK	K805	HK
K202	G	K202	G	K202		K825	HK	K806	HK
K205	G	K205	G	K205	ESNEK!	K705	CG	K818	HK
K206	G	K206	G	K206		K706	CG	K821	HK
K218	G	K218	G	K218	ESNEK!	K718	CG	K822	HK
K219	G	K219	G	K219		K719	CG	K824	HK
K221	G	K221	G	K221	ESNEK!	K721	CG	K705	CG
K222	G	K222	G	K222		K724	CG	K706	CG
K224	G	K224	G	K224	ESNEK!	K602	GÖ	K819	CG
K225	G	K225	G	K225		K605	GÖ	K825	CG
K301	G	K301	G	K301	ESNEK!	K606	GÖ	K102	GÖ
K302	G	K302	G	K302		K621	GÖ	K106	GÖ
K305	G	K305	G	K305	ESNEK!	K722	GÖ	K124	GÖ

Çizelge B.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırması (Şiddetli deprem için).

Kiriş numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K306	G	K306	G	K306		K101	G	K101	G
K318	G	K318	G	K318		K102	G	K105	G
K319	G	K319	G	K319		K105	G	K118	G
K321	G	K321	G	K321		K106	G	K119	G
K322	G	K322	G	K322		K118	G	K121	G
K324	G	K324	G	K324		K119	G	K122	G
K325	G	K325	G	K325		K121	G	K125	G
K401	G	K401	G	K401		K122	G	K201	G
K402	G	K402	G	K402		K124	G	K202	G
K405	G	K405	G	K405		K125	G	K205	G
K406	G	K406	G	K406		K201	G	K206	G
K418	G	K418	G	K418		K202	G	K218	G
K419	G	K419	G	K419		K205	G	K219	G
K421	G	K421	G	K421		K206	G	K221	G
K422	G	K422	G	K422		K218	G	K222	G
K424	G	K424	G	K424		K219	G	K224	G
K425	G	K425	G	K425		K221	G	K225	G
K501	G	K501	G	K501		K222	G	K301	G
K502	G	K502	G	K502		K224	G	K302	G
K505	G	K505	G	K505		K225	G	K305	G
K506	G	K506	G	K506		K301	G	K306	G
K518	G	K518	G	K518		K302	G	K318	G
K519	G	K519	G	K519		K305	G	K319	G

Çizelge B.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırması (Şiddetli deprem için).

Kiriş numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K521	G	K521	G	K521		K306	G	K321	G
K522	G	K522	G	K522		K318	G	K322	G
K524	G	K524	G	K524		K319	G	K324	G
K525	G	K525	G	K525		K321	G	K325	G
K601	G	K601	G	K601		K322	G	K401	G
K602	GÖ	K602	G	K602	ESNEK!	K324	G	K402	G
K605	GÖ	K605	G	K605	ESNEK!	K325	G	K405	G
K606	GÖ	K606	G	K606	ESNEK!	K401	G	K406	G
K618	G	K618	G	K618		K402	G	K418	G
K619	G	K619	G	K619		K405	G	K419	G
K621	GÖ	K621	G	K621	ESNEK!	K406	G	K421	G
K622	G	K622	G	K622		K418	G	K422	G
K624	G	K624	G	K624		K419	G	K424	G
K625	G	K625	G	K625		K421	G	K425	G
K701	HK	K701	HK	K701		K422	G	K501	G
K702	HK	K702	HK	K702		K424	G	K502	G
K705	CG	K705	CG	K705		K425	G	K505	G
K706	CG	K706	CG	K706		K501	G	K506	G
K718	CG	K718	HK	K718	ESNEK!	K502	G	K518	G
K719	CG	K719	HK	K719	ESNEK!	K505	G	K519	G
K721	CG	K721	HK	K721	ESNEK!	K506	G	K521	G
K722	GÖ	K722	HK	K722	ESNEK!	K518	G	K522	G
K724	CG	K724	HK	K724	ESNEK!	K519	G	K524	G

Çizelge B.3 (devam): Örnek bina için kiriş performans karşılaştırması (Şiddetli deprem için).

Kiriş numarasına göre sıralama						Performansa göre sıralama			
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Esnek mi?	Kiriş	Eleman Performansı	Kiriş	Eleman Performansı
K725	G	K725	HK	K725	ESNEK!	K521	G	K525	G
K801	HK	K801	HK	K801		K522	G	K601	G
K802	HK	K802	HK	K802		K524	G	K602	G
K805	HK	K805	HK	K805		K525	G	K605	G
K806	HK	K806	HK	K806		K601	G	K606	G
K818	HK	K818	HK	K818		K618	G	K618	G
K819	HK	K819	CG	K819	ESNEK!	K619	G	K619	G
K821	HK	K821	HK	K821		K622	G	K621	G
K822	HK	K822	HK	K822		K624	G	K622	G
K824	HK	K824	HK	K824		K625	G	K624	G
K825	HK	K825	CG	K825	ESNEK!	K725	G	K625	G

EK C : Tasarım depremi için örnek bina kolon performansları

Çizelge C.1: Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için).

		Kolon																	
		P/(Agfc')	Ve/bwd√fc'	m	FEMA356'ya göre performans								Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman Performansı							
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G		HK	CG	GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans
S101	Üst	0.20	0.25	1.56	2	3	4	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.20	0.25	1.77	2	3	4	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S102	Üst	0.22	0.92	1.04	2	2.4	3.2	HK				CG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.12	HK
	Alt	0.23	0.92	2.05	2	2.4	3.2		CG				0.81	0.19	0.00	0.00	0.12		
S103	Üst	0.26	0.30	2.22	1.25	2	3			GÖ		GÖ	0.81	0.19	0.00	0.00	0.12	0.12	HK
	Alt	0.26	0.30	2.08	1.25	2	3			GÖ			0.81	0.19	0.00	0.00	0.12		
S106	Üst	0.12	0.41	1.08	2	2.4	3.2	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.12	0.41	1.91	2	2.4	3.2	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S107	Üst	0.15	0.58	2.11	2	2.4	3.2		CG			CG	0.69	0.31	0.00	0.00	0.13	0.13	HK
	Alt	0.15	0.58	1.89	2	2.4	3.2	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S108	Üst	0.27	0.97	1.20	1.25	1.6	2.4	HK				GÖ	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.27	0.97	2.15	1.25	1.6	2.4			GÖ			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S201	Üst	0.16	0.33	1.57	2	3	4	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.16	0.33	1.63	2	3	4	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S202	Üst	0.19	0.70	1.28	2	2.4	3.2	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.19	0.70	1.37	2	2.4	3.2	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S203	Üst	0.22	0.46	2.50	2	2.4	3.2			GÖ		GÖ	0.00	0.87	0.13	0.00	0.21	0.21	CG
	Alt	0.22	0.46	2.53	2	2.4	3.2			GÖ			0.00	0.87	0.13	0.00	0.21		
S206	Üst	0.10	0.42	1.14	2	2.4	3.2	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.09	0.42	1.24	2	2.4	3.2	HK					1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S207	Üst	0.20	0.76	2.22	2	2.4	3.2		CG			CG	0.46	0.54	0.00	0.00	0.15	0.17	CG
	Alt	0.20	0.76	2.32	2	2.4	3.2		CG				0.26	0.74	0.00	0.00	0.17		
S208	Üst	0.23	0.80	1.43	2	2.4	3.2	HK				HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK

Çizelge C.1 (devam): Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için).

		Kolon																
		FEMA356'ya göre performans										Esnek Performans Modeline göre performans						
		P/(Agfc')	Ve/bwd√fc'	m	FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans			Eleman Performansı	max. Esnek						
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ		G	HK	CG	GÖ	G	inp	inp.
S301	Alt	0.24	0.80	1.51	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
	Üst	0.11	0.32	1.72	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.11	0.32	1.72	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S302	Üst	0.16	0.64	1.39	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.16	0.64	1.29	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S303	Üst	0.18	0.46	2.59	2	2.4	3.2			GÖ	GÖ	0.00	0.87	0.13	0.00	0.21	0.21	CG
	Alt	0.19	0.46	2.59	2	2.4	3.2			GÖ		0.00	0.87	0.13	0.00	0.21		
S306	Üst	0.06	0.40	1.18	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.06	0.40	1.15	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S307	Üst	0.17	0.73	2.28	2	2.4	3.2		CG		CG	0.33	0.67	0.00	0.00	0.17	0.17	CG
	Alt	0.18	0.73	2.26	2	2.4	3.2		CG			0.38	0.62	0.00	0.00	0.16		
S308	Üst	0.20	0.75	1.54	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.20	0.75	1.45	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S401	Üst	0.07	0.29	1.63	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.07	0.29	1.61	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S402	Üst	0.13	0.58	1.38	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.13	0.58	1.15	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S403	Üst	0.15	0.43	2.50	2	2.4	3.2			GÖ	GÖ	0.00	0.87	0.13	0.00	0.21	0.21	CG
	Alt	0.15	0.43	2.50	2	2.4	3.2			GÖ		0.00	0.87	0.13	0.00	0.21		
S406	Üst	0.03	0.37	1.13	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.37	1.04	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S407	Üst	0.15	0.67	2.19	2	2.4	3.2		CG		CG	0.52	0.48	0.00	0.00	0.15	0.15	HK
	Alt	0.15	0.67	2.15	2	2.4	3.2		CG			0.60	0.40	0.00	0.00	0.14		

Çizelge C.1 (devam): Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için).

Kolon																			
					FEMA356'ya göre performans							Esnek Performans Modeline göre performans							
					FEMA m kriteri				Alt-Üst Performans			Eleman Performansı	max. Esnek						
					HK	CG	GÖ	G	HK	CG	GÖ		G	inp	inp.	Performans			
P/(Agfc')	Ve/bwd\fc'	m			HK	CG	GÖ	G			HK	CG	GÖ	G	inp	inp.			
S408	Üst	0.17	0.69	1.53	2	2.4	3.2	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.17	0.69	1.32	2	2.4	3.2	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S501	Üst	0.03	0.25	1.31	2	3	4	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.03	0.25	1.29	2	3	4	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S502	Üst	0.10	0.51	1.18	2	2.4	3.2	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.10	0.51	0.88	2	2.4	3.2	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S503	Üst	0.12	0.38	2.08	2	2.4	3.2		CG	CG	0.71	0.29	0.00	0.00	0.13	0.13	HK		
	Alt	0.12	0.38	2.07	2	2.4	3.2		CG		0.74	0.26	0.00	0.00	0.13				
S506	Üst	0.01	0.32	0.92	2	3	4	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.00	0.32	0.81	2	3	4	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S507	Üst	0.12	0.59	1.81	2	2.4	3.2	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.12	0.59	1.75	2	2.4	3.2	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S508	Üst	0.13	0.60	1.31	2	2.4	3.2	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.14	0.60	1.04	2	2.4	3.2	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S601	Üst	0.01	0.21	1.58	2	3	4	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.01	0.21	1.53	2	3	4	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S602	Üst	0.07	0.42	1.54	2	2.4	3.2	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.07	0.42	0.99	2	2.4	3.2	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S603	Üst	0.09	0.32	2.59	2	3	4		CG	CG	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.09	0.32	2.58	2	3	4		CG		1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S606	Üst	0.01	0.26	1.13	2	3	4	HK		HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK		
	Alt	0.01	0.26	0.93	2	3	4	HK			1.00	0.00	0.00	0.00	0.10				
S607	Üst	0.09	0.49	2.25	2	2.4	3.2		CG	CG	0.40	0.60	0.00	0.00	0.16	0.16	CG		

Çizelge C.1 (devam): Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için).

		Kolon																
		P/(Agfc')	Ve/bwd√fc'	m	FEMA356'ya göre performans						Eleman Performansı	Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				max. inp.					Esnek Performans	
					HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ		G	HK	CG	GÖ	G		inp
	Alt	0.10	0.49	2.13	2	2.4	3.2	CG					0.64	0.36	0.00	0.00	0.14	
S608	Üst	0.10	0.50	1.71	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.10	0.50	1.20	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S701	Üst	0.01	0.15	1.09	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.01	0.15	1.03	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S702	Üst	0.05	0.32	1.24	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.05	0.32	0.60	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S703	Üst	0.06	0.24	1.92	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.06	0.24	1.92	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S706	Üst	0.02	0.19	0.82	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.02	0.19	0.58	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S707	Üst	0.06	0.36	1.64	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.07	0.36	1.51	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S708	Üst	0.07	0.38	1.37	2	2.4	3.2	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.07	0.38	0.78	2	2.4	3.2	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S801	Üst	0.01	0.09	0.76	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.01	0.09	0.66	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S802	Üst	0.02	0.16	0.91	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.02	0.16	0.22	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S803	Üst	0.03	0.17	1.65	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.17	1.57	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S806	Üst	0.01	0.11	0.47	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.02	0.11	0.24	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		

Çizelge C.1 (devam): Örnek bina kolon performansları (Tasarım depremi için).

		Kolon																
		FEMA356'ya göre performans										Esnek Performans Modeline göre performans						
					FEMA m kriteri			Alt-Üst Performans				Eleman Performansı						
$P/(Agfc')$	$Ve/bwd\sqrt{fc'}$	m	HK	CG	GÖ	HK	CG	GÖ	G	HK	CG		GÖ	G	inp	max. inp.	Esnek Performans	
S807	Üst	0.04	0.24	1.41	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.04	0.24	1.15	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		
S808	Üst	0.03	0.23	1.13	2	3	4	HK			HK	1.00	0.00	0.00	0.00	0.10	0.10	HK
	Alt	0.03	0.23	0.43	2	3	4	HK				1.00	0.00	0.00	0.00	0.10		

Çizelge C.2: Örnek bina kolon performans kıyasları (Tasarım depremi için).

Kolon numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Esnek mi?	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı
S101	HK	S101	HK	S101		S101	HK	S101	HK
S102	CG	S102	HK	S102	ESNEK!	S106	HK	S102	HK
S103	GÖ	S103	HK	S103	ESNEK!	S201	HK	S103	HK
S106	HK	S106	HK	S106		S202	HK	S106	HK
S107	CG	S107	HK	S107	ESNEK!	S206	HK	S107	HK
S108	GÖ	S108	HK	S108	ESNEK!	S208	HK	S108	HK
S201	HK	S201	HK	S201		S301	HK	S201	HK
S202	HK	S202	HK	S202		S302	HK	S202	HK
S203	GÖ	S203	CG	S203	ESNEK!	S306	HK	S206	HK
S206	HK	S206	HK	S206		S308	HK	S208	HK
S207	CG	S207	CG	S207		S401	HK	S301	HK
S208	HK	S208	HK	S208		S402	HK	S302	HK
S301	HK	S301	HK	S301		S406	HK	S306	HK
S302	HK	S302	HK	S302		S408	HK	S308	HK
S303	GÖ	S303	CG	S303	ESNEK!	S501	HK	S401	HK
S306	HK	S306	HK	S306		S502	HK	S402	HK
S307	CG	S307	CG	S307		S506	HK	S406	HK
S308	HK	S308	HK	S308		S507	HK	S407	HK
S401	HK	S401	HK	S401		S508	HK	S408	HK
S402	HK	S402	HK	S402		S601	HK	S501	HK
S403	GÖ	S403	CG	S403	ESNEK!	S602	HK	S502	HK
S406	HK	S406	HK	S406		S606	HK	S503	HK

Çizelge C.2 (devam): Örnek bina kolon performans kıyasları (Tasarım depremi için).

Kolon numarasına göre sıralama					Performansa göre sıralama				
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Esnek mi?	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı
S407	CG	S407	HK	S407	ESNEK!	S608	HK	S506	HK
S408	HK	S408	HK	S408		S701	HK	S507	HK
S501	HK	S501	HK	S501		S702	HK	S508	HK
S502	HK	S502	HK	S502		S703	HK	S601	HK
S503	CG	S503	HK	S503	ESNEK!	S706	HK	S602	HK
S506	HK	S506	HK	S506		S707	HK	S603	HK
S507	HK	S507	HK	S507		S708	HK	S606	HK
S508	HK	S508	HK	S508		S801	HK	S608	HK
S601	HK	S601	HK	S601		S802	HK	S701	HK
S602	HK	S602	HK	S602		S803	HK	S702	HK
S603	CG	S603	HK	S603	ESNEK!	S806	HK	S703	HK
S606	HK	S606	HK	S606		S807	HK	S706	HK
S607	CG	S607	CG	S607		S808	HK	S707	HK
S608	HK	S608	HK	S608		S102	CG	S708	HK
S701	HK	S701	HK	S701		S107	CG	S801	HK
S702	HK	S702	HK	S702		S207	CG	S802	HK
S703	HK	S703	HK	S703		S307	CG	S803	HK
S706	HK	S706	HK	S706		S407	CG	S806	HK
S707	HK	S707	HK	S707		S503	CG	S807	HK
S708	HK	S708	HK	S708		S603	CG	S808	HK
S801	HK	S801	HK	S801		S607	CG	S203	CG
S802	HK	S802	HK	S802		S103	GÖ	S207	CG
S803	HK	S803	HK	S803		S108	GÖ	S303	CG

Çizelge C.2 (devam): Örnek bina kolon performans kıyasları (Tasarım depremi için).

Kolon numarasına göre sıralama						Performansa göre sıralama			
FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre		KARŞILAŞTIRMA		FEMA356 Kriterlerine göre		Esnek Performans Kriterlerine göre	
Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Esnek mi?	Kolon	Eleman Performansı	Kolon	Eleman Performansı
S806	HK	S806	HK	S806		S203	GÖ	S307	CG
S807	HK	S807	HK	S807		S303	GÖ	S403	CG
S808	HK	S808	HK	S808		S403	GÖ	S607	CG

ÖZGEÇMİŞ



Ad Soyad: Ferhat PAKDAMAR

Doğum Yeri ve Tarihi: K.Maraş / 1978

Lisans Üniversitesi: Erciyes Üniversitesi

Yüksek Lisans Üniversitesi: İstanbul Teknik Üniversitesi

Yayın Listesi:

- **Pakdamar, F.**, Guler, K. 2008: Fuzzy Logic Approach in the Performance Evaluation of Reinforced Concrete Structures (Flexible Performance). *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing.
- Celep, Z., İncecik, M., **Pakdamar, F.**, 2008: Structural and Earthquake Response Analysis of the Muradiye Mosque in Bulgaria. *The 14th World Conference on Earthquake Engineering*, October 12-17, 2008, Beijing.
- Altan, M., Güler, K., **Pakdamar, F.**, 2008: Yığma Bir Binanın Deprem Performansı Üzerine. *Prof. Yusuf Berdan, Prof. İsmet Aka, Prof. Mehmet Rahmi Bilge ve Prof.Dr. Halit Demir, Betonarme Yapılar Semineri*, 29 Mayıs 2008, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- **Pakdamar, F.**, Guler, K. 2007: Betonarme Yapıların Performansa Göre Değerlendirilmesinde Esnek Yaklaşım. *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- Celep, Z., Sağlamer, A., Güler, K., **Pakdamar, F.**, 2004: Structural and Earthquake Response Analysis of Little Hagia Sophia Mosque. *The 13th World Conference on Earthquake Engineering*, August 1-6, 2004, Vancouver.