İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

İ.T.Ü MERKEZ KÜTÜPHANESİ
Demirbaş No: 101.693
Küt. Giriş No : .....
Disketli

İNŞ
DR1934
KÖM

DOKTORA TEZİ
Y. Müh. Mahmut KÖMÜR
(501972027)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 03 Eylül 2003
Tezin Savunulduğu Tarih : 29 Ocak 2004

Tez Danışmanı :	**Prof. Dr. Melike ALTAN**	16/02/2004
Diğer Jüri Üyeleri	**Prof. Dr. Zekai CELEP (İ.T.Ü.)**	16.02.2004
	Prof. Dr. Metin AYDOĞAN (İ.T.Ü.)	16/02/04
	Prof. Dr. Zekeriya POLAT (Y.T.Ü.)	16.02.04
	Prof. Dr. Gülay ALTAY (B.Ü.)	

OCAK 2004

0 001016 930015

ÖNSÖZ

Çalışmalarımın her aşamasında değerli bilgi birikimini paylaşan ve gösterdiği her türlü ilgi, destek ve anlayış için sayın hocam Prof. Dr. Melike ALTAN'a sevgi ve saygı ile teşekkürlerimi sunarım.

Ocak 2004

Mahmut KÖMÜR

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR vii
TABLO LİSTESİ viii
ŞEKİL LİSTESİ x
SEMBOL LİSTESİ xiii
ÖZET xv
SUMMARY xvi

1. GİRİŞ 1

2. DEPREM HASARI GÖREN BİNALARDA HASAR TESPİT YÖNTEMLERİ 7
2.1. Japon Hızlı Değerlendirme Yöntemi 7
2.1.1. Taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasarın sınıflandırılması 7
2.1.1.1. Hasar sınıflarının genel tanımı ve yapı elemanlarının hasar aşamaları 7
2.1.1.2. Hasarın ayrıntılı tanımı 8
2.1.1.3. Yapı elemanlarının davranış eğrisi ve hasar derecelerinin belirlenmesi 9
2.1.2. Taşıyıcı olmayan duvarların hasar düzeyleri 9
2.1.2.1. Taşıyıcı olmayan duvarlar için hasarın ayrıntılı tanımı 9
2.1.3. Japon yöntemine göre hasar tespit formunun hazırlanması 11
2.2. ATC-21 - Hızlı Davranış Değerlendirme Yöntemi 12
2.2.1. Veri toplama 13
2.2.2. Temel yapısal risk puanı 13
2.2.3. Yapı tipleri 14
2.2.4. Yapısal puan S ve kesim değeri 15
2.3. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Normlarına Göre Hızlı Değerlendirme Yöntemi 15
2.3.1. Deprem sonrası hasar tespiti 15
2.3.2. Hasar tespit formunun yapısı 16
2.3.3. Hasar düzeyi belirleme yöntemi 17

3. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER 21
3.1. ATC-22 - Davranış Değerlendirme Yöntemi 21
3.1.1. Veri toplama 21
3.1.2. Taşıyıcı sistemin belirlenmesi 21
3.1.3. Taşıyıcı sistemin çözümlenmesi 22
3.2. FEMA 310 Yöntemi 22
3.2.1. İncelemeye dahil olan binalar 23
3.2.2. Değerlendirme seviyeleri 23

3.2.3. Kullanılan analiz yöntemleri 23
3.2.4. Uygulama 23
3.3. Sismik İndeks Yöntemi 41
3.3.1. Deprem performansının açıklanması 42
3.3.1.1. Taşıyıcı sisteme ait I_S Yapı Deprem İndeksinin hesabı 43
3.3.1.2. Taşıyıcı olmayan elemanlar için I_N Deprem İndeksi 58
3.3.2. Deprem performansının değerlendirilmesi 59
3.3.2.1. Yapının deprem kıyaslama indeksi 60
3.3.3. Uygulama 61

4. SİSMİK İNDEKS YÖNTEMİNİN ÜLKEMİZDEKİ BİNALARA UYGULANABİLİRLİĞİ 66
4.1. Düzensizlik Durumları 66
4.2. Çıkmalı Binalar 68
4.3. Düzensizliklerin Tasarım ve Boyutlama İndeksine Etkisi 69

5. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC) 72
5.1. Genel 72
5.2. Klasik Mantık ve Klasik Küme Teorisi 73
5.3. Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi 74
5.3.1. Bulanık sistem 76
5.3.2. Üyelik fonksiyonları 77
5.3.2.1. Üyelik fonksiyonlarının kısımları 80
5.3.3. Bulanık küme işlemleri 83
5.3.4. Bulanık matematik 84
5.3.4.1. Bulanık sayıların toplanması 85
5.3.4.2. Bulanık sayıların çıkarılması 86
5.3.4.3. Bulanık sayıların çarpılması 86
5.3.4.4. Bulanık sayıların bölünmesi 86
5.3.5. Bulanık küme ilişkileri 86
5.3.6. Bulanıklaştırma 91
5.3.7. Üyelik derecesi ataması 91
5.3.8. Bulanık kural tabanı 93
5.3.8.1. Sözel eşikler 94
5.3.8.2. Bulanık kuralların harmanlanması 97
5.3.8.3. Kural tabanlı sistemler 98
5.3.9. Durulaştırma 98
5.3.9.1. En büyük üyelik ilkesi 99
5.3.9.2. Ağırlık merkezi yöntemi 100
5.3.9.3. Ağırlıklı ortalama yöntemi 100

6. DEPREM HASARI GÖREN BİNALARIN HASAR TESPİTİNDE BULANIK MANTIK TEKNİĞİNİN UYGULANMASI 102
6.1. Genel 102
6.2. Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Çözümlenmesi 102
6.2.1. Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının klasik hesabı 102
6.2.2. Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık tekniği ile hesabı 103
6.2.2.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 103

6.2.2.2. Giriş değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 104
6.2.2.3. Çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 105
6.2.2.4. Kural tabanı 105
6.2.2.5. Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı çıkarımlarının durulaştırılması 106
6.3. Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Çözümlenmesi 109
6.3.1. Karakteristik beton basınç dayanımı puanının klasik hesabı 109
6.3.2. Karakteristik beton basınç dayanımı puanının bulanık mantık tekniği ile hesabı 110
6.3.2.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 110
6.3.2.2. Giriş değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 110
6.3.2.3. Çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 111
6.3.2.4. Kural tabanı 111
6.3.2.5. Bulanık mantık karakteristik beton basınç dayanımı puanı çıkarımlarının durulaştırılması 112
6.4. Uygulama 114

7. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE BULANIK MANTIK TEKNİĞİNİN SİSMİK İNDEKS YÖNTEMİNE UYGULANMASI 117
7.1. Bazı Düzensizlik Durumlarının Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi 117
7.1.1. Bodrum kat düzensizliğinin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi 117
7.1.1.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 117
7.1.1.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 117
7.1.1.3. Kural tabanı 118
7.1.2. Kat yüksekliği farklılıklarının oluşturduğu düzensizliğin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi 119
7.1.2.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 119
7.1.2.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 119
7.1.2.3. Kural tabanı 119
7.1.3. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat)'nin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi 121
7.1.3.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 121
7.1.3.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 121
7.1.3.3. Kural tabanı 122
7.1.4. Komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat)'nin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi 123
7.1.4.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 123
7.1.4.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 123
7.1.4.3. Kural tabanı 124
7.1.5. Çıkma kat düzensizliğinin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi 125
7.1.5.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 125

7.1.5.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonlarının seçimi 126
7.1.5.3. Kural tabanı 126
7.2. Deprem Performans İndeksinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Hesabı 128
7.2.1. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri 128
7.2.2. Bulanık girdi ve çıktı değişkenleri için üyelik fonksiyonlarının seçimi 128
7.2.3. Kural tabanı 128
7.3. Uygulamalar 132
7.3.1. Uygulama 1 132
7.3.2. Uygulama 2 146

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER **161**

KAYNAKLAR **164**

EKLER **168**

ÖZGEÇMİŞ **181**

KISALTMALAR

CG	: Can Güvenliği Performans Seviyesi
AY	: Acil Yerleşim Performans Seviyesi
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
FL	: Bulanık Mantık (Fuzzy Logic)
U	: Uygun
UD	: Uygun Değil
UM	: Uygulanamaz
DELTA	: δ/h Değeri ($*10^{-4}$)
YDPUANI	: Yerdeğiştirme Puanı
PDYÜZDESİ	: Beton Basınç Dayanımının Proje Dayanım Yüzdesi
SİHP	: Sistem Hasar Puanı
KKYP	: Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı
HAP	: Hasar Arttırıcı Puan
ÇMHP	: Çatı ve Merdiven Hasar Puanı
AOP	: Aşırı Oturma Puanı
THP	: Toplam Hasar Puanı
BSHS	: Temel Yapısal Risk Puanı
EHP	: Eleman Hasar Puanı
TS	: Toplam Eleman Sayısı
EÖK	: Eleman Önem Katsayısı
H	: Hasarsız
A	: Az Hasarlı
O	: Orta Hasarlı
AH	: Ağır Hasarlı
EB	: Üyelik Derecesini En Büyükleme
EK	: Üyelik Derecesini En Küçükleme

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 2.1.	Hasar dereceleri ve hasarın ayrıntılı tanımı	8
Tablo 2.2.	Yapı tipleri için temel yapısal risk puanları	14
Tablo 2.3.	Yerinde dökülmüş betonarme çerçeve sisteme sahip örnek bir bina için değerler	18
Tablo 3.1.	Yapı elemanlarının sınıflandırılması	43
Tablo 3.2.	2. İnceleme seviyesinde kullanılan taşıyıcı elemanların sınıflandırılması	46
Tablo 3.3.	(3.5) denkleminde yer alan a_2 değerleri	46
Tablo 3.4.	(3.5) denkleminde yer alan a_3 değerleri	46
Tablo 3.5.	2. inceleme seviyesi için F süneklik indeksi değerleri	52
Tablo 3.6.	S_D indeksinin hesabı için G_i ve R_i faktörleri	54
Tablo 3.7.	Zamanla bozulma indeksi T'nin kontrol aşamaları (1. inceleme seviyesi)	56
Tablo 3.8.	Zamanla bozulma indeksi T için kontrol aşamaları (2. ve 3. inceleme seviyesi)	57
Tablo 3.9.	Tablo 3.8'de geçen bazı parametrelerin anlamları	57
Tablo 3.10.	f katsayısı değerleri	58
Tablo 3.11.	t katsayısı değerleri	58
Tablo 3.12.	H indeksi değerleri	59
Tablo 3.13.	Zemin koşullarına göre G zemin indeksi	60
Tablo 3.14	1. inceleme seviyesi için elde edilen sonuçlar	63
Tablo 3.15	2. inceleme seviyesi için elde edilen sonuçlar (zemin kat)	64
Tablo 4.1.	Genişletilmiş S_D indeksinin hesabı için G_i ve R_i faktörleri	70
Tablo 6.1.	Bazı δ/h değerlerine karşılık gelen bulanık mantık ve klasik puan değerleri	108
Tablo 6.2.	Bulunan karakteristik beton basınç dayanımının proje karakteristik beton basınç dayanımına oranına göre sınıflandırma.	109
Tablo 6.3.	Bazı karakteristik beton basınç dayanımı değerleri için bulanık mantık tekniği ile elde edilen puan değerleri	113
Tablo 6.4.	Klasik ve bulanık hasar tespit yöntemi ile hasar puanlarının hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar	116
Tablo 7.1.	Bodrum kat düzensizliği için bazı h oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri	119
Tablo 7.2.	Farklı kat yükseklikleri düzensizliği için bazı i oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri	121
Tablo 7.3.	Yumuşak kat düzensizliği için bazı j oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri	123
Tablo 7.4.	Zayıf kat düzensizliği için bazı u oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri	124

Tablo 7.5. Çıkma kat düzensizliği için bazı y oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri 127
Tablo 7.6. Bazı E_0 ve S_D değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık I_{ST} değerleri 129
Tablo 7.7. Uygulama problemi için E_0 ve S_D değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık I_{ST} değerleri (zemin kat 2. inceleme seviyesi) ... 131
Tablo 7.8. 1. inceleme seviyesinde elde edilen sonuçlar 134
Tablo 7.9. 1. kat (zemin kat) için 2. inceleme seviyesinde elde edilen sonuçlar 135
Tablo 7.10. 1. kat (zemin kat) için klasik ve bulanık I_S değerleri 141
Tablo 7.11. Binanın bütün katları için 1. inceleme seviyesi sonuçları 141
Tablo 7.12. Binanın bütün katları için 2. inceleme seviyesi sonuçları 142
Tablo 7.13. Binanın her iki doğrultusu için 1. ve 2. inceleme seviyesinde elde edilen $I_{S(klasik)}$ ve $I_{S(bulanık)}$ değerleri 142
Tablo 7.14. 1. inceleme seviyesinde elde edilen sonuçlar 148
Tablo 7.15. 1. kat (zemin kat) için 2. inceleme seviyesinde elde edilen sonuçlar 149
Tablo 7.16. 1. kat (zemin kat) için klasik ve bulanık I_S değerleri 155
Tablo 7.17. Binanın bütün katları için 1. inceleme seviyesi sonuçları 156
Tablo 7.18. Binanın bütün katları için 2. inceleme seviyesi sonuçları 157
Tablo 7.19. Binanın her iki doğrultusu için 1. ve 2. inceleme seviyesinde elde edilen $I_{S(klasik)}$ ve $I_{S(bulanık)}$ değerleri 158

ŞEKİL LİSTESİ

		Sayfa No
Şekil 2.1	: Sünek yapı elemanlarının davranış eğrisi ve hasar derecelerinin belirlenmesi	9
Şekil 2.2	: Sünek olmayan (gevrek) yapı elemanlarının davranış eğrisi ve hasar derecelerinin belirlenmesi	10
Şekil 3.1	: Perdelerin gösterimi	48
Şekil 3.2	: Temiz kat yüksekliği	48
Şekil 3.3	: Kolon kesiti ve boyutları	49
Şekil 3.4	: Bir binanın plandaki en dar ve en geniş boyutu	55
Şekil 3.5	: Binanın zemin kat planı	63
Şekil 3.6	: Kolon boyutları ve donatı düzeni	63
Şekil 4.1	: Burulma düzensizliği	67
Şekil 4.2	: Döşemede süreksizlik düzensizliği	67
Şekil 4.3	: Çıkıntı düzensizliği	67
Şekil 4.4	: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizlik düzensizliği	67
Şekil 4.5	: Çıkmalı binalar	68
Şekil 5.1	: Klasik küme teorisine uygun "*Sıcak*" keskin kümesinin gösterimi	73
Şekil 5.2	: Bulanık küme teorisine uygun "*Sıcak*" bulanık kümesinin gösterimi	75
Şekil 5.3	: Bulanık kümede örtüşüm	75
Şekil 5.4	: Klasik sistem	76
Şekil 5.5	: Genel bulanık sistem	76
Şekil 5.6	: Bulanıklaştırma - durulaştırma birimli bulanık sistem	77
Şekil 5.7	: Bitişik dikdörtgenli gösterim	78
Şekil 5.8	: Örtüşmeli üçgen gösterim	78
Şekil 5.9	: Bulanık küme	79
Şekil 5.10	: Yamuk ve çan eğrisi üyelik fonksiyonları	80
Şekil 5.11	: Üyelik fonksiyonu kısımları	81
Şekil 5.12	: Normal ve normal olmayan bulanık kümeler	81
Şekil 5.13	: Dışbükey ve dışbükey olmayan bulanık kümeler	82
Şekil 5.14	: Dışbükey bulanık kümelerin kesişimi	82
Şekil 5.15	: Bulanık küme işlemleri	83
Şekil 5.16	: Bulanık sayı kesim seviyeleri	85
Şekil 5.17	: İki bulanık kümenin toplamı	85
Şekil 5.18	: Sagittal diyagramı	87
Şekil 5.19	: Bulanık ve klasik kümede hassaslık (prezisyon)	91
Şekil 5.20	: Sıcaklık bulanık alt kümeleri	92
Şekil 5.21	: Üyelik fonksiyonlarında daraltma	95
Şekil 5.22	: Üyelik fonksiyonlarında genişleme	96
Şekil 5.23	: Üyelik fonksiyonlarının yoğunlaşması	96
Şekil 5.24	: Tipik bir bulanık küme çıktısı	99

Şekil 5.25 : En büyük üyelik derecesi yöntemine göre durulaştırma 99
Şekil 5.26 : Ağırlık merkezi yöntemi ile durulaştırma 100
Şekil 5.27 : Ağırlıklı ortalama yöntemi ile durulaştırma 101
Şekil 6.1 : Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı için bulanık sistem modeli 104
Şekil 6.2 : *DELTA* girdi değişkeni için üyelik fonksiyonları 104
Şekil 6.3 : *YDPUANI* çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonları 105
Şekil 6.4 : *DELTA* girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 106
Şekil 6.5 : *YDPUANI* çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 106
Şekil 6.6 : Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı çıkarımlarının centroid yöntemi ile durulaştırılması 107
Şekil 6.7 : Verilen belirli bir *DELTA* girdi değeri için durulaştırma yöntemi kullanılarak *YDPUANI* çıktı değerinin elde edilmesi 108
Şekil 6.8 : *PDYÜZDESİ* girdi değişkeni için üyelik fonksiyonları 110
Şekil 6.9 : *PUAN* çıktı değişkeni için üyelik fonksiyonları 111
Şekil 6.10 : *PDYÜZDESİ* girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 112
Şekil 6.11 : *PUAN* çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 112
Şekil 6.12 : Verilen belirli bir *PDYÜZDESİ* girdi değeri için durulaştırma yöntemi kullanılarak *PUAN* çıktı değerinin elde edilmesi 113
Şekil 6.13 : $\delta/h=14.10^{-4}$ girdi değeri için katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının elde edilmesi 115
Şekil 6.14 : Karakteristik beton basınç dayanımının proje dayanımının %62'sini sağladığı durum için hasar puanı çıktı değerinin elde edilmesi 115
Şekil 7.1 : '*h ORANI*' girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 118
Şekil 7.2 : '*G DEĞERİ*' çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 118
Şekil 7.3 : '*i ORANI*' girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 120
Şekil 7.4 : '*G DEĞERİ*' çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 120
Şekil 7.5 : '*j ORANI*' girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 122
Şekil 7.6 : '*G DEĞERİ*' çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 122
Şekil 7.7 : '*u ORANI*' girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 125
Şekil 7.8 : '*G DEĞERİ*' çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 125
Şekil 7.9 : '*y ORANI*' girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları 127
Şekil 7.10 : '*G DEĞERİ*' çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 127
Şekil 7.11 : E_0 *İNDEKSİ* girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 130
Şekil 7.12 : S_D *İNDEKSİ* girdi değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 130
Şekil 7.13 : I_{ST} *İNDEKSİ* çıktı değişkeni için eğitilmiş üyelik fonksiyonları ... 131
Şekil 7.14 : Binanın zemin kat planı 133
Şekil 7.15 : Çıkma kat düzensizliği için bulanık çıkarım 137
Şekil 7.16 : E_0=0.134 ve $S_{D(bulanık)}$=0.832 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (1. inceleme seviyesi X ve Y doğrultusu için) 138
Şekil 7.17 : E_0=0.448 ve $S_{D(bulanık)}$=0.916 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (2. inceleme seviyesi X doğrultusu için)..... 139
Şekil 7.18 : E_0=0.382 ve $S_{D(bulanık)}$=0.916 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (2. inceleme seviyesi Y doğrultusu için) 140
Şekil 7.19 : Binanın X doğrultusunda 1. ve 2. inceleme seviyesi klasik ve bulanık sonuçlarının grafik gösterimi 143

Şekil 7.20 : Binanın Y doğrultusunda 1. ve 2. inceleme seviyesi klasik ve bulanık sonuçlarının grafik gösterimi 143
Şekil 7.21 : Binanın X doğrultusunda 1. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 144
Şekil 7.22 : Binanın X doğrultusunda 2. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 144
Şekil 7.23 : Binanın Y doğrultusunda 1. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 145
Şekil 7.24 : Binanın Y doğrultusunda 2. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 145
Şekil 7.25 : Bina kat planı 147
Şekil 7.26 : Çıkma kat düzensizliği için bulanık çıkarım 152
Şekil 7.27 : E_0=0.117 ve $S_{D(bulanık)}$=0.912 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (1. inceleme seviyesi X ve Y doğrultusu için)..... 153
Şekil 7.28 : E_0=0.375 ve $S_{D(bulanık)}$=0.956 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (2. inceleme seviyesi X doğrultusu için) 154
Şekil 7.29 : E_0=0.248 ve $S_{D(bulanık)}$=0.956 bulanık girdileri için deprem performans indeksi I_s 'in bulanık çıkarımı (2. inceleme seviyesi Y doğrultusu için) 155
Şekil 7.30 : Binanın X doğrultusunda 1. ve 2. inceleme seviyesi klasik ve bulanık sonuçlarının grafik gösterimi 158
Şekil 7.31 : Binanın Y doğrultusunda 1. ve 2. inceleme seviyesi klasik ve bulanık sonuçlarının grafik gösterimi 158
Şekil 7.32 : Binanın X doğrultusunda 1. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 159
Şekil 7.33 : Binanın X doğrultusunda 2. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 159
Şekil 7.34 : Binanın Y doğrultusunda 1. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 160
Şekil 7.35 : Binanın Y doğrultusunda 2. inceleme seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ oranı değerlerinin grafik gösterimi 160
Şekil B.1(a) : Bilgisayar programı akış şeması 179
Şekil B.1(b) : Bilgisayar programı akış şeması (devamı) 180

SEMBOL LİSTESİ

A_{w1} : İki ucunda kolon bulunan (iki tarafından başlıklı) perdelerin toplam kesit alanı

A_{w2} : Bir ucunda kolon bulunan (bir tarafından başlıklı) perdelerin toplam kesit alanı

A_{w3} : Başlıksız perdelerin toplam kesit alanı

A_{c1} : $h_0/D<6$ olan kolonların toplam kesit alanı

A_{c2} : $h_0/D\geq6$ olan kolonların toplam kesit alanı

A_{sc} : Kısa kolonların ($h_0/D\leq2$) toplam kesit alanı

h_0 : Döşeme üstünden kiriş altına kadar olan temiz kat yüksekliği

f_{cd} : Betonun hesap basınç dayanımı

W : Göz önüne alınan kat üzerindeki yapı ağırlığı

b : Kolonun kesit genişliği

D : Kolonun kesit yüksekliği

f_{yd} : Boyuna donatının akma dayanımı

a_g : Boyuna donatıların toplam alanı

A : Toplam kesit alanı

β : Kenar perdenin basınç yüzü uzunluğunun kolon yüksekliğine oranı

Z : Çıkarım bulanık kümesi

z : Çıkarım bulanık kümesi öğeleri

u : Dayanım düzensizlik katsayısı

L_w : İki taraftaki kolonların ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

d : Çekme donatısı ağırlık merkezinin beton basınç bölgesi en dış lifine olan uzaklığı

ρ_t : Çekme donatısı oranı

ρ_w : Kayma donatısı oranı

f_{wyd} : Kayma donatısının akma gerilmesi

σ_0 : Kolonun eksenel gerilmesi

j : Manivela kolu

M : Düşey elemandaki moment

Q : Düşey elemandaki kayma

ρ_{sh} : Yatay donatı oranı

a_t : Kolonun çekme tarafındaki toplam donatı alanı

L : Beton basınç bölgesi en dış lifi ile beton çekme bölgesi en dış lifi arasındaki mesafe

s : Perdede yatay donatılar arasındaki mesafe

N : Kenar kolonlardaki toplam düşey yük

a_w : Perdede yatay donatı alanı

G_i : İncelenen her bölümün inceleme derecesi

R_i : Her bir bölümün yapının deprem performansına etki derecesi

B_j : Yapının inşa kalitesine bağlı indeks

W_j : Duvar alanına bağlı indeks

h_l : Yapısal olmayan elemanın düşey uzunluğu,

BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE BULANIK MANTIK YAKLAŞIMI

ÖZET

Bu tez kapsamında incelenecek olan bulanık mantık yaklaşımı ile deprem hasarı gören binaların hasar düzeyinin tespiti ve mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi konusu, özellikle sıkça depreme maruz kalan ülkelerde çözüm bekleyen önemli bir sorun olagelmiştir. Bu özelliğiyle konu bilim dünyasının hep gündeminde kalmış ve pek çok çalışmaya esas oluşturmuştur. Mevcut binaların deprem güvenliği ve hasar düzeyi belirleme yöntemleri üzerinde yürütülen çalışmalar, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin de yardımı ile son dönemlerde oldukça ilerlemiştir.

Deprem güvenliği ve binalarda oluşacak hasarın tespitindeki belirsizlik, karmaşıklık ve insana ait olan yargılardaki bulanıklık bu konuda ön plana çıkan zorluklardandır. Bu tez çalışmasında, bulanık mantığın deprem hasarı gören binalardaki hasarın tespiti ve mevcut binaların depreme karşı güvenliği konusundaki yeri incelenmiştir. Bunun için hızlı bilgisayar destekli programlamaya ihtiyaç duyulmaktadır. Geçmiş depremlerden elde edilen bilgi ve veriler, bu çalışma kapsamında bir bilgisayar yardımı ile işlenerek, bulanık mantık esaslı bir uzman sistem geliştirilmeye çalışılmıştır. Ayrıca, yapılan çalışma sonucunda elde edilen sonuçların geleneksel modellere göre farklılıklarının ortaya çıkarılması ve modellerin birbirlerine göre performanslarının karşılaştırılması amaçlanmıştır.

Mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesi amacıyla, yazar tarafından ülkemizde sık karşılaşılan çıkmalı binalar ile plan ve kesitte görülen burulma düzensizliği, döşeme süreksizliği, çıkıntı düzensizliği, zayıf kat ve düşeyde süreksizlik gibi düzensizlik durumlarının eklenmesi ile genişletilmiş Japon Sismik İndeks yöntemi esaslı, *C* programlama dili ile kodlanmış bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çözüm sonuçları ilgili bölümlerde tablo ve grafikler ile verilmiştir.

Bu tez çalışmasında, deprem sonrası hasar görmüş yapıda deprem hasarının tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yerdeğiştirme ve karakteristik beton basınç dayanımının hasar tespitine etkisi daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla, bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Ayrıca bu çalışmada, bulanık mantık Sismik İndeks Yöntemi'ndeki bodrum kat düzensizliği, kat yüksekliği farklılıklarının oluşturduğu düzensizlik, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) ve çıkmalı binalarda görülen çıkma kat düzensizliğine uygulanmış ve G_i değerleri bulanık mantık ile bulunmuştur. Bundan başka, Deprem Performans İndeksi I_S değerleri bulanık mantık ile hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bulanık mantık çözümünün geleneksel ve klasik çözümün keskin geçişlerini yumuşattığı, belli bir esneklik kazandırdığı ve bu durumun daha güvenilir sonuçların elde edilmesine yardımcı olduğu görülmektedir.

FUZZY LOGIC APPROACH FOR SEISMIC SAFETY EVALUATION OF BUILDINGS

SUMMARY

Especially in countries which are frequently exposed to earthquake, damage assessment of seismic damaged buildings and seismic safety evaluation of existing buildings have been always an important problem. Therefore, this subject has not lost its actuality in earthquake engineering. Various studies have been carried out to find a procedure for damage assessment having wide application spectrum. Studies about seismic safety evaluation of existing buildings and damage assessment methods have been fairly developed as computer technology improves in recent years.

Vagueness, complexity and fuzziness in human judgements lead into several difficulties related to damage assessment of seismic damaged buildings and seismic safety evaluation of existing buildings. In this study, state of art of damage assessment of seismic damaged buildings and seismic safety evaluation of existing buildings have been studied by using fuzzy logic. For this reason a computer program has been required to process numerous data obtained from the earthquake, and to obtain results when observations are present. Within the frame of the thesis an expert system based on fuzzy logic has been developed by processing the data from the latest earthquakes. Furthermore, the differences between the results of the current study and the conventional methods have been examined and compared.

For seismic safety evaluation of existing buildings, a computer program is developed by the author in *C* computer programming language based on Japan Seismic Index Method by adding the effects of structural irregularities. The results of the numerical analyses have been given in the relevant chapter.

In the study, the effect to damage assessment of permanent interstory displacements and characteristic concrete compression strength which have substantial effects on the extent of seismic damage of buildings, have been taken into consideration by using the fuzzy logic approach. When the results are scrutinized, it has been observed that the fuzzy logic compared with the conventional logic having crisp and nonconcession boundary has given more convenient results to human thinking and judgement.

Furthermore, the fuzzy logic has applied to include the effects of basement irregularity, irregularity from different story height, stiffness irregularity between adjacent stories (soft story), strength irregularity between adjacent stories (weak story), and irregularity from story with projection which are involved in the Seismic Index Method and G_i values have been obtained by using the fuzzy logic. Besides, Seismic Performance Index I_S values have been analized by using fuzzy logic. The inspection of the results yields that the fuzzy logic solution has softened and it has clearly gained flexibility as to sharp passing of conventional solution. Furthermore, it is observed that this situation gives more reliable results.

1. GİRİŞ

Laboratuar ortamında gerçekleştirilen deneylerden elde edilen bilgiler yardımıyla, yapısal elemanlarda veya basit yapısal alt sistemlerde meydana gelen hasarı nicesel bir tarzda ifade etmek mümkündür. Buna karşılık gerçek bir bina veya başka tür karmaşık yapı sisteminin deprem etkileri altında ne mertebede hasar gördüğünün ortaya konulması çok daha zahmetli bir iştir. Zorluğun tek sebebi, daha çok sayıda taşıyıcı eleman olması değildir. Laboratuar ortamındaki hassasiyette ölçmeler ve gözlemlerin elde bulunmaması, elemanların geçirdiği zorlamaların mertebesinin dolaylı biçimde tahmin edilmesini zorunlu kılmaktadır. Hasar göstergeleri, farklı tür işlev gören elemanlar için farklı olabilir ya da elemanların uğradığı bozulmaların birikimi farklı sistemler için farklı anlamlara gelebilir. Başka bir deyişle; hasarın belirlenmesi işlemi, mevcut bilgi ve gözlemlerin "en iyi" bir tahminde bulunmak üzere kullanılması şeklinde tanımlanmaktadır (Gülkan ve diğ., 1994). Günümüzde, binalar için deprem hasarı tespiti, genellikle tecrübeli mühendislerin yerinde incelemelerine dayanmaktadır (ATC 20-2).

Son depremler, farklı ve yeni tipolojilerde belli bir sisteme dayanmaksızın ve sağlıksız gelişen şehir alanlarında oldukça yüksek oranda hasara neden olmuştur. Ayrıca, insanlar ve toplumlar üzerine depremlerin etkisi de hızla değişmektedir. Mevcut deprem güvenliği ve deprem hasarı değerlendirme yöntemleri geliştirilmeye muhtaçtır. Deprem hasarı değerlendirmesi ve deprem güvenliğinin belirlenmesi için ayrıntılı ve güvenilir bir yöntem geliştirmek büyük önem arz etmektedir.

Son yıllarda, şehirlerdeki nüfusun ve sosyal yatırımların artması ile şehir alanlarında yoğunlaşmış farklı bina ve yapılar, büyük hacim ve miktarlarda inşaatların yapılmasına neden olmuştur. Teknolojinin gelişmesi, yapıların depreme dayanma kapasitelerinin iyileştirilmesi ve sosyal yapıların değişimi, deprem hasarlarının karakteristiklerini de hızlı bir şekilde değiştirmiştir. Bu nedenle, şehirlerin deprem felaketine uğraması ile deprem hasarlarının daha doğru ve daha mantıklı bir şekilde

nasıl değerlendirileceği probleminin çözümü için atılan her adım önemlidir (Song ve diğ., 1996).

Geçmişte meydana gelen depremlerin sonuçları oldukça iyi bir şekilde belgelendirilmiştir. Edinilen bu bilginin daha geniş bir yarar sağlaması için kuvvetli yer hareketlerine maruz kalmış sistemlerdeki sınıflandırılmış hasar belirtilerinin bir uzman sistem yardımıyla, ileride olabilecek depremlerden etkilenebilecek sistemlere uzatılabilmesi gereklidir. Böyle bir uygulama hasar tazminatı, sigorta, vb. amaçlar için tarafsız karar verme ortamı yaratacağı için sadece teorik bir irdeleme niteliği taşımamaktadır. Dolayısıyla, hasarın doğru ve tartışmaya gerek bırakmayacak biçimde tayini, afet zararlarının giderilmesinde tarafsız bir zemin hazırlayacaktır. Bunun da ötesinde bu çalışma ile depremden hemen sonra daha artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde hangi binaların güvenli, hangilerinin ise can güvenliği bakımından sakıncalı olduğunun ayırt edilmesinin daha güvenilir olarak sağlanabilmesi amaçlanmaktadır.

Büyük yerleşim yerlerindeki deprem hasarlarının evrimi ile hasar değerlendirme problemi oldukça karmaşık bir hal almıştır. Bununla ilgili ana problem, değerlendirmelerdeki belirsiz kavramlardır. Örneğin; "Depremin Şiddeti" kavramı ele alınsın. Depremin şiddetinin tayinine, bina ve yapıların hasar dereceleri esas alınarak karar verilmektedir. "Zayıf yapılı binalar", "normal binalar" gibi karar vermede kullanılan bazı kavramlar, farklı kişilere göre değişebilen göreceli olarak değişen kavramlardır.

Gerçekte, belirsiz kavramlar sadece deprem şiddeti ile sınırlı değildir. Bina ve yapıların hasar derecelerinin sınıflandırılması esnasında, insanlar tarafından tayin edilen hasar dereceleri farklı tarihlere, farklı mantıklara ve farklı kişilere göre değişiklik göstermektedir. Bu çeşit, insana ait olan yargılar, genellikle belirsiz bilgilere dayalı olarak verilmektedir. Belirsiz bilgiler ile ilgili bulanıklık, karmaşıklık ve tanımsızlıktan dolayı indeksler ve ayrıntılı hasar değerlendirme arasında kıyaslama ve hesaplama yapmak oldukça zorlaşmaktadır (Song ve diğ., 1996).

Modern bilgisayar biliminin gelişimi mühendislik problemlerinin çözüm yöntemlerini artırmaktadır. Bilgisayar biliminde kullanılan faydalı matematik

araçlarından birisi de bulanık küme teorisidir. Bulanık küme teorisi, matematik formdaki farklı belirsiz olguları tanımlayabilmektedir. Böyle belirsiz olgular, analizi yapılan objelerin açık ve kesin sınırlarının olmayışını, belirsiz kelimeler ve kesin olmayan ifadeleri içerebilmektedir.

Bulanık küme teorisinin inşaat mühendisliği alanında uygulanması 1978 de başlamıştır. Uygulanan başlıca branşlar şunlardır: Bulanık yapı analizleri, akıllı analizler, veri işleme, sistem analizleri...vb. (Akiyama, 1984). Son zamanlarda bulanık küme teorisi, risk azaltma konusunda da uygulanmaktadır. Söz konusu çalışmaların son dönemlerde gerçekleştirilenlerinden bir bölümü aşağıda özetlenmektedir:

Park ve Ang ile Park ve diğerleri (1985a), deprem hareketine maruz kalan yapıların uğrayacağı hasar düzeyini belirleyen bir yöntem önermektedir. Bu yöntemde yapının hasar durumu, uğradığı maksimum şekil değiştirme ve toplam enerji cinsinden ifade edilebilmektedir. Önerilen yöntem, geçmiş depremlerde hasara uğramış yapılar üzerinde denenmiş ve bu yolla kalibre edilmiştir (Park ve diğ., 1985a) (Park ve diğ., 1985b).

ATC-21 (1988) ve ATC-22 (1989) raporlarında, yapılardaki hasarın tespiti ele alınmaktadır. ATC-21, yapısal özelliklere bağlı olarak binadaki hasarın puanlanmasına ilişkindir (ATC-21, 1988) (ATC-22, 1989).

Pagnoni ve diğerleri (1989) tarafından yapılan bir diğer çalışmada, deprem sonrası hasar tespiti için görevlendirilen ancak bu konuda yeterli bilgi ve deneyimine sahip olmayan kimselere yardımcı olması amacıyla AMADEUS isimli bir uzman sistem oluşturulmuştur. AMADEUS yığma yapıların incelenmesi ve hasarların belirlenmesi amacıyla geliştirilen bir rehber sistemdir. Gözlemlerden elde edinilen bilgilerin depolanmasını sağlamak üzere sistem, bir veri tabanı programı ile desteklenmiştir. Böyle bir sistemin düzenli, etkili ve gerçekçi hasar tespiti sağlayacağı belirtilmiştir (Pagnoni ve diğ., 1989).

Shwe ve Adeli (1993) tarafından yapılan bir çalışmada, deprem hareketi sırasında zorlanan veya hasara mazur kalan binaların dayanımını belirlemek amacıyla, bilgisayar grafikleri ve uzman sistemler geliştirmek yoluyla bir yöntem ortaya konulmuştur. Bu çerçeve de California depremlerinde hasar görmüş bir dizi binanın

uğradığı hasarı belirlemek üzere, geçmiş depremlerden edinilen bilgileri içeren bir uzman sistem geliştirilmiştir. Bu sistemde uzman sistemlerin yapısal hasara ait bilgileri toplamak ve kullanmak açısından çok gerekli olduğu sonucuna varılmıştır (Shwe ve Adeli, 1993).

Shepherd ve Haynes (1993), Los Angeles yapı kodu çerçevesinde bir ve iki katlı yığma binaların hasarını belirleyen bir uzman sistemi tanıtmaktadır. Bu sistem binanın genel özelliklerinden hareketle, standarda uygun olarak duvarlarda ve çeşitli yapısal elemanlarda oluşan yatay kuvvetleri tahmin etmektedir. Bu uzman sistem üç prototip yapıya uygulanmıştır (Shepherd ve Haynes, 1993).

Bundan başka, konu ile ilgili Molas ve Tamazaki (1995)'nin yaptıkları çalışmaya ilave olarak, deprem hasar tespiti çerçevesinde bulanık mantık ile ilgili bazı çalışmalar aşağıda verilmektedir:

Song, Hao ve diğerleri (1996) tarafından yapılan çalışmada, bulanık küme teorisi kullanılarak, deprem hasarı üzerine ayrıntılı bir değerlendirme yöntemi geliştirilmiştir. Bir sağlama durumu olarak, dünyadaki geçmiş depremlerden sonra hasar değerlendirme sonuçları ve gözlenmiş veriler arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Japonya'da meydana gelen dokuz depremin, yerinde inceleme verilerine dayalı olarak, hasar merkezlerine farklı mesafelerde olan değişik yapıların hasar karakteristikleri üzerine değerlendirmeler yapılmıştır (Song ve diğ., 1996).

Revadigar ve Mau (1999), yaptıkları çalışmada bilgisayar destekli güçlü zemin hareketlerini kaydedebilen sistemlerle donatılmış binalar için otomatik bir hasar tayin yöntemi geliştirmişlerdir. Yöntemin ana kısımları, deprem sonrası elde edilen veri analiz paketini ve çok kriterli hasar tayin paketini içermektedir. Veri analiz paketi, kaydedilmiş bilgileri incelemekte ve bir sistem tanıma yöntemi olarak çalışmaktadır. Hasar tespit paketi ise kaydedilmiş verileri göz önüne alarak bina hasarını tanımlayabilmek için kurallara dayalı bir kümeyi ve bulanık mantığa dayalı bir hasar çıkarımını içermektedir. "Hasarsız", "az hasarlı", "orta hasarlı" ve "ağır hasarlı" olmak üzere dört hasar durumu ve "oldukça mümkün", "mümkün", "mümkün değil" ve "hiç mümkün değil" olmak üzere dört olasılık ifadesi, hasar durumunu ifade etmek için kullanılmaktadır. Her hasar indeksinden elde edilen hasar ifadeleri sonradan birleştirilmekte ve bir tek hasar ifadesi kümesine varmak için

durulaştırılmaktadır. Bu çalışma, Californiya'da bulunan iki hasarlı binadan elde edilen mevcut deprem kayıtlarından faydalanılarak yapılmıştır. Bunlardan biri 1979 Imperial Valley depreminde hasar görmüş olan resmi bir bina, diğeri ise 1994 Northridge depreminde hasar görmüş olan Van Nuys'da bulunan bir ticaret binasıdır. Her iki bina da betonarme yapıdır. Önerilen bu yöntemin, yerinde inceleme yapan tecrübeli mühendislere yardımcı olarak kullanılabileceği ifade edilmiştir (Revadigar ve Mau, 1999).

Deprem sonrası hasar düzeyinin belirlenmesi konusu, özellikle sıkça depreme maruz kalan ülkelerde çözüm bekleyen önemli bir sorun olmuştur. Bu özelliğiyle konu bilim dünyasının hep gündeminde kalmış ve pek çok çalışmaya esas oluşturmuştur. Hasar düzeyi belirleme yöntemleri üzerinde yürütülen çalışmalar, bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerin de yardımı ile son dönemlerde oldukça ilerlemiştir.

Deprem bölgelerinde hasar tespiti çalışmaları, oluşan hasarların tespiti ve binaların deprem güvenliğinin belirlenmesi işin kilit noktasını teşkil eder. Bu çalışmaların ve tespitin rast gele değil, hazırlıklı ve belirli normlara göre yapılması, tekrar tekrar olay yerine gitmeye gerek kalmaması, elde edilen bilgilerin sınıflandırılmasının ve değerlendirilmesinin kolay olması, ayrıca bu değerlendirmenin bağıl olmaktan çıkarılıp tarafsız duruma getirilmesi gerekmektedir. Yerleşim bölgelerinde yer alan binaların büyük bir kısmı deprem sonrasında çeşitli düzeylerde hasara maruz kalır, hatta bir kısmı çöker. Deprem sonrasında söz konusu bölgedeki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin ve deprem güvenliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından acilen yapılmak durumundadır.

Tüm bu bilgiler ışığında, deprem sonrası binalarda oluşan hasarın tespitindeki belirsizlik, karmaşıklık ve insana ait olan yargılardaki bulanıklık ön plana çıkan zorluklardandır. Bu çalışmada, bulanık mantığın binalarda deprem hasarı tespiti ve mevcut yapıların deprem güvenliği konusundaki yerini, verilen bilgiler ışığında incelenecektir. Ayrıca, çalışma sonucunda elde edilen sonuçların geleneksel modellere göre farklılıklarının ortaya çıkarılması ve modellerin birbirlerine göre performanslarının test edilmesi amaçlanmaktadır.

Dokuz bölüm ve eklerden oluşan bu tezin 2. bölümünde deprem hasarı gören binalarda uygulanan hasar tespit yöntemleri anlatılmıştır. 3. bölümünde mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılan yöntemler ele alınarak FEMA 310 ve Sismik İndeks Yöntemi ile çözülmüş uygulama örnekleri verilmiştir. 4. bölümünde Sismik İndeks Yöntemi'nin ülkemizdeki binalara uygulanabilirliği, 5. bölümünde ise bulanık mantık konusu ele alınmıştır. Tezin 6. bölümünde deprem hasarı gören binaların hasar tespitinde bulanık mantık tekniğinin uygulanması konusu ele alınarak katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı ve karakteristik beton basınç dayanımının bulanık mantık ile hesabı, bir uygulama ile açıklanmıştır. 7. bölümünde mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde bulanık mantık tekniğinin Sismik İndeks Yöntemi'ne uygulanması konusu ele alınmakta ve bölümün sonunda Sismik İndeks Yöntemi'nin bulanık mantık ile çözülmüş iki uygulama örneği verilmektedir. Bu tez çalışması sonucunda elde edilen sonuçlar ve bazı öneriler 8. bölümde sunulmuştur. Ekler bölümünde ise, EK A'da hasar tespiti için iki hızlı değerlendirme formu verilmiştir. EK B'de uygulamalara konu olan binaların Sismik İndeks Yöntemi ile depreme karşı dayanımının değerlendirilmesi amacıyla, yazar tarafından *C* programlama dili ile kodlanmış olan bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiş ve program akış şeması verilmiştir. Bilgisayar programını ve açılan dosyaları içeren disket EK C olarak tezin kapak kısmındaki cepte sunulmuştur.

2. DEPREM HASARI GÖREN BİNALARDA HASAR TESPİT YÖNTEMLERİ

Deprem sonrası hasar gören binaların hasar tespiti için bazı yöntemler mevcuttur. Bunlardan birisi olan ve Japonlar tarafından depremin etkilediği betonarme yapılar için önerilen hızlı hasar değerlendirme yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

2.1 Japon Hızlı Değerlendirme Yöntemi

2.1.1 Taşıyıcı Sistem Elemanlarındaki Hasarın Sınıflandırılması

2.1.1.1 Hasar Sınıflarının Genel Tanımı ve Yapı Elemanlarının Hasar Aşamaları

Hasar görmüş olan yapı elemanları beş hasar seviyesi olarak incelenir. Hasar sınıflandırması 0'dan V'e kadardır. Bu sınıflandırmanın tanımı aşağıda verilmektedir. Eğer, hasarlı bir yapıdan bahsediliyorsa bu yapının taşıyıcı sistem elemanlarının aşağıda verilen son üç sınıflandırma içinde yer alması gerekir.

0 *Hasarsız*

I *Az Hasarlı*: Beton yüzeyinde görülebilir, kılcal kayma çatlağı (0.2 mm'den daha dar çatlaklar)

II *Hafif Hasarlı*: Beton yüzeyinde görülen ince kayma çatlağı (genişlikleri 0.2-1.0 mm arasında değişen çatlaklar)

III *Orta Hasarlı*: 1.0-2.0 mm arasında gözlenen geniş çatlaklar, yer yer pas payının döküldüğü ve donatının açığa çıktığı görülür.

IV *Ağır Hasarlı*: 2.0 mm'den daha büyük çatlaklar, pas payı dökülmüş ve donatılar açıkça görülüyor ancak donatıda burkulma gözlenmiyor.

V *Çok Ağır Hasarlı ya da Göçme Durumu*: Burkulmuş ve/veya kırılmış donatılar ve betonun ezilmesi bu durumda görülür. Görülebilir çökme ya da döşemede eğrilik fark edilir.

Yapının taşıyıcı elemanları genellikle harç, sıva gibi kaplama elemanları ile kaplıdır. Bu kaplamalarda çatlak görüldüğünde, bu çatlağın taşıyıcı elemanlarda varlığı anlaşılamıyorsa, bu kaplamalar kaldırılarak alttaki beton yüzeyin incelenmesi gerekir.

2.1.1.2 Hasarın Ayrıntılı Tanımı

Hasarın ayrıntılı tanımı ve hasar dereceleri Tablo 2.1'de verilmektedir.

Tablo 2.1 Hasar Dereceleri ve Hasarın Ayrıntılı Tanımı

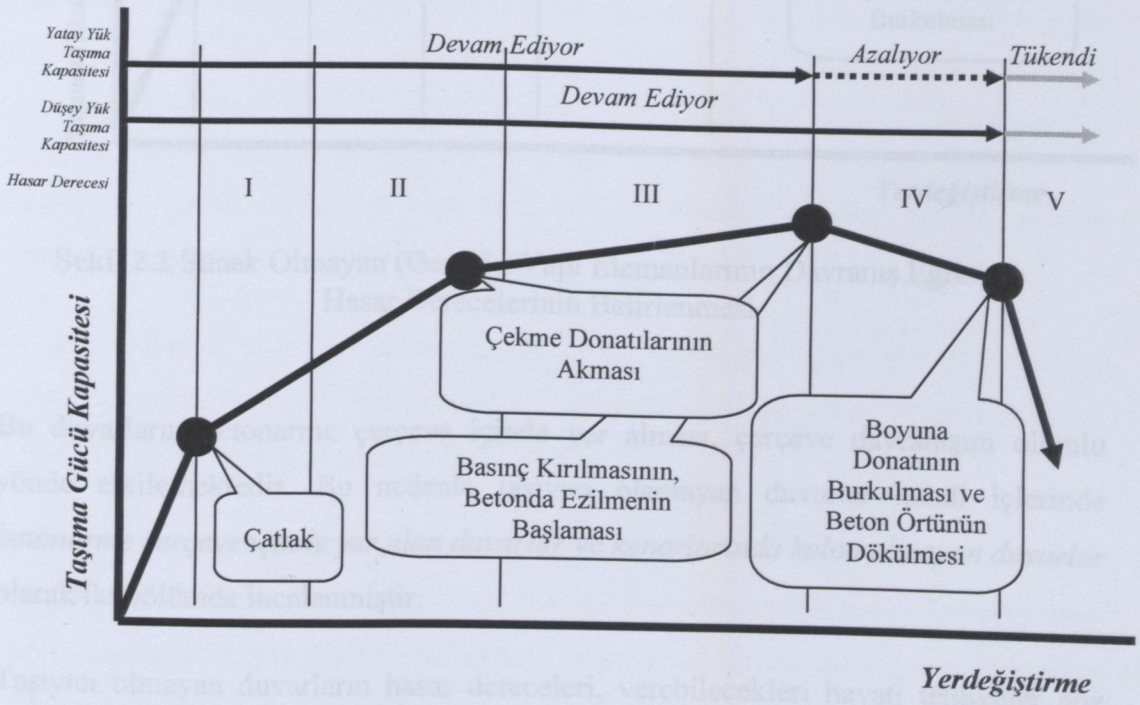
Hasarın Büyüklüğü	*Kolonlar max (b,h) > 40 cm*	*Kolonlar max (b,h) < 40 cm*	*Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesi*	*Kirişler*
I AZ	Kılcal kayma çatlağı varsa (Çatlak genişliği < 0.2 mm)	Kayma çatlağı yoksa	Kayma çatlağı yoksa	Kılcal kayma çatlağı varsa (Çatlak genişliği<0.2 mm)
II HAFİF	İnce kayma çatlakları varsa (0.2<Çatlak genişliği<1mm)	Kılcal kayma çatlağı varsa (Çatlak genişliği<0.2 mm)	Kayma çatlağı olmamasına rağmen kolonun köşesindeki pas payı dökülmüşse	İnce kayma çatlakları varsa (0.2<Çatlak genişliği<1 mm)
III ORTA	Geniş çatlaklar (1<Çatlak genişliği<2 mm) Pas payının kalkması ve donatının ortaya çıkması	İnce ve/veya geniş kayma çatlağı (0.2<Çatlak genişliği<2mm)	Kayma çatlağı yok ancak birleşim bölgesinde pas payı dökülmüşse	Sarılmış olan betonda geniş ya da büyük kayma çatlakları varsa (1<Çatlak genişliği<5 mm) ve donatılar açığa çıkmışsa
IV AĞIR	Büyük çatlaklar (Çatlak genişliği<2 mm) Pas payı büyük parçalar halinde dökülmüş ve donatı açığa çıkmışsa (donatıda burkulma gözlenmiyor)	Büyük çatlaklar (Çatlak genişliği<2 mm) Pas payı büyük parçalar halinde dökülmüş ve donatı açığa çıkmışsa (donatıda burkulma gözlenmiyor)	Diyagonal kayma çatlağı ve birleşim bölgesinde pas payı dökülmüşse	Büyük kayma çatlağı (Çatlak genişliği<5 mm) Büyük parçalar halinde dökülmüş olan pas payı Donatı açığa çıkmışsa
V GÖÇME ya da ÇOK AĞIR	Burkulmuş olan donatı ve/veya kırılmış olan donatı gözleniyorsa Sarılmış olan betonun ezilmesi Döşemede gözle farkedilen çökme, oturma, eğrilik varsa	Burkulmuş olan donatı ve/veya kırılmış olan donatı gözleniyorsa Sarılmış olan betonun ezilmesi Döşemede gözle farkedilen çökme, oturma, eğrilik varsa	Birleşim bölgesindeki betonun parçalanmış olması, donatıların burkulmuş olması, düşey doğrultuda şekil değiştirmenin farkedilmesi	Burkulmuş olan donatı ve/veya kırılmış olan donatı gözleniyorsa Sarılmış olan betonun ezilmesi Döşemede gözle farkedilen çökme, oturma, eğrilik varsa

- Çatlak tanımları küçükten büyüğe doğru aşağıdaki gibidir:
- Kılcal Çatlak > İnce Çatlak > Geniş Çatlak > Büyük Çatlak
- Hasar tanımları yapılırken verilen çatlak genişlikleri; kesin değerler olarak nitelendirilmemelidir, bir fikir edinilmesi amacıyla verilmiştir.
- Kolonlarda gözlenen tipik eğilme çatlakları kılcal ya da ince çatlaklarsa önemsenmeyebilirler.

- Eğer küçük en kesitli yapı elemanlarının köşelerinden dökülen pas payının arkasında açığa çıkan donatı uzunluğu 20 cm'den az ise hasar derecesine etkisi ihmal edilebilir.
- Taşıyıcı sistem elemanları üzerinde 20 cm'den az kılcal ya da ince boyuna çatlak var ise hasarın büyüklüğüne katkısının olmadığı düşünülebilir.

2.1.1.3 Yapı Elemanlarının Davranış Eğrisi ve Hasar Derecelerinin Belirlenmesi

Sünek ve sünek olmayan yapı elemanlarının davranış eğrisi ve hasar dereceleri Şekil 2.1 ve Şekil 2.2'de verilmektedir.

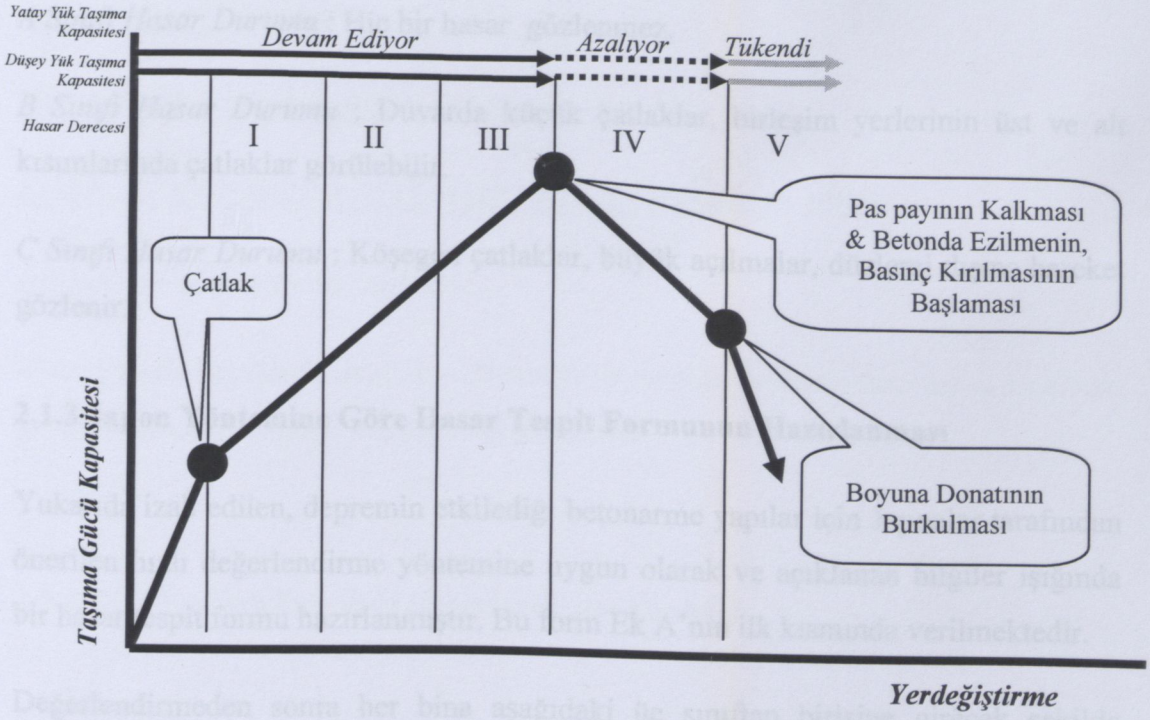


Şekil 2.1 Sünek Yapı Elemanlarının Davranış Eğrisi ve Hasar Derecelerinin Belirlenmesi

2.1.2 Taşıyıcı Olmayan Duvarların Hasar Düzeyleri

2.1.2.1 Taşıyıcı Olmayan Duvarlar için Hasarın Ayrıntılı Tanımı

Taşıyıcı olmayan duvarlar çoğunlukla boşluklu tuğla ile örülmektedir. Bu taşıyıcı olmayan yapı elemanları ani, gevrek kırılma ile göçme özelliği göstermektedir. Bölme duvarlar, yapının depreme karşı verdiği ilk tepkiler sırasında ani kırılarak ve göçerek, yapının içinde bulunanlara zarar verebilecek elemanlar haline gelmektedir.



Şekil 2.2 Sünek Olmayan (Gevrek) Yapı Elemanlarının Davranış Eğrisi ve Hasar Derecelerinin Belirlenmesi

Bu duvarların betonarme çerçeve içinde yer alması, çerçeve davranışını olumlu yönde etkilemektedir. Bu nedenle taşıyıcı olamayan duvarlar kendi içlerinde *betonarme çerçeve içinde yer alan duvarlar* ve *kenarlarında kolon olmayan duvarlar* olarak iki bölümde incelenmiştir.

Taşıyıcı olmayan duvarların hasar dereceleri, verebilecekleri hayati tehlikeler göz önünde tutularak A, B ve C olarak üç sınıfa ayrılmıştır.

Betonarme Çerçeve İçinde Yer Alan Duvarlar:

A Sınıfı Hasar Durumu : Hiç hasarın olmaması veya harç ve sıvasında kılcal, ince çatlakların bulunması ve/veya betonarme çerçeveye temas ettikleri kenarlarda kılcal çatlakların olması durumu.

B Sınıfı Hasar Durumu : Duvarda düzlem dışı hareket gözlenmiyor ancak çatlaklar büyük ya da geniş olarak görülebiliyor.

C Sınıfı Hasar Durumu : Dökülmüş olan tuğlalar ve düzlemi dışına hareket gözlenir.

Kenarlarında Kolon Olmayan Duvarlar:

A Sınıfı Hasar Durumu : Hiç bir hasar gözlenmez.

B Sınıfı Hasar Durumu : Duvarda küçük çatlaklar, birleşim yerlerinin üst ve alt kısımlarında çatlaklar görülebilir.

C Sınıfı Hasar Durumu : Köşegen çatlaklar, büyük açılmalar, düzlemi dışına hareket gözlenir.

2.1.3 Japon Yöntemine Göre Hasar Tespit Formunun Hazırlanması

Yukarıda izah edilen, depremin etkilediği betonarme yapılar için Japonlar tarafından önerilen hızlı değerlendirme yöntemine uygun olarak ve açıklanan bilgiler ışığında bir hasar tespit formu hazırlanmıştır. Bu form Ek A'nın ilk kısmında verilmektedir.

Değerlendirmeden sonra her bina aşağıdaki üç sınıftan birisine girecek şekilde sınıflandırılmaktadır (Kumazawa ve diğ., 2000):

a) Ağır Hasarlı (Unsafe-Güvensiz): Deprem şokundan sonra çok ciddi hasar mevcuttur. Ani yıkılmayı önlemek için acil olarak iyileştirmeye ihtiyaç vardır. Ancak girişe ve geçici kullanıma izin verilmemektedir.

b) Sınırlı Kullanım (Limited Entry-Orta Hasarlı): Yapısal ve/veya yapısal olmayan elemanlarda hasar vardır. Hasarın ilerlemesini önlemek amaçlı geçici iyileştirmeler yapılmadıkça ve hayatı tehdit edici riskler ortadan kaldırılmadıkça geçici kullanıma izin verilmemelidir. Sadece acil amaçlı girişe risk alınarak izin verilebilmektedir.

c) Kullanılabilir (Inspected-Kontrol Edilmiştir, Hasarsız veya Az Hasarlı): Açık bir şekilde yapısal hasar yoktur veya çok azdır. Bazı onarımlara ihtiyaç olmasına rağmen halihazırda bir tehlike mevcut değildir. Geçici kullanıma veya oturmaya izin verilmektedir.

Yapıda oturan insanların ve genel olarak halkın kolaylıkla binanın durumundan haberdar olmaları için, binanın üzerine afiş benzeri şeyler yapılabilmektedir.

Örneğin;

AĞIR HASARLI:KIRMIZI

SINIRLI KULLANIM (ORTA HASARLI): SARI

KONTROL EDİLMİŞTİR (HASARSIZ VEYA AZ HASARLI): YEŞİL

şeklinde bir uyarı yapılabilmektedir.

Uyarı yalnızca renklerle değil, işaretlemeler ile de olabilir. İnsanların gerek renklerle, gerekse işaretlerle uyarılması mutlaka gereklidir.

2.2 ATC-21 - Hızlı Davranış Değerlendirme Yöntemi

Amerika'da uygulanan Hızlı Değerlendirme Yöntemi (ATC-21-1, 1988), oldukça yaklaşık bir yöntemdir. Bu değerlendirme yönteminde, deprem etkisine göre hassas olan yapıların belirlenmesi esas alınmaktadır. Amaç, kısa zamanda birçok binanın deprem riskini değerlendirmek olup, binaların deprem güvenliğinin kesin belirlenmesini amaçlamamaktadır.

Bu yöntemin uygulanması sonucu her yapı için, binanın meydana gelebilecek bir depremdeki davranışını temsil ettiği kabul edilen bir değerlendirme puanı oluşturulmaktadır. Yüksek puan, binanın yeterli bir taşıyıcı sisteme sahip olması ihtimalinin yüksek olmasına karşı gelmektedir. Yöntemin uygulanmasıyla, depremde önemli hasar görebilecek olan yapıların belirlenmesi amaçlanmaktadır. Yapılacak böyle bir incelemeden sonra, bu yapıların daha ayrıntılı değerlendirilmesi yapılarak durumları tespit edilmelidir. Değerlendirme sadece toplanan bilgilerin puanlandırılması şeklindedir. Bu yöntemle depreme karşı dayanımda açık bir şekilde eksikliği bulunan binalar belirlenmektedir (Celep ve Kumbasar, 2000).

ATC-21 hızlı değerlendirme yöntemi şu unsurları içermektedir: ***a)*** Etkili en büyük ivmeler, risk haritası (yer hareketi ölçümleri), ***b)*** Bina tipleri, ***c)*** Basit bir sistematik yapısal risk şeması. Bu şema, Temel Yapısal Risk Puanlarını (TYRP), uygulanan puanlama ve derecelemeler vasıtasıyla değiştirilmiş bir şekilde içermektedir.

Ceza veya ödül puanları içeren şema, sonuçta bir S Sonuç Yapısal Puanı elde etmek için kullanılmaktadır. Sonuç Yapısal Puanı "yüksek" ise bu "iyi", yani "düşük yapısal risk" durumunu ifade etmektedir.

2.2.1 Veri Toplama

S Sonuç Yapısal Puanını hesaplamak için, ihtiyaç duyulan veriyi toplamak için Amerikan Risk Haritasına (NEHRP) bağlı olarak hazırlanmış üç tip form kullanılmaktadır. Yapısal puanlar, hepsinde farklı olarak verilmiştir. Her form, şu bilgileri içermektedir: **a)** Fotoğraf için ayrılmış bir bölüm, **b)** Temel bilgiler (adres, bina ismi, kat numarası, kat alanı vb.), **c)** Yapısal olmayan elemanların düşme tehlikesi, yapısal puanlar ve ek puanlar (Temel Yapısal Risk Puanı, değiştiriciler, zemin profili) ve sonuç olarak Sonuç Puanı, yorumlar ve ayrıntılı değerlendirme karar kontrolü.

2.2.2 Temel Yapısal Risk Puanı

Temel Yapısal Risk Puanı (TYRP), binanın ana deprem hasarı ihtimalinin bir ölçütü olarak dikkate alınmaktadır. Ana hasar binanın %60 veya daha fazlasının doğrudan fiziksel hasarı olarak alınmaktadır. Bu grup, çökme gibi hayat güvenliği ile ilgili muhtemel riskleri içermektedir. Bu puanı hesaplamak için;

$$TYRP = -\log (\text{Hasar İhtimali} \geq \%60) \qquad (2.10)$$

bağıntısı kullanılmaktadır. Burada, zemin için verilmiş olan NEHRP etkili ekstrem ivme değeri %60'ı geçen durumlar için, hasar ihtimali 0.001 ise TYRP=3; eğer ihtimal 0.01 ise TYRP=2 olmaktadır. TYRP, deprem risk bölgesinin bir fonksiyonudur. Şiddetli zemin hareketlerine sahip bir bölgede "güvenli" binalarda TYRP=3-5 olacaktır. Buna karşın daha az şiddetli zemin hareketlerine sahip bir bölgede aynı bina için TYRP=7-10 arasında olacaktır. Amerika'da incelenen binalar için TYRP, deprem bölgelerine göre Tablo 2.2'de verilmektedir. Tabloda kullanılan semboller aşağıda açıklanmaktadır.

Tablo 2.2 Yapı Tipleri için Temel Yapısal Risk Puanları

Yapı Tipleri		*Deprem Alanları (NEHRP Risk Haritası Alanları)*		
		Düşük (1,2)	*Orta (3,4)*	*Yüksek (5,6,7)*
W	*Ahşap Çerçeve*	*8.5*	*6.0*	*4.5*
S1	*Moment Taşıyan Çelik Çerçeve*	*3.5*	*4.0*	*4.5*
S2	*Çaprazlı Çelik Çerçeve*	*2.5*	*3.0*	*3.0*
S3	*Hafif Metal*	*6.5*	*6.0*	*5.5*
S4	*Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve*	*4.5*	*4.0*	*3.5*
C1	*Moment Taşıyan Betonarme Çerçeve*	*4.0*	*3.0*	*2.0*
C2	*Perdeler*	*4.0*	*3.5*	*3.0*
C3/S5	*Betonarme Olmayan Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve*	*3.0*	*2.0*	*1.5*
PC1	*Yukarıya Eğimli Çerçeve*	*3.5*	*3.5*	*2.0*
PC2	*Öndökümlü Çerçeve*	*2.5*	*2.0*	*1.5*
RM	*Takviyeli Yığma Yapı*	*4.0*	*3.5*	*3.0*
URM	*Takviyesiz Yığma Yapı*	*2.5*	*2.0*	*1.0*

2.2.3 Yapı Tipleri

ATC 14' e göre Bina Kategori Şeması şöyledir (ATC 14, 1987):

Ahşap: W = Sadece Ahşap (Düşük Yükseklikli), W1 ve W2 birlikte ele alınmaktadır.

Çelik : S1 = Moment Taşıyan Çelik Çerçeve

S2 = Çaprazlı Çelik Çerçeve

S3 = Hafif Metal (Sadece Düşük Yükseklikli)

S4 = Betonarme Perdeli Çelik Çerçeve

S5 = Betonarme Olmayan Dolgu Duvarlı Çelik Çerçeve

Betonarme: C1 = Moment Taşıyan Çerçeve

C2 = Perdeler

C3 = Betonarme Olmayan Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve

Öndökümlü: PC1 = Yukarıya Eğimli Çerçeve (Sadece Düşük Yükseklikli)

PC2 = Öndökümlü Beton Çerçeve

Takviyeli Yığma: RM = Farklı Yükseklikte Olan Takviyeli Yığma Binalar

Takviyesiz Yığma: URM=Takviyesiz Yığma Binalar (Düşük ve Orta Yükseklikli)

2.2.4 Yapısal Puan S ve Kesim Değeri

Her bir binanın, tipik olarak S Sonuç Yapısal Puanı 0-5 arasında veya risk haritasına bağlı olarak daha fazla bir puana sahip olacaktır. Bununla birlikte, S'in kesim değerine karar verilmelidir. Böyle bir karar, mali ve toplumsal değerleri içermelidir.

Binalardaki, kesim seviyelerinin altındaki puanlar, daha ayrıntılı bir gözden geçirmeye maruz olacaktır. Bununla ilişkili olarak "yüksek" kesim seviyesi, çok sayıdaki binaların ayrıntılı incelenmesini içermektedir. Bu durumda maliyet artar, ancak bununla birlikte deprem güvenliği de artmaktadır. Diğer taraftan, daha düşük kesim değeri daha düşük maliyet ve aynı zamanda daha düşük deprem güvenliğini ifade etmektedir.

2.3 Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Normlarına Göre Hızlı Değerlendirme Yöntemi

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü için yapılmış olan "Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar İçin Hasar Tespit Formu Hazırlanması" isimli proje çalışması bu bölümde ayrıntılı bir şekilde ele alınmaktadır (Gülkan ve diğ., 1994).

2.3.1. Deprem Sonrası Hasar Tespiti

İnsanların toplu yaşadıkları şehir, kasaba ve benzeri yerleşim birimlerinde yer alan binaların büyük bir kısmında deprem sonrasında çeşitli düzeylerde hasar ortaya çıkmakta, hatta bir kısım bina tamamen çökmektedir. Deprem sonrasında söz konusu bölgedeki hasarın hızlı ve gerçekçi bir biçimde belirlenmesi ve binaların kullanılabilirliğinin araştırılması, sorumlu ve yetkili kuruluşlar tarafından acilen yapılmak durumundadır. Bu nedenle, söz konusu kuruluşlar tarafından hasar tespit ekipleri görevlendirilmektedir. "Deprem Sonrası Acil Hasar Tespiti" diye adlandırılan bu işlemle, depremden hemen sonra artçı sarsıntıların devam ettiği süre içinde binaların güvenilirliğinin araştırılması ve tehlikeli binaların boşaltılması yoluyla, yöre insanının can güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır. Bu işlemin

diğer bir amacı da, bölgedeki hasar görmüş yapıların hasar durumlarının incelenmesiyle, oturulabilir, kolayca onarılabilir ve onarılamaz biçiminde değerlendirmelerin yapılması, söz konusu yerleşim biriminin deprem sonrası yapılaşma gereksinimi ve onarım faaliyetlerinin büyük ölçüde belirlenmesidir. Bu yolla, gereksiz biçimde ortaya çıkabilecek yeni yapılaşmanın önüne geçilmek suretiyle ülke ekonomisine de katkıda bulunulmuş olunabilmektedir. Ayrıca, o yerleşim yerinde yaşayan insanların gerek oturulabilir binalarda, gerekse onarılabilir binaların süratle onarılmasıyla elde edilecek binalarda ikamet etmesiyle, deprem sonrası evsiz kalanların sayısı da azaltılabilmektedir. Bu işlemin etkin bir biçimde yapılabilmesi için gerekli teknik eleman gücünün, görevlendirilebilen eleman sayısının çok üzerinde olduğu da bir gerçektir. Ayrıca sorumlu kuruluşların, zaman zaman deneyimsiz ya da bu konuda yeterli eğitime tabi tutulmamış teknik elemanlar ile bu işlemi yürütmek zorunda kaldıkları da bilinmektedir.

Hasar tespiti amacıyla binayı inceleyen görevli, binanın tipi, konumu ve hasar düzeyine ilişkin sorular içeren bir form doldurmaktadır. Söz konusu formlar, ağırlıklı olarak bilgi toplamaya yönelik olmakla birlikte aynı zamanda deprem sonrası hasar belirlenmesinde görevlilere yardımcı olabilecek bir nitelik de taşımaktadır.

Deprem sonrası hasar görmüş bir binanın hasar tespitinde, sadece en çok hasar görmüş kat seviyesinde (genellikle zemin kat) oluşan hasar esas alınmakta olup, binanın geri kalan kısmının hasar düzeyinin genel değerlendirmede bir rol oynamadığı kabul edilmektedir. Başka bir deyişle, en çok hasar görmüş kat, binanın tamamının hasar düzeyini göstermektedir. Öte yandan söz konusu katın çok büyük olması durumunda, elemanların birer birer incelenmesi, zaman açısından bazı zorluklara yol açabilmektedir. Bu durumda, bu katın sadece genel hasarı temsil ettiğinden emin olunan bir bölümünün incelenmesi yeterli olacaktır. Çünkü belli tipteki elemanlarda oluşan hasar düzeyi o tipteki incelenen eleman sayısına göre normalize edilebilmektedir.

2.3.2. Hasar Tespit Formunun Yapısı

Deprem sonrası hasar görmüş olan mühendislik hizmeti görmüş binaların hasar tespitinde kullanılan formda yer alan sorular, dört ana başlık altında hazırlanmıştır.

a) İdari Bilgiler (binanın sahibi, adresi vb.)

b) Genel Bilgiler (geometrik/mimari özellikler, yapısal düzensizlikler, açıklıklar vb.)

c) Taşıyıcı Sistem Özellikleri (çerçeve, perde-çerçeve, kutu, döşeme sistemi, yerinde dökme veya prefabrike oluşu, dolgu duvar özellikleri, malzeme mukavemeti, temel sistemi, malzeme ve işçilik kalitesi vb.)

d) Hasara Ait Bilgiler (kalıcı yer değiştirmeler, kolon, kiriş, duvar veya döşemedeki hasarın şiddeti ve yaygınlığı)

Mühendislik hizmeti görmüş yapılar için kullanılan form Ek A'da A.2 bölümünde verilmiştir. Bu formdaki bilgilerin doğru bir şekilde işlenmesi sonucu, binanın güvenilirliğinin bir göstergesi olan toplam hasar düzeyi elde edilmektedir. Binanın kullanılabilirlik kararı doğrudan toplam hasar düzeyi değerine bağlı olarak verilmektedir. Bu değerin yüksek olması, binanın boşaltılması, düşük olması binanın güvenli ve oturulabilir olması, orta olması ise binanın onarıldıktan sonra oturulabilir olması anlamına gelmektedir.

2.3.3. Hasar Düzeyi Belirleme Yöntemi

Hasar düzeyi belirleme yöntemi, bir puanlama sistemine dayanmaktadır. Söz konusu yöntemin uygulanması sonucunda yapılarda az hasarlı, orta hasarlı ve ağır hasarlı olmak üzere üç ayrı toplam hasar düzeyi belirlenmektedir.

Hasar düzeyi belirlenmesinde etken olan üç ana unsur ise, yapı ve yakın çevresinin geometrik durumu, yapının taşıyıcı sistem özelliği ve geometrisi ile yapıda mevcut olan şekil değiştirmelerdir. Bu üç ana unsur, kendi içinde bir puanlama mantığı ile değerlendirildikten sonra, yapının Toplam Hasar Puanı (THP) hesaplanıp, bu puanın sayısal olarak belirlenmiş sınırlar çerçevesinde değerlendirilmesiyle yapının toplam hasar düzeyi belirlenmektedir.

THP sınırları diğer ülkelerde yapılan benzer uygulamalarla da karşılaştırılmış olup kalibre edilmiştir. Öte yandan, buradaki hasar belirleme yöntemi hasara etki edebilecek ve onun bir göstergesi olacak unsurların puanlanmasına dayanmaktadır.

Üç ana unsurun etken olduğu THP beş farklı hasar puanından oluşmaktadır. Bunlar; Hasar Arttırıcı Puan (HAP), Sistem Hasar Puanı (SİHP), Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (KKYP), Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP) ve Aşırı Oturma Puanı (AOP)'dır.

Hasar Arttırıcı Puan (HAP), yapının hasar görebilirliğini etkileyebilecek genel bilgilere ve taşıyıcı sistem özelliklerine bağlıdır. Hasarın en önemli göstergesi olan yapı elemanlarının maruz kaldıkları hasar düzeyleri, Sistem Hasar Puanı (SİHP) olarak tanımlanmaktadır. SİHP taşıyıcı sistem türüne bağlı olarak ifade edilmekte, ancak tüm sistemler için aynı mantıkla hesaplanmaktadır. Yapının Sistem Hasar Puanı öncelikle yapıyı oluşturan elemanların hasar durumuna ve bu elemanların tümüyle yapının hasarına olan etkisine bağlıdır. Bu çerçevede, SİHP elemanların hasar durumlarını gösteren Eleman Hasar Puanı (EHP) ve elemanın o taşıyıcı sistem içinde toplam hasara olan etkisini ifade eden Eleman Önem Katsayısı (EÖK)'na bağlı olarak hesaplanmaktadır. Elemanlar için de dört lokal hasar düzeyi belirlenmiştir: Hasarsız (H), Az Hasarlı (A), Orta Hasarlı (O), Ağır Hasarlı (AH). Ayrıca, söz konusu elemanların hasar düzeylerinin her birine bir hasar puanı verilmiştir. *EHP*'ların toplanmasıyla Toplam Eleman Hasar Puanı (*TEHP*) bulunup, buradan *SİHP* hesaplanmaktadır. İlgili formüller Ek A'da A.2 bölümünde verilmiştir.

Yukarıda açıklanan SİHP, yerinde dökülmüş betonarme çerçeveli bir sisteme sahip bir bina için, bir örnek üzerinde aşağıdaki gibi gösterilebilir (Tablo 2.3):

Tablo 2.3 Yerinde Dökülmüş Betonarme Çerçeveli Sisteme Sahip Örnek Bir Bina için Değerler

	Toplam Sayı (TS)	*Hasarsız (H)*	*Az Hasarlı (A)*	*Orta Hasarlı (O)*	*Ağır Hasarlı (AH)*	*EÖK*	*EHP*	*EÖK×TS*
Kolonlar	15	9	3	2	1	2	22	30
Kirişler	22	16	4	2	-	1	8	22
Perdeler	*Binada Perde Yok*					6	-	-
Birleşimler	*İncelenmedi*					1	-	-
Dolgu Duvarları	20	2	8	6	4	0.5	18	10
							TEHP: *48*	***Σ(EÖK×TS):*** *62*

$EHP = [A\times1+O\times2+AH\times4]\times EÖK$ $\quad TEHP = \Sigma EHP$

$[3\times1+2\times2+1\times4]\times2 = 22,$ $\quad [4\times1+2\times2]\times1 = 8,$ $\quad [8\times1+6\times2+4\times4]\times0.5 = 18$

$SİHP = TEHP\times25/\Sigma(EÖK\times TS)$ $\quad SİHP = (48\times25)/62 = 19.35$

Tüm bu unsurların ayrı ayrı değerlendirilmesi ve puanlandırılmasından sonra toplam hasar düzeyini tayin etmekte kullanılan THP aşağıda belirtilen şekilde hesaplanmaktadır.

$$THP=0.80\times SİHP+ÇMHP+KKYP+HAP+AOP \quad (2.1)$$

THP'yi hesaplamak için kullanılan parametreler ve bunların alabileceği maksimum puanlar aşağıda verilmektedir.

SİHP : Sistem Hasar Puanı (SİHP ≤ 100)

ÇMHP: Çatı-Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP ≤ 2.5)

KKYP : Katlar Arası Kalıcı Yer Değiştirme Puanı (KKYP ≤ 10)

HAP : Hasar Arttırıcı Puan (HAP ≤ 6)

AOP : Aşırı Oturma Puanı (AOP ≤ 1.5)

SİHP, taşıyıcı sistem elemanlarının hasar durumuna bağlı olarak Eleman Hasar Puan'larının toplamından hareketle belli katsayılar alınarak bulunur. Bu hasar puanı, taşıyıcı sistemin türüne (betonarme çerçeve, betonarme çerçeve+perde, tünel kalıp veya prefabrike olarak teşkil edilmiş betonarme kutu, yığma yapılar, prefabrike yapılar, çelik çerçeveler ve ahşap vb. gibi) bağlı olarak hesaplanmaktadır. Bu işlem sırasında taşıyıcı sistem elemanlarındaki hasar durumu, belirli katsayılarla çarpılarak bulunmaktadır.

ÇMHP, çatı ve merdivenin mevcut durumu kontrol edilerek, hasar oranına bağlı olarak çatı için bu puan 0, 0.75 veya 1.5 değerini alabilmektedir. Benzer olarak, merdiven için göçme veya çatlama varsa 1.0, aksi takdirde 0 olarak göz önüne alınır.

KKYP, yapıda meydana gelmiş olan katlar arası kalıcı yerdeğiştirmenin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenmekte ve 0 ile 10 arasında değişen değerler alabilmektedir.

HAP, planda düzensizlik, binanın konumu, komşu yapılarla kat seviyelerinin durumu, kısa kolon olup olmaması, malzeme kalitesi ve işçilik gibi durumlar göz önüne alınarak tespit edilmekte ve 0 ile 6 arasında değerler almaktadır.

AOP, yapı çevresinde oturma olup olmamasına göre 0 ile 1.5 arasında değerler alabilmektedir.

Tüm bu puanlar, genellikle gözle yapılan incelemeler sonucunda tespit edilmektedir. Dolayısıyla bu incelemeyi yapan kişinin deneyimi ön plana çıkmaktadır. Ancak teknolojinin gelişmesine paralel olarak hasarların daha gerçekçi tespit edilmesi mümkün olabilir.

THP yukarıdaki formül ile hesaplandıktan sonra aşağıda verilmiş olan hangi sınır aralığına düştüğüne bakılmakta ve böylece yapının toplam hasar düzeyi belirlenmektedir.

$0 \leq THP \leq 5$ *Hasarsız*

$6 \leq THP \leq 14$ *Az Hasarlı*

$15 \leq THP \leq 43$ *Orta Hasarlı*

$THP > 43$ *Ağır Hasarlı*

AOP, HAP, KKYP ve *ÇMHP*'dan oluşan dört ana unsurun alabileceği maksimum değer 20'dir. Öte yandan, *SİHP*'nın alabileceği maksimum değer 100'dür. *THP* için 0 ile 100 arasında değerler öngörülmüştür. Dolayısıyla, *SİHP*'nın %80'i toplam hasar puanına katılmıştır.

3. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN YÖNTEMLER

3.1 ATC-22 - Davranış Değerlendirme Yöntemi

ATC-22'de açıklanan değerlendirme yönteminde inceleme, FEMA-155'te (ATC-21-1, 1988) verilen yönteme göre daha ayrıntılı olarak yapılmaktadır. Eğer depremde yapının tümünün veya bazı bölümlerinin koparak düşmesi veya giriş ve çıkış bölümlerinin kapanması söz konusu ise yapının depremde güvenliğinin sağlanmadığı kabul edilmektedir. Yöntem, bu olaylara yol açacak zayıf noktaların belirlenmesini amaçlamaktadır (ATC-22, 1989). Yöntem aşağıda açıklanan bölümleri içermektedir.

3.1.1 Veri Toplama

Binanın fotoğrafının çekilmesi, krokisinin çizilmesi, temel zeminine ait bilgilerin toplanması, taşıyıcı sisteme ait hesap ve çizimlerin elde edilmesi, binanın daha önceki depremlerdeki davranışı hakkında bilgi toplanması gibi işlemleri içermektedir. Mümkün olduğu kadar çok bilgi toplanması, sonucun güvenilirliği açısından önemlidir.

3.1.2 Taşıyıcı Sistemin Belirlenmesi

Binanın hesap ve çizimlerine göre taşıyıcı sistem tipi belirlenmektedir. Yapılan ilk çalışmadan sonra eldeki bilgilerin daha ayrıntılı olarak incelenmesi gerekebilmektedir. Bu amaçla mevcut bilgilerin kontrol edilmesi, çizimlerle mevcut bina ölçülerinin karşılaştırılması, düşey ve yatay yükleri karşılayan taşıyıcı sistemin tekrar gözden geçirilmesi, binanın durumunun kontrol edilmesi, varsa bu binaya

özgü durumların ortaya çıkarılması ve daha ayrıntılı malzeme deneylerinin yapılması gerekli olabilmektedir

3.1.3 Taşıyıcı Sistemin Çözümlenmesi

Sistemin yatay yükler altındaki çözümünün eşdeğer statik kuvvetler altında yapılması genellikle yeterli olmaktadır. Genel bir çözümleme aşağıdaki adımları içermektedir.

a. Bina ağılığının hesabı,

b. Bina periyodunun hesabı,

c. Binaya etkiyen toplam eşdeğer yatay yükün hesabı,

d. Bulunan yatay yükün bina yüksekliği boyunca dağıtılması ve kat kesme kuvvetlerinin ve devrilme momentlerinin hesabı,

e. Kat kesme kuvvetlerinin yatay elemanların rijitlikleri ile orantılı dağıtılması,

f. Hesabı istenen elemanların kontrolü,

Binanın yapılmış hesapları var ise bunların incelenmesi yeterli olabilmektedir. Sadece yatay kuvvette bir değişiklik varsa, orantılı bir şekilde kolayca sonuçlar elde edilebilmektedir. Yeni yapılar için kullanılan hesap yöntemi burada da uygulanabilir. Ancak deprem yaşamış yapılarda sonuçların değerlendirilmesi sırasında, deprem sonrası yapı rijitliğindeki azalma ve yapının kalan ömründe deprem olma olasılığındaki azalma göz önüne alınarak, kesit etkilerinin %67'sinin (rijit yapılarda %85'inin) alınması önerilmektedir. Taşıyıcı sistemin parçası olmayan elemanların da, deprem sırasında bağlandığı yerden koparak serbest hareket etmesi önlenmelidir. Bu amaçla taşıyıcı sistemin dışında kalan her türlü mimari, dekoratif veya kullanıma dönük elemanın devrilme durumu ve bağı kontrol edilmelidir. Bunlara, ağırlıklı ile orantılı gelecek yatay kuvvetle devrilmemeleri veya bağlarının kopmaması sağlanmış olmalıdır.

3.2 FEMA 310 Yöntemi

FEMA 310 Yöntemi, temeli eski çalışmalara dayanan son çalışmalardan biridir. Mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesi amacıyla geliştirilmiş olan bu yöntem, FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) için ASCE (*American Society of Civil Engineers*) tarafından hazırlanmıştır.

FEMA 310, Amerika'da var olan önceki yöntemlere göre, çeşitli performans seviyeleri kullanarak ve deprem bölgelerinin etkilerini düzenleyerek ve yeni zayıf noktalar tanımlayarak değerlendirme prosesini geliştirmiştir. Ayrıca ilk defa olarak FEMA 273 yayınında kullanılan eleman tabanlı yaklaşımla uyumlu hale getirilmiştir. Şu anda bir ön standart olan bu yayının yakında bir standart haline getirilmesi beklenmektedir.

3.2.1 İncelemeye Dahil Olan Binalar

Bu yöntemde betonarme, ahşap, kargir gibi çeşitli yapı malzemelerine ve kendi içinde taşıyıcı sistemlerine göre sınıflandırılmış binaların sismik değerlendirmesi için prosedürler verilmiştir.

3.2.2 Değerlendirme Seviyeleri

Bu yöntem, her deprem bölgesi için üç seviyeli bir inceleme işleminden oluşmaktadır. Bu inceleme seviyelerinin her birinde binalar, Can Güvenliği veya Acil Yerleşim seviyesinden birine göre yapılmaktadır.

Binanın tüm deprem performansı yapısal, yapısal olmayan elemanlar ve temel/zemin özelliklerine göre belirlenmektedir.

3.2.3 Kullanılan Analiz Yöntemleri

FEMA 310 yöntemi ile yapıların deprem performansının değerlendirilmesinde lineer analizler kullanılmaktadır. Doğrusal Statik ve Doğrusal Dinamik İşlem yapıların değerlendirilmesi amacıyla uygulanmaktadır. 3. seviye değerlendirme işleminde doğrusal olmayan analizler de kullanılabilmektedir.

FEMA 310 yöntemi ile bir binanın deprem performansının değerlendirilmesi örneği tarama aşaması için aşağıda verilen uygulama ile ayrıntılı olarak verilmiştir.

3.2.4 Uygulama

Bu kısımda, Bölüm 7.3.1'de Sismik İndeks Yöntemi ile çözülen bina, FEMA 310 yöntemi ile tarama seviyesi için analiz edilecektir. Binanın özellikleri Bölüm 7.3.1'de verilmiştir. Bu uygulamada yapısal olmayan elemanların değerlendirilmesi

dikkate alınmamıştır. Bina, Can Güvenliği Performans Seviyesinde değerlendirilecektir.

Depremsellik Bölgesi: Dikkate alınan bina, 1. derece deprem bölgesi, yani yüksek depremsellik bölgesinde bulunmaktadır. Zemin sınıfı C olarak dikkate alınacaktır. *Seismic Map Package*'a göre S_1=0.6, S_S=1.5 olarak alınmalıdır (FEMA, 1998).

Zemin Sınıfı: C, *Kayma Dalgası Hızı*: 366 m/s < v_s < 762 m/s

F_v = 1.3, F_a = 1.0

$S_{D1} = (2/3)F_vS_1 = (2/3) \times 1.3 \times 0.6 = 0.52$ $S_{DS} = (2/3)F_aS_S = (2/3) \times 1.0 \times 1.5 = 1.0$

Bina, her iki doğrultuda da moment taşıyan betonarme çerçevelerden oluştuğundan dolayı, C1 tipi olarak sınıflandırılacaktır.

Tarama Seviyesi

Binanın FEMA 310 standardının şartlarına uygun olup olmadığını hızlı bir şekilde belirlemek amacıyla tarama seviyesi değerlendirmesi yapılmaktadır. Mevcut bilgiler, tarama seviyesi değerlendirmesi yapmak için yeterlidir. Bu seviyede doldurulması gereken kontrol listeleri aşağıda verilmiştir (FEMA 310, 1998).

a) Kalite Standardına Uygunluk: Bina FEMA 310'da verilen yönetmeliklerden biri kullanılarak tasarlanmadığından dolayı, bina için 'kalite tescilli' tanımı yapılamaz.

b) Kontrol Listelerinin Seçimi: C1 tipi olarak sınıflandırılan bina için şu listeler doldurulmalıdır: *Ana Yapısal Kontrol Listesi, Ek Yapısal Kontrol Listesi, Jeolojik Bölge Tehlikeleri ve Temeller Kontrol Listesi, Ana Yapısal Olmayan Elemanlar Kontrol Listesi.* Bu kontrol listeleri FEMA 310'da verilen tabloya göre, Can Güvenliği Performans Seviyesi ve Yüksek Depremsellik parametreleri dikkate alınarak seçilmiştir. Burada, yapısal olmayan elemanlar dikkate alınmayacağı için son liste hazırlanmayacaktır.

c) İleri Değerlendirmenin Gerekliliği: Bina tipi ve kat sayısını dikkate alan tabloya göre bu bina için Can Güvenliği Performans Seviyesinde tüm bina değerlendirmesine gerek yoktur. 1. Seviyede saptanan zaafları inceleyen bir 2. Seviye analizi yeterli olacaktır.

Ana Yapısal Kontrol Listesi (C1-Betonarme Moment Çerçevesi için)

Bu kontrol listesindeki her bir değerlendirme ifadesi, 'Uygundur (U)', 'Uygun Değildir (UD)' veya 'Uygulanamaz (UM)' olarak işaretlenecektir. 'Uygundur' ifadesi, değerlendirmenin bu standarda göre kabul edilebilir olduğunu, 'Uygun Değildir' ifadesi, konunun daha ileri değerlendirme gerektirdiğini, 'Uygulanamaz' ifadesi ise değerlendirmenin ilgili binaya uygulanamayacağını tanımlamaktadır. Kontrol listesinin koşulunun sağlanıp sağlanmaması ile ilgili açıklamalar, koşulun altında parantez içerisinde belirtilmiştir.

Bina Sistemi

U UD UM *Yük Akışı*: Yapı, Can Güvenliği (CG) ve Acil Yerleşim (AY) Performans Seviyeleri için, kütlelerden dolayı oluşan atalet kuvvetlerinden oluşan deprem kuvveti etkilerini temellere aktaran bütün bir yük akış yolu içermelidir.
(Yapı, bütün bir yük akış yoluna sahiptir.)

U UD UM *Bitişik Binalar*: Bitişik bina, CG ve AY Performans Seviyeleri için, incelenen binaya yüksekliğinin %4'ünden daha yakın olmamalıdır.
(İncelenen binaya çok yakın başka bir bina bulunmamaktadır.)

U UD UM *Asma Katlar*: İç asma katlar, CG ve AY Performans Seviyeleri için, ana yapıdan ayrı olarak tutulmalı veya yanal yük taşıyıcı sisteme sıkıca bağlanmalıdır.
(İncelenen binada asma kat bulunmamaktadır.)

U UD UM *Zayıf Kat*: Herhangi bir kattaki yanal yük taşıyıcı sistemin dayanımı, CG ve AY Performans Seviyeleri için, kendisinin altındaki veya üstündeki katın yanal yük taşıyıcı sisteminin dayanımının %80'inden az veya eşit olmayacaktır. (*Katlar arasında, kolon boyut ve donatılarında bir değişim olmadığı için katlar arasında dayanımda önemli bir değişim bulunmamaktadır.*)

U UD UM *Yumuşak Kat*: Herhangi bir kattaki yanal yük taşıyıcı sistemin rijitliği, CG ve AY Performans Seviyeleri için, kendisinin altındaki veya üstündeki katın yanal yük taşıyıcı sisteminin rijitliğinin %70'inden, veya üst veya alt üç katın ortalama rijitliğinin %80'inden az veya eşit olmayacaktır.

(Kat rijitlikleri hakkında yorum yapabilmek için kolonların kayma rijitliklerini oranlamak gerekmektedir. En kesit boyutları kattan kata değişmediği için kolonların sadece boylarının oranlanması, rijitlik oranı hakkında fikir edinmemizi sağlayabilecektir.h_1 1. kat (zemin kat) yüksekliği, h_2 ise 2. kat yüksekliği olmak üzere; $h_2/h_1=2.90/3.40=\%85 > \%80$ olduğundan koşul sağlanmıştır.)

☐ **UD** **UM** *Geometri*: Herhangi bir kattaki yanal yük taşıyıcı sistemin yatay boyutunda, CG ve AY Performans Seviyeleri için, komşu katlardakinin %30'undan fazla değişim olmamalıdır.

(Taşıyıcı sistem geometrisinde bir değişim yoktur.)

☐ **UD** **UM** *Düşeyde Süreksizlik*: Yanal yük taşıyıcı sistemin tüm düşey elemanları temele kadar sürekli olmalıdır.

(Taşıyıcı sistemde düşeyde bir süreksizlik mevcut değildir.)

☐ **UD** **UM** *Kütle*: Bir kattan diğerine, CG ve AY Performans Seviyeleri için, efektif kütlede %50'den fazla değişim olmamalıdır.

(Yapı için koşul sağlanmaktadır. Efektif kütlede, katlar arasındaki en büyük değişim, öngörülen sınırı geçmemektedir. Kat ağırlıklarının hesabı ileride gösterilmiştir. Burada sadece sonuçlar özetlenmiştir.)

Kat	*Ağırlık (kN)*	*Değişim Oranı (%)*
4	*1243*	*30*
3	*1610*	*0*
2	*1610*	*7.2*
1	*1725*	*-*

☐ **UD** **UM** *Burulma*: Kat rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki mesafe, CG ve AY Performans Seviyeleri için, binanın genişliği veya diğer plan boyutunun %20'sinden az olmalıdır.

(Rijitlik merkezleri arasındaki farklar, ilgili doğrultulardaki bina boyutlarının %20'sinden küçük olduğu için koşul sağlanmaktadır. Hesabın ayrıntıları ileride gösterilmiştir. Burada sadece sonuçlar özet olarak gösterilmektedir.)

	X (m)	*Y (m)*
Ağırlık Merkezi	*7.30*	*4.50*
Rijitlik Merkezi	*7.30*	*4.37*
Merkezler Arası Fark	*0.00*	*0.13*
%20 Bina Boyutu	*2.92*	*1.80*

U UD UM *Betonarmede Kötüleşme*: Yanal yük taşıyıcı sistemdeki düşey elemanlarda, betonda veya donatıda gözle görülür kötüleşme olmamalıdır.

U UD UM *Artgerme Ankrajları*: Artgerme veya uç fitingleri civarında paslanma işaretleri olmamalıdır. Sarım ankrajları kullanılmamış olmalıdır.
(Binada, artgermeli eleman bulunmamaktadır.)

Yanal Yük Taşıyıcı Sistem

U UD UM *Bolluk*: Her bir ana aks yönündeki moment çerçevesi sayısı, CG ve AY Performans Seviyeleri için, en az 2 olmalıdır. Her bir moment çerçevesindeki açıklık sayısı CG için en az 2, AY için en az 3 olmalıdır.
(Çerçeve sayısı:X doğrultusunda 4 çerçeve, Y doğrultusunda 6 çerçeve
Açıklık sayısı:X-Z çerçevelerinde 5 açıklık, Y-Z çerçevelerinde 3 açıklık bulunduğundan koşul sağlanmaktadır.)

U UD UM *Bölme Duvarlar*: Moment çerçeveleri içindeki tüm dolgu duvarlar yapısal elemanlardan izole edilmelidir.

U UD UM *Kayma Gerilmesi Kontrolü*: FEMA 310'daki hızlı kontroller kullanılarak hesaplanan kayma gerilmesi, CG ve AY Performans Seviyeleri için, *0.7 MPa* veya $2\sqrt{f_c}$'den az olmalıdır.

f_c=*9.0 MPa*

$2\sqrt{f_c}$=*0.5 MPa < 0.7 MPa olduğundan dolayı sınır değer olarak 0.5 MPa değeri kullanılacaktır. Kayma gerilmesi hesabının ayrıntıları ileride verilecektir. Burada sadece sonuçlar özetlenmektedir.*

	Kayma Gerilmesi (MPa)	
Kat	**X-Doğrultusu**	**Y-Doğrultusu**
4	0.5	0.6
3	1.0	1.2
2	1.4	1.6
1	1.6	1.8

Görüldüğü gibi, 4. kat x doğrultusu hariç bütün katlarda her iki doğrultu için kayma gerilmeleri 0.5 MPa sınır değerini aşmaktadır.

U UD UM *Normal Gerilme Kontrolü*: Devirme kuvvetlerini taşıyan kolonlarda ağırlık yüklerinden dolayı oluşan normal gerilme, CG ve AY Performans Seviyeleri için, $0.10f_c$'den az olmalıdır. Ayrıca, yalnız devirme kuvvetlerinden

oluşan, hızlı kontrollerden hesaplanmış normal gerilmeler, CG ve AY Performans Seviyeleri için, $0.30f_c$'den az olmalıdır.

1°) Ağırlık Yükleri için Kontrol:

$0.10f_c=0.9$ *MPa (Sınır Değer)*

Birim Alana Düşen Yük: $Q=W/(L_x \times L_y)=6188000/(14600 \times 9000)=0.05$ *MPa*

Kolon	***Normal Kuvvet (kN)***	***Kesit Alanı (m^2)***	***Normal Gerilme (MPa)***
S1	*1906.11*	*0.1125*	*16.9*
S2	*2178.41*	*0.1250*	*17.4*
S3	*2178.41*	*0.1250*	*17.4*
S4	*1906.11*	*0.1125*	*16.9*
S5	*1815.34*	*0.1125*	*16.1*
S6	*2087.65*	*0.1250*	*16.7*
S7	*2269.18*	*0.1375*	*16.5*
S8	*2269.18*	*0.1375*	*16.5*
S9	*2087.65*	*0.1250*	*16.7*
S10	*1815.34*	*0.1125*	*16.1*
S11	*2595.94*	*0.1625*	*15.9*
S12	*2595.94*	*0.1625*	*15.9*
S13	*3267.62*	*0.1950*	*16.7*
S14	*3267.62*	*0.1950*	*16.7*
S15	*2650.40*	*0.1625*	*16.3*
S16	*2723.02*	*0.1625*	*16.7*
S17	*2723.02*	*0.1625*	*16.7*
S18	*2650.40*	*0.1625*	*16.3*

1. ve 2. kattaki kolonların hiçbirinde gerilme koşulu sağlanmamaktadır.

2°) Devirme Kuvvetleri için Kontrol:

$0.30f_c=2.7$ *MPa (Sınır Değer)*

Kritik durum olarak zemin kat kenar kolonlarını dikkate alarak devirme hesabı yaparsak;

$P_{ot}=(1/m) \times (2/3) \times V \times h_n/(L \times n_f)$

P_{ot}*: Devirme Kuvvetlerinin Kolonlarda Oluşturduğu Normal Kuvvet*

m: Eleman Düzeltme Faktörü, CG için m=2.0

V: Taban Kesme Kuvveti, V=6188 kN

h_n*: Toplam Bina Yüksekliği,* $h_n=12.10$ *m*

L: Bina Boyutları, $L_x=14.60$ *m,* $L_y=9.00$ *m*

n_f*: Çerçeve Sayısı,* $n_{fx}=4$, $n_{fy}=6$

X-Doğrultusu için; $P_{otx}=(1/2) \times (2/3) \times 6188 \times 12.10/(14.60 \times 4)=427.37$ *kN*

Dış Kolondaki Gerilme Değeri: 427.37/(0.25×0.45)=3798.85 kN/m²=3.8 MPa

Y-Doğrultusu için; P_{oty}=(1/2) × (2/3) ×6188×12.10/(9.00×6)=462.19 kN

Dış Kolondaki Gerilme Değeri: 462.19/(0.25×0.45)=4108.36 kN/m²=4.1 MPa

Her iki yöndeki gerilme değerleri 2.7 MPa sınırının üzerindedir.

Birleşimler

UD UM *Betonarme Kolonlar*: Tüm betonarme kolonlar, CG performans seviyesi için temele saplanmış olmalıdır. AY için ankrajların kapasitesi için kolonun çekme kapasitesine ulaşabilmelidir.

(*Tüm kolonlar temele saplanmıştır ve kolon donatıları kolonun kapasitesi karşılanacak şekilde ankrajlanmıştır.*)

1°) Kat Ağırlıklarının Hesabı:

Yükler:

Döşemeler:

12 cm Plak : 0.12×25=3.00 kN/m²

Sıva, Şap ve Kaplama : 1.35 kN/m²

Zati Yük : g=4.35 kN/m²

Hareketli Yük : q=1.915 kN/m²

Kar Yükü : q_s=0.75 kN/m²

Duvar Yükü:

Kirişler 20/50 olduğuna, göre duvar yükleri aşağıdaki gibi hesaplanır:

1. Kat (Zemin Kat) : (3.40-0.50) ×4.5=13.05 kN/m²

2. Kat : (2.90-0.50) ×4.5=10.80 kN/m²

3. Kat : 10.80 kN/m²

Kat ağırlıkları:

1. Kat (Zemin Kat)

Döşemeler : 4.35×9.0×14.60 =571.59 kN

Kolonlar : 216.75/2+184.88/2 =200.82 kN

Kirişler : 317.50 kN

Duvarlar : 571.60 kN

W_{1D}=1662 kN W_{1L}=1.915×9.0×14.60=251.63 kN

$W_1=W_{1D}+0.25\times W_{1L}$= 1662+0.25×251.63 W_1=1725 kN

2. Kat

Döşemeler : 571.59 kN

Kolonlar : 184.88 kN

Kirişler : 317.50 kN

Duvarlar : 473.05 kN

W_{2D}=1547.02 kN W_{2L}=251.63 kN

$W_2=W_{2D}+0.25\times W_{2L}$=1547.02+ $0.25\times$251.63 W_2=1610 kN

3. Kat

Döşemeler : 571.59 kN

Kolonlar : 184.88 kN

Kirişler : 317.50 kN

Duvarlar : 473.05 kN

W_{3D}=1547.02 kN W_{3L}=251.63 kN

$W_3=W_{3D}+0.25\times W_{3L}$=1547.02+$0.25\times$251.63 W_3=1610 kN

4. Kat

Döşemeler : 571.59 kN

Kolonlar : 184.88/2 =92.44 kN

Kirişler : 317.50 kN

Duvarlar : 473.05/2 =236.53 kN

W_{4D}=1218.06 kN $W_{4L}=0.75\times9.0\times14.60$=98.55 kN

$W_4=W_{4D}+0.25\times W_{4L}$=1218.06+$0.25\times$98.55 W_4=1243 kN

Bina Ağırlığı: $W=W_1+W_2+W_3+W_4$=1725+1610+1610+1243 $W=6188$ kN

2°) Taban Kesme Kuvveti

$V=C\times S_a\times W$

Bina kat sayısı 4 olduğuna göre; C=1.0

Toplam Bina Yüksekliği; h_n=12.10 m

$T=C_t\times h_n^{3/4}=0.07\times(12.10)^{3/4}$=0.45 sn

$S_a=S_{D1}/T$=0.52/0.45=1.156 S_a=1.156 > S_{DS}=1.0 olduğu için S_a=1.0 alınır.

V=1.0×1.0×6188 $V=6188$ kN

3⁰) 1. Seviye - Kat Kesme Kuvvetleri

$V_j=[(n+j)/(n+1)] \times (W_j/W) \times V$

n:Toplam Kat Sayısı, n=4

j : İncelenen Kat

W_j: İncelenen Katın Üstündeki Bina Ağırlığı

W: Toplam Binanın Ağırlığı, W=12307 kN

V: Taban Kesme Kuvveti, V=6188 kN

$V_4=[(4+4)/(4+1)] \times (1243/6188) \times 6188$ = 1988.8 kN

$V_3=[(4+3)/(4+1)] \times [(1243+1610)/6188] \times 6188$ = 3994.2 kN

$V_2=[(4+2)/(4+1)] \times [(1243+1610+1610)/6188] \times 6188$ = 5355.6 kN

$V_1=[(4+1)/(4+1)] \times [(1243+1610+1610+1725)/6188] \times 6188$ = 6188.0 kN

4⁰) Kayma Gerilmesi Tahkiki

$v_{ort}=(1/m) \times [n_c/(n_c-n_f)] \times (V_j/A_c)$

n_c: İncelenen Kattaki Toplam Kolon Sayısı, n_c=18

n_f: Yükleme Yönündeki Toplam Çerçeve Sayısı,

A_c: İncelenen Kattaki Kolonların Toplam Enkesit Alanı,

V_j: Kat Kesme Kuvveti,

m: Eleman Düzeltme Faktörü, CG için m=2.0 alınacaktır.

$2\sqrt{f_c}$=0.5 MPa < 0.7 MPa olduğundan sınır 0.5 MPa olacaktır.

X-Doğrultusu:

$v_{ort4}=(1/2)\times[18/(18-4)]\times(1988.8/2.55)=500$ kN/m^2 =0.5 MPa=0.5 MPa, Koşul Sağlanıyor.

$v_{ort3}=(1/2)\times[18/(18-4)]\times(3994.2/2.55)=1006$ kN/m^2=1.0 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

$v_{ort2}=(1/2)\times[18/(18-4)]\times(5355.6/2.55)=1350$ kN/m^2=1.4 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

$v_{ort1}=(1/2)\times[18/(18-4)]\times(6188.0/2.55)=1560$ kN/m^2=1.6 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

Y-Doğrultusu:

$v_{ort4}=(1/2)\times[18/(18-6)]\times(1988.8/2.55)=584$ kN/m^2 =0.6 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

$v_{ort3}=(1/2)\times[18/(18-6)]\times(3994.2/2.55)=1174$ kN/m^2=1.2 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

$v_{ort2}=(1/2)\times[18/(18-6)]\times(5355.6/2.55)=1575$ kN/m^2=1.6 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

$v_{ort1}=(1/2)\times[18/(18-6)]\times(6188.0/2.55)=1820$ kN/m^2=1.8 MPa>0.5 MPa, Koşul Sağlanmıyor.

Yukarıdaki sonuçlara bakıldığında, 4. kat x doğrultusu hariç her iki doğrultudaki yüklemede bütün katlarda kayma gerilmesi kontrolü sağlanamamıştır.

Ek Yapısal Kontrol Listesi (C1-Betonarme Moment Çerçevesi için)

Aşağıda, incelenen yapı için hazırlanmış Ana Yapısal Kontrol Listesi görülmektedir. Bu kontrol listesindeki her bir değerlendirme ifadesi, 'Uygundur (U)', 'Uygun Değildir (UD)' veya 'Uygulanamaz (UM)' olarak işaretlenecektir. 'Uygundur' ifadesi, değerlendirmenin bu standarda göre kabul edilebilir olduğunu, 'Uygun Değildir' ifadesi, konunun daha ileri değerlendirme gerektirdiğini, 'Uygulanamaz' ifadesi ise değerlendirmenin ilgili binaya uygulanamayacağını tanımlamaktadır. Kontrol listesinin koşulunun sağlanıp sağlanmaması ile ilgili açıklamalar, koşulun altında parantez içerisinde belirtilmiştir.

Yanal Yük Taşıyıcı Sistem

U UD UM *Kirişsiz Döşeme*: Yanal yük taşıyıcı sistem, kolonlar ve kirişsiz döşemelerin oluşturduğu bir çerçeve olmamalıdır.
(İncelenen yapıda kirişsiz döşeme sistemi bulunmamaktadır.)

U UD UM *Öngerilmeli Çerçeve Elemanları*:Yanal yük taşıyıcı sistem öngerilmeli veya artgermeli elemanlardan oluşmamalıdır.
(Binada öngermeli ve artgerilmeli eleman yoktur.)

U UD UM *Kısa Kolonlar*: Bir katta kolonların (net kat yüksekliği/kesit yüksekliği) oranının, CG performans seviyesi için %50'sinden, AY performans seviyesi için %75'inden az oran değerine sahip kolon bulunmayacaktır.
(Oran değerleri 2.0'den büyük olduğu için yapıda kısa kolon bulunmamaktadır.)

Normal Katlarda:

S1, S4, S5, S10 kolonları için	*(2.90-0.50)/0.45=5.33*
S2, S3, S7, S8 kolonları için	*(2.90-0.50)/0.55=4.36*
S6, S9 kolonları için	*(2.90-0.50)/0.50=4.80*
S11, S12, S15, S16, S17, S18 kolonları için	*(2.90-0.50)/0.65=3.69*
S13, S14 kolonları için	*(2.90-0.50)/0.65=6.44*

U UD UM *Kayma Göçmesi Kontrolü*: Çerçeve elemanlarının kesme dayanımları kolonların altında ve üstünde eğilme dayanımlarını karşılayabilmelidir.
(Ayrıntılı hesap ileride verilecektir.)

U UD UM *Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş*: Bir çerçeve birleşim noktasında kolonların moment kapasiteleri kirişlerinkinden %20 daha fazla olmalıdır.

(ACI-318/95, Bölüm 21.4.2.2'ye göre birleşim bölgelerinde $P>0.1\times A_g\times f_c$ *ise* $\Sigma M_e \geq 6/5\times \Sigma M_g$ *kontrolü yapılmalıdır [ACI, 1995]. Eğer* $P\leq 0.1\times A_g\times f_c$ *ise kontrole gerek yoktur. İncelenen binanın birleşim bölgelerinde bu koşul sağlanmamıştır. Burada;*

ΣM_e *:Düğüm noktasında, kolonların dizayn eğilme dayanım momentlerinin toplamı,*

ΣM_g *: Düğüm noktası merkezinde,kirişlerin dizayn eğilme dayanım momentlerinin toplamını ifade etmektedir.*

Bu koşul, A.B.Y.Y.H.Y. Bölüm 7.3.5.1'deki koşula benzemektedir, ancak Türk Deprem Yönetmeliğinde pekleşmeli taşıma gücü momentleri kullanılmasına karşın, buradaki hesapta ise pekleşmeli dayanımlar dikkate alınmaktadır.)

U UD UM *Kiriş Donatıları*: Kirişin başından sonuna kadar uzunluğu boyunca altta ve üstte en az 2'şer boyuna donatı sürekli olarak uzanmalıdır. Birleşim noktalarındaki pozitif ve negatif moment için kullanılan boyuna donatının en az %25, CG ve AY için, kirişin başından sonuna kadar sürekli olarak uzanmalıdır.

U UD UM *Kolon Donatı Bindirmeleri*: Tüm kolon donatı bindirme eki boyları, CG için $35\phi_b$'den ve AY için $50\phi_b$'den büyük olmalı ve en az $8\phi_b$ aralıklı etriyelerle sarılmış olmalıdır.

(Kolonlarda en büyük donatı çapı $\phi_b=16$ *mm'dir . Bindirme ek boyu* $35\phi_b=56$ *cm ve sargı donatısı aralığı* $8\phi_b=12.8$ *cm'dir. Etriye aralığı 12 cm'dir. Koşullar sağlanmaktadır.)*

U UD UM *Kiriş Donatı Bindirmeleri*: Boyuna kiriş donatıları için bindirme ekleri birleşim bölgelerinin $l_b/4$ yakınlığı içinde ve potansiyel plastik mafsal bölgeleri civarında olmamalıdır. l_b kiriş boyunu ifade etmektedir.

U UD UM *Kolon Etriye Aralıkları*: Çerçeve kolonlarında uzunlukları boyunca, CG ve AY için, d/4 veya daha az aralıklı etriyeler olmalıdır. Ayrıca tüm potansiyel plastik mafsal bölgelerinde kolonlar, CG ve AY için, $8\phi_b$'den az aralıklı etriyelere sahip olmalıdır.

(25/45 boyutlu kolonlarda d/4= 41/4=10.25 cm, 25/50 boyutlu kolonlarda 46/4=11.5 cm, 25/55 boyutlu kolonlarda 51/4=12.75 cm, 25/65 boyutlu kolonlarda 61/4=15.25 cm'dir. 25/65 boyutlu kolonlar dışında diğer bütün kolonlarda, d/4 değeri 15 cm' den küçük olduğu için koşul sağlanamamaktadır.)

U UD UM *Kiriş Etriye Aralıkları*: Tüm kirişlerde, CG ve AY için, d/2 veya daha az aralıklı etriyeler olmalıdır. Potansiyel plastik mafsal bölgelerinde etriyeler, CG ve AY performans seviyeleri için, en fazla $8\phi_b$ veya d/4 değerlerinden küçük olanı kadar aralıkla yerleştirilmiş olmalıdır.

(Tüm kirişlerde etriyeler 15 cm aralıklı olarak yerleştirilmiştir. Bu durumda kirişlerde $8\phi_b$=12.8 cm'den az olma koşulu sağlanmamaktadır.)

U UD UM *Birleşim Bölgesi Donatısı*: Kiriş kolon birleşim bölgeleri, CG ve AY için, en fazla $8\phi_b$ aralıklı etriyelerle sarılmış olmalıdır.

(Birleşim bölgeleri 15 cm aralıklı sargı donatıları ile sarılmıştır. $8\phi_b$=12.8 cm<15 cm olduğundan dolayı, bu koşul sağlanmamaktadır.)

U UD UM *Birleşim Dış Merkezliği*: Kiriş ve kolon merkez çizgileri arasında kolon küçük boyutunun %20'sinden büyük dış merkezi olmamalıdır. Bu ifade, yalınızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(Yapı CG performans seviyesinde incelenmektedir.)

U UD UM *Etriye Kancaları*: Kolon ve kiriş etriyeleri eleman beton çekirdeklerine en az 135°'lik kancalarla ankre edilmiş olmalıdır. Bu ifade yalınızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(Yapı can güvenliği performans seviyesinde incelenmektedir.)

U UD UM *Yerdeğiştirme Uygunluğu*: İkincil elemanlar CG performans seviyesinde taşıyıcı elemanların eğilme dayanımına eriştiğinde yeterli kesme dayanımına AY seviyesinde ise yüksek süneklikli detaylandırmaya sahip olmalıdır.

U UD UM *İkincil Kirişsiz Döşemeler*: İkincil olarak sınıflandırılan kirişsiz döşemeler, CG performans seviyesinde kolon birleşim noktalarına kadar kesintisiz uzanan alt donatıya sahip olmalıdır. AY performans seviyesinde ise düz döşemelere izin verilmemektedir.

(Yapıda kirişsiz döşeme bulunmamaktadır.)

Diyaframlar

U **UD** **UM** *Diyaframı Sürekliliği*: Diyaframlar bölünmüş kat döşemelerinden oluşmamalıdır. Ahşap binalarda diyaframlarda derz aralığı bulunmamalıdır.

(*Binada diyaframlar kat içinde süreklidir.*)

U **UD** **UM** *Planda Düzensizlikler*: Döşeme boşluğu köşelerinde ve diğer plan düzensizliklerinin olduğu yerlerde diyaframın dayanımını karşılayacak çekme kapasitesi olmalıdır. Bu ifade yalnızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(*Bina CG performans seviyesinde incelenmektedir. Ayrıca döşemelerde boşluk bulunmamaktadır.*)

U **UD** **UM** *Boşluklarda Diyafram Donatısı*: Bina genişliğinin %50'sinden büyük döşeme boşluklarının çevresinde donatı olmalıdır. Bu ifade yalnızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(*Yapı, CG performans seviyesinde incelenmektedir. Ayrıca döşemelerde boşluk bulunmamaktadır.*)

Birleşimler

U **UD** **UM** *Kazık Başlıklarında Yanal Yük*: Kazık başlıklarında üst donatı bulunmalıdır, CG performans seviyesinde kazıklar kazık başlıklarına ankrajlanmalıdır ve AY performans seviyesinde kazık başlıkları kazıkların çekme kapasitesini karşılayabilmelidir.

(Yapıda kazıklı temel yoktur.)

***1°)* Kesme Göçmesi Tahkiki**

Kolonlarda oluşabilecek maksimum kesme kuvvetinin karşılanıp karşılanamayacağının kontrolü, bu koşulun amacını teşkil etmektedir. Kolonların eğilme kapasiteleri, üzerindeki eksenel kuvvete bağlı olarak değiştiğinden, bir kolonda tek bir eğilme kapasitesinden ve dolayısıyla eğilme kapasitesinden dolayı oluşacak kesme kuvvetinden bahsedilemez. İncelemenin bu aşamasında, kolonların eğilme kapasiteleri yalnızca ağırlık kuvvetleri altındaki eksenel kuvvet mertebesinde belirlenecek ve buradan da kesme kuvveti karşılayabilirliği kontrol edilecektir.

Malzeme Özellikleri:

Beton: $f_c=9$ *MPa*

Donatılar: Boyuna ve enine donatılarda düz çelik kullanılmıştır.

Pekleşmeli dayanım; f_y=220×1.25=275 MPa

Dayanım hesapları için, *FEMA 310'da, Provisions* yayınının kullanılması şart koşulmuştur. *Provisions,* ACI-318'i referans alıp, bazı maddelerini değiştiren bir yayındır. Konunun dahilindeki hesaplar için *Provisions'da* ACI-318'i değiştiren bir koşul görülmediği için bu bölümde yapılacak dayanım hesapları için ACI-318/95 prosedürleri kullanılacaktır.

Zemin Katta İnceleme:

Kolon	***Normal Kuvvet (kN)***
S1,S4	*1906*
S2,S3	*2178*
S5,S10	*1815*
S6,S9	*2088*
S7,S8	*2269*
S11,S12	*2596*
S13,S14	*3268*
S15,S18	*2650*
S16,S17	*2723*

S1, S4 Kolonları (250×450):

N=1906 kN

M_P=850/0.7=1214 kNm

Moment değerini bulmak için kullanılan etkileşim eğrisi, ACI-318/95 kayıtlarını kullanmaktadır. Dolayısıyla etkileşim eğrisindeki bulunan dizayn dayanımı, ϕ=0.7'ye bölünerek nominal dayanıma dönüştürülmüştür. Donatının akma dayanımı olarak da 1.25 ile arttırılmış değer girildiğinden, M_P pekleşmeli moment taşıma gücü (Q_{CE}) elde edilmiş olur.

Eğilme Kapasitesindeki Kesme Kuvveti (ACI-318/95, *Böl.21.3.4.1):*

$V_e=(M_{P1}+M_{P2})/h$ V_e=(2×1214)/(3.40-0.50)=837 kN

Kesme Kapasitesi (*ACI-318/95, Böl.11.5.6, Denk.11-15):*

Kayma Donatısı: ϕ8/15 A_w=2×50=100 mm^2

$V_s=A_w \times f_y \times d/s$ V_s=100×0.275×410/150=75 kN

V_s=75 kN < V_e=837 kN olduğundan dolayı kolonda etriyelerle sağlanan kayma dayanımı yetersizdir. Bu nedenle, kayma dayanımı hesabında betonun dayanıma katkısının eklenebilirliği değerlendirilmelidir. ACI-318, Böl.21.3.4.2'ye göre; $N \leq 0.05 A_g f_c$ ve $V_e \geq 0.5 V_u$ koşulları aynı anda sağlanıyorsa beton katkısı katılamaz. Burada, N kesitteki eksenel kuvvet, A_g kesit alanı, V_u ise kesitteki mevcut kesme kuvvetidir.

$0.05 A_g f_c$=0.05×250×450×0.009=51 kN < N=1906 kN olduğundan dolayı koşullardan birisi sağlamıyor. Böylece, betonun kayma dayanımına katkısı, ACI-318/95, Böl.11.3.1.2, Denk. (11-4) ile hesaplanır. Burada, gerilme birimi MPa, uzunluk birimi mm, kuvvet birimi N ve alan birimi ise mm^2 cinsinden olduğuna dikkat edilmelidir. Sonuç olarak, V_c'nin birimi N cinsinden bulunacaktır:

$V_c = 0.1661 \times \sqrt{f_c} \times b_w \times d \times [1 + 0.0725 \times N/A_g]$

V_c= 0.1661×√9×250×450× [1+0.0725×1906000/(250×450)]

V_c=125000 N $\quad$ V_c=125 kN

Betonarme kesitin taşıyabileceği kesme kuvveti;

$V_n = V_c + Vs$

V_n=125+75=200 kN < V_e=837 kN olduğundan dolayı S1 ve S4 kolonlarının kayma dayanımları yeterli değildir. S7 ve S8 kolonlarında normal kuvvet daha yüksek olduğu için eğilme dayanımları ve bu dayanımlardan elde edilen kesme kuvvetleri daha yüksek olacaktır. Dolayısıyla, bu kolonların da kayma dayanımları yeterli olmayacaktır.

S2, S3 Kolonları:

N=2178 kN

M_P=860/0.7=1229 kNm

$V_e = (M_{P1} + M_{P2})/h$ $\quad$ V_e=(2×1229)/(3.40-0.50)=847 kN

$V_s = A_w \times f_y \times d/s$ $\quad$ V_s=100×0.275×510/150=93 kN

V_s=93 kN < V_e=847 kN olduğundan dolayı kolonda etriyelerle sağlanan kayma dayanımı yetersizdir. Bu nedenle, kayma dayanımı hesabında betonun dayanıma katkısının eklenebilirliği değerlendirilmelidir.

$0.05A_g f_c$=0.05×250×550×0.009=62 kN < N=2178 kN olduğundan dolayı koşullardan birisi sağlanmıyor. Böylece, betonun kayma dayanımına katkısı eklenebilir:

$V_c=0.1661\times\sqrt{f_c}\times b_w\times d\times [1+0.0725\times N/A_g]$

V_c= 0.1661×√9×250×550× [1+0.0725×2178000/(250×550)]

V_c=147000 N V_c=147 kN

Betonarme kesitin taşıyabileceği kesme kuvveti;

$V_n=V_c+Vs$

V_n=147+93=241 kN < V_e=847 kN olduğundan dolayı S2 ve S3 kolonlarının kayma dayanımları yeterli değildir.

<u>S5, S10 Kolonları</u>:

N=1815 kN

M_P=830/0.7=1186 kNm

$V_e=(M_{P1}+M_{P2})/h$ V_e=(2×1185)/(3.40-0.50)=818 kN

$V_s=A_w\times f_y\times d/s$ V_s=100×0.275×410/150=75 kN

V_s=75 kN < V_e=818 kN olduğundan dolayı kolonda etriyelerle sağlanan kayma dayanımı yetersizdir.

$0.05A_g f_c$=0.05×250×450×0.009=51 kN < N=1815 kN olduğundan dolayı betonun kayma dayanımına katkısı eklenebilir:

$V_c=0.1661\times\sqrt{f_c}\times b_w\times d\times [1+0.0725\times N/A_g]$

V_c= 0.1661×√9×250×450× [1+0.0725×1906000/(250×450)]

V_c=125000 N V_c=125 kN

Betonarme kesitin taşıyabileceği kesme kuvveti;

$V_n=V_c+Vs$

V_n=125+75=200 kN < V_e=818 kN olduğundan dolayı S5 ve S10 kolonlarının kayma dayanımları yeterli değildir.

<u>S6, S9 Kolonları</u>:

N=2088 kN

M_P=840/0.7=1200 kNm

$V_e=(M_{P1}+M_{P2})/h$ V_e=(2×1200)/(3.40-0.50)=828 kN

$V_s=A_w \times f_y \times d/s$ $V_s=100\times0.275\times460/150=84$ kN

$V_s=84$ kN $< V_e=828$ kN olduğundan dolayı kolonda etriyelerle sağlanan kayma dayanımı yetersizdir.

$0.05A_g f_c=0.05\times250\times500\times0.009=56$ kN $< N=2088$ kN olduğundan dolayı betonun kayma dayanımına katkısı eklenebilir:

$V_c=0.1661\times\sqrt{f_c}\times b_w\times d\times [1+0.0725\times N/A_g]$

$V_c=138000$ N $\quad V_c=138$ kN

Betonarme kesitin taşıyabileceği kesme kuvveti;

$V_n=V_c+Vs$

$V_n=138+84=222$ kN $< V_e=828$ kN olduğundan dolayı S6 ve S9 kolonlarının kayma dayanımları yeterli değildir.

Zemin kattaki diğer kolonların kayma dayanımları hesaplandığında, yeterli kapasiteye sahip olmadıkları görülmektedir.

Sonuç olarak, zemin kat ve üst katlarda, kolonlardaki kapasiteler yeterli değildir.

Jeolojik Bölge Tehlikesi ve Temeller Kontrol Listesi

Aşağıda incelenen yapı için hazırlanmış Jeolojik Bölge Tehlikesi ve Temeller Kontrol Listesi görülmektedir. Bu kontrol listesindeki her bir değerlendirme ifadesi, 'Uygundur (U)', 'Uygun Değildir (UD)' veya 'Uygulanamaz (UM)' olarak işaretlenecektir. 'Uygundur' ifadesi, değerlendirmenin bu standarda göre kabul edilebilir olduğunu, 'Uygun Değildir' ifadesi, konunun daha ileri değerlendirme gerektirdiğini, 'Uygulanamaz' ifadesi ise değerlendirmenin ilgili binaya uygulanamayacağını tanımlamaktadır. Kontrol listesinin koşulunun sağlanıp sağlanmaması ile ilgili açıklamalar, koşulun altında parantez içerisinde belirtilmiştir.

a) Jeolojik Bölge Tehlikeleri

Aşağıdaki ifadeler yüksek ve orta deprem bölgelerindeki binalar için doldurulmalıdır.

U **UD** **UM** *Zeminde Sıvılaşma*: Binanın deprem performansını tehlikeye sokan sıvılaşmaya karşı hassas doyuma ulaşmış düşük granüllü zeminler, CG ve AY için, binanın 50 feet altına kadar derinlikte bulunmayacaktır.

U UD UM *Şev Kayması*: Bina bölgesi potansiyel deprem sebepli şev kaymasından ya da kaya düşmelerinden yeteri kadar uzak olmalı veya önceden bilinen hareketlerle uyumlu davranabilmelidir.

U UD UM *Yüzeyde Fay Çatlağı*: Bina bölgesinde yüzeyde fay çatlağı veya yüzey hareketi olmamalıdır.

b) Temellerin Durumu

Aşağıdaki ifade, tüm 1. Seviye bina değerlendirmeleri için tamamlanacaktır.

U UD UM *Temel Performansı*: Temellerde haddinden fazla çökme veya yukarı kalkma gibi yapının bütünlüğüne veya dayanımına tesir edecek temel hareketlerine dair bir işaret olmamalıdır.

Aşağıdaki ifade, yüksek ve orta deprem bölgelerindeki AY performans seviyesinde değerlendirilecek binalar için doldurulmalıdır.

U UD UM *Kötüleşme*: Temel elemanlarının korozyon, sülfat etkisi, malzeme bozulması veya yapının bütünlüğü ve dayanımını etkileyecek diğer sebepler sebebiyle kötüleşmeye dair bir işaret olmayacaktır.

c) Temellerin Kapasiteleri

Aşağıdaki ifade, tüm 1. Seviye bina değerlendirmeleri için tamamlanacaktır.

U UD UM *Kazıklı Temeller*: Kazıklı temeller, CG ve AY için, minimum 4 feet saplanma derinliğine sahip olmalıdır.

(Binada kazıklı temel yoktur.)

Aşağıdaki ifadeler, yüksek ve orta deprem bölgelerindeki AY performans seviyesinde değerlendirilecek binalar için doldurulmalıdır.

U UD UM *Devrilme*: Temel seviyesindeki yanal yük taşıyıcı sistemin etkin boyutunun, bina yüksekliğine (zeminden itibaren ölçülen) oranı $0.6S_a$'dan büyük olmalıdır.

(Koşul sağlanmaktadır. Aşağıdaki tabloda B/h oranlarının $0.6S_a$'yı aştığı görülmektedir.)

	Temel Boyutu (m)	Bina Yüksekliği(m)	(B/h) Oranı	$0.6S_a$
X	*14.60*	*12.10*	*1.207*	*0.6*
Y	*9.00*	*12.10*	*0.744*	*0.6*

U UD UM *Temel Elemanları Arası Bağlar*: Eğer ayaklar, kazıklar ve payandalar kirişler radye veya A, B veya D sınıfı zeminlerle tutulmamışsa, temel sistemi deprem kuvvetlerine karşı koymaya yeterli bağ kirişlere sahip olmalıdır.

U UD UM *Derin Temeller*: Kazıklar ve payandalar yapı ile zemin arasındaki yanal kuvvetleri transfer edebilmelidir.Bu ifade yalnızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(Yapıda derin temel bulunmamaktadır.)

U UD UM *Kayma Bölgeleri*: Binanın bir yanındakiyle diğer yanı arasındaki seviye farkı, yarım kat yüksekliğini aşmamalıdır. Bu ifade yalnızca AY performans seviyesine uygulanacaktır.

(Bina CG performans seviyesinde değerlendirilmektedir.)

3.3 Sismik İndeks Yöntemi

Yapıların deprem güvenliklerinin belirlenmesinde kullanılan değişik yaklaşımlardan biri olan Sismik İndeks Yöntemi, uzun süreli çalışma ve araştırmalar sonucunda Japonya'da bir standart olarak kullanılmaktadır (Ohkubo, 1991). Bu standart, maksimum altı katlı perdeli veya perdesiz çerçeveli yapılarda uygulanabilmektedir. 30 yaşının üzerinde ve büyük bozukluklara sahip, yangın geçirmiş, zayıf malzeme dayanımlı veya taşıyıcı sistemi çok özel olan binalarda bu standart uygulanmamaktadır. Son yıllarda, ülkemizdeki mevcut binaların deprem güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla Sismik İndeks Yönteminin uygulanma durumu araştırmalara konu olmuştur (Boduroğlu, 1990).

Bu çalışmada, İndeks Yöntemini iyileştirecek ve Türkiye koşullarına uygun hale getirecek ilaveler yapıldığı için yöntem ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

Sismik İndeks Yönteminde aşağıda açıklanacağı gibi üç seviyeli bir inceleme işlemi esas alınmaktadır. Seviye arttıkça güvenlik de artmaktadır. Ancak genellikle ikinci seviye sonucu, incelemeye konu olan binanın deprem güvenliği hakkında bir tahminde bulunmak için yeterli olabilmektedir. Bu üç inceleme seviyesi, birbirinden bağımsız olarak yapıya uygulanabilmektedir.

a) 1. İnceleme Seviyesi: Kolon ve perdelerin kayma dayanımları hakkında bir fikir vermektedir. Yöntem bu kısımda, yapının sadece moment dayanım performansını düşük oranda tahmin etmektedir. Çerçevelerde perdelerin kullanım miktarına göre yapı güvenliği artar.

b) 2. İnceleme Seviyesi: Perde ve kolonların süneklik ve kapasitelerinin hesabını içermektedir. Kirişler rijit kabul edilmektedir. İşlem, zayıf kolon/kuvvetli kiriş esasına dayanmaktadır. Daha güvenilir bir tahmin işlemidir.

c) 3. İnceleme Seviyesi: Mümkün olan bütün göçme mekanizmaları, 2. inceleme seviyesinde dikkate alınmayan kiriş hasarları ve temel hasarlarından dolayı oluşan perde dönmelerini de içermektedir.

Her inceleme seviyesi için bulunacak olan Yapı Deprem İndeksi I_S ,Yapı Deprem Kıyaslama İndeksi I_{S0} ile kıyaslanmak suretiyle yapının deprem güvenliği tahmin edilmektedir. I_S ve I_{S0} indeksinin nasıl bulunacağı aşağıda açıklanacaktır.

3.3.1 Deprem Performansının Açıklanması

Genel amaç, binanın yatay yükler etkisinde davranışını etkileyebilecek parametrelerin ortaya konulup bina hakkında bir fikir elde edilebilmesidir. Daha sonra bulunan sonucun kabul edilebilirliği kontrol edilir. Yapının deprem performansı aşağıdaki iki indeksle ifade edilebilir:

I) Taşıyıcı Sisteme ait Yapı Deprem İndeksi (Seismic Index of Structure), I_S

II) Taşıyıcı Olmayan Elemanlara ait Yapısal Olmayan Deprem İndeksi (Seismic Index of Non-Structural Elements), I_N

Bu iki indeks birbirinden bağımsız olarak hesaplanmakla birlikte I_N hesaplanırken özellikle çerçevenin sünekliği dikkate alınmaktadır. Bu iki indeksten büyük olanı daha iyi bir deprem performansı verecektir.

3.3.1.1 Taşıyıcı Sisteme ait I_S Yapı Deprem İndeksinin Hesabı

I_S'in hesabında süneklik, malzeme dayanımları, taşıyıcı sistem düzensizlikleri gibi parametreler göz önüne alınmaktadır. Çerçevedeki tüm katlar ve tüm birleşim doğrultuları ele alınarak tahmin edilen I_S indeksi aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$I_S = E_0 \times S_D \times T \tag{3.1}$$

(3.1) denklemindeki ifadelerin anlamları şöyledir:

E_0 : Temel Yapısal Performans İndeksi (Basic Structural Performance Index)

S_D : Yapı Özelliklerine göre Değerlendirilen İndeks (Index on the Structural Design of the Building)

T : Yapıdaki Zamana Bağlı Şekil Değiştirmeleri Belirten İndeks (Index on the Time Dependent Deterioration of the Building)

Bu yöntemde I_S indeksi, mevcut olan üç farklı düzey için ayrı ayrı hesaplanmaktadır.

Tablo 3.1 Yapı Elemanlarının Sınıflandırılması

Eleman	*Tanımlama*
Kolon	*Kolon Temiz Yüksekliğinin Genişliğe Oranı 2'den Büyük Olan Kolonlar ($h_0/D>2$)*
Kısa Kolon	*Kısa Kolon Olarak Adlandırılan Kolonlar ($h_0/D\leq 2$)*
Perdeler	*Perdeler (Sınır Elemanları Olan veya Olmayan)*

1°) Temel Yapısal Performans İndeksi E_0'ın Tahmin Edilmesi

E_0 indeksi, Dayanım İndeksi (Ultimate Strength Index) C ile Süneklik İndeksi (Ductility Index) F kullanılmak suretiyle genel olarak;

$$E_0 = C \times F$$

formülü ile ifade edilmektedir. Aşağıda her bir inceleme seviyesi için E_0 indeksinin nasıl hesaplanacağı verilmiştir. Tablo 3.1'de yapı elemanlarının sınıflandırılması gösterilmiştir.

1. İnceleme Seviyesi

Yapıda Kısa Kolon Olmaması Durumu ($h_0/D>2$):

Yapıda kısa kolon olmaması durumunda E_0 indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$E_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_w + a_1 C_c)F_w \qquad (3.2)$$

(3.2) formülünde yer alan ifadelerin anlamları şöyledir:

n : Kat Adedi (Bodrum Kat Hariç)

i : Dikkate Alınan Kat

C_w : Perdelerin Dayanımı

C_c : Kolonların Dayanımı

a_1 : Yer değiştirme Uyum Faktörü (a_1=0.70, Eğer C_w =0 ise a_1=1.0 alınır)

F_w : Perde Süneklik İndeksi (F_w=1.0)

Yapıda Kısa Kolon Olması Durumu ($h_0/D\leq 2$):

Yapıda kısa kolon olması durumunda E_0 indeksi aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır:

$$E_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_{sc} + a_2 C_w + a_3 C_c)F_{sc} \qquad (3.3)$$

Burada;

C_{sc} : Kısa Kolonların Dayanımı

a_2, a_3 : Yerdeğiştirme Uyum Faktörü (a_2=0.70 ve a_3=0.80)

F_{sc} : Kısa Kolon Süneklik İndeksi (F_{sc}=0.80)

şeklinde ifade edilebilir.

F_w ve F_{sc}'nin değerleri dikkate alındığında kısa kolon durumunda sünekliğin daha az alındığı görülmektedir.

Yapıda kısa kolon olması durumunda E_0 indeksi hesaplanırken kısa kolonların dayanımını göz önüne alan (3.3) denklemi ve kısa kolonların dayanımını ihmal eden (3.2) denklemi ile hesaplanan değerlerden büyük olan dikkate alınmalıdır. Eğer kısa kolon 'özel tehlikeli kolon' olarak tanımlanırsa (kolonda meydana gelecek bir göçme sonucunda döşemenin de göçmesi ve ölümcül bir durumun oluşması muhtemel ise) E_0 indeksi her zaman denklem (3.3) denklemi ile hesaplanmalıdır.

2. İnceleme Seviyesi

Yapıdaki bütün düşey taşıyıcı elemanlar hasar durumlarına göre Tablo 3.2'de belirtilen beş sınıfa ayrılmaktadır. Her düşey taşıyıcı elemanın C dayanım indeksi ve F süneklik indeksi ileride anlatılacağı gibi hesaplanmaktadır. Ayrıca bu elemanlar F süneklik indeksi değerlerine göre az sünek, orta sünek ve yüksek sünek olmak üzere en fazla üç gruba ayrılmaktadır. Bu durumda tahmini hasar durumları, her grup içerisinde benzer olmalıdır.

Yapıda Kısa Kolon Olmaması Durumu ($h_0/D>2$):

Bu durumda (3.4) ve (3.5) denklemi ile hesaplanan değerlerden büyük olan değer E_0 olarak dikkate alınmalıdır. Eğer yapı, "özel riskli kolonlara" sahipse, E_0'ı hesaplamak için (3.5) denklemi kullanılmalıdır.

$$E_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)}\sqrt{E_1^2 + E_2^2 + E_3^2} \qquad (3.4)$$

Burada; $E_i = C_i \times F_i$ şeklinde hesaplanmaktadır.

C_1 : Küçük F süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (1. Grup) C dayanımı,

C_2 : Orta F süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (2. Grup) C dayanımı,

C_3 : Büyük F süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (3. Grup) C dayanımı,

F_1 : Küçük süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (1. Grup) F süneklik indeksi,

F_2 : Orta süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (2. Grup) F süneklik indeksi,

F_3 : Büyük süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (3. Grup) F süneklik indeksi,

$$E_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)}.(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3).F_1 \qquad (3.5)$$

Burada F_1, 1. grubun süneklik indeksi, a_2 ve a_3 ise deplasman uyum faktörleridir ve Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te değerleri verilmiştir. Örneğin, birinci grup elemanların kayma hasarı göreceği tahmin edilen normal kolonlardan (Kol.s) ve ikinci grup elemanların eğilme hasarı göreceği tahmin edilen normal kolonlardan (Kol.m) ve üçüncü grup elemanların eğilme hasarı göreceği tahmin edilen perdelerden (Per.m) oluştuğu kabul edilmesi durumunda a_2=0.7 ve a_3=1.0 değerini alacaktır.

Tablo 3.2 2. İnceleme Seviyesinde Kullanılan Taşıyıcı Elemanların Sınıflandırılması

Elemanlar	***Tanımlamalar***
Kol.m	Eğilme Hasarı Gören Betonarme Kolonlar
Kol.s	Kayma Hasarı Gören Betonarme Kolonlar
Kol.ss	Kayma Hasarı Gören Kısa Betonarme Kolonlar ($h_0/D \leq 2$)
Per.m	Eğilme Hasarı Gören Betonarme Perdeler
Per.s	Kayma Hasarı Gören Betonarme Perdeler

Tablo 3.3 (3.5) Denkleminde Yer Alan a_2 Değerleri

İkinci Grup Elemanlar	***Birinci Grup Elemanlar***	
	Kol.ss	***Kol.s veya Per.s***
Kol.m	0.5	0.7
Per.m	0.7	1.0
Kol.s veya Per.s	0.7	-

Tablo 3.4 (3.5) Denkleminde Yer Alan a_3 Değerleri

Üçüncü Grup Elemanlar	***Birinci Grup Elemanlar***	
	Kol.ss	***Kol.s veya Per.s***
Kol.m	0.5	0.7
Per.m	0.7	1.0
Kol.s veya Per.s	0.7	-

F_2 : Orta süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (2. Grup) F süneklik indeksi,

F_3 : Büyük süneklik indeksli elemanların oluşturduğu grubun (3. Grup) F süneklik indeksi,

$$E_0 = \frac{(n+1)}{(n+i)}.(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3).F_1 \qquad (3.5)$$

Burada F_1, 1. grubun süneklik indeksi, a_2 ve a_3 ise deplasman uyum faktörleridir ve Tablo 3.3 ve Tablo 3.4'te değerleri verilmiştir. Örneğin, birinci grup elemanların kayma hasarı göreceği tahmin edilen normal kolonlardan (Kol.s) ve ikinci grup elemanların eğilme hasarı göreceği tahmin edilen normal kolonlardan (Kol.m) ve üçüncü grup elemanların eğilme hasarı göreceği tahmin edilen perdelerden (Per.m) oluştuğu kabul edilmesi durumunda a_2=0.7 ve a_3=1.0 değerini alacaktır.

Tablo 3.2 2. İnceleme Seviyesinde Kullanılan Taşıyıcı Elemanların Sınıflandırılması

Elemanlar	***Tanımlamalar***
Kol.m	Eğilme Hasarı Gören Betonarme Kolonlar
Kol.s	Kayma Hasarı Gören Betonarme Kolonlar
Kol.ss	Kayma Hasarı Gören Kısa Betonarme Kolonlar ($h_0/D \leq 2$)
Per.m	Eğilme Hasarı Gören Betonarme Perdeler
Per.s	Kayma Hasarı Gören Betonarme Perdeler

Tablo 3.3 (3.5) Denkleminde Yer Alan a_2 Değerleri

İkinci Grup Elemanlar	***Birinci Grup Elemanlar***	
	Kol.ss	***Kol.s veya Per.s***
Kol.m	0.5	0.7
Per.m	0.7	1.0
Kol.s veya Per.s	0.7	-

Tablo 3.4 (3.5) Denkleminde Yer Alan a_3 Değerleri

Üçüncü Grup Elemanlar	***Birinci Grup Elemanlar***	
	Kol.ss	***Kol.s veya Per.s***
Kol.m	0.5	0.7
Per.m	0.7	1.0
Kol.s veya Per.s	0.7	-

Yapıda Kısa Kolon Olması Durumu ($h_0/D \leq 2$):

Kısa kolonlu yapılarda E_0 indeksi, (3.4) ve (3.5) denklemleri ile bulunan değerlerden büyük olan değer olarak alınmalıdır. Eğer kısa kolon "özel riskli kolonlar" kategorisine giriyorsa E_0 indeksi (3.5) denklemi ile hesaplanmalıdır.

3. İnceleme Seviyesi

3. inceleme seviyesinde elemanların sınıflandırılması Tablo 3.2'de verilen sınıflandırmaya ek olarak;

- Kirişin eğilmesinden dolayı hasar gören betonarme kolonlar (Kol.mb)
- Kirişin kaymasından dolayı hasar gören betonarme kolonlar (Kol.sb)
- Temelin hareketinden dolayı hasar gören betonarme perdeler (Per Upl.)

göz önüne alınmaktadır.

(a) Dayanım İndeksi C'nin Hesabı

1. İnceleme Seviyesi

C dayanım indeksi her kat ve her iki yön için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Perdeler için Dayanım İndeksi :

$$C_w = \frac{f_{cd}}{200W}(30A_{w1} + 20A_{w2} + 10A_{w3}) \qquad (3.6)$$

Kolonlar için Dayanım İndeksi :

$$C_c = \frac{f_{cd}}{200W}(10A_{c1} + 7A_{c2}) \qquad (3.7)$$

Kısa Kolonlar için Dayanım İndeksi :

$$C_{sc} = \frac{f_{cd}}{200W}15A_{sc} \qquad (3.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

Yapıda Kısa Kolon Olması Durumu ($h_0/D \leq 2$):

Kısa kolonlu yapılarda E_0 indeksi, (3.4) ve (3.5) denklemleri ile bulunan değerlerden büyük olan değer olarak alınmalıdır. Eğer kısa kolon "özel riskli kolonlar" kategorisine giriyorsa E_0 indeksi (3.5) denklemi ile hesaplanmalıdır.

3. İnceleme Seviyesi

3. inceleme seviyesinde elemanların sınıflandırılması Tablo 3.2'de verilen sınıflandırmaya ek olarak;

- Kirişin eğilmesinden dolayı hasar gören betonarme kolonlar (Kol.mb)
- Kirişin kaymasından dolayı hasar gören betonarme kolonlar (Kol.sb)
- Temelin hareketinden dolayı hasar gören betonarme perdeler (Per Upl.)

göz önüne alınmaktadır.

(a) Dayanım İndeksi C'nin Hesabı

1. İnceleme Seviyesi

C dayanım indeksi her kat ve her iki yön için aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

Perdeler için Dayanım İndeksi :

$$C_w = \frac{f_{cd}}{200W}(30A_{w1} + 20A_{w2} + 10A_{w3}) \qquad (3.6)$$

Kolonlar için Dayanım İndeksi :

$$C_c = \frac{f_{cd}}{200W}(10A_{c1} + 7A_{c2}) \qquad (3.7)$$

Kısa Kolonlar için Dayanım İndeksi :

$$C_{sc} = \frac{f_{cd}}{200W}15A_{sc} \qquad (3.8)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Burada;

A_{w1} : İki ucunda kolon bulunan (iki tarafından başlıklı) perdelerin toplam kesit alanı,

A_{w2} : Bir ucunda kolon bulunan (bir tarafından başlıklı) perdelerin toplam kesit alanı,

A_{w3} : Başlıksız perdelerin toplam kesit alanı,

Şekil 3.1'de A_{w1}, A_{w2} ve A_{w3} gösterilmiştir.

A_{c1} : $h_0/D<6$ olan kolonların toplam kesit alanı,

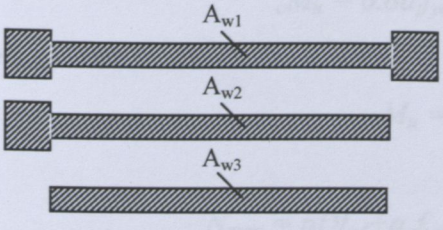
A_{c2} : $h_0/D\geq 6$ olan kolonların toplam kesit alanı,

A_{sc} : Kısa kolonların ($h_0/D\leq 2$) toplam kesit alanı,

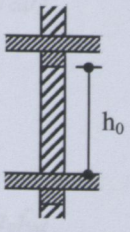
Burada h_0, döşeme üstünden kiriş altına kadar olan temiz kat yüksekliğidir(Şekil3.2).

f_{cd} : Betonun hesap basınç dayanımı,

W : Göz önüne alınan kat üzerindeki yapı ağırlığı (Genelde 12 kN/m^2 olarak göz önüne alınabilir)



Şekil 3.1 Perdelerin Gösterimi



Şekil 3.2 Temiz Kat Yüksekliği

2. İnceleme Seviyesi

Bu seviyede C dayanım indeksinin hesabı temel olarak;

(i) Bütün düşey elemanın eğilme ve kayma dayanımlarını hesaplamak ve onları Tablo 3.1'deki hasar mekanizmalarına göre sınıflandırılması,

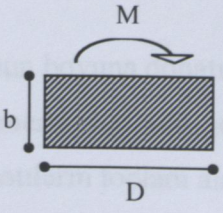
(ii) Her elemanın F süneklik indeksinin hesaplanması ve hesaplanan F değerlerine göre elemanları maksimum üç gruba ayrılması,

(iii) Her bir grup için hesaplanan dayanım indekslerinin bina ağırlığına bölünmesi suretiyle, gruplar için C dayanım indekslerinin hesaplanması adımlarını içermektedir.

Bir elemanın dayanımı, (3.9) denklemi ile (3.18) denklemi arasındaki denklemler vasıtası ile hesaplanabilmektedir. Eğer donatı akma dayanımı için özel bir deney yapmak imkanı yoksa, düz donatı için akma dayanımı olarak 300 MPa, nervürlü donatı için 350 MPa değeri alınabilir.

Eğilme Dayanımı:

Normal Kolonların Eğilme Dayanımı:



Şekil 3.3 Kolon Kesiti ve Boyutları

$N_{max} \geq N > 0.4bDf_{cd}$ ise;

$$_cM_u = (0.8a_tf_{yd}D + 0.12\ bD^2f_{cd})(N_{max}-N)/(N_{max}-0.4bDf_{cd}) \qquad (3.9)$$

$0.4bDf_{cd} \geq N > 0$ ise;

$$_cM_u = 0.8a_tf_{yd}D + 0.5ND[1-N/(bDf_{cd})] \qquad (3.10)$$

$0 \geq N > N_{min}$ ise;

$$_cM_u = 0.8a_tf_{yd}D + 0.4ND \qquad (3.11)$$

$$N_{max} = bDf_{cd} + a_gf_{yd} \qquad N_{min} = -a_gf_{yd}$$

a_t : Kolonun çekme tarafındaki donatı alanı,

b : Kolonun kesit genişliği (Şekil 3.3),

f_{yd}: Boyuna donatının akma dayanımı,

a_g : Boyuna donatıların toplam alanı,

D : Kolonun kesit yüksekliği (Şekil 3.3),

f_{cd}: Hesap beton basınç dayanımı

Kenarı Perdeli Kolonların Eğilme Dayanımı:

$$_cM_u = (0.9+\beta)a_tf_{yd}D + 0.5N\{1+2\beta-[N/(b_eDf_{cd})][1+a_tf_{yd}/N]^2\} \qquad (3.12)$$

$$\rho_t = a_t/(bD) \qquad b_e = A/L_w$$

A : Kenar perde dahil toplam kesit alanı

β : Kenar perdenin basınç yüzü uzunluğunun kolon yüksekliğine oranı

L_w : Kenar perde dahil toplam kesit yüksekliği

Başlıklı Perdelerin Eğilme Dayanımı:

$$_wM_u = a_g f_{yd} L_w + 0.5 a_w f_{wyd} L_w + 0.5 N L_w \qquad (3.13)$$

a_g :Çekme tarafındaki kenar kolonun boyuna donatıların toplam alanı

L_w: İki taraftaki kolonların ağırlık merkezleri arasındaki mesafe

a_w: Perdedeki boyuna (düşey) donatıların toplam alanı

f_{wyd}: Perdedeki boyuna donatının akma dayanımı

N : Perdenin kenarındaki kolonların toplam düşey yükleri

<u>Kayma Dayanımı</u>

Normal Kolonların Kayma Dayanımı:

$$_cQ_{su} = \left(\frac{0.053 \rho_t^{0.23} (18 + f_{cd})}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85\sqrt{\rho_w f_{wyd}} + 0.1\sigma_0\right) bj \qquad (3.14)$$

d : Çekme donatısı ağırlık merkezinin beton basınç bölgesi en dış lifine olan uzaklığı (mm) $\quad 1.0 \le M/(Qd) \le 3.0 \quad [M/(Qd) = h_0/(2d)]$

ρ_t : Çekme donatısı oranı. Bu denklemde % olarak ifade edilir.

$$\rho_t = 100 \times a_t/(b \times D)$$

ρ_w : Kolondaki kayma donatısı oranı. $\quad \rho_w = a_w/(b \times s) \le 0.012$

f_{wyd} : Kolondaki kayma donatısı akma gerilmesi (MPa)

σ_0 : Kolonun eksenel gerilmesi $\sigma_0 = N/(bD)$ (MPa) $\quad 0 \le \sigma_0 \le 8.0$ MPa

j : Manivela kolu $\quad j = (7/8)d$ (mm)

M/Q : Elemandaki maksimum momentin kaymaya oranı (mm)

$_cQ_{su}$: Normal kolonun kayma dayanımı (N)

Kenarı Perdeli Kolonların Kayma Dayanımı:

$$_cQ_{su} = \left(\frac{0.053 \rho_{te}^{0.23} (18 + f_{cd})}{M/(Qd_e) + 0.12} + 0.85\sqrt{\rho_{we} f_{wyde}} + 0.1\sigma_{0e}\right) b_e j_e \qquad (3.15)$$

$$\rho_{te} = a_t/(b_e d_e) \qquad b_e = A/L_w \text{ (mm)}$$

a_t : Kolonun çekme tarafındaki toplam donatı alanı (mm^2)

d_e : Kolondaki çekme donatısı ağırlık merkezinin beton basınç bölgesi en dış lifine olan uzaklığı (mm)

$$\rho_{we}.f_{wyde} = \rho_w.f_{wyd}(b/b_e) + \rho_{sh}.f_{yd}(t/b_e)$$

ρ_{sh} : Perdedeki yatay donatı oranı

f_{yd} : Perdedeki yatay donatı akma dayanımı (MPa)

$f_{wyde} = N/(b_e j_e)$ (MPa) $\qquad j_e = (7/8)d_e$ (mm)

${}_cQ_{su}$: Kenarı perdeli kolonun kayma dayanımı (N)

Başlıklı Perdelerin Kayma Dayanımı:

(3.14) denklemi ile ${}_wQ_{su}$ hesaplanabilir. Ancak bazı semboller şöyle tanımlanmaktadır:

$\rho_t = 100a_t b_e/L \qquad b_e = A/L_w \qquad \rho_t = a_w/(b_e s) \qquad \sigma_0 = N/(b_e L)$ *(MPa)*

a_t : Kolonun çekme tarafındaki toplam donatı alanı (mm^2)

A : Kenar kolonlar dahil perdenin toplam alanı (mm^2)

L : Beton basınç bölgesi en dış lifi ile beton çekme bölgesi en dış lifi arasındaki mesafe (mm)

s : Perdede yatay donatılar arasındaki mesafe (mm)

N : Kenar kolonlardaki toplam düşey yük

a_w : Perdede yatay donatı alanı (mm^2)

M/Q : Momentin kaymaya oranı, (3.17) denkleminden hesaplanır.

$b=b_e d=Lj$: Kenar kolonların ağırlık merkezleri arasındaki mesafeden veya $0.8L$'den küçük olanı alınmalıdır.

${}_wQ_{su}$: Başlıklı perdenin kayma dayanımı (N)

Başlıksız perdelerin kayma dayanımı (3.14) denklemi ile hesaplanmaktadır.

Elemanların Yanal Yük Taşıma Kapasitesi ve Göçme Mekanizması

Eğilme hasarı gören bir kolon ve perdenin yanal kayma kuvveti, sırasıyla, (3.16) ve (3.17) denklemi ile hesaplanmaktadır.

Kolonlar için; $\qquad {}_cQ_{mu} = ({}_cM_{ut} + {}_cM_{ub})/h_0 \qquad (3.16)$

${}_cM_{ut}$ ve ${}_cM_{ub}$ (3.9)-(3.12) arasındaki denklemler ile hesaplanan, sırasıyla, kolonun üst ve alt moment dayanımlarını göstermektedir. h_0 ise kolonun temiz yüksekliğini ifade etmektedir.

Perdeler için; $${}_wQ_{mu} = 2_wM_u/h_w \quad (3.17)$$

${}_wM_u$, (3.13) denklemi ile hesaplanan eğilme dayanım momentini ve h_w ise temiz perde yüksekliğini göstermektedir.

Tahmini Hasar Mekanizmasının Belirlenmesi

(3.16) veya (3.17) ile hesaplanan yanal kuvvet, (3.14) veya (3.15) denklemleri ile hesaplanan kayma dayanımından daha küçük olması durumunda, düşey elemanın hasar mekanizması "eğilme hasarı", ancak büyük veya eşit olması durumunda ise düşey elemanın hasar mekanizması "kayma hasarı" olarak ele alınmaktadır.

3. İnceleme Seviyesi

Bu seviyedeki C'nin hesabı esas olarak ikinci seviyenin aynısıdır. Bununla birlikte, kirişlerin hasar mekanizmaları ve temelin çökmesi ilave edilmektedir.

(b) Süneklik İndeksi F'nin Hesabı

1. İnceleme Seviyesi

Kolonlar için $F = 1.0$; Kısa Kolon için $F = 0.8$; Perdeler için $F = 1.0$ alınır. Dikkat edilirse burada, kısa kolonun bulunması durumunda süneklik daha az olacağından dolayı süneklik indeksi azaltılmıştır.

2. İnceleme Seviyesi

Bu inceleme seviyesinde Tablo 3.2 ile uyumlu olarak her bir düşey elemanın F değeri Tablo 3.5'den alınabilmektedir.

Tablo 3.5 2. İnceleme Seviyesi için F Süneklik İndeksi Değerleri

Elemanlar	*F İndeks Değerleri*
Kol.m	(3.18) Denkleminden Hesaplanır
Kol.s	1.0
Kol.ss	0.8
Per.m	(3.20) Denkleminden Hesaplanır
Per.s	1.0

$$F = \phi\sqrt{2\mu - 1} \tag{3.18}$$

Burada; $\phi = 1/[0.75(1+0.05\mu)]$ formülü ile hesaplanır. Eleman süneklik katsayısı μ, (5.19) denklemi ile hesaplanmaktadır (μ, 1.0'den küçük ve 5.0'den büyük olmamalıdır).

$$\mu = \mu_0 - k_1 - k_2 \tag{3.19}$$

Formülde; $\mu_0 = 10({}_cQ_{su}/{}_cQ_{mu} - 2)$ formülü ile hesaplanır.

$k_1 = 2.0$ (Kolonun enine donatı aralığı (s), basınç donatısı çapının (ϕ_b) 8 katından küçük ise $k_1 = 0$ alınmalıdır. Yani, $s<8\phi_b$ ise $k_1=0$ alınır)

$k_2 = 30({}_cQ_{mu}/(bDf_{cd}) - 0.2)$ ($k_2 \geq 0$ olmalıdır) şeklinde verilmektedir.

Kolonda;

(i) $N_s/(bDf_{cd}) > 0.4$ ise (burada N_s yanal kuvvetten dolayı oluşan eksenel yükü içeren kolon eksenel yükü göstermektedir),

(ii) ${}_cQ_{mu}/(bDf_{cd}) > 0.2$ ise,

(iii) Kolon çekme donatısı oranı 0.01'den büyük ise,

(iv) $h_0/D \leq 2.0$ ise,

kolon süneklik indeksi $F = 1.0$ alınmalıdır:

Perdelerde süneklik indeksi;

Eğer ${}_wQ_{su}/{}_wQ_{mu} \leq 1.2$ ise $F = 1.0$

Eğer $1.2 < {}_wQ_{su}/{}_wQ_{mu} \leq 1.3$ ise $F = 10\times({}_wQ_{su}/{}_wQ_{mu}) - 11$ (3.20)

Eğer ${}_wQ_{su}/{}_wQ_{mu} > 1.3$ ise $F = 2.0$

şeklinde alınmaktadır.

3. İnceleme Seviyesi

Bu inceleme seviyesi için F süneklik indeksi, Tablo 3.5'deki F değerlerine ilave olarak;

Kol.mb için F=3.0

Kol.sb için F=1.5

Per.upl için F=3.0

değerlerinin eklenmesi ile F değerleri bütün hasar durumları için ayrı ayrı alınabilmektedir.

2°) Tasarım ve Boyutlama İndeksi S_D'nin Hesabı

Taşıyıcı sistemin düzensizliği, rijitlik ve kütlesinin düzgün olarak dağılmaması, S_D Tasarım ve Boyutlama İndeksi ile göz önüne alınır. S_D indeksi değerleri 1. inceleme seviyesi için (3.21) denkleminden, 2. ve 3. inceleme seviyesi için (3.22) denkleminden hesaplanmaktadır. Denklemlerde geçen G_i ve R_i faktörleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

1. İnceleme Seviyesi

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{1k} \qquad (3.21)$$

$q_{1i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = a,b,c,d,e,f,g,i,j,k$

$q_{1i} = \{1.20-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = h$

G_i : İncelenen her bölümün inceleme derecesi

R_i : Her bir bölümün yapının deprem performansına etki derecesi

G_i ve R_i değerleri Tablo 3.6'da verilmiştir.

2. ve 3. İnceleme Seviyesi

$$S_{D2} = q_{2a} \times q_{2b} \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{2n} \qquad (3.22)$$

$q_{2i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = a,b,c,d,e,f,g,i,j,k,l,n$

$q_{2i} = \{1.20-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = h$

Tablo 3.6 S_D İndeksinin Hesabı İçin G_i ve R_i Faktörleri

SEVİYE	DÜZENSİZLİK DURUMLARI	G_i DEĞERLERİ			R_i DEĞERLERİ	
		1.0	0.9	0.8	R_{1i}	R_{2i}
BİRİNCİ VE İKİNCİ SEVİYE	a. Planda Düzensizlik	a_1	a_2	a_3	1.00	0.50
	b. Boy/Genişlik	b<5	5<b<8	8<b	0.50	0.25
	c. Genişlik Düzensizliği	c>0.8	0.8>c>0.5	0.5>c	0.50	0.25
	d. E.P. Noktası	d>1/100	1/100>d>1/200	1/200>d	0.50	0.25
	e. Atrium (Avlu)	e<0.10	0.1<e<0.3	0.3<e	0.50	0.25
	f. Avlu Dışmerkezliği	f_1<0.4 ve f_2<0.1	f_1<0.4 ve 0.1<f_2<0.3	0.4<f_1 veya 0.3< f_2	0.25	0.00
	g. Diğerleri				0.50	0.25
	h. Bodrum Kat	h>1.0	1.0>h>0.5	0.5>h	1.00	1.00
	i. Kat Yüksekliği	i>0.8	0.8>i>0.7	0.7>i	0.50	0.25
	j. Yumuşak Kat	Yok	Bütün	Eksantrik	0.50	0.25
	k. Diğerleri				0.50	0.25
İKİNCİ SEVİYE	l. Dışmerkezlik Oranı	l<0.1	0.1<l<0.15	0.15<l	---	1.00
	n. Kütle Rijitlik Oranı	n<1.2	1.2<n<1.7	1.7<n	---	1.00

a: Planda düzensizlik: Planda düzensizlik üç katsayı ile tanımlanmaktadır.

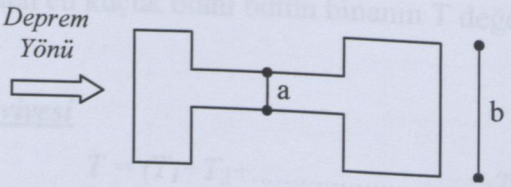
a_1: Yaklaşık simetrik plan ve projelendirilmiş alan (A), toplam kat alanının %10'undan az.

a_2: L, T veya U şeklindeki planlar ve A'nın toplam kat alanının %30'undan daha az olması.

a_3: a_2'den daha karmaşık planlar.

b: Binanın plandaki (Uzun Açıklık) / (Kısa Açıklık) oranı

c: c = a / b



Şekil 3.4 Bir Binanın Plandaki En Dar ve En Geniş Boyutu

d: (Genleşme Derz Aralığı) / (Katın Zeminden Yüksekliği) oranı

e: (Orta Boş Avlu Alanı) / (Toplam Kat Alanı) oranı

f: Avlunun dışmerkezliği

f_1: (Avlu Merkezi ile Kat Merkezi Arasındaki Uzaklık)/(Plandaki Kısa Açıklık) oranı

f_2:(Avlu Merkezi ile Kat Merkezi Arasındaki Uzaklık)/(Plandaki Uzun Açıklık) oranı

h: (Bodrum Kat Alanı) / (Birinci Kat Alanı) oranı

i: Göz önüne alınan kat üzerindeki katların kat yüksekliğindeki değişiklik

j: Eğer bina moment taşıyan perdesiz çerçeveden oluşuyorsa, j 'yumuşak kat var' şeklinde değerlendirilmemelidir.

l: E rijitlik merkezi ile ağırlık merkezi arasındaki mesafe, B plandaki kısa açıklık, L plandaki uzun açıklık olmak üzere *l* değeri şöyle hesaplanır:

$$l = E / \sqrt{(B^2 + L^2)}$$

n: Üst katın rijitlik-kütle oranının göz önüne alınan katın rijitlik-kütle oranına oranı olarak tanımlanır. Kütle değeri olarak göz önüne alınan katın üzerindeki bina ağırlığı dikkate alınabilir. Katın yanal rijitlik değeri yerine, perdeler de dahil olmak üzere düşey elemanların kesit alanlarının toplamı, sözkonusu katın rijitlik-kütle oranını hesaplamakta kullanılabilir.

3°) Zamanla Bozulma İndeksi T'nin Hesabı

Taşıyıcı sistemin davranışının belirlenmesinde, elemanların dayanım, rijitlik ve sünekliği gibi büyüklüklerin hesabına; mevcut çatlaklar, şekil değiştirme ve yer değiştirmelerin etkisinin katılması için basit yöntemler yoktur. Zamanla bozulma indeksi T ile bu etkiler göz önüne alınmaktadır.

1. İnceleme Seviyesi

T binanın yerinde incelenmesinden sonra, Tablo 3.7 yardımıyla tüm bölümlerden elde edilen değerlerden en küçük olanı bütün binanın T değeri olarak alınmaktadır.

2. ve 3. İnceleme Seviyesi

$$T = (T_1+T_2+.....+T_N)/N \qquad (3.23)$$

T_i, incelenen katın T indeksidir ve (3.24) denkleminden hesaplanmaktadır. N ise incelenen katların toplam sayısıdır.

$$T_i = (1-p_1)\times(1-p_2) \qquad i = 1,2,.....,N \qquad (3.24)$$

p_1 ve p_2, yapının çatlama, şekil değiştirmeler veya bozulması ile ilgili faktörlerdir. p_1 ve p_2 faktörleri, Tablo 3.8'deki her bir bölümün puanlarının toplamı olarak alınmaktadır. Ancak önemli bir durum yok ise sıfır alınabilmektedir. Tablo 3.8'deki bazı parametrelerin anlamları Tablo 3.9'da verilmektedir.

Tablo 3.7 Zamanla Bozulma İndeksi T'nin Kontrol Aşamaları (1. İnceleme Seviyesi)

DURUMLAR	*İNCELEME DERECESİ*	*T DEĞERLERİ*	*2. SEVİYE*
Şekil Değiştirme	Binada düşeyden sapma ve düzgün olmayan oturma var	0.7	*Çatlak veya Şekil Değiştirmeler*
	Bina dolguya oturuyor	0.9	
	Kiriş veya kolonlarda görülür şekil değiştirmeler var	0.9	
	Şekil ve yer değiştirmeler yok	1.0	
Perde ve Kolonlarda Çatlak	Yağmur suları sızıyor ve donatılarda paslanma görülüyor	0.8	*Çatlak veya Şekil Değiştirmeler*
	Kolonlarda görülebilir eğik çatlaklar var	0.9	
	Perdelerde çok miktarda görülebilir çatlaklar var	0.9	
	Yağmur suları sızıyor fakat donatılarda paslanma görülmüyor	0.9	
	Perde ve kolonlarda çatlak yok	1.0	
Yangın	Bina yangın geçirmiş fakat onarım görmemiş	0.7	*Çatlak veya Şekil Değiştirmeler, Tahribat*
	Bina yangın geçirmiş fakat onarım görmüş	0.8	
	Yangın durumu yok	1.0	
Binanın Kullanımı	Kimyasal amaçlı	0.8	*Tahribat*
	Kimyasal amaçlı değil	1.0	
Binanın Yaşı	30 yıldan fazla	0.8	*Tahribat*
	20 yıldan fazla	0.9	
	20 yıldan az	1.0	
Sıva ve Kaplama	Dış duvarlarda ağır bozulma var	0.9	*Tahribat*
	İçte ağır bozulma var	0.9	
	Bozulma söz konusu değil	1.0	

Tablo 3.8 Zamanla Bozulma İndeksi T için Kontrol Aşamaları (2. ve 3.İnceleme Seviyesi)

Elemanlar	*İnceleme Derecesi*	*Çatlak veya Şekil Değiştirme (p_1 Değeri)*			*Tahribat (p_2 Değeri)*		
		a_1	b_1	c_1	a_2	b_2	c_2
Döşemeler	*Bütün Döşemelerin 1/3'ünden Daha Fazla*	0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
	Bütün Döşemelerin 1/3'ü ile 1/9'u Arasında	0.006	0.002	0	0.006	0.002	0
	Bütün Döşemelerin 1/9'unden Daha Az	0.002	0.001	0	0.002	0.001	0
Kirişler	*Bütün Kirişlerin 1/3'ünden Daha Fazla (Tek Doğrultuda)*	0.050	0.015	0.004	0.050	0.015	0.001
	Bütün Kirişlerin 1/3'ü ile 1/9'u Arasında	0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
	Bütün Kirişlerin 1/9'unden Daha Az	0.006	0.002	0	0.006	0.002	0
Kolonlar veya Perdeler	*Bütün Elemanların 1/3'ünden Daha Fazla*	0.150	0.046	0.011	0.150	0.046	0.011
	Bütün Elemanların 1/3'ü ile 1/9'u Arasında	0.050	0.015	0.004	0.050	0.015	0.004
	Bütün Elemanların 1/9'unden Daha Az	0.017	0.005	0.001	0.017	0.005	0.001
p_1 veya p_2 Değerleri	*Alt Toplam*						
	Genel Toplam	p_1 = ...			p_2 = ...		

Tablo 3.9 Tablo 3.8'de Geçen Bazı Parametrelerin Anlamları

Gösterge	*İfade*
a_1	***Çatlak veya Yer Değiştirmeler İle İlgili***
	1) Düzgün olmayan yerleşimlerden dolayı oluşan çatlamalar
	2) Kiriş, kolon veya perdelerde görülebilir eğimde çatlakların veya kayma çatlaklarının oluşması
b_1	*1) Kiriş veya döşeme şekil değiştirmelerinin yapısal olmayan elemanları etkilemesi*
	2) Kiriş, kolon veya perdelerde küçük eğimde çatlakların veya kayma çatlaklarının oluşması
	3) Kiriş veya kolonlarda görülebilir eğilme çatlakları veya düşey çatlaklarının oluşması
c_1	*1) Kiriş, kolon veya perdelerde çok küçük çatlakların oluşması*
	2) Döşeme veya kirişlerde küçük sehimlerin oluşması
a_2	***Tahribat ile İlgili***
	1) Donatılardaki paslanmadan dolayı oluşan çatlaklar
	2) Donatının korozyona uğraması
	3) Yangından dolayı betonun dökülmesi
	4) Kimyasal bileşimlerden dolayı betonun aşınmaya uğraması
b_2	*1) Döşeme veya kirişte şekil değiştirmeler*
	2) Beton örüsünün nötralizasyonu (etkisizleşmesi)
	3) Dıştaki malzemelerin önemli ölçüde dökülmesi
c_2	*1) Su sızıntısı. Kimyasal bileşimlerden dolayı noktasal beneklerin oluşumu*
	2) Dıştaki malzemelerin dökülmesi

3.3.1.2 Taşıyıcı Olmayan Elemanlar için I_N Deprem İndeksi

Binanın dış duvarında asılı, düşebilir elemanların deprem davranışı I_N indeksi ile değerlendirilir. İndeksin belirlenmesinde taşıyıcı olmayan bu elemanların düşmesiyle insan hayatında meydana getireceği tehlikeler esas alınır. Taşıyıcı olmayan elemanlar için deprem indeksi 1. inceleme seviyesi, 2. inceleme seviyesi ve 3. inceleme seviyesi için farklı yaklaşımlarla hesaplanmaktadır (Okhubo, 1991).

1. İnceleme Seviyesi

I_N İndeksi, 1. düzey inceleme için (3.25) denklemi ile hesaplanabilir. Yaklaşım dış duvardaki en çok tehlike teşkil eden eleman esas alınarak hesaplanır.

$$I_N = 1-(B \times H) \tag{3.25}$$

Burada, B yapının inşa kalitesine, H ise etki elemanlarına bağlı indeksi ifade eder.

1°) B İndeksi için Yaklaşım

İndeks B, (3.26) denklemi ile hesaplanabilmektedir.

$$B = f+(1-f) \times t \tag{3.26}$$

Bu denklemde, f taşıyıcı olmayan elemanla taşıyıcı sistem arasındaki esnekliği gösteren kat sayıdır. f katsayısı Tablo 3.10'dan yararlanılarak hesaplanabilir.
t, taşıyıcı olmayan elemanın gerçek durumunu gösteren katsayıdır ve t katsayısı Tablo 3.11'den yararlanılarak hesaplanabilir.

Tablo 3.10 *f* Katsayısı Değerleri

Taşıyıcı Olmayan Eleman	*Taşıyıcı sistem*	
	g_{s1}	g_{s2}
g_{n1}	0.5	1.0
g_{n2}	0.0	0.5

g_{s1}: Sünekliği az olan yapılar (Yapısında kısa kolon bulunan yapılar vb.)
g_{s2}: Sünekliği fazla olan yapılar (Yapısında perde bulundurmayan yapılar vb.)
g_{n1}: Sünekliği az taşıyıcı olmayan elemanlar
g_{n2}: Sünekliği fazla taşıyıcı olmayan elemanlar

Tablo 3.11 *t* Katsayısı Değerleri

Taşıyıcı Olmayan Eleman	*t Katsayısı*
Daha Önce Tehlike veya Zarar Görmüşse	t = 1.0
Daha Önce Tehlike veya Zarar Görmemişse	t = 0.5

2°) H İndeksi için Yaklaşım

H indeksi Tablo 3.12 kullanarak hesaplanabilir.

Tablo 3.12 H İndeksi Değerleri

Dış Duvarların Çerçevesindeki Koşullar	*Koruma Önlemleri*	
	Var	*Yok*
Dış Duvar Sokağa, Bina Giriş Çıkışına Komşu	1.0	0.3
Diğer Durumlar	0.5	0.1

2. ve 3. İnceleme Seviyesi

Bu seviye için I_N (3.27) denklemi ile hesaplanabilir. Binanın her iki doğrultusu için ve her kat için yapılmalıdır.

$$I_N = 1 - \frac{B_j W_j H_j L_j}{L_j} \tag{3.27}$$

B_j : Yapının inşa kalitesine bağlı indeks (ilgili standartta tablo halinde verilmiştir).

W_j : Duvar alanına bağlı indeks $W_j = a + b(h_l/h_s)$

a=0.5, b=0.5, h_l: Yapısal olmayan elemanın düşey uzunluğu, h_s: Kat yüksekliği (~3.5 m)

H_j : Etki elemanlarına bağlı indeksi (ilgili standartta tablo halinde verilmiştir).

L_j : Duvarın birim uzunluğu

3.3.2 Deprem Performansının Değerlendirilmesi

Deprem performansı tek olarak yapı ile taşıyıcı olmayan elemanlar arasında kıyaslanır. Buna rağmen, deprem performansının en son kıyaslaması tüm yapı ve taşıyıcı olmayan elemanların birleştirilmesiyle yapılmalıdır. Değerlendirme sonucu bulunan yapının deprem performans indeksi (seismic performance index for structure) I_s, karşılaştırma indeksi (seismic judgment index for structure) I_{s0} ile kıyaslanır. Burada 2 durum söz konusudur:

I.) $I_s > I_{s0}$ ***II.)*** $I_s < I_{s0}$

I_s : Yapının deprem performansını gösteren indeks (Denklem (3.1))

I_{s0}: Yapının deprem kıyaslama indeksi (Denklem (3.28))

I. durum, binanın depreme karşı güvenli olduğuna, II. durum ise binanın depremdeki davranışının belirsiz olduğuna karşılık gelir. Burada güvenli sözü depremde toptan göçmeye karşı güvenli olduğu anlamına gelir. Depremde yapısal olan ve olmayan hasarların meydana geleceği unutulmamalıdır.

3.3.2.1 Yapının Deprem Kıyaslama İndeksi

Yapının deprem kıyaslama indeksi, (3.28) denklemi ile hesaplanabilmektedir.

$$I_{s0} = E_s \times Z \times G \times U \tag{3.28}$$

E_S: Deprem Ana Karşılaştırma İndeksi (Seismic Basic Index For Judgment): Binanın tümü için tek bir değer olarak E_S değeri;

1. İnceleme Seviyesi için 0.8,
2. İnceleme Seviyesi için 0.6,
3. İnceleme Seviyesi için 0.6

olarak alınabilmektedir.

Z: Bölge İndeksi (Zone Index): Binanın bulunduğu bölgenin yer hareketi şiddetine göre azaltılabilir. Ancak Z indeksinin $0.7 \leq Z \leq 1.0$ alınması önerilmiştir.

G: Zemin İndeksi (Ground Index): Zemin-yapı etkileşimi, zemin büyütmesi oluşturacak yapıda zeminin bulunması, topografik etkilerle ilgili olan büyüklüktür. Henüz G indeksi için bir hesap yöntemi belirlenememesine karşılık, Tablo 3.13'den yararlanılarak hesaplanabilir.

Tablo 3.13 Zemin Koşullarına Göre G Zemin İndeksi

Genel Zeminler	*Sarp Kayalık Zeminler*	*Kısmen Dağlık*	*Düzensiz Zemin Tabakaları*
1.0	1.10	1.10	1.10

U: Kullanım indeksi (Usage Index): Yapının önem katsayı olarak kabul edilir ve bu faktör yapının kullanımıyla ilgilidir. Her bina için deprem etkileri de göz önüne alınarak özel olarak belirlenmelidir. Bununla beraber bizler hiçbir zaman indisler için kesin değerlere sahip olmalıyız. Yapı Araştırma Enstitüsü, Japon Hükümeti Yapı İşleri Bakanlığı, yönetim merkezi, deprem sırasında insanların sığınak olarak

kullanacağı yerler, tehlikeli maddelerin depolandığı yerler vb. binalarda U indeksinin 1.25 alınmasını önermektedir. Binanın önem derecesine bağlı olarak U indeksi de farklı değerler almaktadır (örn: Oturma amaçlı kullanılan binalarda 1.0 vb.). Bununla birlikte, $1.0 \leq U \leq 1.25$ olması önerilmektedir.

(3.28) denklemini ***2. ve 3. inceleme seviyesi*** işlemine uygulamak için $(C_T \times S_D)$ çarpımının (3.29) eşitsizliğini sağlaması gerekmektedir. Eğer bu çarpım değeri 1.25'den büyük ise bina doğrudan "güvenli" olarak nitelendirilebilir (Okhubo, 1991).

$$1.25 > (C_T \times S_D) > 0.3 \tag{3.29}$$

C_T toplam dayanım indeksidir ve (3.30) denklemi ile, S_D ise (3.22) denkleminden hesaplanabilmektedir.

$$C_T = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3) \tag{3.30}$$

C_1, C_2, C_3, a_2 ve a_3 değerleri daha önce açıklanmıştı.

3.3.3 Uygulama

Aşağıda bazı özellikleri verilmiş olan binanın deprem davranışı Sismik İndeks Yöntemi ile belirlenecektir. Bu uygulamaya konu olan bina ile ilgili şekiller aşağıda verilmektedir (Şekil 3.5-3.6).

Kullanım Amacı: Konut

Yeri: Avcılar

Yaşı: 8

Taşıyıcı Sistemi: X ve Y doğrultusunda betonarme çerçeve

Kat Adedi: Bodrum Kat + Zemin Kat + 3 Normal Kat

Kat Yüksekliği: 2.75 m

Kiriş Yüksekliği: 0.50 m

Malzeme Özellikleri: Boyuna donatı olarak, kolonlarda ϕ16, kirişlerde ϕ16 ve ϕ14'lük BÇI donatısı kullanılmıştır.

Etriye olarak, kolonlarda $\phi 8$ ve kirişlerde $\phi 10$ çapında BÇI donatısı kullanılmıştır. Etriye aralığı 120 mm'dir. Deneyler sonucu, hesap basınç dayanımı f_{cd}=10 MPa olan beton kullanıldığı anlaşılmıştır.

m^2 bina ağırlığı: 10.75 kN/m^2

Kat ağırlığı: 1064 kN

Toplam bina ağırlığı: 4256 kN

Zemin Durumu: Düzensiz zemin tabakalı

Binanın Bozulma Durumu: İyi değil

a) 1. İnceleme Seviyesi

X ve Y doğrultusunda tüm katlarda; H_0=2.75-0.50=2.25 m'dir.

X doğrultusunda;

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}= H_0/D$=2.25/0.30=7.50

$S_{10}, S_{11}= H_0/D$=2.25/0.50=4.50

$S_8, S_9, S_{12}= H_0/D$=2.25/0.40=5.625

$S_{18}= H_0/D$=2.25/0.20=11.25

H_0/D>2'dir. Bu durumda kısa kolon yoktur.

Y doğrultusunda;

$S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6, S_7, S_{13}, S_{14}, S_{15}, S_{16}, S_{17}= H_0/D$=2.25/0.40=5.625

$S_{10}, S_{11}= H_0/D$=2.25/0.30=7.50

$S_8, S_9, S_{12}= H_0/D$=2.25/0.30=7.50

$S_{18}= H_0/D$=2.25/0.80=2.81

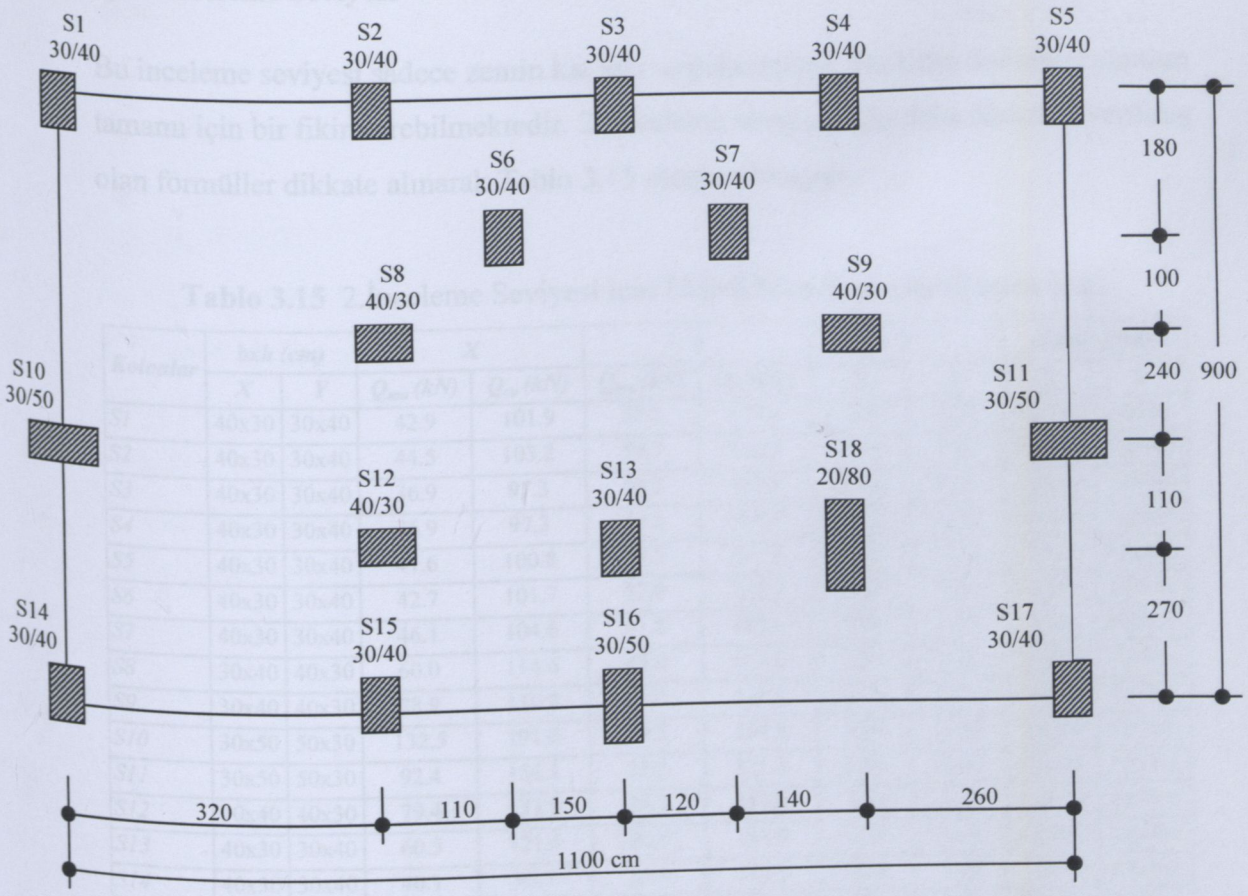
H_0/D>2'dir. Bu durumda kısa kolon yoktur.

İnceleme seviyesine göre verilen denklemler yardımıyla Tablo 3.14 oluşturulmuştur.

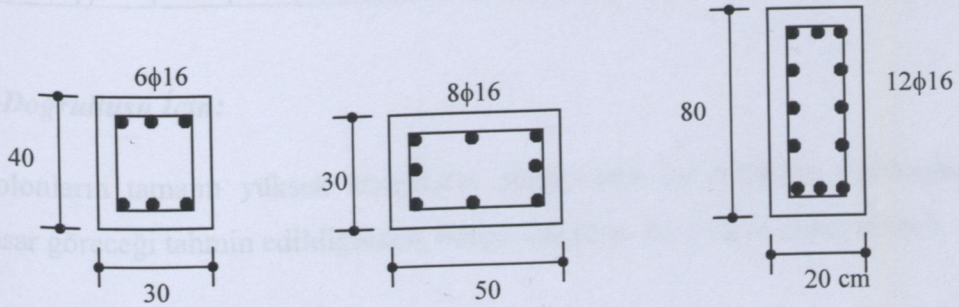
Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0}=E_S \times Z \times G \times U$=0.80×1.0×1.10×1.0=0.88

Sonuç olarak, X ve Y doğrultusundaki bütün katlar için; $I_S<I_{S0}$ olmaktadır. Bu durumda Sismik İndeks Yöntemine göre birinci inceleme seviyesi dikkate alındığında yapının davranışının belirsiz olduğu söylenebilir.



Şekil 3.5 Binanın Zemin Kat Planı



Şekil 3.6 Kolon Boyutları ve Donatı Düzeni

Tablo 3.14 1.İnceleme Seviyesi için Elde Edilen Sonuçlar

Kat	*X-Doğrultusu*						*Y-Doğrultusu*					
	C_c	F_w	E_0	S_D	T	I_S	C_c	F_w	E_0	S_D	T	I_S
Zemin	0.21	1.0	0.21	1.0	0.90	0.191	0.25	1.0	0.25	1.0	0.90	0.222
1.	0.27	1.0	0.23	1.0	0.90	0.207	0.26	1.0	0.26	1.0	0.90	0.234
2.	0.40	1.0	0.29	1.0	0.90	0.261	0.33	1.0	0.33	1.0	0.90	0.297
3.	0.80	1.0	0.50	1.0	0.90	0.450	0.58	1.0	0.58	1.0	0.90	0.522

b) 2. İnceleme Seviyesi

Bu inceleme seviyesi sadece zemin kat için uygulanmıştır. Bu katın davranışı yapının tamamı için bir fikir verebilmektedir. 2. inceleme seviyesi için daha önceden verilmiş olan formüller dikkate alınarak Tablo 3.15 oluşturulmuştur.

Tablo 3.15 2.İnceleme Seviyesi için Elde Edilen Sonuçlar (Zemin Kat)

Kolonlar	*bxh (cm)*		*X*		*Y*		*F*		*Hasar Modu*	
	X	*Y*	Q_{mu} *(kN)*	Q_{su} *(kN)*	Q_{mu} *(kN)*	Q_{su} *(kN)*	*X*	*Y*	*X*	*Y*
S1	40x30	30x40	42.9	101.9	57.2	112.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S2	40x30	30x40	44.5	103.2	59.3	114.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S3	40x30	30x40	36.9	97.3	49.2	108.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S4	40x30	30x40	36.9	97.3	49.2	108.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S5	40x30	30x40	41.6	100.8	55.5	111.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S6	40x30	30x40	42.7	101.7	57.0	112.7	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S7	40x30	30x40	46.1	104.6	61.5	115.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S8	30x40	40x30	60.0	114.6	45.0	103.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S9	30x40	40x30	78.9	130.8	59.2	119.3	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S10	30x50	50x30	132.5	191.0	79.5	154.5	3.06	3.20	Eğilme	Eğilme
S11	30x50	50x30	92.4	156.1	55.5	121.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S12	30x40	40x30	79.4	131.3	59.5	119.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S13	40x30	30x40	60.5	121.5	80.6	133.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S14	40x30	30x40	40.1	99.7	53.5	110.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S15	40x30	30x40	43.9	102.7	58.5	113.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S16	50x30	30x50	50.9	117.6	84.8	152.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S17	40x30	30x40	47.9	106.1	63.8	117.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S18	80x20	20x80	61.0	130.9	243.9	258.2	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme

X-Doğrultusu İçin:

Kolonların tamamı yüksek süneklikte olduğundan ve hepsinin eğilmeden dolayı hasar göreceği tahmin edildiğinden, bütün kolonları bir grupta toplayabiliriz.

1.Grup: 18 Kolonun Tamamı.

Hasar Modu: Eğilme

$F_1=3.06$

$C_1=\Sigma Q_{mu}/W=0.2451$

$E_{01}=C_1 \times F_1=0.2451 \times 3.06=0.7490$

$E_0=[(n+1)/(n+i)] \times [E_{01}^2+E_{02}^2+E_{03}^2]^{0.5}$

$E_0=[(4+1)/(4+1)] \times [(0.7490)^2]^{0.5}=0.7490$

$I_S=E_0 \times S_D \times T=0.7490 \times 1.00 \times 0.90=0.6740$

Y-Doğrultusu İçin:

1.Grup: S18 Kolonu.

Hasar Modu: Eğilme

F=1.27

$C_1=Q_{mu}/W$=0.0575

$E_{01}=C_1\times F_1$=0.0575×1.27=0.0730

2. Grup: S18 Kolonu Dışındaki Bütün Kolonlar.

Hasar Modu: Eğilme

F=3.20

$C=Q_{mu}/W$=0.2426

$E_{02}=C_2\times F_2$=0.2426×3.20=0.7764

$E_0=[(4+1)/(4+1)]\times[(0.0730)^2+(0.7764)^2]^{0.5}$=0.7798

$I_S=E_0\times S_D\times T$=0.7798×1.00×0.90=0.7018

Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0}=E_S\times Z\times G\times U$=0.60×1.0×1.10×1.0=0.66

Görüldüğü gibi, her iki doğrultuda da $I_S>I_{S0}$ olduğundan yapının deprem güvenliğinin yeterli olduğu söylenebilmektedir.

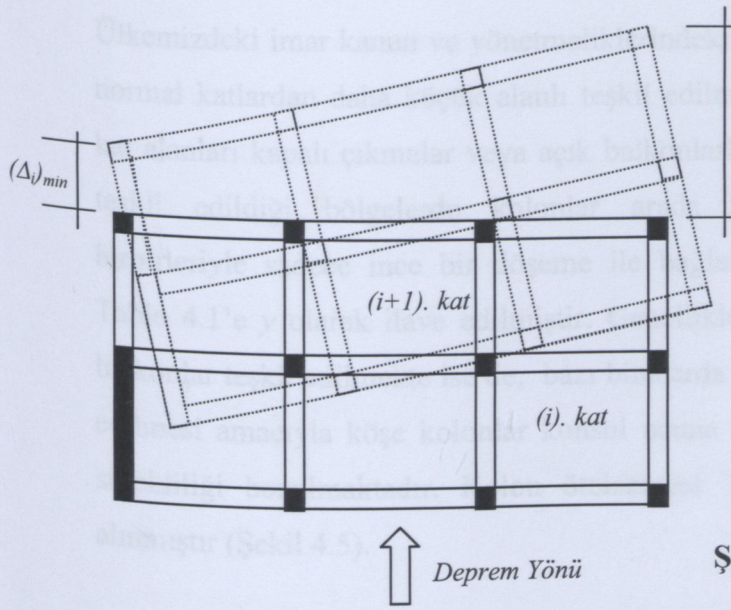
4. SİSMİK İNDEKS YÖNTEMİNİN ÜLKEMİZDEKİ BİNALARA UYGULANABİLİRLİĞİ

Son yıllarda oldukça sık rastlanan deprem felaketleri, kentlerde bulunan yapıları önemli ölçüde tehdit etmektedir. Deprem tasarımı yapılmamış ya da deprem tasarımına göre inşa edilmemiş binaların şiddetli deprem etkisi altında geniş çapta can kaybına ve hasara yol açabileceği bilinmektedir. Bu sorun dünyanın deprem bölgelerinde yer alan tüm ülkeleri endişelendiren evrensel bir sorundur. Deprem mühendisliğinin nispeten yeni bir mühendislik dalı olduğu göz önünde bulundurulacak olursa ve bu alanda elde edilen bilgi birikiminin önemli bir bölümünün yaklaşık son otuz yılda ortaya çıktığı hatırlanacak olursa, mevcut binalarımızın depreme karşı yetersiz olabileceği gerçeğini görmek zor değildir.

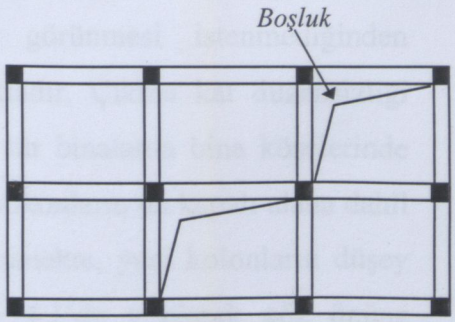
Bu bölümde, çok sayıda ve şiddetli depremlere maruz kalan ülkelerden biri olan Japonya'da mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde bir standart olarak uygulanan Sismik İndeks Yönteminin, benzer depremlere maruz kalan ülkemizde uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu kapsamda, Sismik İndeks Yönteminde öngörülmeyen, ancak ülkemizde yürürlükte olan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"te yer alan ve ülkemizde sık karşılaşılan çıkmalı binalar ile plan ve kesitte görülen burulma düzensizliği, döşeme süreksizliği, çıkıntı düzensizliği, zayıf kat ve düşeyde süreksizlik gibi düzensizlik durumlarının yönteme dahil edilmesiyle, ülkemiz için Sismik İndeks Yönteminin daha gerçekçi bir şekilde uygulanabilirliği incelenmiştir.

4.1 Düzensizlik Durumları

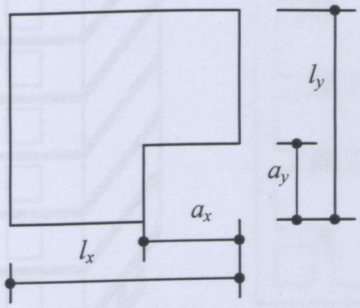
Ülkemizde yürürlükte olan Afet Yönetmeliğinde yer alan planda ve düşeyde görülen bazı düzensizlik durumları Şekil 4.1-4.4'de görülmektedir.



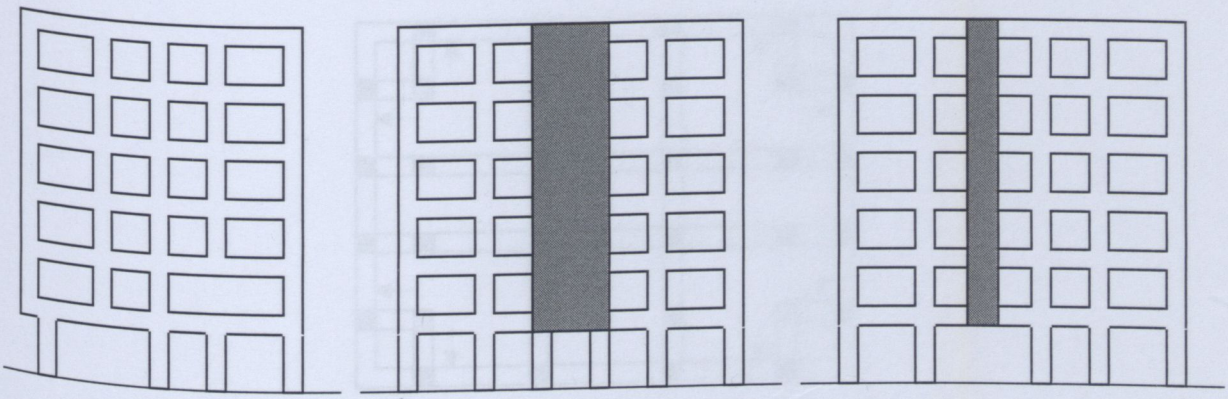
Şekil 4.1 Burulma Düzensizliği



Şekil 4.2 Döşemede Süreksizlik Düzensizliği



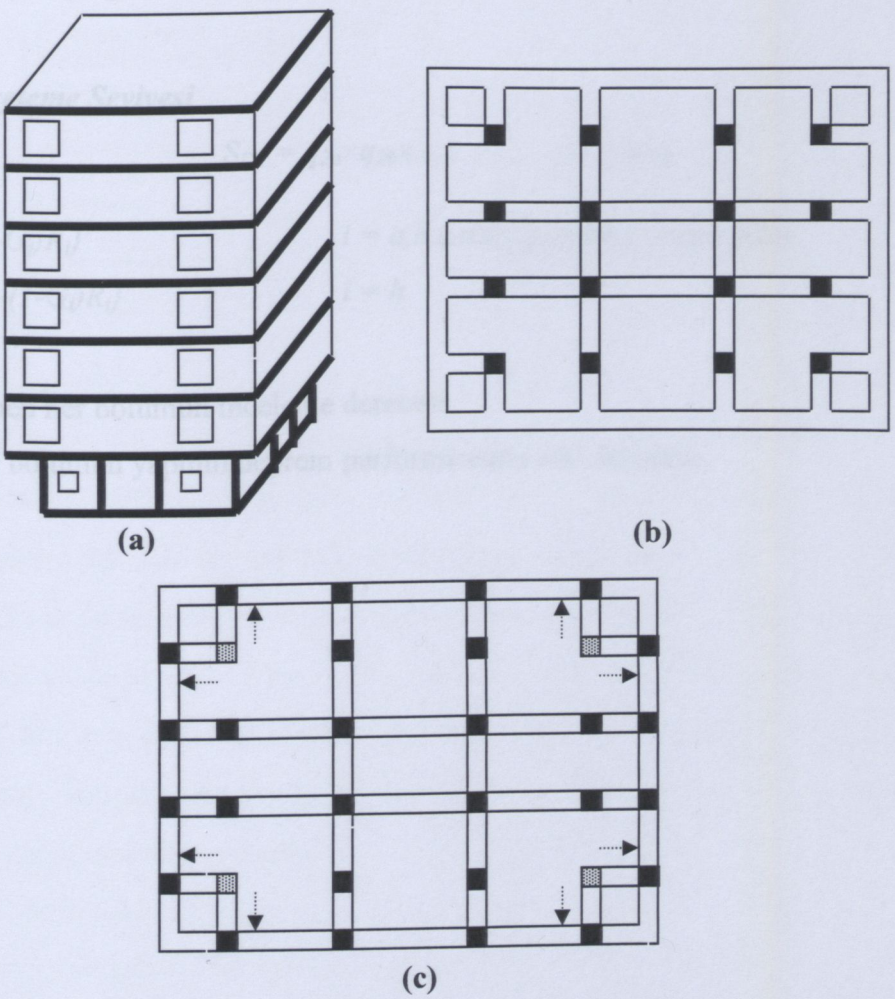
Şekil 4.3 Çıkıntı Düzensizliği



Şekil 4.4 Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizlik Düzensizliği

4.2 Çıkmalı Binalar

Ülkemizdeki imar kanun ve yönetmeliklerindeki kısıtlamalar nedeniyle zemin katlar normal katlardan daha küçük alanlı teşkil edilmekte zemin kat tavanından itibaren kat alanları kapalı çıkmalar veya açık balkonlarla artırılmaktadır. Kapalı çıkmaların teşkil edildiği bölgelerde kolonlar arada kiriş görünmesi istenmediğinden birbirleriyle sadece ince bir döşeme ile bağlanmaktadır. Çıkma kat düzensizliği Tablo 4.1'e *y* olarak ilave edilmiştir. Genellikle bu tür binalarda bina köşelerinde balkonlar teşkil edilmekte ise de, bazı binalarda bu balkonların da kapalı alana dahil edilmesi amacıyla köşe kolonlar konsol ucuna ötelenmekte, yani kolonların düşey sürekliliği bozulmaktadır. Kolon ötelenmesi Tablo 4.1'de *v* olarak göz önüne alınmıştır (Şekil 4.5).



Şekil 4.5 **(a)** Çıkmalı Bina, **(b)** Çıkmalı Binada Köşeleri Balkonlu Durum için Normal Kat Planı, **(c)** Çıkmalı Binada Köşelerin Kapalı Alana İlave Edildiği Durum için Normal Kat Planı (Kolonların Ötelenmesi Durumu)

4.3 Düzensizliklerin Tasarım ve Boyutlama İndeksine Etkisi

Taşıyıcı sistemdeki düzensizliklerin yapının deprem davranışına etkisi S_D Tasarım ve Boyutlama İndeksi ile göz önüne alındığı için Tablo 3.6 yerine, yeni eklenen burulma düzensizliği (p), döşeme süreksizliği (r), çıkıntı düzensizliği (s), taşıyıcı elemanların paralel olmaması (t), zayıf kat (u), taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (v), çıkma kat düzensizliği (y) durumlarının da ilave edilmesiyle G_i ve R_i faktörleri için Tablo 4.1 oluşturulmuştur.

1. İnceleme Seviyesi

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{1k} \qquad (6.1)$$

$q_{1i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = a,b,c,d,e,f,g,i,j,k,p,r,s,t,u,v,y$

$q_{1i} = \{1.20-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = h$

2. ve 3. İnceleme Seviyesi

$$S_{D2} = q_{2a} \times q_{2b} \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{2n} \qquad (6.2)$$

$q_{2i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = a,b,c,d,e,f,g,i,j,k\,p,r,s,t,u,v,y,l,n$

$q_{2i} = \{1.20-(1-G_i)R_i\}$ $\qquad i = h$

G_i : İncelenen her bölümün inceleme derecesi

R_i : Her bir bölümün yapının deprem performansına etki derecesi

Tablo 4.1 Genişletilmiş S_D İndeksinin Hesabı için G_i ve R_i Faktörleri

SEVİYE	DÜZENSİZLİK DURUMLARI	G_i DEĞERLERİ			R_i DEĞERLERİ	
		1.0	0.9	0.8	R_{1i}	R_{2i}
BİRİNCİ VE İKİNCİ SEVİYE	a. Planda Düzensizlik	a_1	a_2	a_3	1.00	0.50
	b. Boy/Genişlik	b<5	5<b<8	8<b	0.50	0.25
	c. Genişlik Düzensizliği	c>0.8	0.8>c>0.5	0.5>c	0.50	0.25
	d. E.P. Noktası	d>1/100	1/100>d>1/200	1/200>d	0.50	0.25
	e. Atrium (Avlu)	e<0.10	0.1<e<0.3	0.3<e	0.50	0.25
	f. Avlu Dışmerkezliği	f_1<0.4 & f_2<0.1	f_1<0.4 & 0.1<f_2<0.3	0.4<f_1 veya 0.3< f_2	0.25	0.00
	g. Diğerleri				0.50	0.25
	h. Bodrum Kat	h>1.0	1.0>h>0.5	0.5>h	1.00	1.00
	i. Kat Yüksekliği	i>0.8	0.8>i>0.7	0.7>i	0.50	0.25
	j. Yumuşak Kat (Piloti)	j<1.4	1.4<j<1.5	j>1.5	0.50	0.25
	k. Diğerleri				0.50	0.25
	p. Burulma Düzensizliği	p<1.0	1.0<p<1.2	1.2<p	0.50	0.25
	r. Döşeme Süreksizlikleri	r_1	r_2	r_3	0.50	0.25
	s. Çıkıntı Düzensizliği	s<0.1	0.1<s<0.2	0.2 <s	0.50	0.25
	t. Taşıyıcı Eleman Eksenlerinin Paralel Olmaması	t_1	t_2	t_3	0.50	0.25
	u. Zayıf Kat	u>0.8	0.7<u<0.8	u<0.7	0.50	0.25
	v. Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği	v_1	v_2	v_3	0.50	0.25
	y. Çıkma Kat	y≥1.0	1.0>y≥0.7	y<0.7	1.00	0.50
İKİNCİ SEVİYE	l. Dışmerkezlik Oranı	l<0.1	0.1<l<0.15	0.15<l	---	1.00
	n.Kütle Rijitlik Oranı	n<1.2	1.2<n<1.7	1.7<n	---	1.00

Eklenen düzensizliklere ait katsayılar aşağıda açıklanmıştır:

j: Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat). Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i. kattaki ortalama göreli kat ötelemesinin $((\Delta_i)_{ort})$, bir üst kattaki ortalama göreli kat ötelemesine $((\Delta_{i+1})_{ort})$ oranı j olarak tanımlanır. $((\Delta_i)_{ort}=((\Delta_i)_{max}+(\Delta_i)_{min})/2)$ $j = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort}$

p: Burulma Düzensizliği (Şekil 6.1). Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük göreli kat ötelemesinin $[(\Delta_i)_{max}]$, o katta aynı doğrultudaki ortalama göreli ötelemeye $[(\Delta_i)_{ort}=((\Delta_i)_{max}+(\Delta_i)_{min})/2]$ oranı p olarak tanımlanmaktadır. $p = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort}$

r: Döşeme Süresizlikleri (Şekil 4.2).

r_1: Herhangi bir kattaki döşemede, merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının (A_b) kat brüt alanının (A) 1/3'ünden fazla olmaması durumu $(A_b/A<1/3)$.

r_2: $A_b/A<1/3$, fakat deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu veya döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu.

r_3: $A_b/A>1/3$.

s: Planda Çıkıntıların Bulunması (Şekil 4.3). Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de (a_x veya a_y), binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarına (L_x veya L_y) oranı s olarak tanımlanır. $s=a_x/L_x$ veya $s=a_y/L_y$

t: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının plandaki asal eksenlerinin, göz önüne alınan birbirine dik yatay deprem doğrultularına paralel olmaması durumu.

t_1: Paralelliği bozan düşey elemanlar, toplam düşey elemanların %10'undan az

t_2: Paralelliği bozan düşey elemanlar, toplam düşey elemanların %30'undan az

t_3: Paralelliği bozan düşey elemanlar, toplam düşey elemanların %30'undan fazla.

u: Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat). Dayanım Düzensizliği Katsayısı u, betonarme binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının ($(\Sigma A_e)_i$), bir üst kattaki etkili kesme alanına ($(\Sigma A_e)_{i+1}$) oranı olarak tanımlanır. $u=(\Sigma A_e)_i/(\Sigma A_e)_{i+1}$

Herhangi bir katta kesme alanının tanımı: $\Sigma A_e=\Sigma A_w+\Sigma A_g+0.15\Sigma A_k$. Burada, A_w:Kolon Alanı, A_g: Perde Alanı, A_k: Kargir Duvar Alanı olarak tanımlanmaktadır.

v: Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği (Şekil 4.4).

v_1: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarında süreksizlik bulunmaması hali.

v_2: Üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu.

v_3: Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturulması durumu.

y: *y=(Çıkma Yapılmış Katın Altındaki Kat Alanı)/(Çıkma Yapılmış Kat Alanı)* oranı (Şekil 4.5).

Ülkemizde, çıkmalı yapılarda kapalı çıkmaların bulunduğu yerlerde, kolonların kirişlerle bağlanmaması veya kolon ötelenmesi yapılması yapının deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, çıkma kat düzensizliğinin yapının deprem performansına etki derecesi R_i değeri, planda düzensizlik durumunun R_i değeri gibi dikkate alınmıştır. Ancak, birçok yapıda yapılacak araştırmalar sonucunda daha gerçekçi değerler seçilebilir.

5. BULANIK MANTIK (FUZZY LOGIC)

5.1. Genel

Her insan günlük hayatında kesin olarak bilinemeyen, bazen de önceden sanki kesinmiş gibi düşünülen ama sonuçta kesinlik arz etmeyen durumlarla karşılaşmaktadır. Bu durumlara ait sayısal öngörülerin sistematik bir şekilde önceden planlanarak yapılması ancak birtakım kabul ve varsayımlardan sonra mümkün olabilmektedir. Şu ana kadar yapılan mühendislik araştırmalarında ve modellemelerinde varsayım, kabul ve kavramlara kesinlik kazandırmak için değişik çalışmalarda bulunulmuştur.

Bir sistem hakkında ne kadar fazla öğrenerek bilgi sahibi olunursa, sistem o kadar daha iyi anlaşılabilir ve onun hakkındaki karmaşıklıklar da o derece azalır, fakat tamamen yok olmaz. İncelenen sistemin karmaşıklığı ne kadar fazla ise ve yeterli veri bulunmazsa bulanıklık o kadar etkili olur. Bu sistemlerin çözümlerinin araştırılmasında, bulanık olan girdi ve çıktı bilgilerinde bulanık mantık kurallarının kullanılması ile anlamlı ve yararlı çözüm çıkarımlarının yapılması yoluna gidilebilmektedir.

Bulanık ilkeler hakkında ilk bilgiler, Zadeh tarafından batıda ortaya atılmasına rağmen, 1970 yıllarından sonra doğu dünyasında ve özellikle de Japonya' da bulanık mantık ve sistem kavramlarına daha çok önem verilmiştir. Bunların teknolojik cihaz yapım ve işleyişinde kullanılması sonrasında, bulanık mantık tüm dünyada bugün yaygın bir biçimde tanınmıştır. İlk aşamada batıda bulanık mantığın kabul görmemesinin ana sebebi, batı kültürünün temelinde ikili mantık, yani Aristo mantığının yatması ve olaylara evet-hayır, beyaz-siyah, artı-eksi, 0-1 vb.. gibi ikili esasta yaklaşılması gelmektedir. Bu iki değer arasında başka seçeneklere kesin değil düşüncesi ile hiç yer verilmez. Batıda "bulanık" kelimesi güvensizliği ifade etmektedir. Doğuda ise bu güvenirsizlikte bile güzelliklerin bulunabileceği düşüncesi

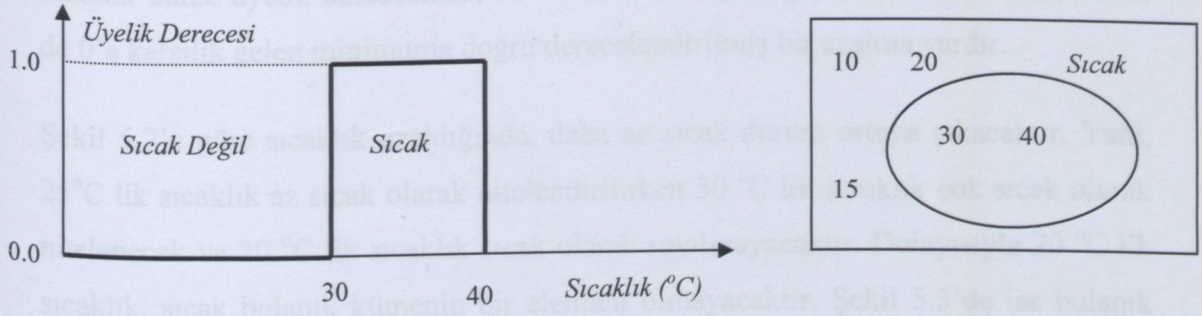
vardır. Örneğin, insanlar arasındaki gerekli diyalogun bile sağlanması bu tür bulanık (kesin olmayan) görüşlere bağlı olmaktadır (Şen, 2001).

5.2 Klasik Mantık ve Klasik Küme Teorisi

Matematikte küme veya cümle, ayırt edilebilen belirli özellikleri olan nesnelerin bütünüyle kavranmış topluluğu olarak ifade edilmektedir. Küme, kendisine neyin ait olup olmadığı konusunda herhangi bir şüphenin bulunmadığı topluluktur. Bahsedilen bu topluluk veya nesneler, bu kümenin "elemanları" veya "üyeleri" olarak isimlendirilmektedir.

Klasik küme teorisinde, bir eleman o kümenin ya elemanıdır ya da değildir. Bunun ortası yoktur. Başka bir deyişle, bir eleman ya o kümeye aittir, yani üyelik derecesi 1'dir veya ait değildir, yani üyelik derecesi 0'dır. Doğal olarak bu ikili mantığın hiçbir esnekliği yoktur.

Bu bir örnekle şöyle açıklanabilir: Şekil 5.1'de klasik küme teorisine uygun olarak, eğer sıcaklık 30 ^{0}C'nin altına düşerse sıcak değildir, yani sıcak kümesine 0 derece ile üyedir. 30.5 ^{0}C ise sıcak sayılmaktadır, yani sıcak kümesine üyeliği 1'dir. Görüldüğü gibi bunda hiçbir esneklik yoktur. Yani her sıcaklık derecesi, *sıcak* kümesinin ya elemanıdır ya da değildir (Kömür ve Demir, 1996).



a) Keskin Küme Gösterimi **b)** Venn Şeması Gösterimi

Şekil 5.1 Klasik Küme Teorisine Uygun "*Sıcak*" Keskin Kümesinin Gösterimi

5.3 Bulanık Mantık ve Bulanık Küme Teorisi

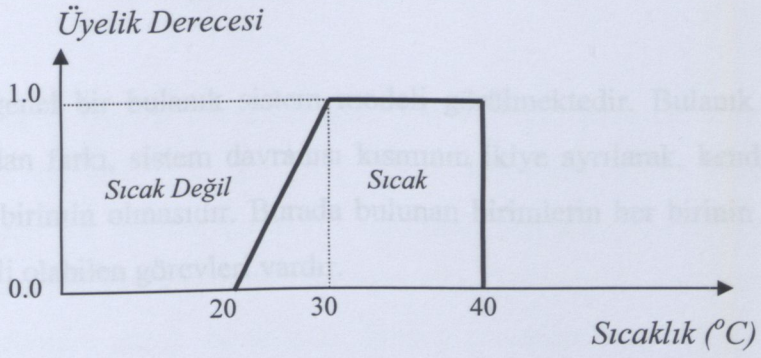
Gerçek dünyada sınırlar çok keskin değildir. Tam tersine olayların belli bir esneklikte olması istenmektedir. Bulanık kümeler teorisi, küme elemanlarının üyelik derecelerini göstermek için [0,1] aralığındaki gerçek sayıların kullanılmasını önermektedir. Eğer bir elemanın üyelik derecesi 1 ise tümüyle o elemanın kümenin içinde olduğu, 0 ise hiçbir şekilde o kümenin bir elemanı olmadığı yada 0.5 ise yarı yarıya o kümeye ait olduğu söylenebilmektedir.

Klasik mantık, ikili mantık sistemi olmasına karşın bulanık mantık sadece iki değerli değil, çok değerli bir mantık sistemidir. Bir önermenin klasik mantıkta karşılığı ya doğrudur ya da yanlıştır. Klasik mantıkta siyah ve beyaz dünyalar vardır; gerçek asla hem siyah hem beyaz, yani gri olamaz. Bulanık mantık ise gerçeğin her zaman o kadar kesin olmayacağını, doğrunun bir derecesi olduğunu ifade eder. Bir önerme az doğru yada çok doğru türünde ifade edilebilir (Kosko, 1994).

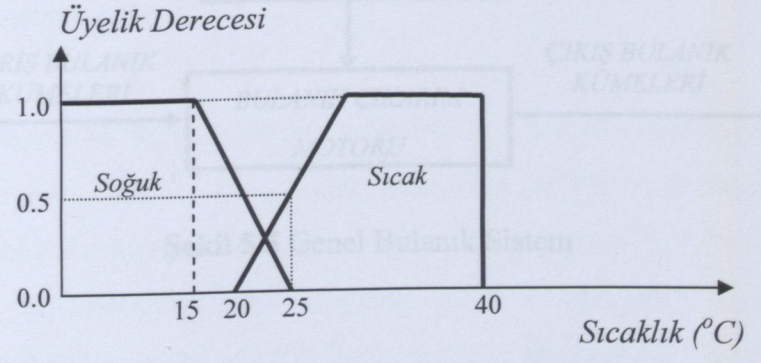
Bulanık kümeler, gerçek dünyadakine benzer olarak, olaylara esneklik kazandırır. Bulanık mantık soğuk-sıcak, hızlı-yavaş, yüksek-alçak gibi ifadeleri esnek niteleyicilerle yumuşatarak gerçek yaşamdakine benzetir. Bu daha açık bir şekilde, başka bir örnekle şöyle açıklanabilir: Bulanık küme teorisine uygun olarak çizilen Şekil 5.2'de, sıcaklık gibi değişkenlerini gerçekte gözlenen değerlerine uygun olarak veren bulanık küme teorisi gösterilmektedir. Buna göre, 20 °C ile 40 °C arasındaki değerlerin, "sıcak" bulanık küme üyelik derecesi ortaya çıkmış olur. Burada sıcak bulanık küme üyelik derecesinde, 30 °C de 1'e karşılık gelen maksimumdan, 20 °C de 0'a karşılık gelen minimuma doğru derecelendirilmiş bir azalma vardır.

Şekil 5.2'e göre sıcaklık azaldığında, daha az sıcak durum ortaya çıkacaktır. Yani, 25°C lik sıcaklık az sıcak olarak nitelendirilirken 30 °C lik sıcaklık çok sıcak olarak nitelenecek ve 20 °C lik sıcaklık sıcak olarak sayılmayacaktır. Dolayısıyla 20 °C lik sıcaklık, sıcak bulanık kümenin bir elemanı olmayacaktır. Şekil 5.3'de ise bulanık mantık teorisinin bir adım daha ilerisi gösterilmektedir. Bu şekilden anlaşılacağı üzere sıcak bulanık küme üyelik derecesi 0.5'de soğuk bulanık küme üyeliği kimliğini kazanır. Soğuk bulanık küme üyeliğinin derecesi, sıcaklık azaldığında artar. Buna göre 0'dan 15 °C'ye kadar olan sıcaklık oldukça soğuk sayılır ve bu

bölge soğuk bulanık küme tam üyeliğine sahiptir. 15 °C ile 25 °C arasında ise soğuk bulanık küme dereceli üyeliği vardır. 20 °C ile 25 °C arasında ise bulanık kümeleri birbirlerini kestiği olan örtüşüm ortaya çıkmıştır. Bu bölge hem sıcak hem de soğuk olarak düşünülebilmektedir. Yani, örtüşüm bölgesindeki elemanlar hem sıcak hem de soğuk kümenin elemanıdırlar. Bu örnekler bulanık olmayan girişler için geçerli olmasına rağmen bulanık mantık teorisinde bazen girişler de bulanık olabilir. Bu durumda bulanık küme üyelik derecesi bulanık küme ve bulanık giriş değeri arasındaki kesişim bölgesinden belirlenir. Bu durum Şekil 5.3'de gösterilmiştir ve üyelik derecesi yaklaşık 0.3'tür (Kömür, 1996).



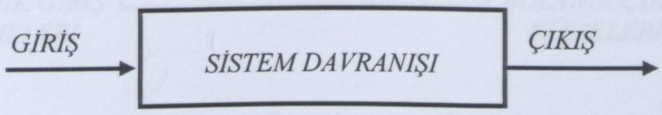
Şekil 5.2 Bulanık Küme Teorisine Uygun "*Sıcak*" Bulanık Kümesinin Gösterimi



Şekil 5.3 Bulanık Kümede Örtüşüm

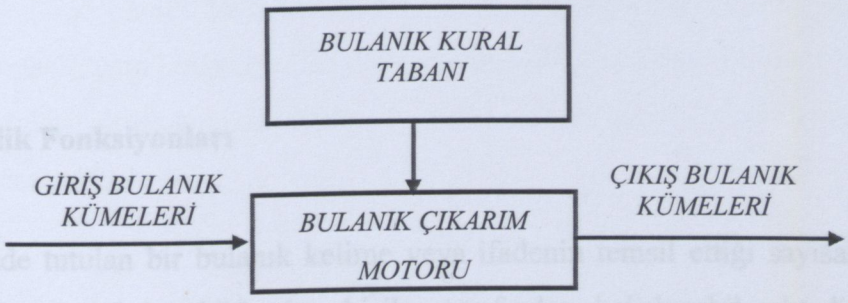
5.3.1 Bulanık Sistem

Matematik, stokastik veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 5.4'da verilen üç ayrı birimden ibaret olan klasik sistem işleyişi ile ifade edilebilmektedir. Bunlar giriş, bu girişi çıkışa çeviren ve sistem davranışı denilen bir kutu ve buradan oluşan çıkış kısımlarıdır. Buradaki birimlerin hepsinde sayısal veri, çıkış veya işlemler yapılmaktadır.



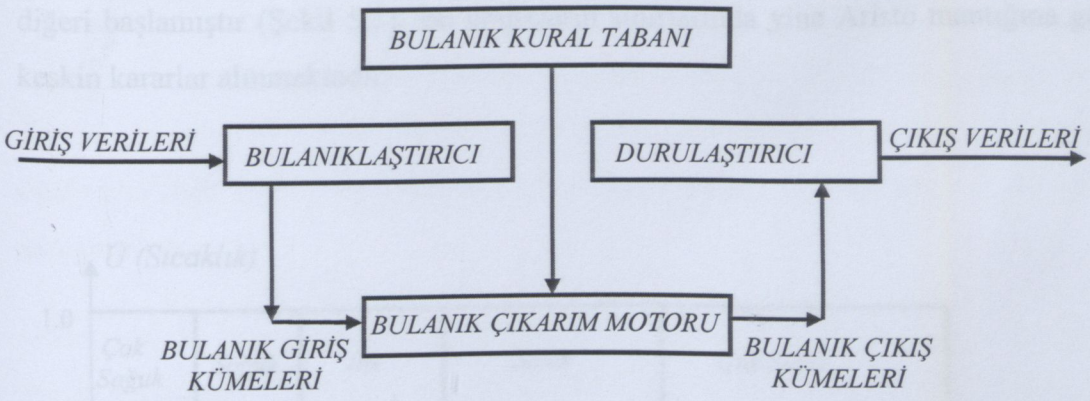
Şekil 5.4 Klasik Sistem

Şekil 5.5'de, genel bir bulanık sistem modeli görülmektedir. Bulanık sistemlerin klasik tasarımdan farkı, sistem davranışı kısmının ikiye ayrılarak, kendi aralarında bağlantılı dört birimin olmasıdır. Burada bulunan birimlerin her birinin farklı fakat birbiri ile ilişkili olabilen görevleri vardır.



Şekil 5.5 Genel Bulanık Sistem

Şekil 5.6'da ise girdi ve çıktı birimlerinde sırası ile bulanıklaştırma ve durulaştırma işlemlerinin de kutu şeklinde gösterildiği bir bulanık sistem gösterilmektedir. Burada girişlerin sayısal olmaları durumunda bir işleme tabi tutularak bulanıklaştırılmasına yarayan *bulanıklaştırıcı* birim ile yine bulanık olan çıktıların sayısallaştırılmasına yarayan *durulaştırıcı* birim ilave edilmiştir.



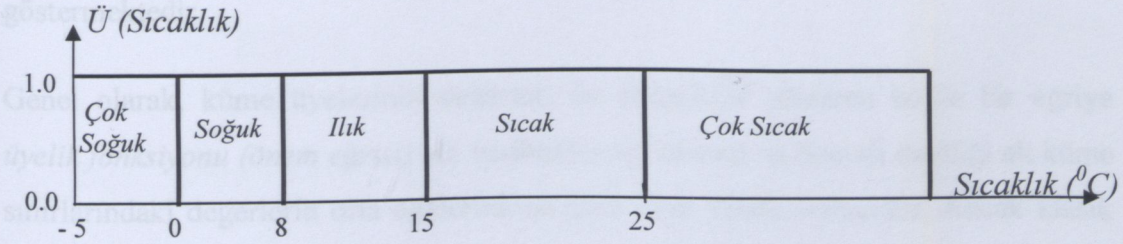
Şekil 5.6 Bulanıklaştırma - Durulaştırma Birimli Bulanık Sistem

Bulanık sistemlerin başlıca özelliklerinden birisi, çoklu girdileri kural tabanı ve çıkarım motoru ile işleyerek tek çıktı haline dönüştürmesidir. Bulanık sistem doğrusal olmayan bir şekilde girdileri oluşturan değişkenleri, çıktı değişkenine dönüştürerek sistemin davranışını tespit etmektedir. Böylece bilgi tabanının doğrusal olmayan dönüşümlere maruz bırakılarak istenen sonuçlara ulaşmak için incelenen sistemin kontrol altına alınması mümkün olabilmektedir (Şen, 2001).

5.3.2 Üyelik Fonksiyonları

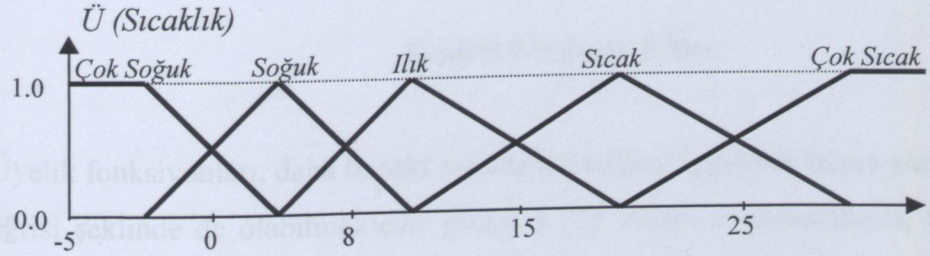
Göz önünde tutulan bir bulanık kelime veya ifadenin temsil ettiği sayısal aralık, o ifade hakkında bilgi sahibi olan kişiler tarafından belirlenebilmektedir. Mesela İstanbulda sıcaklık derecesinin değişim aralığının aşağı yukarı -5 ^{o}C'den +35 ^{o}C'ye kadar olduğu söylenebilmektedir. Böylece İstanbul için tüm sıcaklık uzayı belirlenmiş olmaktadır. Ancak günlük konuşmalarda bu sıcaklık uzayının da 'çok soğuk, soğuk, ılık, sıcak, aşırı sıcak' gibi bir takım alt aralıklardan oluştuğu düşünülmektedir. Burada önce her bir alt terimin aralığının ne olduğuna karar verilmesi gerekirse, öncelikle bu alt kümelerin her birinin üst üste örtüşmeyen ancak birbirinin sınırda devamı imiş gibi oldukları söylenebilmektedir. Mesela, çok soğuğun -5 ^{o}C ile 0 ^{o}C, soğuğun 0 ^{o}C ile +8 ^{o}C, ılığın +8 ^{o}C ile +15 ^{o}C, sıcağın

+15°C ile +25 °C, çok sıcağın ise +25 °C'den başladığı söylenebilmektedir. Burada dikkat edilirse aralık tahminlerinde bulunulmuş ve her bir alt aralıktan biri bitince diğeri başlamıştır (Şekil 5.7). Bu aralıkların sınırlarında yine Aristo mantığına göre keskin kararlar alınmaktadır.



Şekil 5.7 Bitişik Dikdörtgenli Gösterim

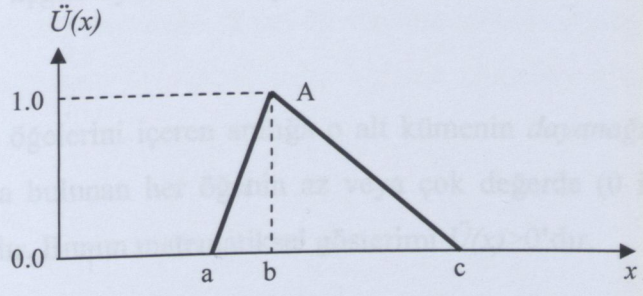
Daha makul düşünülürse, bu aralıkların arasındaki geçiş kısımlarının böyle birbirinin devamı olmayacağı ve bir örtüşmenin söz konusu olabileceği kanısına varmak gerçekle daha çok bağdaşmaktadır. Örneğin ılık bulanık ifadesinin sınırlarının herkes için +8 °C ile +15 °C sıcaklık değerleri arasında olduğunu savunmak mümkün değildir. Halbuki günlük hayatta sınıra yakın olan değerlerin hangi aralığa düşeceği oldukça şüpheli, yani bulanıktır. Böylece sıcaklık alt aralıklarının birbiri ile örtüşmeli geçişlere sahip olmasının gerekliliği ile Şekil 5.8'de verilen üyelik fonksiyonları ortaya çıkmaktadır.



Şekil 5.8 Örtüşmeli Üçgen Gösterim

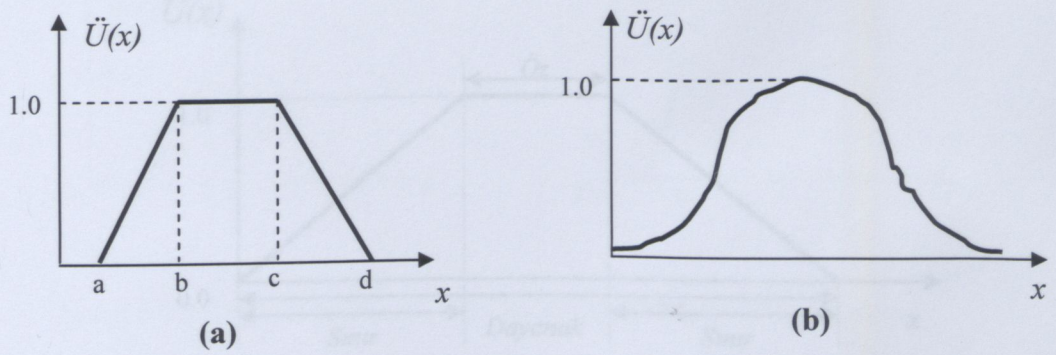
Her bir alt aralığa düşen sıcaklık derecelerinin o alt aralığın uçlarına yakın kısımlarında önemlerini göreceli olarak kaybetmektedir. Buradan da eğer bir alt aralıkta önem derecesi diye bir değer düşünülecek olursa bunun en büyük değerlerinin ortalarda, en düşüklerinin ise uçlarda olacağı anlaşılır. Bu yargılar Şekil 5.9'da gösterilen bir geometrik gösterime sürükler ki, bu da bir alt kümedeki küme öğelerinin her birinin o kümedeki önemini belirten bir değerin bulunduğunu göstermektedir.

Genel olarak, küme üyelerinin değerleri ile değişiklik gösteren böyle bir eğriye *üyelik fonksiyonu (önem eğrisi)* adı verilmektedir. Bunun en önemli özelliği alt küme sınırlarındaki değerlerin orta öğelerinkine göre daha düşük olmasıdır. Ancak klasik kümelere bir benzerlik teşkil etmesi açısından en büyük önem derecesine sahip olan ortaya yakın öğelere 1 değeri atanırsa, diğerlerinin 0 ile 1 arasında ondalıklı ve sürekli bir değişim gösterdiği sonucuna varılmaktadır. Böylece 0 ile 1 arasındaki değişimin her bir öğe için değerine *üyelik derecesi*, bunun bir alt küme içindeki değişimine ise *üyelik fonksiyonu* adı verilmektedir. Böylece üyelik fonksiyonunun şemsiyesi altında toplanan öğeler, önem derecelerine göre birer üyelik derecesine sahip olmaktadır.



Şekil 5.9 Bulanık Küme

Üyelik fonksiyonları, daha önceki şekilde gösterilen üçgenden başka yamuk veya çan eğrisi şeklinde de olabilmektedir (Şekil 5.10). Pratik uygulamalarda, bunlardan en fazla üçgen, ondan sonra da yamuk üyelik fonksiyonları kullanılmaktadır.



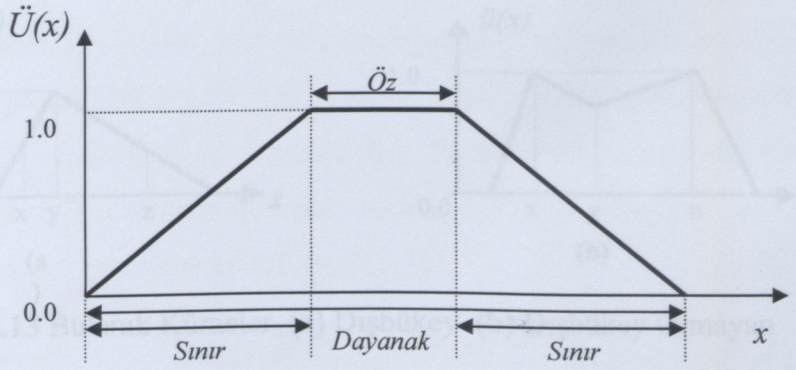
Şekil 5.10 Üyelik Fonksiyonları **(a)** Yamuk **(b)** Çan Eğrisi

5.3.2.1 Üyelik Fonksiyonlarının Kısımları

En genel hali ile yamuk şeklindeki bir üyelik fonksiyonu, Şekil 5.11'de gösterildiği gibi değişik kısımlara sahiptir. Verilen bir bulanık alt kümede birden fazla öğenin üyelik derecesi 1'e eşit alınabilmektedir. Üyelik dereceleri 1'e eşit olan öğelerin toplandığı alt küme kısmına, o alt kümenin *özü (core)* denmektedir. Burada $Ü(x)=1$'dir. Üçgen şeklindeki üyelik fonksiyonunda bir tane öğenin üyelik derecesi 1'e eşit olduğundan, üçgen üyelik fonksiyonlarının özü bir nokta olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bir alt kümenin tüm öğelerini içeren aralığa o alt kümenin *dayanağı (support)* adı verilmektedir. Burada bulunan her öğenin az veya çok değerde (0 ile 1 arasında) üyelik dereceleri vardır. Bunun matematiksel gösterimi $Ü(x)>0$'dır.

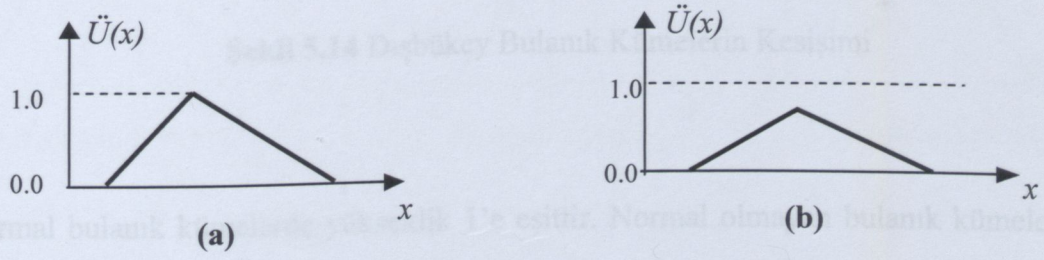
Üyelik dereceleri 1'e ve 0'a eşit olmayan öğelerin oluşturduğu kısımlara üyelik fonksiyonunun sınırları veya geçiş bölgeleri adı verilmektedir. Bunun matematiksel gösterimi $0<Ü(x)<1$ şeklindedir. Bu öğeler, alt kümenin kısmi öğeleridir. Aslında bir alt kümeye bulanıklık özelliğini bu geçiş yerlerinin bulunması vermektedir. Yukarıda bulunan üç özelliğe ek olarak üyelik fonksiyonunun sahip olması gerekli olan iki tane daha özellik bulunmaktadır.



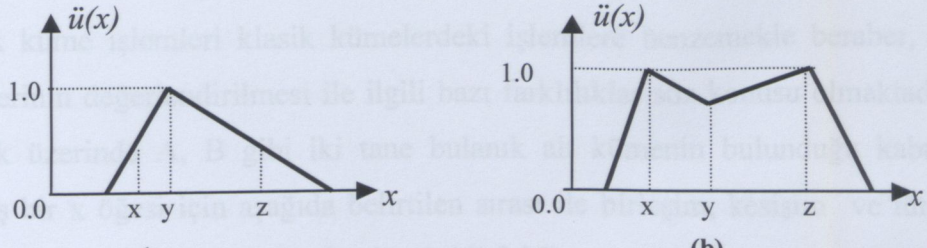
Şekil 5.11 Üyelik Fonksiyonu Kısımları

Bunlardan birincisi bulanık kümenin normal olduğunu tespit etmeye yarayan bir kavramdır. Buna göre normal bulanık kümede en azından bir tane üyelik derecesi 1'e eşit olan öğe bulunmalıdır (Şekil 5.12).

İkinci özellik ise bulanık kümenin dışbükey olmasıdır. Dışbükey olan bulanık kümelerde üyelik fonksiyonu kümenin dayanağı üzerinde ya sürekli artar ya da sürekli azalır veya önce sürekli olarak üyelik derecesi bir öğede 1'e eşit oluncaya kadar artar, ondan sonraki dayanağa düşen öğeler için sürekli azalmaktadır. Bunun aksi durumlar da söz konusudur. Ancak onlar bulanık kümelere üyelik fonksiyonu olamazlar (Şekil 5.13).



Şekil 5.12 Bulanık Kümeler **(a)** Normal **(b)** Normal Olmayan

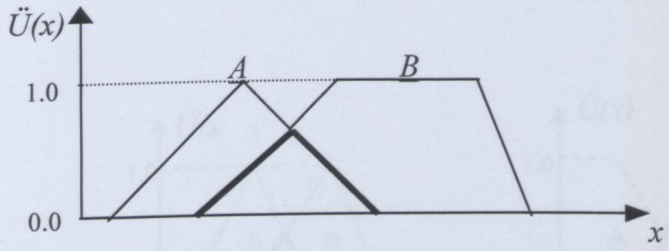


Şekil 5.13 Bulanık Kümeler **(a)** Dışbükey **(b)** Dışbükey Olmayan

Dışbükeyliğin matematik olarak tanımlanmasında aynı bulanık alt kümeye düşen x, y ve z gibi üç tane öğe düşünülürse ve bunlar arasında değerce büyüklük olarak x<y<z gibi bir sıra bulunuyor ise bunlardan ortadakinin üyelik fonksiyonu için öncekine ve sonrakine göre;

$$\ddot{u}_{\underline{A}}(y) \geq EK\,[\ddot{u}_{\underline{A}}(x),\ \ddot{u}_{\underline{A}}(z)] \tag{5.1}$$

bağıntısı daima geçerli olmalıdır. $\underline{A}$ ve $\underline{B}$ gibi iki dışbükey bulanık kümenin kesişimi de Şekil 5.14' da görüldüğü gibi dışbükey olacaktır.



Şekil 5.14 Dışbükey Bulanık Kümelerin Kesişimi

Normal bulanık kümelerde yükseklik 1'e eşittir. Normal olmayan bulanık kümeleri normal hale dönüştürmek için o kümenin her üyelik derecesinin en büyük üyelik derecesine bölünmesi gerekmektedir. Temel bulanık kümeler normal ve dışbükey olmasına karşılık birçok küme işleminin yapılması sonucunda elde edilen kümeler normal bulanık küme çıkmayabilmektedir.

5.3.3 Bulanık Küme İşlemleri

Bulanık küme işlemleri klasik kümelerdeki işlemlere benzemekle beraber, üyelik derecelerinin değerlendirilmesi ile ilgili bazı farklılıklar söz konusu olmaktadır. Bir topluluk üzerinde A, B gibi iki tane bulanık alt kümenin bulunduğu kabulü ile verilmiş bir x öğesi için aşağıda belirtilen sırası ile birleşim, kesişim ve tümleyen bulanık kümeler tanımlanabilmektedir (Şekil 5.15).

Birleşim İşlemi: $\ddot{U}_{A\cup B}(x) = \ddot{U}_A(x) \vee \ddot{U}_B(x)$ (5.2)

Kesişim İşlemi: $\ddot{U}_{A\cap B}(x) = \ddot{U}_A(x) \wedge \ddot{U}_B(x)$ (5.3)

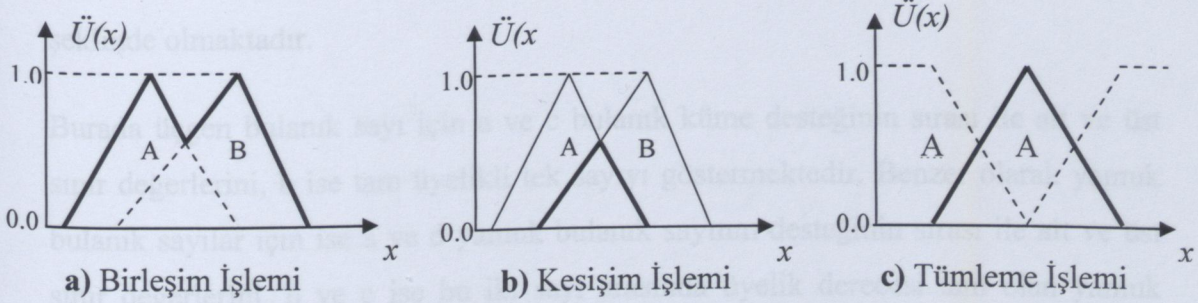
Tümleme İşlemi: $\ddot{U}_{\underline{A}}(x) = 1 - \ddot{U}_A(x)$ (5.4)

Matematiksel olarak birleşim, kesişim ve tümleme işlemi sırasıyla şöyle tanımlanabilir:

$A\cup B = \{max\,(\ddot{U}_A(x), \ddot{U}_B(x)) / x \mid x,$ *Evrensel Kümenin Bir Elemanıdır*$\}$

$A\cap B = \{min\,(\ddot{U}_A(x), \ddot{U}_B(x)) / x \mid x,$ *Evrensel Kümenin Bir Elemanıdır*$\}$

$\underline{A} = \{(1 - \ddot{U}_A(x)) / x \mid x,$ *Evrensel Kümenin Bir Elemanıdır*$\}$



a) Birleşim İşlemi **b)** Kesişim İşlemi **c)** Tümleme İşlemi

Şekil 5.15 Bulanık Küme İşlemleri

5.3.4 Bulanık Matematik

Bulanık sayılar bazı kısıtlamalar altında tanımlanarak işlemler yapılmaktadır. Anlamlı bulanık aritmetik işlemlerin yapılması için bulanık sayıların mutlaka sınırlı desteği ile dışbükey olmaları gerekmektedir. Genel olarak pratik uygulamalarda kullanılan, A bulanık kümesi ile gösterilen bir üçgen bulanık sayının matematik ifadesi (Şekil 5.9);

$$\ddot{U}_A(x) = \ddot{U}_A(x;a,b,c) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \le x \le b \\ (c-d)/(c-b) & \text{eğer } b \le x \le c \\ 0 & \text{eğer } x > c \text{ veya } x < a \end{cases}$$

yamuk bulanık sayının matematiksel gösterimi ise (Şekil 5.10 (a));

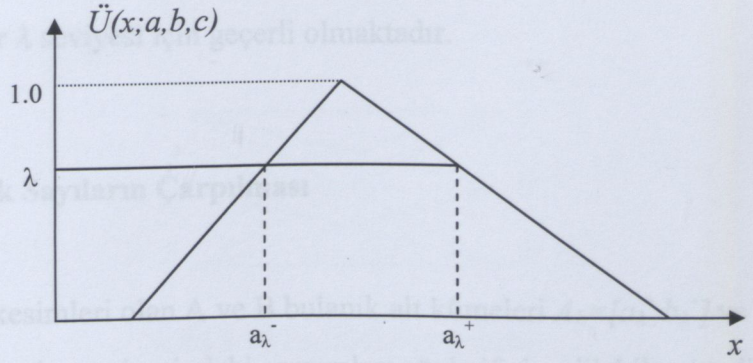
$$\ddot{U}_A(x) = \ddot{U}_A(x;a,b,c,d) = \begin{cases} (x-a)/(b-a) & \text{eğer } a \le x \le b \\ 1 & \text{eğer } b \le x < c \\ (d-x)/(d-c) & \text{eğer } c < x \le d \\ 0 & \text{eğer } x > d \text{ veya } x < a \end{cases}$$

şeklinde olmaktadır.

Burada üçgen bulanık sayı için a ve c bulanık küme desteğinin sırası ile alt ve üst sınır değerlerini, b ise tam üyelikli tek sayıyı göstermektedir. Benzer olarak yamuk bulanık sayılar için ise a ve d yamuk bulanık sayının desteğinin sırası ile alt ve üst sınır değerlerini, b ve c ise bu iki sayı arasında üyelik derecesi tam olan yamuk sayıların kümesinin sınırlarını ifade etmektedir. b=c olduğu zaman yamuk bulanık sayı, üçgen bulanık sayı haline dönüşmektedir.

Bulanık sayıların aritmetik işlemlerinde kullanılmak üzere bunların belirli bir λ seviyesinden kesimleri üzerinde durmak gerekir. λ=1 olması durumunda sayı gerçek sayıya, λ=0 olması durumunda ise tam bulanık sayıya dönüşmektedir. $0<\lambda<1$ olması

durumunda aynı bulanık sayının λ seviyesinde kesik bulanık alt kümesi düşünülmektedir. Şekil 5.16'da bir bulanık alt kümenin kesilmesi ile ortaya çıkan kesilmiş bulanık kümenin a_λ^- ve a_λ^+ gibi bir alt bir de üst sınır küme değerleri elde edilmektedir.

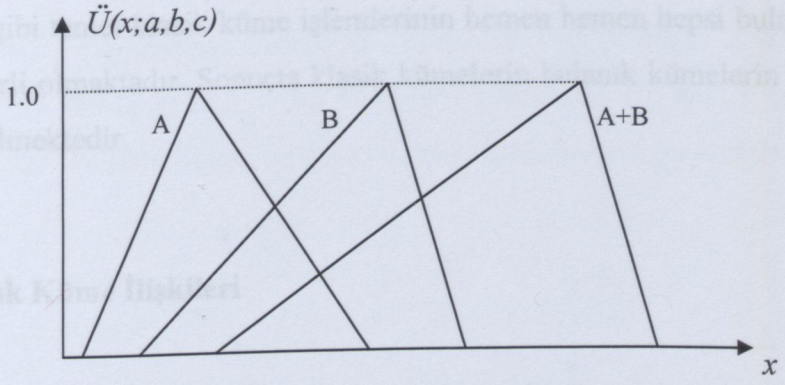


Şekil 5.16 Bulanık Sayı Kesim Seviyeleri

5.3.4.1 Bulanık Sayıların Toplanması

Şekil 5.16'da gösterildiği gibi λ seviyesinde kesimleri olan A ve B bulanık alt kümeleri, $A_\lambda = [\, a_\lambda^-,\ b_\lambda^- \,]$ ve $B_\lambda = [\, b_\lambda^-,\ b_\lambda^+ \,]$ şeklinde kesimlere sahip olsun. Bu iki bulanık alt kümenin $A+B$ toplamı λ kesim seviyesi cinsinden şöyle ifade edilebilir (Şekil 5.17):

$$(A + B)_\lambda = [\, a_\lambda^- + b_\lambda^-,\ a_\lambda^+ + b_\lambda^+ \,]$$



Şekil 5.17 İki Bulanık Kümenin Toplamı

5.3.4.2 Bulanık Sayıların Çıkarılması

Benzer olarak iki bulanık alt kümenin birbirinden çıkarılması aşağıdaki gibi tanımlanmaktadır.

$$(A - B)_\lambda = [EK(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+), EB(a_\lambda^- - b_\lambda^-, a_\lambda^+ - b_\lambda^+)]$$

Bu işlemler her λ seviyesi için geçerli olmaktadır.

5.3.4.3 Bulanık Sayıların Çarpılması

λ seviyesinde kesimleri olan A ve B bulanık alt kümeleri $A_\lambda=[a_\lambda^-,b_\lambda^-]$ ve $B_\lambda=[b_\lambda^-,b_\lambda^+]$ şeklinde ise λ kesim seviyesindeki çarpımları şöyle ifade edilebilmektedir:

$$(A.B)_\lambda = [EK(a_\lambda^-.b_\lambda^-, a_\lambda^-.b_\lambda^+, a_\lambda^+.b_\lambda^-, a_\lambda^+.b_\lambda^+), EB(a_\lambda^-.b_\lambda^-, a_\lambda^-.b_\lambda^+, a_\lambda^+.b_\lambda^-, a_\lambda^+.b_\lambda^+)]$$

5.3.4.4 Bulanık Sayıların Bölünmesi

Benzer olarak bölme işlemi de;

$$(A/B)_\lambda = [EK(a_\lambda^-/b_\lambda^-, a_\lambda^-/b_\lambda^+, a_\lambda^+/b_\lambda^-, a_\lambda^+/b_\lambda^+), EB(a_\lambda^-/b_\lambda^-, a_\lambda^-/b_\lambda^+, a_\lambda^+/b_\lambda^-, a_\lambda^+/b_\lambda^+)]$$

olarak tanımlanmaktadır.

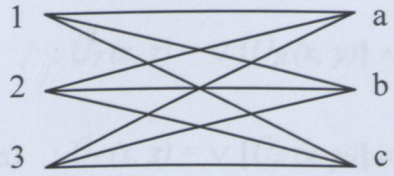
Görüldüğü gibi temel klasik küme işlemlerinin hemen hemen hepsi bulanık kümeler için de geçerli olmaktadır. Sonuçta klasik kümelerin bulanık kümelerin özel bir hali olduğu görülmektedir.

5.3.5 Bulanık Küme İlişkileri

Bulanık kümelerde tanımlı ilişkiler, özellikle mühendislik modellemelerinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bunların temelinde, klasik kümelerde de yer alan kartezyen çarpımlar söz konusu olmaktadır. Kartezyen çarpım sonucunda kümelerin öğe

çarpım sayısı kadar ortak noktaları ortaya çıkmaktadır. Bulanık küme kapsamında bu noktalar *ilişki kümeleri* olarak tanımlanmaktadır.

İki kümenin verilmesi durumunda bunların çarpımı için bir kümedeki elemanların diğer kümedekilerle nasıl eşleştiklerini gösteren *Sagittal Diyagram* olarak adlandırılan karşılıklı çizgi diyagramı kullanılmaktadır (Şekil 5.18). Bu diyagramda küme elemanları noktalar, ilişkiler ise çizgiler ile gösterilmektedir.



Şekil 5.18 Sagittal Diyagramı

Sagittal Diyagramındaki çizgileri ilişki matrisinde 1 ile ifade edecek olursak;

$X=\{1, 2, 3\}$ ve $Y=\{a, b, c\}$ kümelerinin kartezyen çarpımlarının ilişki matrisi aşağıdaki gibi gösterilmektedir.

$$\text{İ} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} a & b & c \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \end{array}$$

Örneğin X ve Y kümelerinin kartezyen çarpımında sayısal kısmı 2 den küçük olan öğeler diye bir kısıtlama olursa, bu kartezyen çarpımdan (3, a), (3, b), (3, c) gibi çarpım öğeleri 0, diğerleri ise 1 ile gösterilirse R ilişki matrisi şu şekilde olmaktadır:

$$\text{R} = \begin{array}{c} \\ 1 \\ 2 \\ 3 \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} a & b & c \end{array} \\ \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \end{array}$$

İki farklı ilişki matrisinin birleştirilmesi için iki küme işlemi yapılabilmektedir. Bunlar, *En Büyük (EB)-En Küçük (EK) (Maksimum-Minimum)* veya *En Büyük-Çarpım (EB-Çarpım, Max-Product)* işlemleridir. Bu iki işlemden en sık kullanılanı EB-EK işlemidir. Bunun neticesinde elde edilen T geçiş ilişki matrisinin küme ve öğeler cinsinden notasyon olarak gösterilimi aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.;

$$T = R \, o \, S$$

$$\text{(EB-EK)} \qquad : \ddot{U}_T(x, z) = \vee \left[\ddot{U}_R(x, y)\right] \wedge \left[\ddot{U}_S(y, z)\right]$$

$$\text{(EB Çarpım)} \quad : \ddot{U}_T(x, z) = \vee \left[\ddot{U}_R(x, y)\right] \times \left[\ddot{U}_S(y, z)\right]$$

Bulanık küme ilişkilerindeki işlemlerin klasik kümelerdeki ilişkilerden farkı, işlem sırasında üyelik derecelerinin 0 ve 1 gibi iki değerli olmayıp, 0 ile 1 aralığında herhangi bir ondalık değeri de içerebilmesidir.

İlişki matrisindeki üyelik değerlerinin belirlenmesinde birkaç tane hesap yöntemi vardır. Bunlardan en önemli olanları sırası ile şunlardır:

a) *Kartezyen Çarpım*: Bölüm 5.3.2'de anlatıldığı şekilde üyelik değeri belirlenmektedir.

b) *Kapalı Şekil İfadeleri*: Bu yöntem ile ilişki matrisindeki üyelik değerlerinin bulunabilmesi için incelenen fiziksel olayda verilen bir girdi kümesi için çıktı kümesinin ne olacağı gözlemelidir. Eğer giriş-çıkış çifti için değişme gözlenmiyorsa bu sistemin klasik kümelerle modellenmesi yoluna gidilmektedir. Bu durumda ilişki kapalı form olarak Y=f(X) şeklinde gösterilebilmektedir. Burada X giriş, Y ise çıkış kümesi öğelerinden oluşmaktadır.

c) *Tablo Yöntemi*: Gözlemlenen giriş-çıkış çifti için eğer biraz değişkenlik bulunursa 0-1 aralığında üyelik derecelerinin atanması ile bulanık ilişki kurma yoluna gidilmektedir.

d) *Sözel Bilgi Kuralları*: Bu yöntemde bulanık sözel bilgilerden yararlanılmaktadır. Sonuçta *EĞER-İSE (IF-THEN)* türünden kurallar bulunmaktadır. Böyle bilgiler konunun uzmanları, anketler ya da genel görüş birliği ile elde edilmektedir.

e) ***Sınıflandırma*****:** Verilerin sınıflandırması veya belirgin şekillerin ortaya çıkması ile ilişki matrisinin öğelerinin değerleri bulunabilmektedir.

f) ***Veri İşlemesinde Benzerlik Yöntemleri*****:** En fazlaca kullanılan yöntemlerden biri verilerden ilişki matrisinin değerlerinin tespit edilmesidir. Bunun için birkaç yöntem mevcuttur.

1°) Kosinüs Genliği Yöntemi: Kullanışlı olan bu yöntem birçok yöntemin gerektirdiği gibi n tane veriye gereksinim duymaktadır. Veriler X kümesinin öğeleri olarak düşünülürse;

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \ldots\ldots, x_n\}$$

şeklinde yazılabilir. X kümesindeki öğelerin her biri m tane veri içermektedir. Bu nedenle öğelerden x_i aşağıdaki gibi yine bir küme şeklinde yazılabilmektedir:

$$x_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \ldots\ldots, x_{im}\}$$

Böylece ilişki matrisinin r_{ij} gibi bir öğesi x_i ve x_j verilerinin birer küme olarak düşünülmesi ve üzerinde ortak bazı işlemlerin yapılması ile hesaplanmaktadır. Hesaplanan r_{ij} değerine $\ddot{U}_R(x_i,x_j)$ üyelik derecesi olarak bakılabilmektedir. Kosinüs Genliği Yönteminde r_{ij}'ler 0 ile 1 arasında değerler olacak biçimde aşağıdaki formül ile hesaplanmaktadır:

$$r_{ij} = \frac{\left|\sum_{k=1}^{m} x_{ik}.x_{jk}\right|}{\sqrt{\left(\sum_{k=1}^{m} x_{ik}^2\right)\left(\sum_{k=1}^{m} x_{jk}^2\right)}} \qquad i, j = 1, 2, 3, \ldots, n \qquad (5.5)$$

2°) En Büyük-En Küçük Yöntemi (EB-EK Yöntemi): Bu yöntem hesaplama açısından kosinüs genliği yönteminden daha kolaydır. Bu yöntemde kullanılan bağıntı şu şekildedir.

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^{m} EK\left(x_{ik}, x_{jk}\right)}{\sum_{k=1}^{m} EB\left(x_{ik}, x_{jk}\right)} \qquad i, j = 1, 2, 3, \ldots, n \qquad (5.6)$$

Örnek:

$X=\{a, b\}$, $Y=\{c, d\}$ ve $C=\{e, f, g\}$ gibi üç kümenin XxY ve YxZ uzaylarında tanımlanan ilişki matrisleri sırası ile;

$$R = \begin{array}{c} \\ a \\ b \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cc} c & d \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.7 & 0.5 \\ 0.8 & 0.4 \end{bmatrix} \end{array} \qquad S = \begin{array}{c} \\ c \\ d \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} e & f & g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.9 & 0.6 & 0.2 \\ 0.1 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix} \end{array}$$

olsun. XxZ uzayı üzerinde X ile Z arasındaki ilişki matrisi ***EB-EK*** küme işlemine göre; $\ddot{u}_T(a,e) = EB[EK(0.7,0.9), EK(0.5,0.1)] = EB[0.7,0.1] = 0.7$

hesaplanmaktadır. Diğer öğelerin de benzer şekilde hesaplanması neticesinde T ilişki matrisi;

$$T = \begin{array}{c} \\ a \\ b \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} e & f & g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.7 & 0.6 & 0.5 \\ 0.8 & 0.6 & 0.4 \end{bmatrix} \end{array}$$

olarak elde edilmektedir. Benzer işlemlerin ***EB-Çarpım*** kuralına göre;

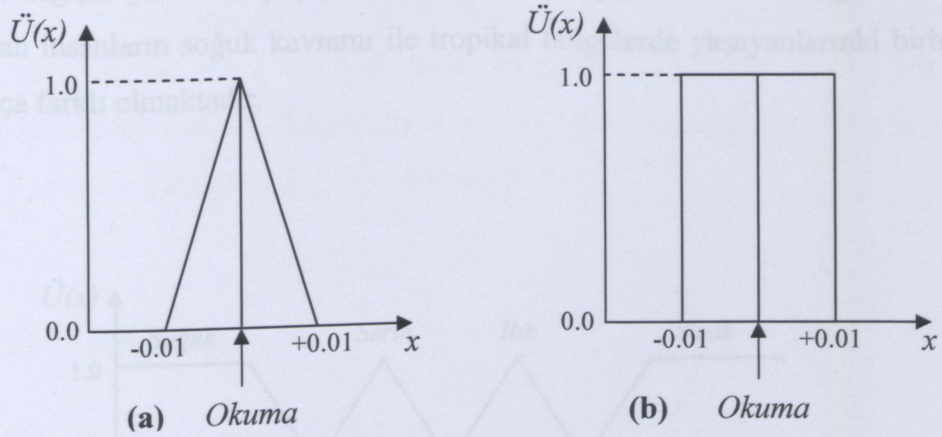
$$\ddot{u}_T(a,e) = EB[(0.7,0.9) . (0.5,0.1)] = EB[0.63,0.05] = 0.63$$

şeklinde çarpım işlemlerinin yapılması ile kümenin öğeleri hesaplanabilmektedir. Böylece ilişki matrisi şu şekilde olmaktadır.

$$T = \begin{array}{c} \\ a \\ b \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{ccc} e & f & g \end{array} \\ \begin{bmatrix} 0.63 & 0.42 & 0.25 \\ 0.72 & 0.48 & 0.20 \end{bmatrix} \end{array}$$

5.3.6 Bulanıklaştırma

Pratikte genel olarak klasik küme şeklinde beliren değişim aralıklarının bulanıklaştırılması, bulanık küme, mantık ve sistem işlemleri için gereklidir. Belirsizliğin sayısal olmayan durumlardan kaynaklanması halinde bulanıklıktan söz edilmektedir. Özellikle bazı cihazların prezisyonu diye tabir edilen durumlarda mesela ±%1'lik hassaslık, ölçülen bir x büyüklüğünün $(x+0.01)$ ve $(x-0.01)$ arasında değişebileceği beklentisini ifade etmektedir. Bunun bulanık ve klasik kümelerde gösterilimi Şekil 5.19'de verilmiştir.



Şekil 5.19 Hassaslık **(a)** Bulanık Kümede **(b)** Klasik Kümede

5.3.7 Üyelik Derecesi Ataması

Üyelik fonksiyonlarının üyelik derecelerinin belirlenmesinde kullanılan birçok yöntem vardır. Bunlardan başlıcaları şunlardır:

a) Sezgi

b) Çıkarım

c) Derecelendirme

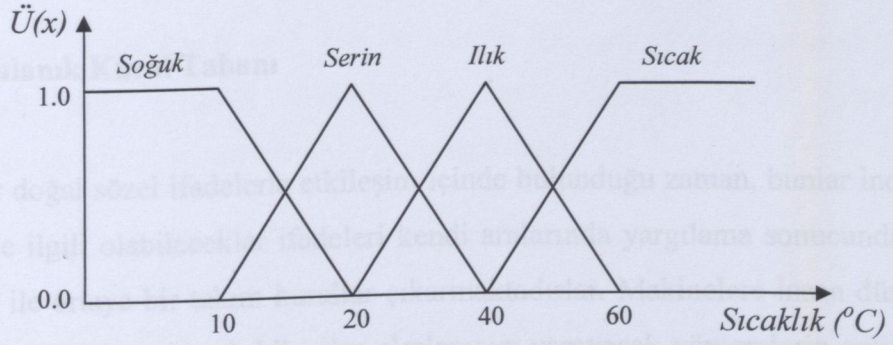
d) Açılı Bulanık Kümeler

e) Yapay Sinir Ağları (Artificial Neural Networks)

f) Genetik Algoritmalar (Genetic Algorithms)

g) Çıkarımcı Muhakeme

Bunlardan sezgi fazlaca teknik bilgi gerektirmemektedir. Burada her kişinin kendi anlayış, görüş ve olaya bakışı önemli rol oynamaktadır. Buna en basit örnek olarak herkesin hemen her gün karşı karşıya kalarak görüş belirttiği sıcaklık kelimesinin nitelediği belirsiz alt kümeler verilebilmektedir. En azından soğuk, serin, ılık ve sıcak gibi dört tane alt küme belirlenebilmektedir. Bu alt kümelerin sınırları Şekil 5.20'de görüldüğü gibi grafik biçimlerle temsil edilebilmektedir. Bu sınırlar doğal olarak değişik yörelerde yaşayan kişilere göre değişmektedir. Örneğin, kutuplarda yaşayan insanların soğuk kavramı ile tropikal bölgelerde yaşayanlarınki birbirinden oldukça farklı olmaktadır.



Şekil 5.20 Sıcaklık Bulanık Alt Kümeleri

Üyelik fonksiyonu atamalarında kullanılan diğer bir yöntem ise derecelendirme yöntemidir. Burada bir bulanık değişkene anketler, soruşturmalar veya seçimler sonucunda üyelik derecelerinin atanmasına çalışılmaktadır. Her zaman verilen iki seçenek arasında tercihler sayılmakta veya bu tercihlere verilen puanlandırmalarla işlemler görülmektedir.

Bazı durumlarda bulanık kümelere açısal üyelik derecelerinin atanması söz konusu olmaktadır. Bunlar koordinat bakımından alışılagelmiş bulanık kümelerden farklıdır. Her 2π aralığında kendisini tekrarlamaktadır.

Üyelik fonksiyonlarının atanması ile ilgili olarak özellikle Yapay Sinir Ağları ve Genetik Algoritmalar gibi yöntemler de sıkça kullanılmaktadır.

Sonuç olarak, üyelik derecesi atamak için sunulan yöntemler gün geçtikçe gelişmektedir. Üyelik fonksiyon ve dereceleri tespit edilirken olayla ilgili değişkenin alt aralıkları, bunların sınır değerleri ve sayısal kümeleri nesnel (kişisel) olarak belirlenmelidir. Üyelik fonksiyonları genelde üçgen, yamuk ve Gauss (normal dağılım) eğrisi şekillerinden biri olabilmektedir. Bunlardan üçgen üyelik fonksiyonları pratik uygulamalarda en yaygın olarak kullanılanıdır. Bir fonksiyonun üyelik derecesi olabilmesi için öğelerinden en az bir tanesinin üyelik derecesi 1'e eşit olmalıdır. Bu tür üyelik fonksiyonlarına *normal fonksiyonlar* denir. Buna ilave olarak temel üyelik fonksiyonları dışbükey olmalıdır.

5.3.8 Bulanık Kural Tabanı

İnsanlar doğal sözel ifadelerle etkileşim içinde bulunduğu zaman, bunlar incelenerek sorun ile ilgili olabilecekler ifadeleri kendi aralarında yargılama sonucunda değişik ilişkiler ile ortaya bir takım kurallar çıkarmaktadırlar. Makinelere insan düşüncesini anlatabilmek için yaklaşık bile olsa algılamaya yarayacak yöntemlerin geliştirilmesi gerekmektedir. Bu konuda ilk adım bulanık küme, mantık ve sistemler olmuştur. Bunun nedeni insan iletişiminde kullanılan bilgilerin doğasında sıkça bulunan belirsizlik, karmaşıklık ve sağlıksızlık gibi durumlardır.

Bulanık kümeler ile sözcüklerin ifade edilmesi için öncelikle X gibi doğal bir dilin sözcüklerini içeren bir toplum kümesi, bu küme içinde σ öğeleri, bunların anlam dünyasında A gibi bir bulanık kümesi ve σ öğelerine karşı gelen üyelik dereceleri düşünülebilmektedir. Böylece doğal bir dil, X toplumundaki kelime atomlarının, Y toplumundaki anlamlarla eşleştirilmesi ile ifade edilebilmektedir. X toplumundaki her σ öğesi, Y anlam toplumundaki bir A bulanık kümesinin σ öğesine karşılık

gelmektedir. Örneğin, "genç" kelime atomuna karşılık gelebilecek bir bulanık alt kümenin öğeleri, g insan yaşını ifade etmek üzere, şu şekilde tanımlanabilmektedir:

$$A = 'genç' = \int_0^{25} \frac{1}{g} + \int_{25}^{100} \frac{1}{g}\left(1+\left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} \tag{5.7}$$

Ayrıca üyelik fonksiyonu aşağıdaki şekilde yazılabilmektedir (Ross, 1995):

$$\ddot{U}(genç, g) = \begin{cases} \left(1+\left(\frac{g-25}{5}\right)^2\right)^{-1} & g \geq 25 \ yıl \quad (5.8) \\ \frac{1}{g} & g < 25 \ yıl \quad (5.9) \end{cases}$$

Bu şekilde ifade edilen sözcük atomlarından oluşan cümleler yapabilmek için '*ve*', '*veya*' ya da '*değil*' gibi bağlaçlar kullanılarak küme işlemleri yapılmaktadır. Örneğin, bir toplulukta α ve β gibi iki sözcük atomunun bulunduğu kabul edilirse, bunlardan elde edilecek birleşik sözcüğün bulanık küme işlemleri ile oluşturulmasında şu işlemlerden yararlanılmaktadır:

α veya β: $\ddot{U}_{\alpha \text{ veya } \beta}(y) = EB[\ddot{U}_\alpha(y), \ddot{U}_\beta(y)]$ (5.10)

α ve β : $\ddot{U}_{\alpha \text{ ve } \beta}(y) = EK[\ddot{U}_\alpha(y), \ddot{U}_\beta(y)]$ (5.11)

α değil: $\ddot{U}_\alpha(y) = 1 - \ddot{u}_\alpha(y)$ (5.12)

5.3.8.1 Sözel Eşikler

Genellikle kelime atomlarının başlarına ilave edilen ön sıfatlarla anlamları biraz daha daraltılmakta veya genişletilmektedir. Bu kelimeler arasında 'çok', 'oldukça', 'sıklıkla', 'yaklaşık' vb. gibi bir çok kelime vardır. Bunlara, *sözel eşikler (linguistic hedges)* denmektedir ve ana amacı sadece üyelik derecelerini değiştirmektir.

Genel olarak, α gibi bir kelime atomunun eşikleri, eğer α kelime atomunun üyelik fonksiyonu $\alpha = /Ü_\alpha(y)/y$ olarak verilmiş ise matematik ifadeleri şunlardan biri olmaktadır.

$$'çok'\ \alpha = \alpha^2 = /Ü_\alpha^2(y)/y \tag{5.13}$$

$$'çok\ çok'\ \alpha = \alpha^4 \tag{5.14}$$

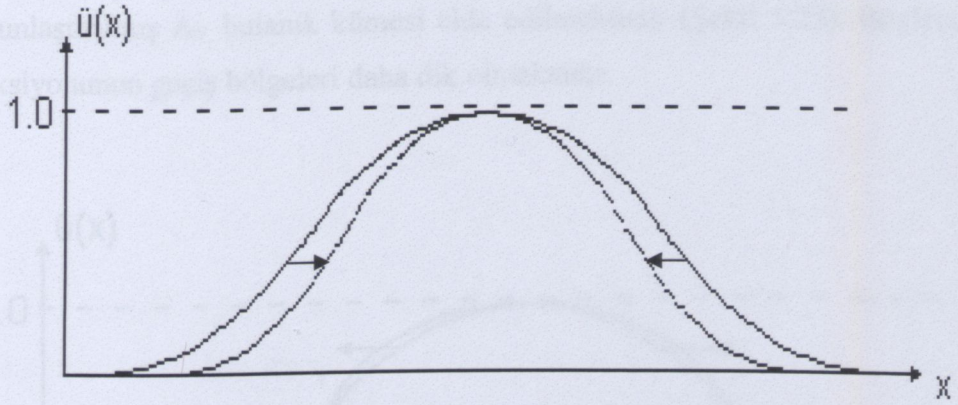
$$'artı'\ \alpha = \alpha^{1.25} \tag{5.15}$$

$$'oldukça'\ \alpha = \sqrt{\alpha} = /Ü_\alpha^{0.5}(y)/y \tag{5.16}$$

$$'eksi'\ \alpha = \alpha^{0.75} \tag{5.17}$$

a) Daraltma (Concentration)

Önceki kısmın sonunda bulunan beş eşitlikten ilk üçü olan (5.13), (5.14) ve (5.15) denklemleri üyelik fonksiyonunun 1'den büyük kuvvetlerinin alınmış olması ve üyelik derecelerinin sayısal olarak 0 ile 1 arasında olmasından dolayı elde edilen yeni üyelik fonksiyonları Şekil 5.21'de gösterildiği gibi bulanık A kümesi daralmış bulanık A_D kümesi haline gelmektedir. Böylece sözel eşikler daha belirgin hale gelmektedir. Daraltma işlemi sonucunda bulanık kümede bulunan öğelerin üyelik derecelerinin tümünde bit azalma meydana gelmektedir.

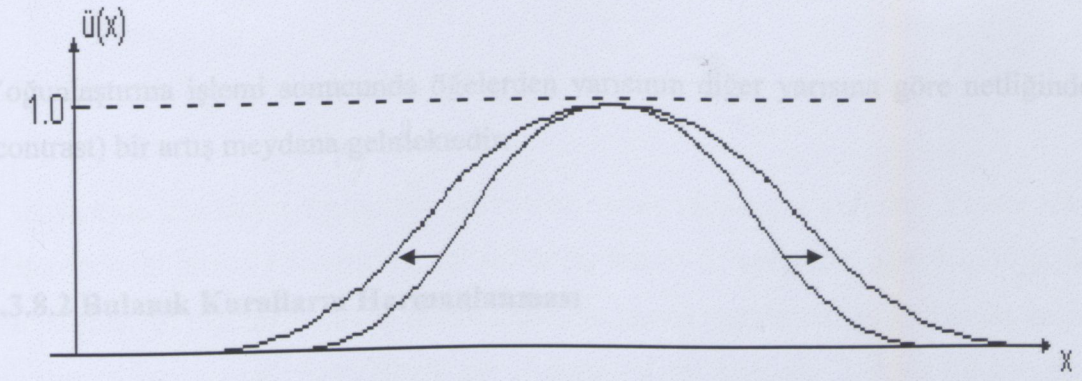


Şekil 5.21 Üyelik Fonksiyonlarında Daraltma

b) Genişleme (Dilation)

Benzer olarak daha önce belirlenen beş eşitliğin son ikisi olan (5.16) ve (5.17) eşitliklerinde, üyelik fonksiyonu işleminin kuvvetinin alınması, 1'den daha küçük

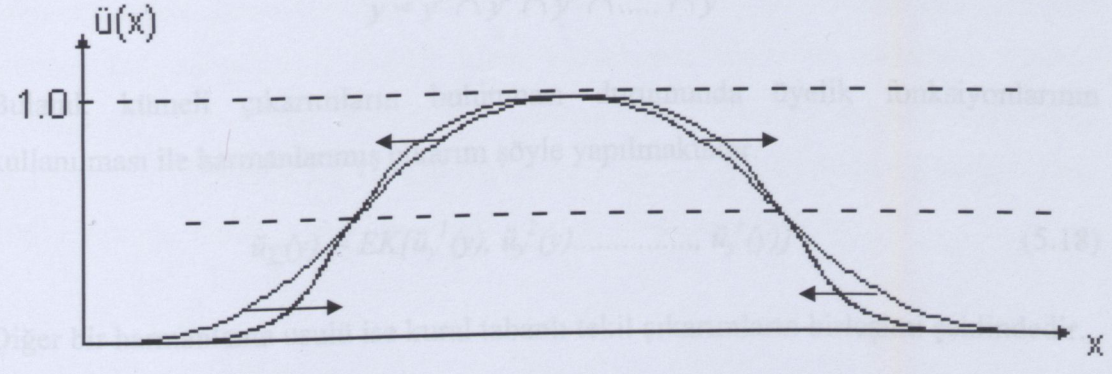
kuvvet kullanıldığından yeni üyelik derecesinde bir genişleme ortaya çıkacaktır. Bunun sonucunda A bulanık kümesi A_G gibi genişlemiş bulanık küme haline gelmektedir (Şekil 5.22). Böylece bulanık kümenin tüm öğelerinin üyelik derecelerinde artma meydana gelmektedir.



Şekil 5.22 Üyelik Fonksiyonlarında Genişleme

c) Yoğunlaştırma (Intensification)

Eğer bir bulanık kümenin bazı öğelerinin üyelik dereceleri azalmakta ve diğerleri artmakta ise bu işleme *yoğunlaştırma* adı verilmektedir. Genel olarak verilen bir bulanık kümedeki öğelerin üyelik dereceleri 0.5'den küçük olanlarınki daralarak azalırken, 0.5'den büyük olanlar ise genişleyerek artmaktadır. Böylece yoğunlaştırılmış A_Y bulanık kümesi elde edilmektedir (Şekil 5.23). Böylece üyelik fonksiyonunun geçiş bölgeleri daha dik olmaktadır.



Şekil 5.23 Üyelik Fonksiyonlarının Yoğunlaşması

Yoğunlaştırma için bir takım matematik işlemleri kullanılmaktadır. Bunlar arasında en yaygın olarak aşağıdaki eşitlikler geçerlidir (Zadeh, 1971):

$$'yoğunlaştır'\ \alpha = \begin{cases} 2\ddot{U}_{\alpha}^{2}(y) & 0 \le \ddot{U}_{\alpha}(y) \le 0.5 \\ 1-2[1-(1-\ddot{U}_{\alpha}(y))]^{2} & 0.5 \le \ddot{U}_{\alpha}(y) \le 1.0 \end{cases}$$

Yoğunlaştırma işlemi sonucunda öğelerden yarısının diğer yarısına göre netliğinde (contrast) bir artış meydana gelmektedir.

5.3.8.2 Bulanık Kuralların Harmanlanması

Bir sistemin modellenmesinde sonuca varabilmek amacıyla problemle ilgili geçerli her bir kuralın çıkarım kısmında ortaya çıkan sonuçların harmanlanarak hepsinin katkısı olan genel bir çıkarıma gitmek gereklidir. Fazlaca olan çıkarımların harmanlanması için kullanılan iki yaklaşım vardır. Bunlardan birincisi, kuralları ***ve*** bağlacı ile bağlanması sonucunda elde edilir. Burada sistemi temsil eden ve gerçekleşen kuralların tümü ***ve*** bağlacı ile birleştirilir, yani kümeler teorisine göre bunların kesişimleri alınmaktadır. Bu takdirde harmanlanmış çıkarım, y, tekil bulanık çıkarımların, y^i, (i=1,2,...,r) kesişimi olarak elde edilmekte ve şu şekilde yazılabilmektedir (Mamdani, 1976).

$$y = y^1 \text{ ve } y^2 \text{ ve } y^3 \text{ ve } ..... \text{ ve } y^r$$

$$y = y^1 \cap y^2 \cap y^3 \cap ..... \cap y^r$$

Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım şöyle yapılmaktadır.

$$\ddot{u}_{\underline{Y}}(y) = EK[\ddot{u}_y^{\,1}(y), \ddot{u}_y^{\,2}(y), ..., \ddot{u}_y^{\,r}(y)] \qquad (5.18)$$

Diğer bir harmanlama usulü ise kural tabanlı tekil çıkarımların birleşimi şeklindedir.

$$y = y^1 \text{ veya } y^2 \text{ veya } y^3 \text{ veya } ..... \text{ veya } y^r$$

$$y = y^1 \cup y^2 \cup y^3 \cup ..... \cup y^r$$

Bulanık kümeli çıkarımların bulunması durumunda ise üyelik fonksiyonlarının kullanılması ile harmanlanmış çıkarım şu şekilde bulunmaktadır (Ross, 1995).

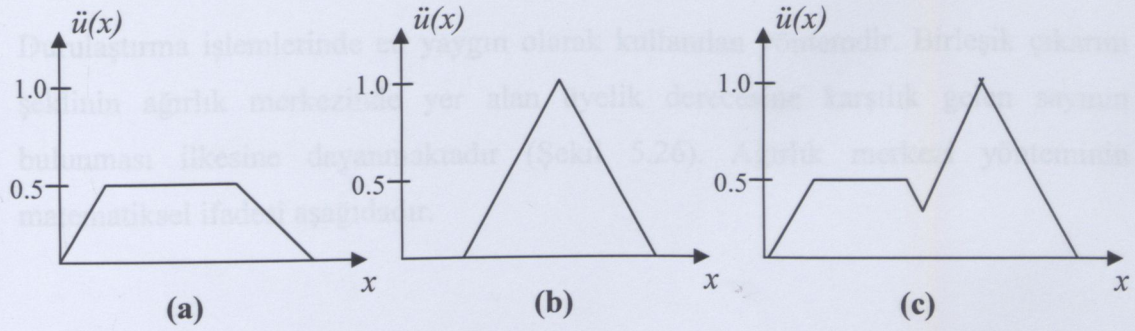
$$\ddot{u}_{\underline{Y}}(y) = EB[\ddot{u}_y^1(y), \ddot{u}_y^2(y), ..., \ddot{u}_y^r(y)] \qquad (5.19)$$

5.3.8.3 Kural Tabanlı Sistemler

Yapay zeka, makineler tarafından bilgi işlemlerinin algılanma yoludur. Yapay zeka alanında bilgi işlemi için değişik yollardan bir tanesi de aşağıdaki gibi bilgiyi sanki insan dilindeki gibi bir ifade ile temsil etmektir. Bu en yaygın olarak kullanılan insan bilgisini işleme yöntemidir. Böyle bir ifadede EĞER-İSE (IF-THEN) ile ayrılmış olan iki kısım bulunmaktadır. Bunlardan EĞER ile İSE arasında bulunan kısma *öncül* veya *ön koşul*, İSE'den sonraki kısma ise *soncul* veya *çıkarım* adı verilmektedir (Şen, 2001). Bu durumda genel bir kural; "***EĞER*** *Öncül* ***İSE*** *Çıkarım*" şeklinde gibi olur.

5.3.9 Durulaştırma

Uygulamalarda bulanık sistemlerin çıktılarının doğrudan kullanılması mümkün olmamakta ve bulunan bulanık kümenin bir tek sayı haline dönüştürülmesi gerekmektedir. Bu durumda, bulanıklaştırma işleminin tersi olan *durulaştırma (defuzzification)* işleminin uygulanması gerekir (Şekil 5.24). Durulaştırma için yedi yöntem kullanılmaktadır. Durulaştırma yönteminin seçimine araştırıcı, elindeki soruna göre karar vermelidir. Sunulan durulaştırma yöntemlerinde, çıkarım bulanık kümesinin Z, öğelerinin z ve durulaştırılmış değerin z^* ile ifade edilmiştir (Şen, 2001). Burada, durulaştırma yöntemlerinden üç tanesi anlatılmıştır.

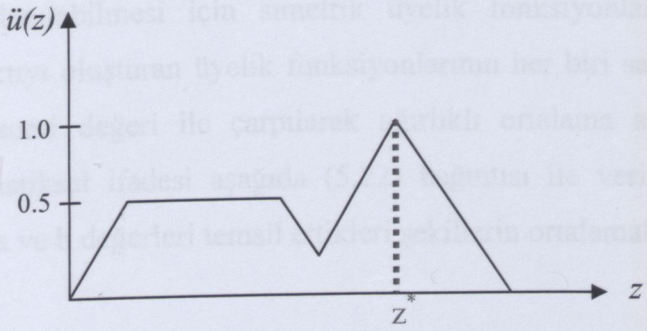


Şekil 5.24 Tipik Bir Bulanık Küme Çıktısı **(a)** Birinci Kısım Bulanık Girdi, **(b)** İkinci Kısım Bulanık Girdi, **(c)** İkisinin Birleşimi

5.3.9.1 En Büyük Üyelik İlkesi

Bu yöntemde, birleşik çıkarım kümesinin üyelik değerlerinden en büyük değere sahip olanın seçilmesi ilkesine göre durulaştırma işlemi gerçekleştirilmektedir. Kullanılması için tepeleri olan çıkarım bulanık kümelerine gereksinim vardır. Şekil 5.25'de bu yönteme göre yapılan durulaştırma işleminin sonucu gösterilmektedir (Murat, 2001). Matematik ifadesi şöyledir:

$$ü_C(z^*) = ü_C(z) \qquad tüm\ z \in Z \tag{5.20}$$

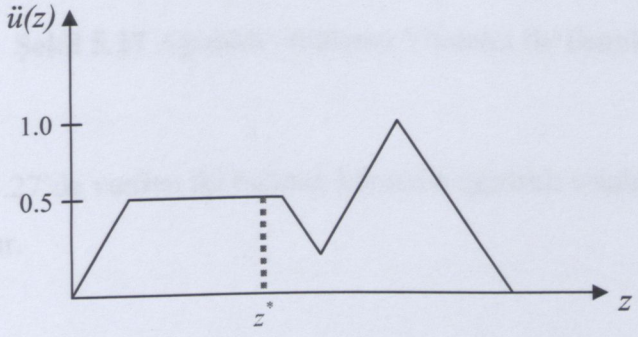


Şekil 5.25 En Büyük Üyelik Derecesi Yöntemine Göre Durulaştırma

5.3.9.2 Ağırlık Merkezi Yöntemi

Durulaştırma işlemlerinde en yaygın olarak kullanılan yöntemdir. Birleşik çıkarım şeklinin ağırlık merkezinde yer alan üyelik derecesine karşılık gelen sayının bulunması ilkesine dayanmaktadır (Şekil 5.26). Ağırlık merkezi yönteminin matematiksel ifadesi aşağıdadır.

$$z^* = \frac{\int \ddot{u}_C(z).z\,dz}{\int \ddot{u}_C(z)\,dz} \tag{5.21}$$



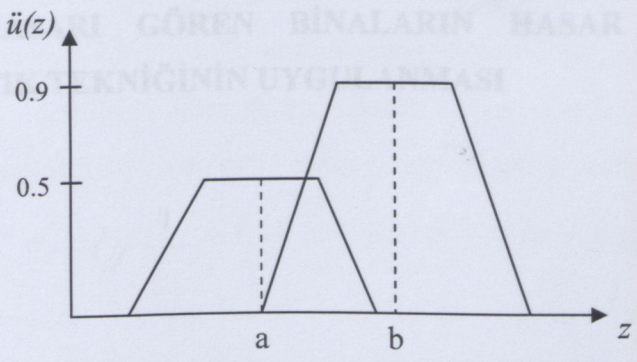
Şekil 5.26 Ağırlık Merkezi Yöntemi ile Durulaştırma

5.3.9.3 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi

Bu yöntemin kullanılabilmesi için simetrik üyelik fonksiyonlarının bulunması gerekmektedir. Çıktıyı oluşturan üyelik fonksiyonlarının her biri sahip oldukları en büyük üyelik derecesi değeri ile çarpılarak ağırlıklı ortalama alınmaktadır. Bu yönteminin matematiksel ifadesi aşağıda (5.22) bağıntısı ile verilmektedir. Şekil 5.27'de gösterilen a ve b değerleri temsil ettikleri şekillerin ortalamalarıdır.

İ.T.Ü MERKEZ KÜTÜPHANESİ
Demirbaş No: 101693
Küt. Giriş No : .....

$$z^* = \frac{\sum \ddot{u}_C(z).z}{\sum \ddot{u}_C(z)} \tag{5.22}$$



Şekil 5.27 Ağırlıklı Ortalama Yöntemi ile Durulaştırma

Örneğin, Şekil 5.27'de verilen iki bulanık kümenin ağırlıklı ortalaması aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$z^* = \frac{a(0.5) + b(0.9)}{0.5 + 0.9} \tag{5.23}$$

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ MERKEZ Kütüphanesi

6. DEPREM HASARI GÖREN BİNALARIN HASAR TESPİTİNDE BULANIK MANTIK TEKNİĞİNİN UYGULANMASI

6.1 Genel

Bu bölümde, deprem sonrası hasar görmüş yapıda deprem hasarının tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yerdeğiştirme ve karakteristik beton basınç dayanımının hasar tespitine etkisi daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır.

6.2 Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Çözümlenmesi

6.2.1 Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Klasik Hesabı

Önceki bölümlerde ifade edildiği gibi yapıda meydana gelmiş olan katlar arası kalıcı yerdeğiştirmenin büyüklüğüne bağlı olarak belirlenen hasar, Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (KKYP) olarak ele alınmaktadır. KKYP, 0 ile 10 arasında değişen değerler alabilmektedir (Gülkan ve diğ., 1994). Bu puanlama aşağıda gösterilmiştir.

$\delta/h \leq 0.0015$: *0.00 puan*

$0.0015 < \delta/h \leq 0.0050$: *2.00 puan*

$0.0050 < \delta/h \leq 0.0200$: *5.00 puan*

$\delta/h > 0.0200$: *10.00 puan*

Bu puanlamaya dikkat edilirse, δ/h=0.0015 iken KKYP=0.00 alınırken, δ/h=0.0016 olduğunda *KKYP*=2.00 alınmaktadır. Yani, δ/h oranındaki %0.01'lik bir oynama,

puanı bir anda 0.00'dan 2.00'ye çıkarmaktadır. Bu ise çok gerçekçi ve adil görünmemektedir.

Benzer olarak, δ/h=0.0050 iken $KKYP$=2.00 olurken, δ/h=0.0051 olduğunda $KKYP$=5.00 olmaktadır. Aynı şekilde, δ/h=0.0200 iken $KKYP$=5.00 olurken, δ/h=0.0201 olduğunda $KKYP$=10.00 alınmaktadır. Görüldüğü gibi klasik küme teorisine ve Aristo mantığına göre Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının hesabında, hiçbir esnekliği olmayan çok keskin (crisp) geçişler vardır.

$$THP = 0.80 \times SİHP + ÇMHP + KKYP + HAP + AOP$$

Yukarıdaki formüle göre, Toplam Hasar Puanının hesabında, Sistem Hasar Puanı dışındaki puanlamaların toplamının maksimum 20 olabileceği dikkate alındığında, en çok 10 puana ulaşabilen Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının toplam puana olan etkisinin çok önemli olduğu açıktır. Bu nedenle, Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının hesabının daha gerçekçi yapılması büyük önem arz etmektedir.

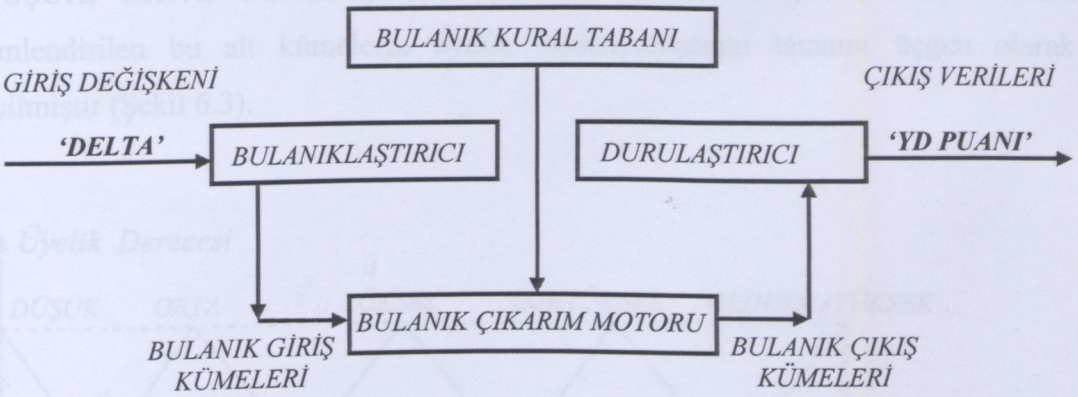
6.2.2 Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Hesabı

Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının hesabının hiçbir esnekliği olmayan ve çok keskin geçişlere sahip olan klasik hesaplama yöntemi yerine, daha esnek, sınırlarda yumuşak geçişler sağlayan ve insanın düşünüş tarzına daha uygun olan bulanık mantık tekniği ile modellenmesi daha doğru ve gerçekçi bir puanlama için uygun görülmektedir. Bu çalışmada, Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı bulanık mantık yaklaşımı ile verilmiştir. Bu amaçla, bulanık mantık modelinin kurulması için, Matlab 6.0.0.88 paket programında bulunan FL Toolbox kullanılmıştır. Ayrıca Bulanık model kurulurken Mamdani çözümü göz önüne alınarak sonuca gidilmiştir.

6.2.2.1 Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak δ/h oranı alınmaktadır. Bu girdi değişkeni, kısaca, 'DELTA' olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise, δ/h oranına karşılık gelen puanlama dikkate alınmaktadır ve çıktı değişkeni 'YDPUANI' olarak isimlendirilmiştir (Şekil 6.1). Bu bölümde kullanılan DELTA ifadesi katlar arası

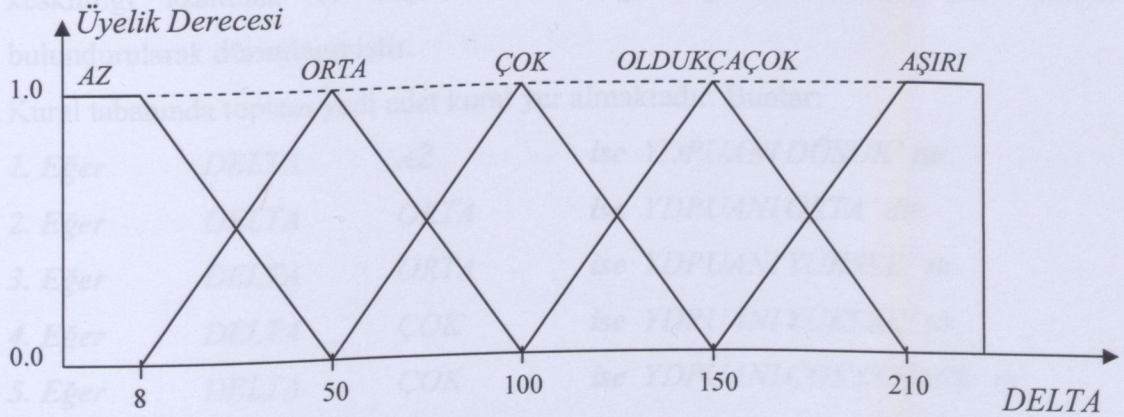
kalıcı rölatif yerdeğiştirmenin kat yükseliğine olan oranını, YDPUANI kısaltması ise bu orana karşılık gelen hasar puanını ifade etmektedir.



Şekil 6.1 Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı için Bulanık Sistem Modeli

6.2.2.2 Giriş Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

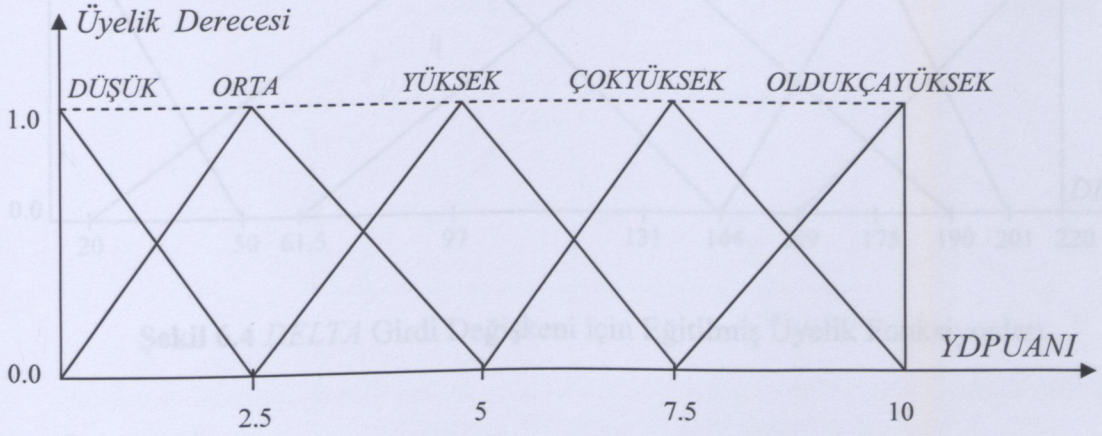
'DELTA' bulanık girdi değişkenine ait beş alt küme tanımlanmıştır. Bunlar, sırasıyla, 'AZ, ORTA, ÇOK, OLDUKÇAÇOK ve AŞIRI' olarak isimlendirilmiştir. Bunlardan AZ ve AŞIRI isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğerleri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir. Dikkat edilirse, üyelik fonksiyonları birbiri ile örtüşmüştür (Şekil 6.2). Üyelik fonksiyonlarının birbiri ile girişimi esnekliği sağlama açısından önemlidir.



Şekil 6.2 *DELTA* Girdi Değişkeni için Üyelik Fonksiyonları

6.2.2.3 Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık çıktı değişkeni olan 'YDPUANI' ile ilgili beş alt küme tanımlanmıştır. 'DÜŞÜK, ORTA, YÜKSEK, ÇOKYÜKSEK ve OLDUKÇAYÜKSEK' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 6.3).



Şekil 6.3 *YDPUANI* Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonları

6.2.2.4 Kural Tabanı

Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı kural tabanı, girdi parametrelerinden ve yerdeğiştirmelere puanların orantılı olarak dağıtılması ilkesinden faydalanılarak oluşturulmuştur. Kural tabanı, puanlamaların sınırlarındaki keskinliği azaltmak ve belli bir esnekliği sağlaması hedefi göz önünde bulundurularak düzenlenmiştir.

Kural tabanında toplam yedi adet kural yer almaktadır. Bunlar:

1. Eğer *DELTA AZ* ***ise*** *YDPUANI DÜŞÜK' tür.*

2. Eğer *DELTA ORTA* ***ise*** *YDPUANI ORTA' dır.*

3. Eğer *DELTA ORTA* ***ise*** *YDPUANI YÜKSEK' tir.*

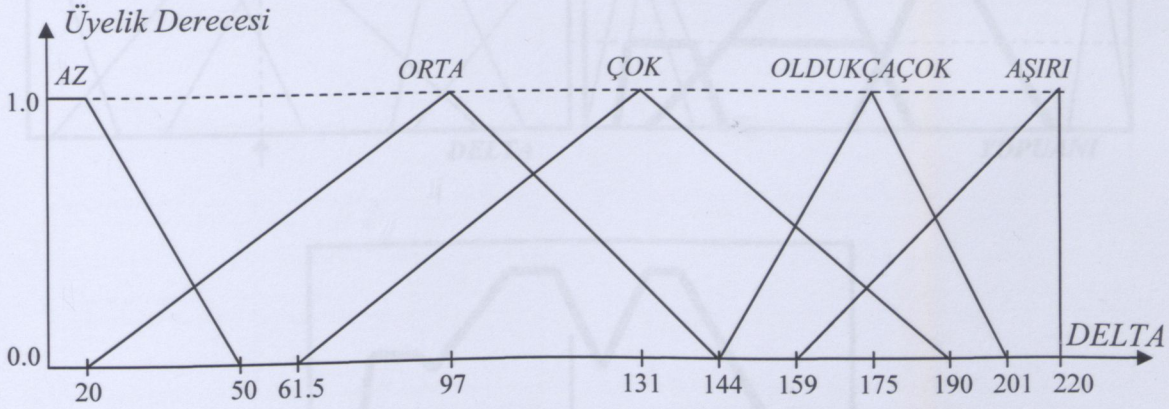
4. Eğer *DELTA ÇOK* ***ise*** *YDPUANI YÜKSEK' tir.*

5. Eğer *DELTA ÇOK* ***ise*** *YDPUANI ÇOKYÜKSEK' tir.*

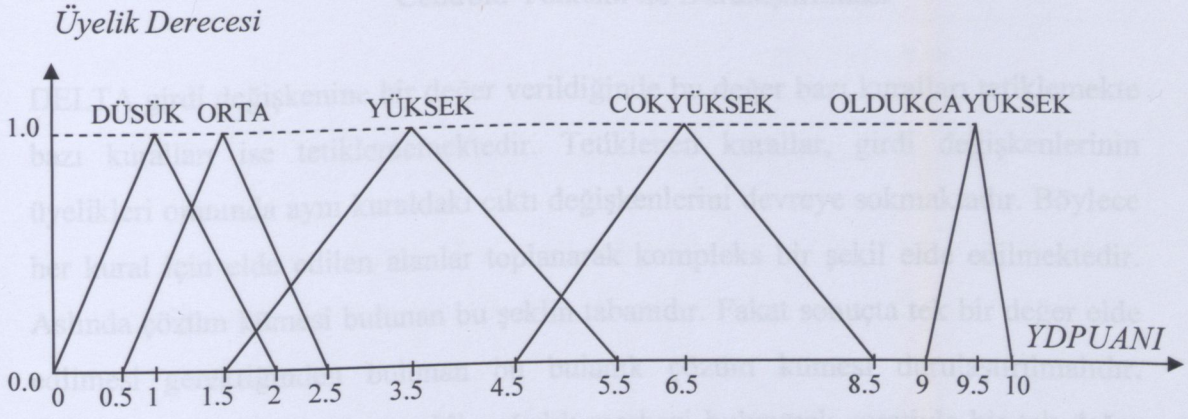
6. Eğer *DELTA OLDUKÇAÇOK* ***ise*** *YDPUANI ÇOKYÜKSEK' tir.*

7. Eğer *DELTA AŞIRI* ***ise*** *YDPUANI OLDUKÇAYÜKSEK' tir.*

Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonları eğitilmiştir. Eğitme sonucunda girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları değişime uğramıştır. Eğitilmiş girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te görülmektedir.



Şekil 6.4 *DELTA* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

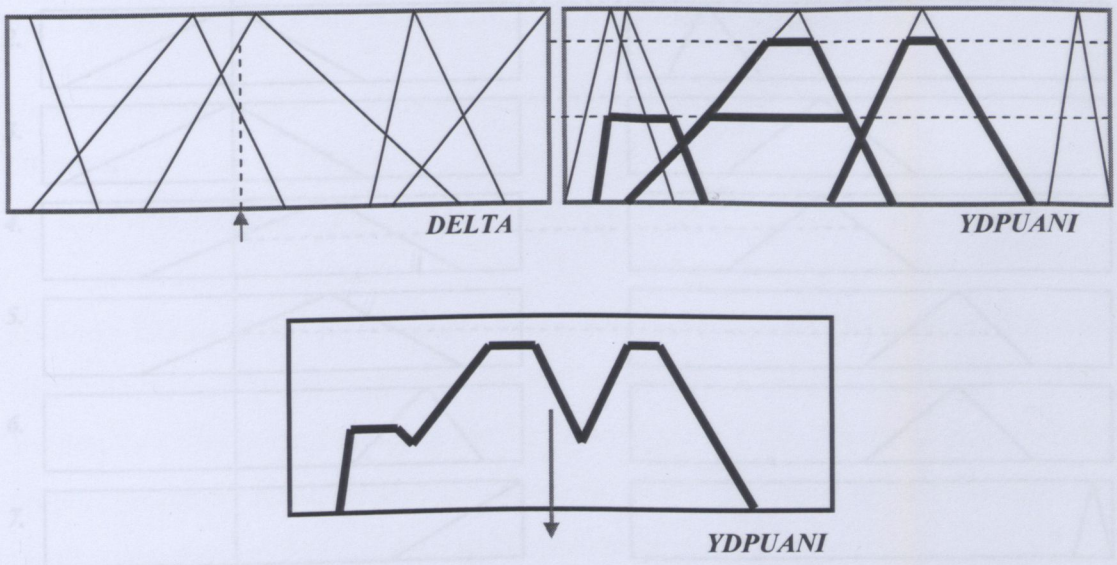


Şekil 6.5 *YDPUANI* Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

6.2.2.5 Bulanık Mantık Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı Çıkarımlarının Durulaştırılması

Bulanık mantık katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı kural tabanından, girdi verilerinin üyeliklerine göre değişik sayıda çıkarımlar elde edilmektedir. Bu çıkarımların üyelik derecelerinin belirlenmesinde bulanık girdiler için Mamdani Yöntemi esas alınmıştır. Buna göre birbirine 've' bağlacı ile bağlı olan girdilerin en küçük üyelik derecesi alınarak, tüm kombinasyonlar karşılaştırılır, daha sonra aynı çıktı alt kümesine ait olan üyelik derecelerinin en büyükleri seçilir. Burada tek girdi

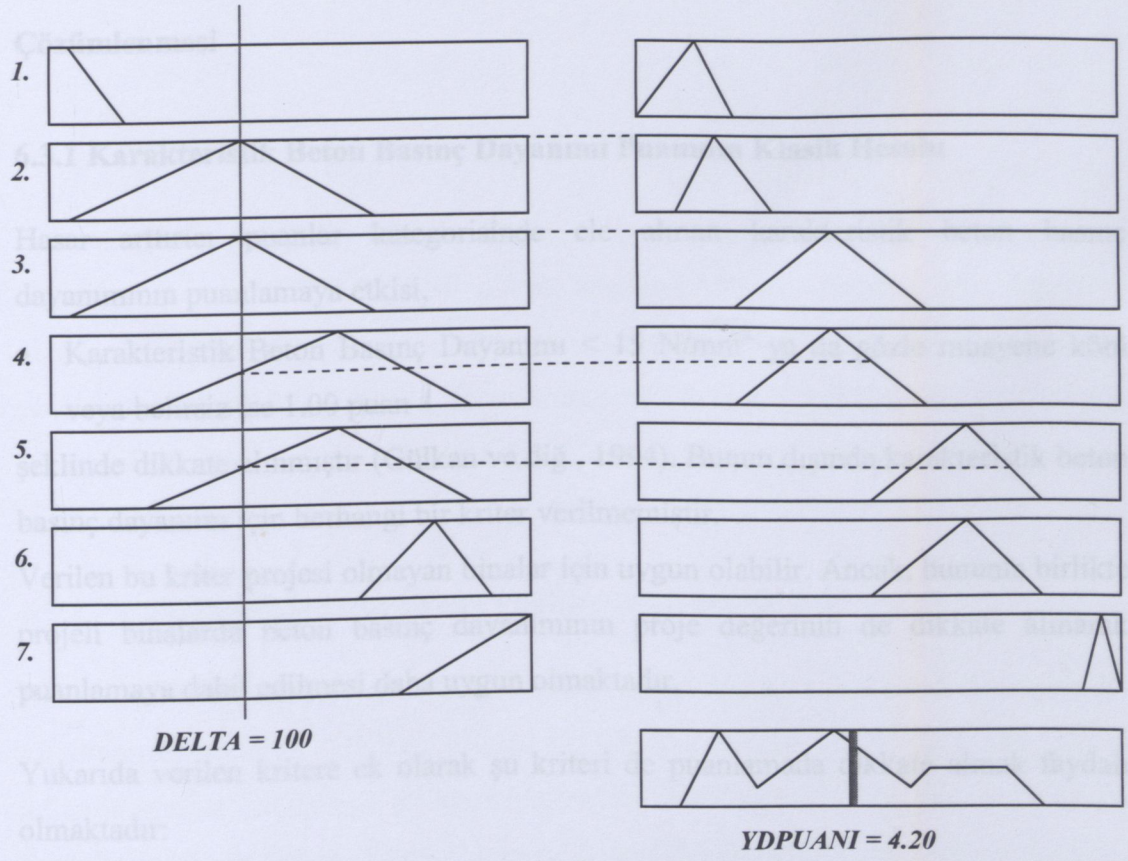
olduğuna göre bağlaç kullanılmayacaktır. Durulaştırma yöntemi olarak ağırlık merkezi yöntemi (centroid method) kullanılmıştır (Şekil 6.6).



Şekil 6.6 Bulanık Mantık Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı Çıkarımlarının Centroid Yöntemi ile Durulaştırılması

DELTA girdi değişkenine bir değer verildiğinde bu değer bazı kuralları tetiklemekte bazı kuralları ise tetiklememektedir. Tetiklenen kurallar, girdi değişkenlerinin üyelikleri oranında aynı kuraldaki çıktı değişkenlerini devreye sokmaktadır. Böylece her kural için elde edilen alanlar toplanarak kompleks bir şekil elde edilmektedir. Aslında çözüm kümesi bulunan bu şeklin tabanıdır. Fakat sonuçta tek bir değer elde edilmesi gerektiğinden bulunan bu bulanık çözüm kümesi durulaştırılmalıdır. Sonuçta elde edilen toplam şeklin ağırlık merkezi bulunmak suretiyle bir tek değer bulunarak durulaştırma işlemi yapılabilmektedir.

Şekil 6.7'de görüldüğü gibi, örnek olarak ele alınan DELTA=100 giriş değeri 2, 3, 4 ve 5 numaralı kuralları tetiklemektedir. Bu kurallardan elde edilen kompleks şekil, bulanık mantık uygulamalarında en yaygın olarak kullanılan centroid yöntemine göre durulaştırılarak YDPUANI'nın değeri 4.20 olarak elde edilmiştir.



Şekil 6.7 Verilen Belirli Bir *DELTA* Girdi Değeri için Durulaştırma Yöntemi Kullanılarak *YDPUANI* Çıktı Değerinin Elde Edilmesi

Benzer olarak, diğer bir DELTA giriş değerleri için YDPUANI çıkış değerleri bulunabilmektedir. Bulanık mantık ile elde edilen bazı sonuç değerler ve klasik olarak yerdeğiştirmeye karşılık gelen puan değerleri Tablo 6.1'de verilmektedir. Tablodan, bulanık teknik ile elde edilen değerlerin uygunluğu görülmektedir.

Tablo 6.1 Bazı δ/h Değerlerine Karşılık Gelen Bulanık Mantık ve Klasik Puan Değerleri

δ/h	***Bulanık Mantık Tekniği ile Elde Edilen Puan Değeri***	***Klasik Olarak Elde Edilen Puan Değeri***
15	*1.50*	*0.00*
25	*1.60*	*2.00*
35	*2.20*	*2.00*
45	*2.80*	*2.00*
50	*2.90*	*2.00*
100	*4.20*	*5.00*
125	*4.60*	*5.00*
150	*5.00*	*5.00*
175	*5.90*	*5.00*
200	*8.80*	*5.00*
220	*10.00*	*10.00*

6.3 Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Çözümlenmesi

6.3.1 Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Puanının Klasik Hesabı

Hasar arttırıcı puanlar kategorisinde ele alınan karakteristik beton basınç dayanımının puanlamaya etkisi,

- Karakteristik Beton Basınç Dayanımı < 15 N/mm^2 ya da gözle muayene kötü veya belirsiz ise 1.00 puan

şeklinde dikkate alınmıştır (Gülkan ve diğ., 1994). Bunun dışında karakteristik beton basınç dayanımı için herhangi bir kriter verilmemiştir.

Verilen bu kriter projesi olmayan binalar için uygun olabilir. Ancak, bununla birlikte projeli binalarda beton basınç dayanımının proje değerinin de dikkate alınarak puanlamaya dahil edilmesi daha uygun olmaktadır.

Yukarıda verilen kritere ek olarak şu kriteri de puanlamada dikkate almak faydalı olmaktadır:

- Yapılan Deneyler Sonucu Bulunan Karakteristik Beton Basınç Dayanımının, Proje Karakteristik Beton Basınç Dayanımının %90'ından düşüklüğü oranında 0 ile 1.00 aralığında puanlar almalıdır.

Bu durumda, Tablo 6.2'de gösterildiği şekilde klasik bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu tablodaki rakamlar, deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımına göre sağladığı oranı göstermektedir. Örneğin tablodaki 30 değerinin anlamı şudur: Binadan alınan numunelerden elde edilen karakteristik beton basınç dayanımı, proje karakteristik beton basınç dayanımının ancak %30'unu sağlamaktadır.

Tablo 6.2 Bulunan Karakteristik Beton Basınç Dayanımının Proje Karakteristik Beton Basınç Dayanımına Oranına Göre Sınıflandırma

Proje Değeri (%)		***Proje Değeri (%)***	***Puan***
	Karakteristik Beton Basınç Dayanımı ≤	*30*	*1.00*
30	*< Karakteristik Beton Basınç Dayanımı ≤*	*50*	*0.75*
50	*< Karakteristik Beton Basınç Dayanımı ≤*	*70*	*0.50*
70	*< Karakteristik Beton Basınç Dayanımı ≤*	*90*	*0.25*
90	*< Karakteristik Beton Basınç Dayanımı*		*0.00*

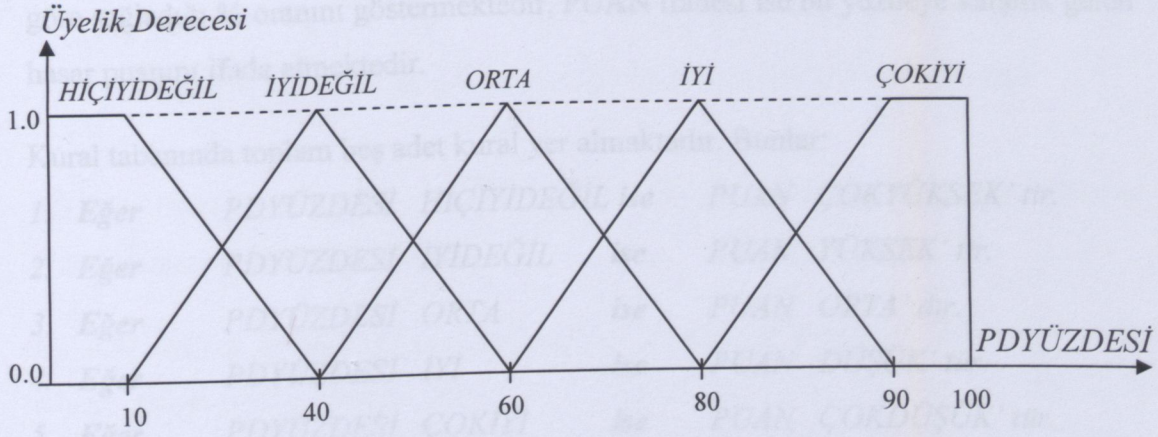
6.3.2 Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Puanının Bulanık Mantık Tekniği ile Hesabı

6.3.2.1 Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak *Proje Değeri Yüzdesi* alınmaktadır. Bu girdi değişkeni, kısaca, 'PDYÜZDESİ' olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise yapılan deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımının %90'ından düşüklüğü oranına karşılık gelen *puanlama* dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, 'PUAN' olarak isimlendirilmiştir.

6.3.2.2 Giriş Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

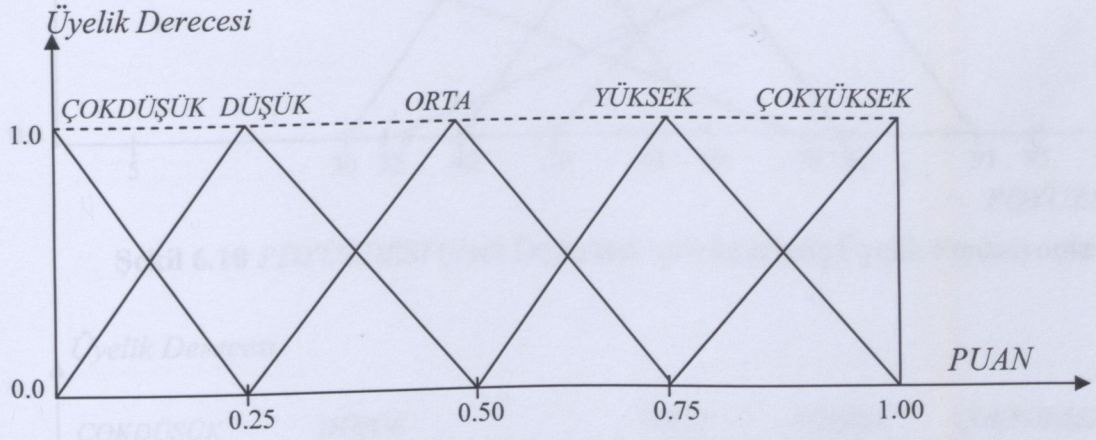
Bulanık girdi değişkeni olan 'PDYÜZDESİ' ne ait beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'HİÇİYİDEĞİL, İYİDEĞİL, ORTA, İYİ ve ÇOKİYİ' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden HİÇİYİDEĞİL ve ÇOKİYİ isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğerleri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 6.8).



Şekil 6.8 *PDYÜZDESİ* Girdi Değişkeni için Üyelik Fonksiyonları

6.3.2.3 Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

'PUAN' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'ÇOKDÜŞÜK, DÜŞÜK, ORTA, YÜKSEK, ÇOKYÜKSEK' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 6.9).



Şekil 6.9 *PUAN* Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonları

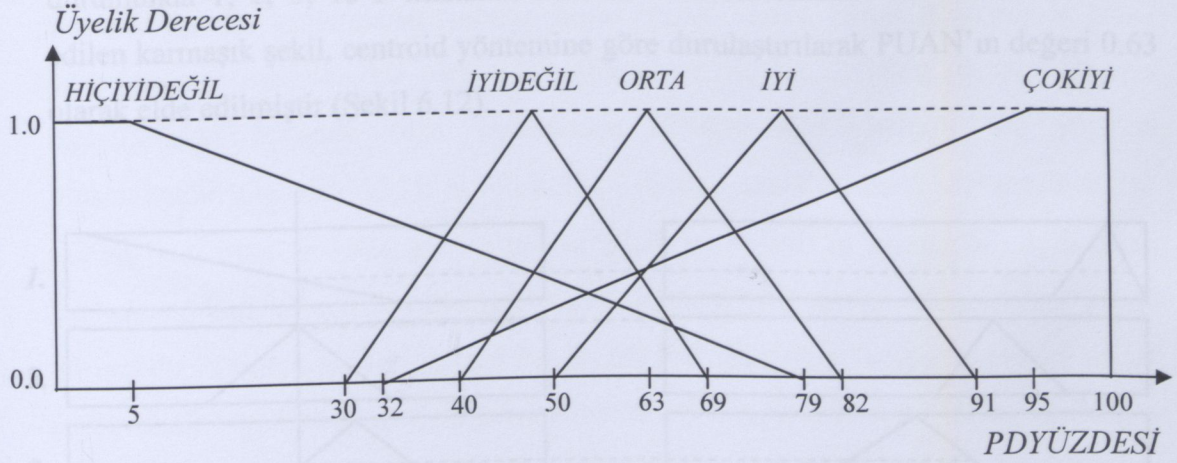
6.3.2.4 Kural Tabanı

Kural tabanında kullanılan PDYÜZDESİ ifadesi, deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımına göre sağladığı % oranını göstermektedir, PUAN ifadesi ise bu yüzdeye karşılık gelen hasar puanını ifade etmektedir.

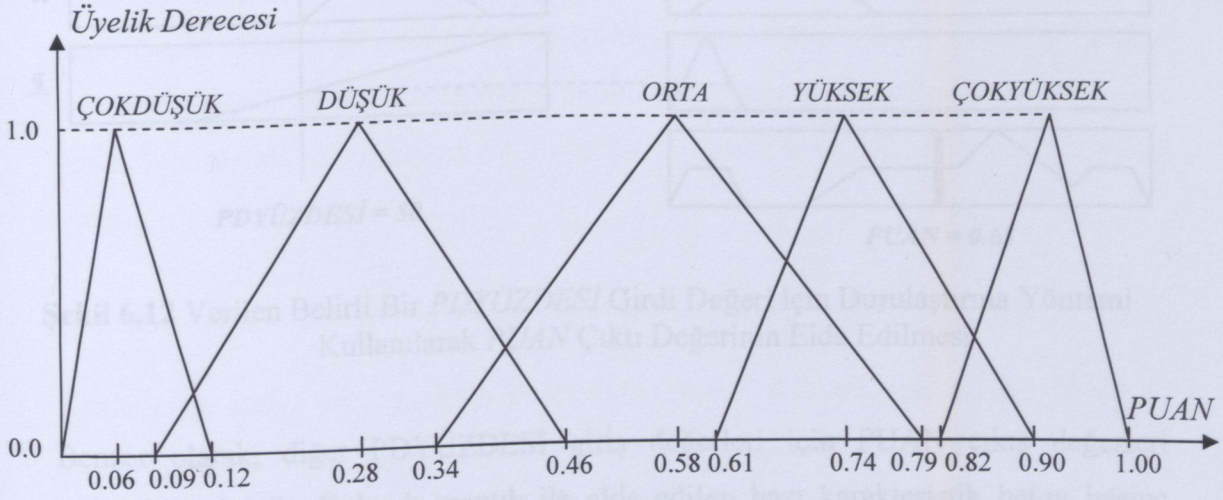
Kural tabanında toplam beş adet kural yer almaktadır. Bunlar:

1. ***Eğer*** *PDYÜZDESİ HİÇİYİDEĞİL* ***ise*** *PUAN ÇOKYÜKSEK' tir.*
2. ***Eğer*** *PDYÜZDESİ İYİDEĞİL* ***ise*** *PUAN YÜKSEK' tir.*
3. ***Eğer*** *PDYÜZDESİ ORTA* ***ise*** *PUAN ORTA' dır.*
4. ***Eğer*** *PDYÜZDESİ İYİ* ***ise*** *PUAN DÜŞÜK' tür.*
5. ***Eğer*** *PDYÜZDESİ ÇOKİYİ* ***ise*** *PUAN ÇOKDÜŞÜK' tür.*

Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonlarının eğitilmesi sonucunda eğitilmiş girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları Şekil 6.10 ve Şekil 6.11'de görüldüğü gibi değişmektedir.



Şekil 6.10 *PDYÜZDESİ* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



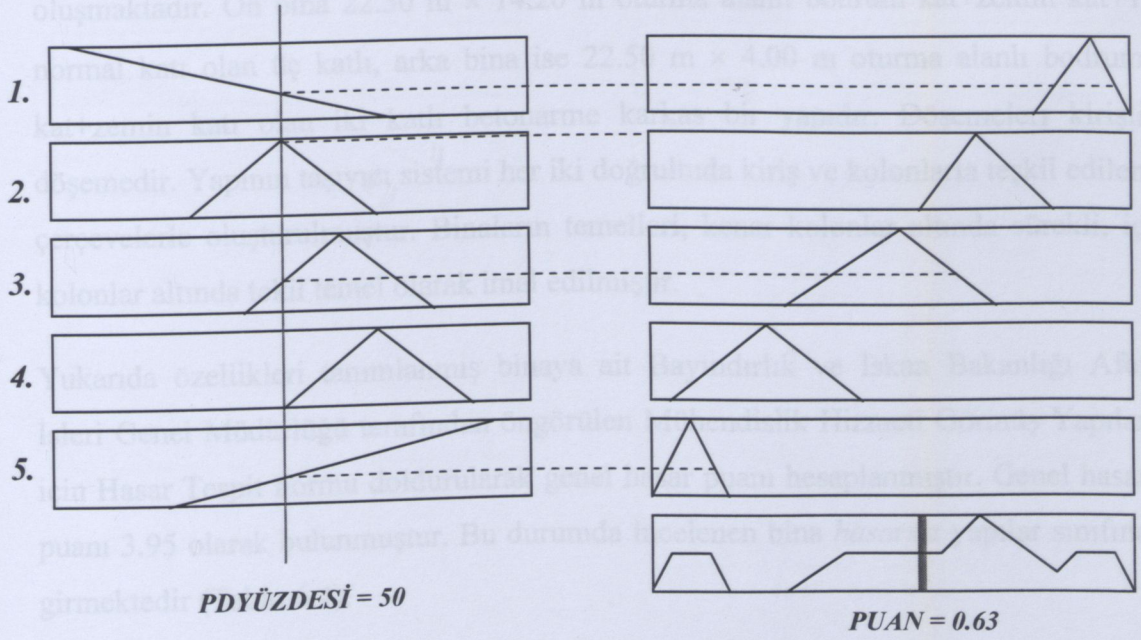
Şekil 6.11 PUAN Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

6.3.2.5 Bulanık Mantık Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Puanı Çıkarımlarının Durulaştırılması

Bulanık mantık karakteristik beton basınç dayanımı puanı kural tabanından elde edilen çıkarımların üyelik derecelerinin belirlenmesinde bulanık girdiler için Mamdani Yöntemi dikkate alınmıştır. Burada tek girdi olduğuna göre bağlaç kullanılmamıştır. Elde edilen çıkarımlar ağırlık merkezi yöntemi kullanılarak durulaştırılmıştır.

Bulanık mantık karakteristik beton basınç dayanımı puanının hesabında çıkarımların durulaştırılmasına örnek olarak belirli bir girdi değeri dikkate alınsın. Örneğin, PDYÜZDESİ'nin 50 giriş değeri için, başka bir deyişle, alınan elde edilen

karakteristik beton basınç dayanımının proje değerinin ancak %50'sini sağlaması durumunda 1, 2, 3, ve 5 numaralı kurallar tetiklenmektedir. Bu kurallardan elde edilen karmaşık şekil, centroid yöntemine göre durulaştırılarak PUAN'ın değeri 0.63 olarak elde edilmiştir (Şekil 6.12).



Şekil 6.12 Verilen Belirli Bir *PDYÜZDESİ* Girdi Değeri için Durulaştırma Yöntemi Kullanılarak *PUAN* Çıktı Değerinin Elde Edilmesi

Benzer olarak, diğer PDYÜZDESİ giriş değerleri için PUAN çıkış değerleri bulunabilmektedir. Bulanık mantık ile elde edilen bazı karakteristik beton basınç dayanımı puan değerleri Tablo 6.3'de verilmektedir.

Tablo 6.3 Bazı Karakteristik Beton Basınç Dayanımı Değerleri için Bulanık Mantık Tekniği ile Elde Edilen Puan Değerleri

Karakteristik Beton Basınç Dayanımının Proje Değeri Yüzdesi	***Bulanık Mantık Tekniği ile Elde Edilen Puan Değeri***
20	*1.00*
30	*0.91*
40	*0.75*
50	*0.63*
60	*0.50*
70	*0.41*
80	*0.28*
90	*0.11*
100	*0.00*

6.4 Uygulama

Bulanık mantık kullanılarak yapılan hasar tespiti, 1996 Dinar depreminde hasar görmüş olan bina türü bir yapıya uygulanmıştır. Afyon ili Dinar ilçesi, Hürriyet mahallesinde bulunan bina birbirinden dilatasyonla ayrılmış iki yapıdan oluşmaktadır. Ön bina 22.50 m × 14.20 m oturma alanlı bodrum kat+zemin kat+1 normal katı olan üç katlı, arka bina ise 22.50 m × 4.00 m oturma alanlı bodrum kat+zemin katı olan iki katlı betonarme karkas bir yapıdır. Döşemeleri kirişli döşemedir. Yapının taşıyıcı sistemi her iki doğrultuda kiriş ve kolonlarla teşkil edilen çerçevelerle oluşturulmuştur. Binaların temelleri, kenar kolonlar altında sürekli, iç kolonlar altında tekil temel olarak imal edilmiştir.

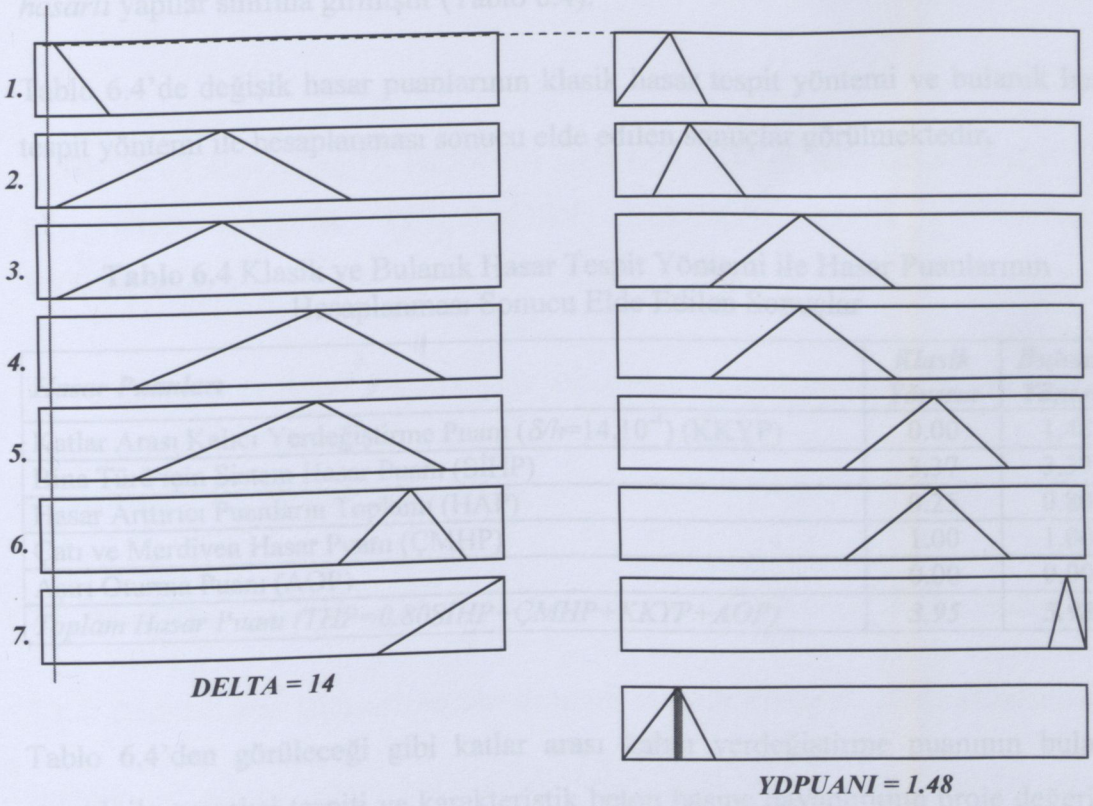
Yukarıda özellikleri tanımlanmış binaya ait Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü tarafından öngörülen Mühendislik Hizmeti Görmüş Yapılar için Hasar Tespit Formu doldurularak genel hasar puanı hesaplanmıştır. Genel hasar puanı 3.95 olarak bulunmuştur. Bu durumda incelenen bina *hasarsız* yapılar sınıfına girmektedir (Tablo 6.4).

a) *Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Bulanık Mantık ile Hesabı*

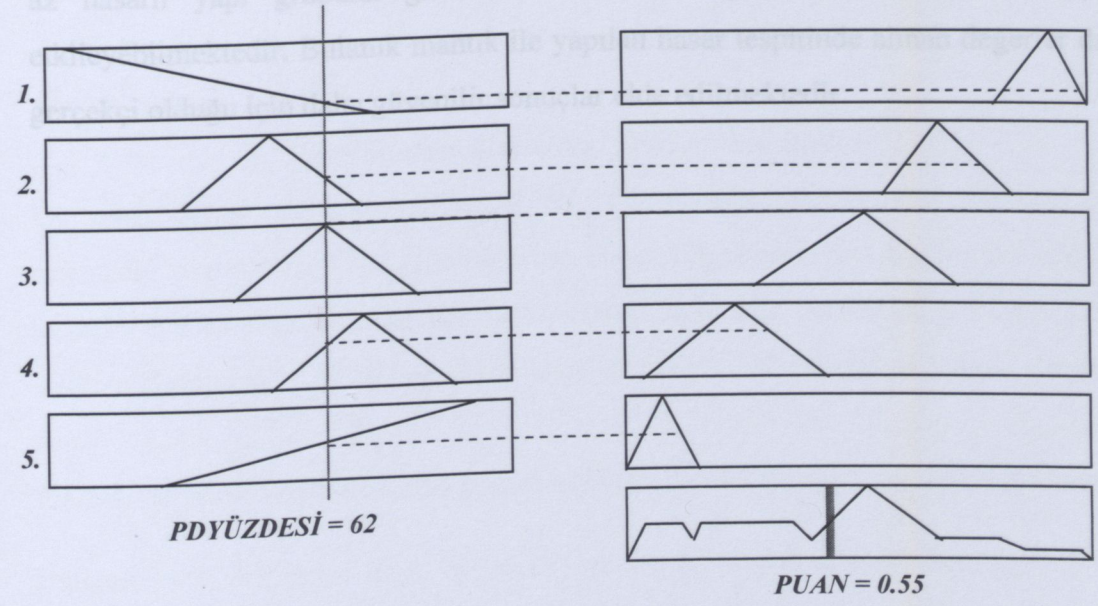
Katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanı, $\delta/h=14.10^{-4}$ durumu için klasik yöntemde 0.00 değerine karşılık gelirken bulanık mantık tekniği ile hesaplanan puan değeri 1.48'dir. Çünkü, klasik yöntemde $0\text{-}15.10^{-4}$ arasındaki tüm yerdeğiştirme durumları için hasar puanı 0.00 olarak alınmaktadır (Şekil 6.13).

b) *Karakteristik Beton Basınç Dayanımının Bulanık Mantık ile Hesabı*

Karakteristik beton basınç dayanımının 15.5 MPa olması durumu için klasik yöntemde 0.00 değeri alınmaktadır. Çünkü, klasik yöntemde $\sigma_c>15$ MPa için alınan hasar puanı 0.00'dır. Bu çalışmada önerildiği gibi proje dayanımı dikkate alındığında, proje dayanımı 25 MPa olmak üzere, elde edilen dayanım proje dayanımının ancak %62'sini sağlayacaktır. Bu durumda, bulanık mantık tekniği ile hesaplanan puan değeri 0.55 olmaktadır (Şekil 6.14). Karakteristik beton basınç dayanımının etkisi Hasar Arttırıcı Puan (HAP) içerisinde dikkate alınmıştır.



Şekil 6.13 $\delta/h=14.10^{-4}$ Girdi Değeri için Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanının Elde Edilmesi



Şekil 6.14 Karakteristik Beton Basınç Dayanımının Proje Dayanımının %62'sini Sağladığı Durum için Hasar Puanı Çıktı Değerinin Elde Edilmesi

Bunun sonucunda genel hasar puanı yaklaşık 6.00 olarak elde edilmiş ve bina *az hasarlı* yapılar sınıfına girmiştir (Tablo 6.4).

Tablo 6.4'de değişik hasar puanlarının klasik hasar tespit yöntemi ve bulanık hasar tespit yöntemi ile hesaplanması sonucu elde edilen sonuçlar görülmektedir.

Tablo 6.4 Klasik ve Bulanık Hasar Tespit Yöntemi ile Hasar Puanlarının Hesaplanması Sonucu Elde Edilen Sonuçlar

Hasar Puanları	***Klasik Yöntem***	***Bulanık Yöntem***
Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme Puanı (δ/h=14.10^{-4}) (KKYP)	0.00	1.48
Bina Türü için Sistem Hasar Puanı (SİHP)	3.37	3.37
Hasar Arttırıcı Puanların Toplamı (HAP)	0.25	0.80
Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP)	1.00	1.00
Aşırı Oturma Puanı (AOP)	0.00	0.00
Toplam Hasar Puanı (THP=0.80SİHP+ÇMHP+KKYP+AOP)	***3.95***	***5.98***

Tablo 6.4'den görüleceği gibi katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık ile gerçekçi tespiti ve karakteristik beton basınç dayanımının proje değerinin de dikkate alınması ile bulanık mantık tekniği ile çözüm yapılması sonucunda, klasik yöntem ile hasarsız yapı grubuna giren bir bina, bulanık mantık tekniği yöntemi ile az hasarlı yapı grubuna girmekte ve hasar tespit sonucunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Bulanık mantık ile yapılan hasar tespitinde alınan değerler daha gerçekçi olduğu için daha güvenilir sonuçlar elde edilmektedir.

7. MEVCUT BİNALARIN DEPREM GÜVENLİĞİNİN BELİRLENMESİNDE BULANIK MANTIK TEKNİĞİNİN SİSMİK İNDEKS YÖNTEMİNE UYGULANMASI

Bu bölümde, 5. bölümde klasik olarak anlatılmış olan ve mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılan Sismik İndeks Yönteminin bulanık mantık yöntemi ile çözümlenmesi yapılacaktır.

7.1. Bazı Düzensizlik Durumlarının Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

7.1.1. Bodrum Kat Düzensizliğinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

Bodrum kat alanının zemin kat alanına oranına bağlı olarak tanımlanan düzensizlik bulanık mantık ile göz önüne alınacaktır.

7.1.1.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak, bodrum kat alanının birinci kat alanına oranı alınmaktadır.

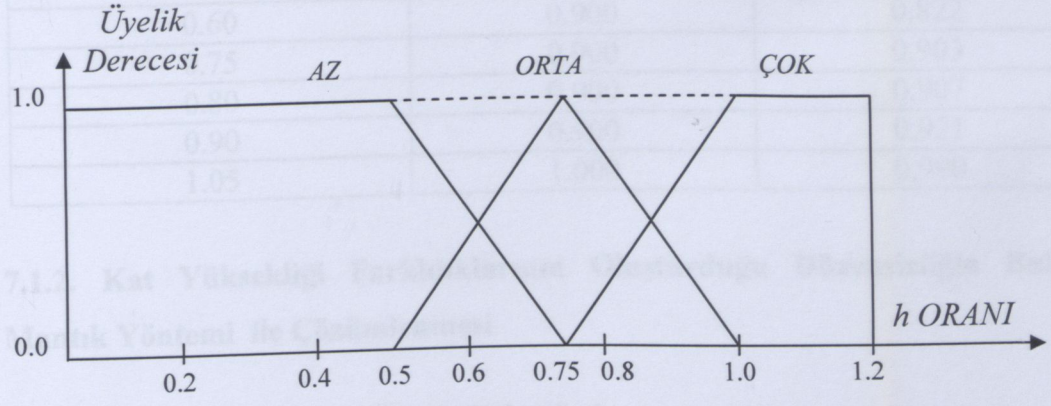
h=(Bodrum Kat Alanı)/(Birinci Kat Alanı)

Bu girdi değişkeni, kısaca, *'h ORANI'* olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise Yapı Özelliklerine Göre Değerlendirilen S_D İndeksindeki q_i değerlerinin hesabında, incelenen her bölümün inceleme derecesini gösteren indeks dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'G DEĞERİ'* olarak isimlendirilmiştir.

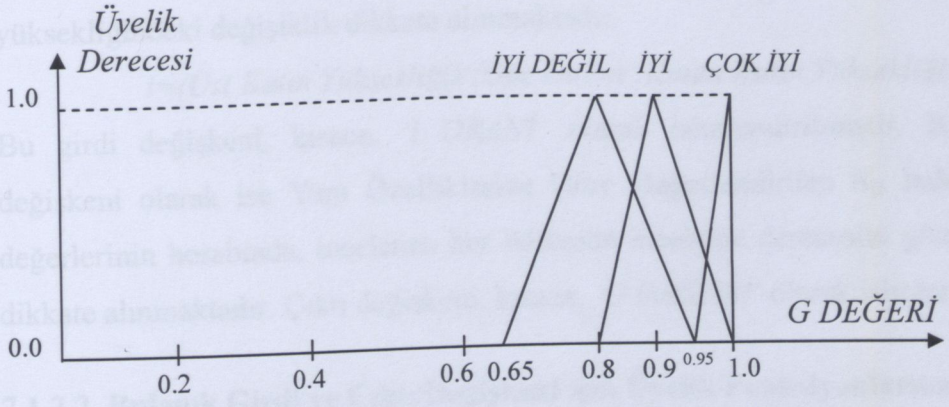
7.1.1.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan *'h ORANI'*na ait üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, *'AZ, ORTA, ÇOK'* olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden *AZ* ve *ÇOK* isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğeri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 7.1).

'G DEĞERİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, *'İYİ DEĞİL, İYİ, ÇOK İYİ'* olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.2).



Şekil 7.1 *'h ORANI'* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.2 *'G DEĞERİ'* Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

7.1.1.3. Kural Tabanı

Kural tabanında toplam beş adet kural yer almaktadır. Bunlar:

Eğer *h ORANI* *AZ* ***ise*** *G DEĞERİ* *İYİ DEĞİL*

Eğer *h ORANI* *ORTA* ***ise*** *G DEĞERİ* *İYİ*

Eğer *h ORANI* *ÇOK* ***ise*** *G DEĞERİ* *ÇOK İYİ*

Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonlarının eğitilmesi sonucunda eğitilmiş girdi ve çıktı üyelik fonksiyonları, sırasıyla, Şekil 7.1 ve Şekil 7.2'de görülmektedir. Bazı h oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri Tablo 7.1'de verilmiştir.

Tablo 7.1 Bodrum Kat Düzensizliği için Bazı *h* Oranı Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık G_i Değerleri

h Oranı Değerleri	*G_i Değerleri*	
	Klasik	***Bulanık***
0.50	0.800	0.801
0.60	0.900	0.822
0.75	0.900	0.903
0.80	0.900	0.907
0.90	0.900	0.921
1.05	1.000	0.990

7.1.2. Kat Yüksekliği Farklılıklarının Oluşturduğu Düzensizliğin Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

7.1.2.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak, göz önüne alınan kat üzerindeki katların kat yüksekliğindeki değişiklik dikkate alınmaktadır.

i=(Üst Katın Yüksekliği)/(Göz Önüne Alınan Katın Yüksekliği)

Bu girdi değişkeni, kısaca, *'i ORANI'* olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise Yapı Özelliklerine Göre Değerlendirilen S_D İndeksindeki q_i değerlerinin hesabında, incelenen her bölümün inceleme derecesini gösteren indeks dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'G DEĞERİ'* olarak isimlendirilmiştir.

7.1.2.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan *'i ORANI'*na ait üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'KÜÇÜK, ORTA, BÜYÜK' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden KÜÇÜK ve BÜYÜK isimli üyelik fonksiyonları için trapez, ORTA için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 7.3).

'G DEĞERİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'İYİ DEĞİL, İYİ, ÇOK İYİ' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.4).

7.1.2.3. Kural Tabanı

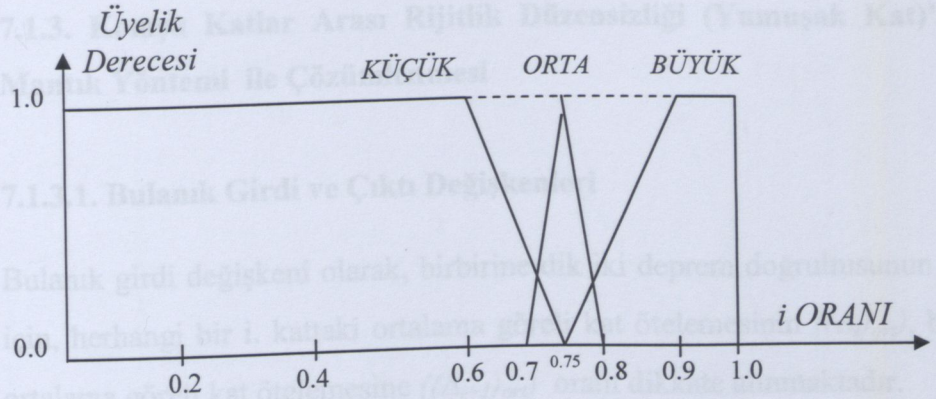
Kural tabanında toplam üç adet kural yer almaktadır. Bu kurallar dikkate alınarak üyelik fonksiyonlarının eğitilmesi sonucunda eğitilmiş girdi ve çıktı üyelik

fonksiyonları, sırasıyla, Şekil 7.3 ve Şekil 7.4'de görülmektedir. Bazı i oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri Tablo 7.2'de verilmiştir. Uygulanan bulanık kurallar şunlardır:

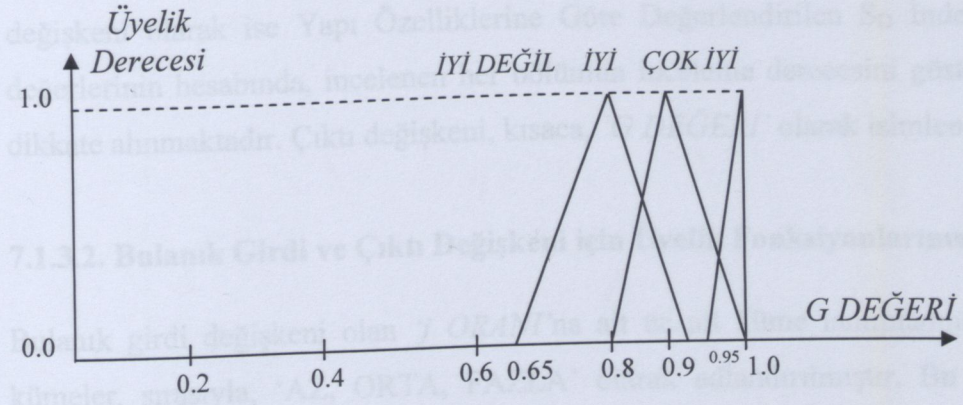
Eğer *i ORANI* *KÜÇÜK* ***ise*** *G DEĞERİ* *İYİ DEĞİL*

Eğer *i ORANI* *ORTA* ***ise*** *G DEĞERİ* *İYİ*

Eğer *i ORANI* *BÜYÜK* ***ise*** *G DEĞERİ* *ÇOK İYİ*



Şekil 7.3 *'i ORANI'* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.4 *'G DEĞERİ'* Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

Tablo 7.2 Farklı Kat Yükseklikleri Düzensizliği için Bazı *i* Oranı Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık G_i Değerleri

i Oranı Değerleri	*G_i Değerleri*	
	Klasik	*Bulanık*
0.50	0.800	0.801
0.60	0.800	0.801
0.75	0.900	0.903
0.77	0.900	0.906
0.82	1.000	0.987
0.90	1.000	0.990

7.1.3. Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat)'nin Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

7.1.3.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak, birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i. kattaki ortalama göreli kat ötelemesinin $((\Delta_i)_{ort})$, bir üst kattaki ortalama göreli kat ötelemesine $((\Delta_{i+1})_{ort})$ oranı dikkate alınmaktadır.

$$((\Delta_i)_{ort}=((\Delta_i)_{max}+(\Delta_i)_{min})/2) \qquad j = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort}$$

Bu girdi değişkeni, kısaca, *'j ORANI'* olarak isimlendirilmiştir. Bulanık çıktı değişkeni olarak ise Yapı Özelliklerine Göre Değerlendirilen S_D İndeksindeki q_i değerlerinin hesabında, incelenen her bölümün inceleme derecesini gösteren indeks dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'G DEĞERİ'* olarak isimlendirilmiştir.

7.1.3.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

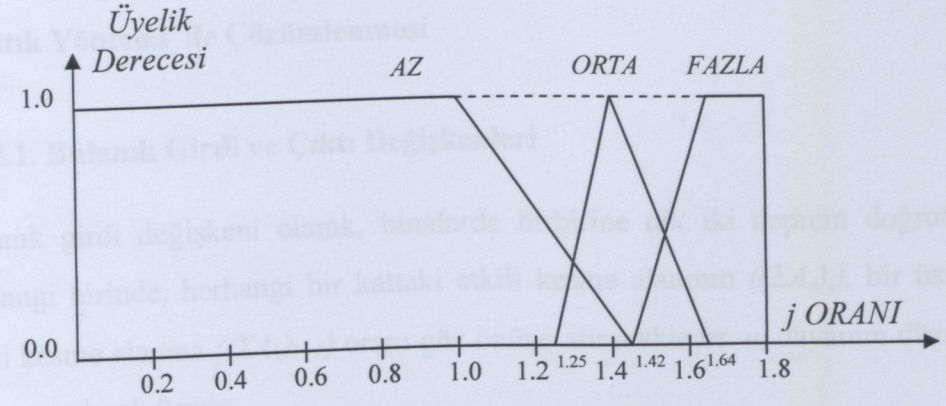
Bulanık girdi değişkeni olan *'j ORANI'*na ait üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'AZ, ORTA, FAZLA' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden AZ ve FAZLA isimli üyelik fonksiyonları için trapez, ORTA için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 7.5).

'G DEĞERİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'İYİ DEĞİL, İYİ, ÇOK İYİ' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.6).

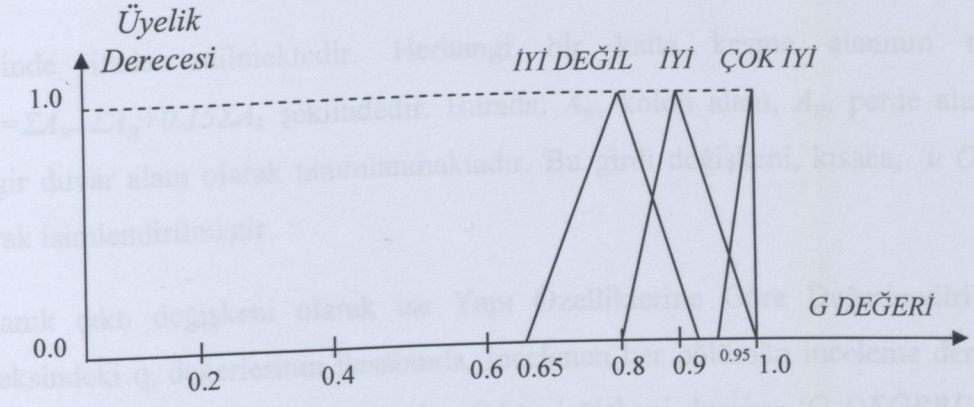
7.1.3.3. Kural Tabanı

Kural tabanında toplam üç adet kural yer almaktadır. Uygulanan bulanık kurallar şunlardır:

1. Eğer	*j ORANI*	*AZ*	***ise***	*G DEĞERİ*	*ÇOK İYİ*
2. Eğer	*j ORANI*	*ORTA*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ*
3. Eğer	*j ORANI*	*FAZLA*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ DEĞİL*



Şekil 7.5 '*j ORANI*' Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.6 '*G DEĞERİ*' Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

Tablo 7.3'de, bazı j oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri verilmiştir.

Tablo 7.3 Yumuşak Kat Düzensizliği için Bazı *j* Oranı Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık G_i Değerleri

j Oranı Değerleri	*G_i Değerleri*	
	Klasik	***Bulanık***
1.25	1.000	0.954
1.35	1.000	0.909
1.43	0.900	0.904
1.47	0.900	0.903
1.55	0.800	0.824
1.65	0.800	0.801

7.1.4. Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat)'nin Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

7.1.4.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak, binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanının $((\Sigma A_e)_i)$, bir üst kattaki etkili kesme alanına $((\Sigma A_e)_{i+1})$ oranı göz önüne alınmaktadır. *u*, dayanım düzensizliği katsayısı olmak üzere;

$$u=(\Sigma A_e)_i/(\Sigma A_e)_{i+1} \tag{7.1}$$

şeklinde ifade edilmektedir. Herhangi bir katta kesme alanının tanımı; $\Sigma A_e=\Sigma A_w+\Sigma A_g+0.15\Sigma A_k$ şeklindedir. Burada, A_w, kolon alanı, A_g, perde alanı, A_k, kargir duvar alanı olarak tanımlanmaktadır. Bu girdi değişkeni, kısaca, *'u ORANI'* olarak isimlendirilmiştir.

Bulanık çıktı değişkeni olarak ise Yapı Özelliklerine Göre Değerlendirilen S_D İndeksindeki q_i değerlerinin hesabında, incelenen her bölümün inceleme derecesini gösteren indeks dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'G DEĞERİ'* olarak isimlendirilmiştir.

7.1.4.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan *'u ORANI'*na ait üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'AZ, ORTA, ÇOK' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden AZ ve ÇOK isimli üyelik fonksiyonları için trapez, diğeri için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 7.7).

'G DEĞERİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'İYİ DEĞİL, İYİ, ÇOK İYİ' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.8).

7.1.4.3. Kural Tabanı

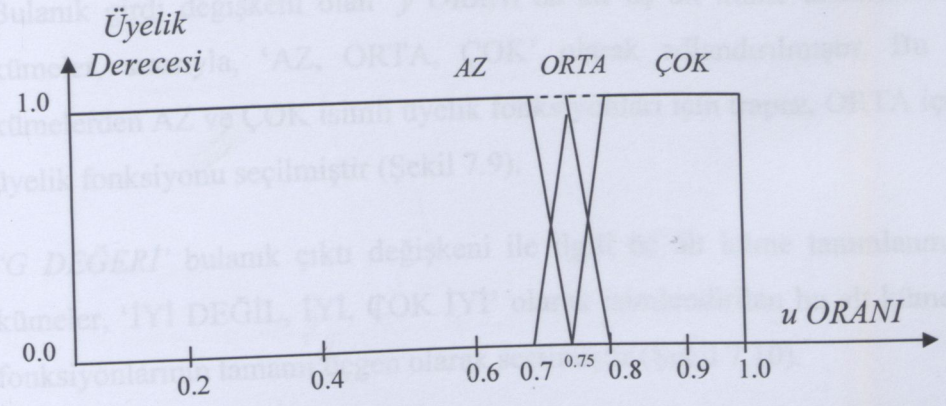
Kural tabanında toplam üç adet kural yer almaktadır. Uygulanan bulanık kurallar şunlardır:

1. Eğer	*u ORANI*	*AZ*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ DEĞİL*
2. Eğer	*u ORANI*	*ORTA*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ*
3. Eğer	*u ORANI*	*ÇOK*	***ise***	*G DEĞERİ*	*ÇOK İYİ*

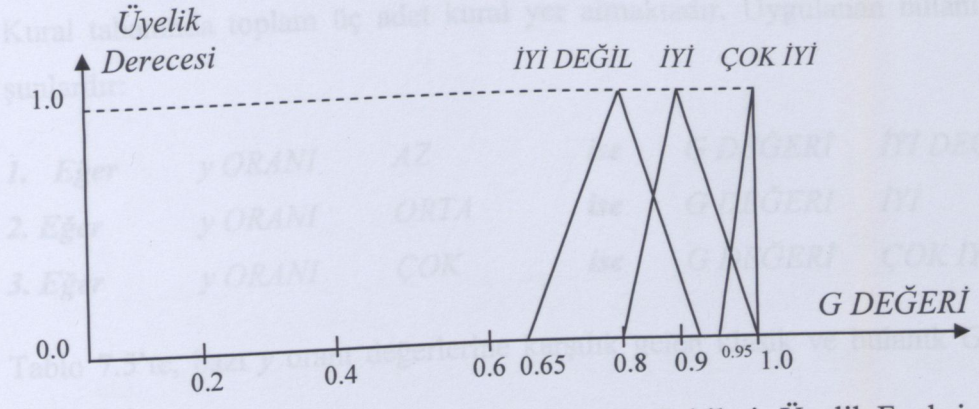
Tablo 7.4'te, bazı u oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri verilmiştir.

Tablo 7.4 Zayıf Kat Düzensizliği için Bazı u Oranı Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık G_i Değerleri

u Oranı Değerleri	***G_i Değerleri***	
	Klasik	***Bulanık***
0.50	0.800	0.801
0.65	0.800	0.801
0.74	0.900	0.877
0.77	0.900	0.912
0.80	1.000	0.939
0.90	1.000	0.993



Şekil 7.7 *'u ORANI'* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.8 *'G DEĞERİ'* Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

7.1.5. Çıkma Kat Düzensizliğinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Çözümlenmesi

7.1.5.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

Bulanık girdi değişkeni olarak, binada çıkma yapılmış katın altındaki kat alanının çıkma yapılmış kat alanına oranı göz önüne alınmaktadır. Bu oran şöyle ifade edilebilir:

y=(Çıkma Yapılmış Katın Altındaki Kat Alanı)/(Çıkma Yapılmış Kat Alanı) oranı

Bu girdi değişkeni, kısaca, *'y ORANI'* olarak isimlendirilmiştir.

Bulanık çıktı değişkeni olarak ise Yapı Özelliklerine Göre Değerlendirilen S_D İndeksindeki q_i değerlerinin hesabında, incelenen her bölümün inceleme derecesini gösteren indeks dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'G DEĞERİ'* olarak isimlendirilmiştir.

7.1.5.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkeni için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan *'y ORANI'*na ait üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, 'AZ, ORTA, ÇOK' olarak adlandırılmıştır. Bu bulanık alt kümelerden AZ ve ÇOK isimli üyelik fonksiyonları için trapez, ORTA için ise üçgen üyelik fonksiyonu seçilmiştir (Şekil 7.9).

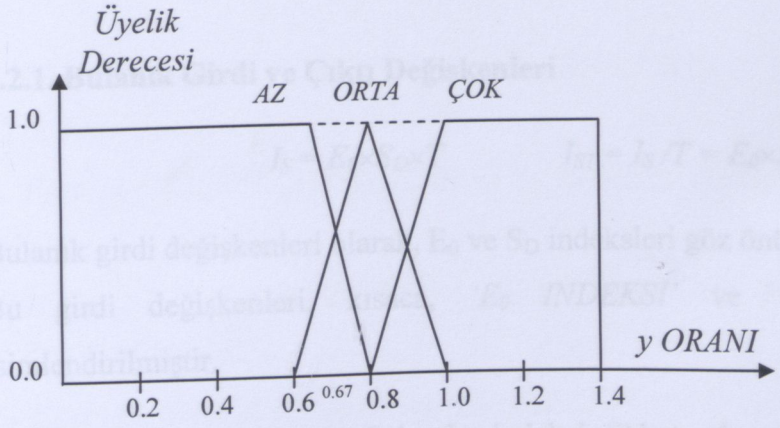
'G DEĞERİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili üç alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, 'İYİ DEĞİL, İYİ, ÇOK İYİ' olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.10).

7.1.5.3. Kural Tabanı

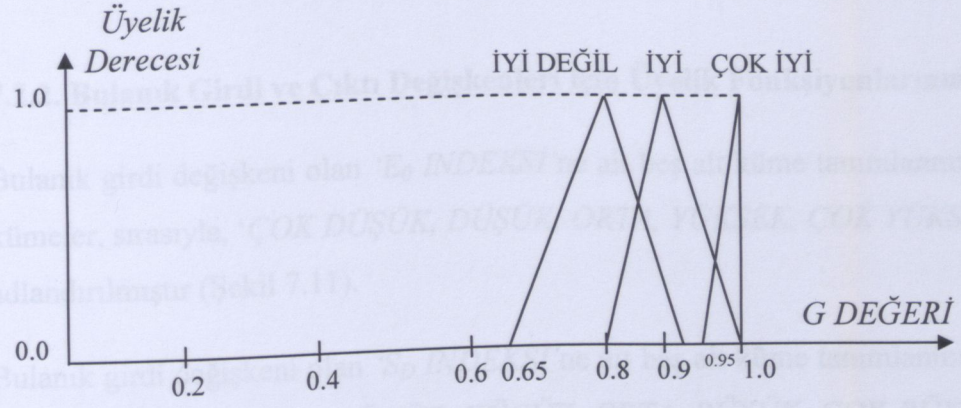
Kural tabanında toplam üç adet kural yer almaktadır. Uygulanan bulanık kurallar şunlardır:

1. Eğer	*y ORANI*	*AZ*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ DEĞİL*
2. Eğer	*y ORANI*	*ORTA*	***ise***	*G DEĞERİ*	*İYİ*
3. Eğer	*y ORANI*	*ÇOK*	***ise***	*G DEĞERİ*	*ÇOK İYİ*

Tablo 7.5'te, bazı y oranı değerlerine karşılık gelen klasik ve bulanık G_i değerleri verilmiştir.



Şekil 7.9 '*y ORANI*' Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.10 '*G DEĞERİ*' Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

Tablo 7.5 Çıkma Kat Düzensizliği için Bazı y Oranı Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık G_i Değerleri

***y* Oranı Değerleri**	***G_i* Değerleri**	
	Klasik	***Bulanık***
0.60	0.800	0.801
0.65	0.800	0.815
0.78	0.900	0.869
0.85	0.900	0.909
0.90	0.900	0.917
1.10	1.000	0.993

7.2. Deprem Performans İndeksinin Bulanık Mantık Yöntemi ile Hesabı

7.2.1. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri

$$I_S = E_0 \times S_D \times T \qquad I_{ST} = I_S / T = E_0 \times S_D$$

Bulanık girdi değişkenleri olarak, E_0 ve S_D indeksleri göz önüne alınmaktadır. Bu girdi değişkenleri, kısaca, *'E_0 INDEKSİ'* ve *'S_D INDEKSİ'* olarak isimlendirilmiştir.

Bulanık çıktı değişkeni olarak ise I_{ST} indeksi dikkate alınmaktadır. Çıktı değişkeni, kısaca, *'I_{ST} INDEKSİ'* olarak isimlendirilmiştir.

7.2.2. Bulanık Girdi ve Çıktı Değişkenleri için Üyelik Fonksiyonlarının Seçimi

Bulanık girdi değişkeni olan *'E_0 INDEKSİ'*ne ait beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, *'ÇOK DÜŞÜK, DÜŞÜK, ORTA, YÜKSEK, ÇOK YÜKSEK'* olarak adlandırılmıştır (Şekil 7.11).

Bulanık girdi değişkeni olan *'S_D INDEKSİ'*ne ait beş alt küme tanımlanmıştır. Bu alt kümeler, sırasıyla, *'ÇOK KÜÇÜK, KÜÇÜK, ORTA, BÜYÜK, ÇOK BÜYÜK'* olarak tanımlanmıştır. (Şekil 7.12).

'I_{ST} INDEKSİ' bulanık çıktı değişkeni ile ilgili beş alt küme tanımlanmıştır. *'KÖTÜ, KÖTÜ DEĞİL, İYİ, OLDUKÇA İYİ, ÇOK İYİ'* olarak isimlendirilen bu alt kümelerin üyelik fonksiyonlarının tamamı üçgen olarak seçilmiştir (Şekil 7.13).

7.2.3. Kural Tabanı

Kural tabanında toplam onsekiz adet kural yer almaktadır. Uygulanan bulanık kurallar şunlardır:

1. Eğer *E_0 İNDEKSİ ÇOK DÜŞÜK* ***ve*** *S_D İNDEKSİ ÇOK KÜÇÜK* ***ise*** *I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ*

2. Eğer *E_0 İNDEKSİ DÜŞÜK* ***ve*** *S_D İNDEKSİ KÜÇÜK* ***ise*** *I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ DEĞİL*

3. Eğer *E_0 İNDEKSİ ORTA* ***ve*** *S_D İNDEKSİ ORTA* ***ise*** *I_{ST} İNDEKSİ İYİ*

4. Eğer E_0 İNDEKSİ YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ OLDUKÇA İYİ

5. Eğer E_0 İNDEKSİ ÇOK YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ ÇOK İYİ

6. Eğer E_0 İNDEKSİ ÇOK DÜŞÜK **ve** S_D İNDEKSİ ORTA **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ DEĞİL

Eğer E_0 İNDEKSİ ÇOK DÜŞÜK **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ DEĞİL

7. Eğer E_0 İNDEKSİ ORTA **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ OLDUKÇA İYİ

8. Eğer E_0 İNDEKSİ ORTA **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK KÜÇÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ 9. DEĞİL

9. Eğer E_0 İNDEKSİ ORTA **ve** S_D İNDEKSİ BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ İYİ

10. Eğer E_0 İNDEKSİ ORTA **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK KÜÇÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ

11. Eğer E_0 İNDEKSİ ÇOK DÜŞÜK **ve** S_D İNDEKSİ ORTA **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ

12. Eğer E_0 İNDEKSİ ÇOK YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK KÜÇÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ İYİ

13. Eğer E_0 İNDEKSİ YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK KÜÇÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ KÖTÜ DEĞİL

14. Eğer E_0 İNDEKSİ YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ KÜÇÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ İYİ

15. Eğer E_0 İNDEKSİ YÜKSEK **ve** S_D İNDEKSİ ORTA **ise** I_{ST} İNDEKSİ OLDUKÇA İYİ

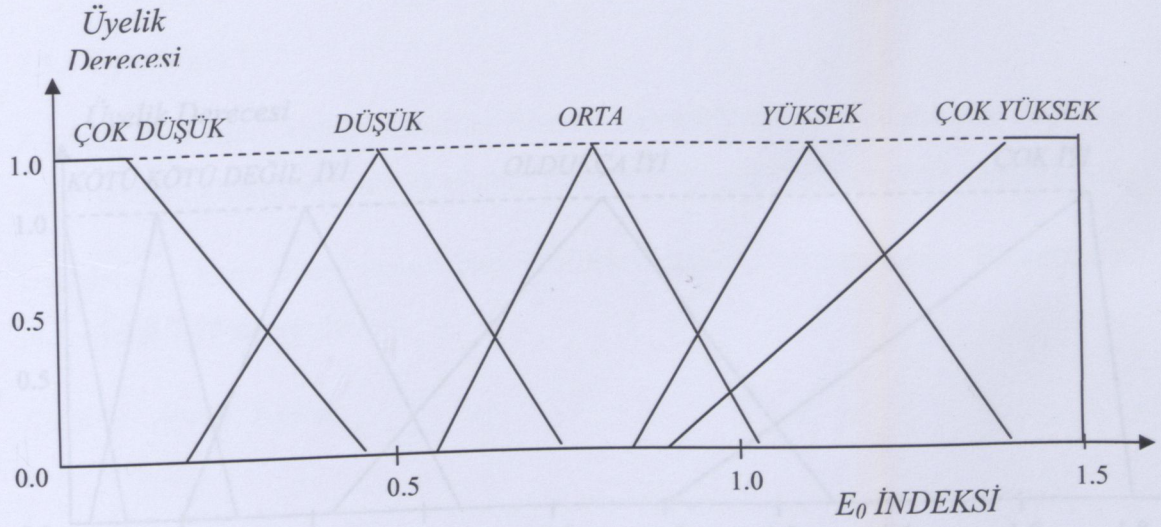
16. Eğer E_0 İNDEKSİ DÜŞÜK **ve** S_D İNDEKSİ BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ İYİ

17. Eğer E_0 İNDEKSİ DÜŞÜK **ve** S_D İNDEKSİ ÇOK BÜYÜK **ise** I_{ST} İNDEKSİ İYİ

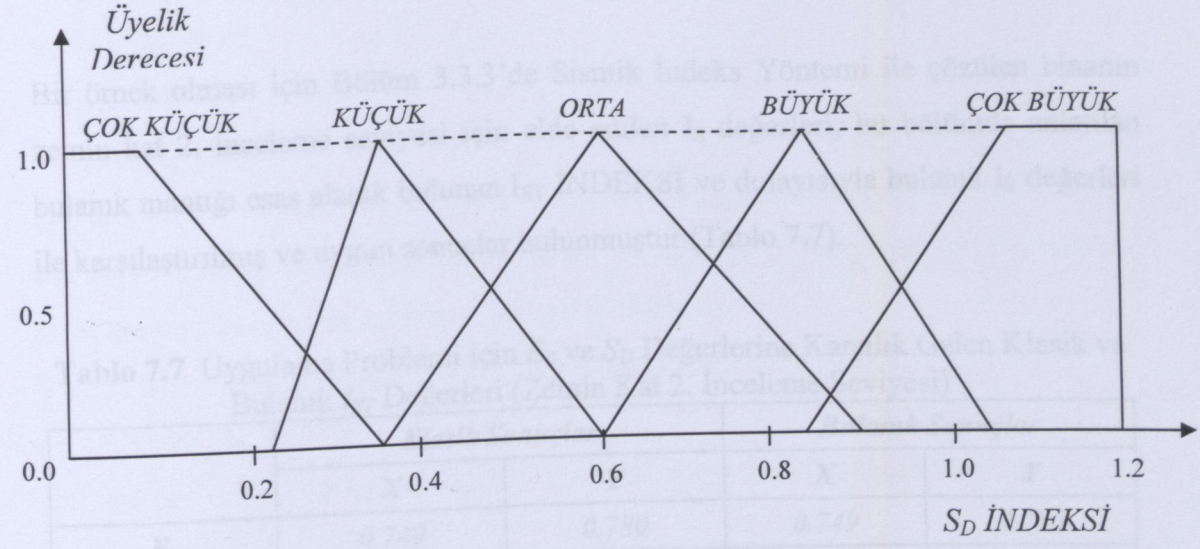
Tablo 7.6'da, klasik ve bulanık I_{ST} değerleri verilmektedir.

Tablo 7.6 Bazı E_0 ve S_D Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık I_{ST} Değerleri

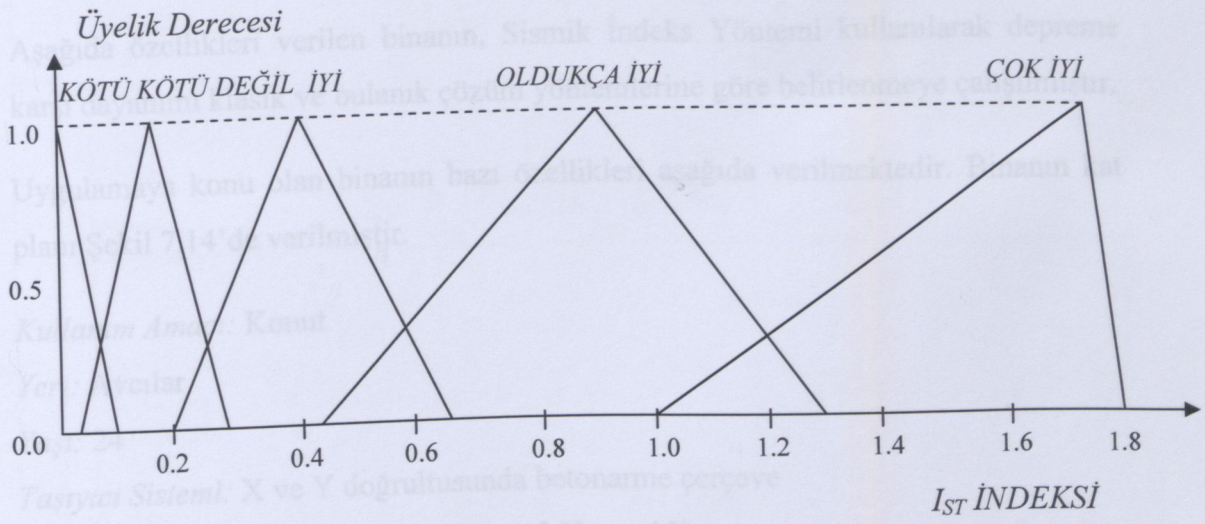
E_0 İndeksi	S_D İndeksi	I_{ST} Değerleri	
		Klasik	Bulanık
0.250	0.475	0.119	0.127
0.500	0.800	0.400	0.433
0.380	1.110	0.419	0.393
0.750	0.600	0.450	0.433
1.000	0.850	0.850	0.871
1.400	0.600	0.840	0.900



Şekil 7.11 *E_0 İNDEKSİ* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.12 *S_D İNDEKSİ* Girdi Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları



Şekil 7.13 *I_{ST} İNDEKSİ* Çıktı Değişkeni için Eğitilmiş Üyelik Fonksiyonları

Bir örnek olması için Bölüm 3.3.3'de Sismik İndeks Yöntemi ile çözülen binanın zemin kat 2. inceleme seviyesi için elde edilen I_S değerleri, bu bölümde anlatılan bulanık mantığı esas alarak bulunan I_{ST} İNDEKSİ ve dolayısıyla bulanık I_S değerleri ile karşılaştırılmış ve uygun sonuçlar bulunmuştur (Tablo 7.7).

Tablo 7.7 Uygulama Problemi için E_0 ve S_D Değerlerine Karşılık Gelen Klasik ve Bulanık I_{ST} Değerleri (Zemin Kat 2. İnceleme Seviyesi)

	Klasik Sonuçlar		***Bulanık Sonuçlar***	
	X	***Y***	***X***	***Y***
E_0	*0.749*	*0.780*	*0.749*	*0.780*
S_D	*1.000*	*1.000*	*1.000*	*1.000*
T	*0.900*	*0.900*	*0.900*	*0.900*
I_{ST}	-	-	*0.778*	*0.782*
I_S	*0.674*	*0.702*	*0.700*	*0.704*

7.3 Uygulamalar

7.3.1 Uygulama 1

Aşağıda özellikleri verilen binanın, Sismik İndeks Yöntemi kullanılarak depreme karşı dayanımı klasik ve bulanık çözüm yöntemlerine göre belirlenmeye çalışılmıştır.

Uygulamaya konu olan binanın bazı özellikleri aşağıda verilmektedir. Binanın kat planı Şekil 7.14'de verilmiştir.

Kullanım Amacı: Konut

Yeri: Avcılar

Yaşı: 24

Taşıyıcı Sistemi: X ve Y doğrultusunda betonarme çerçeve

Kat Adedi: Bodrum Kat + Zemin Kat + 3 Normal Kat

Kat Yüksekliği: Bodrum kat 2.90 m, 1.kat (zemin kat) 3.40 m, diğer katlar 2.90 m yüksekliğindedir.

Kirişler: 20/50

Malzeme Özellikleri:

Boyuna donatı olarak, kolonlarda ϕ16 çapında BÇI donatısı kullanılmıştır. Etriye olarak, kolonlarda ϕ8 çapında BÇI donatısı kullanılmıştır. Etriye aralığı 150 mm'dir. Hem boyuna, hem de enine donatıda f_{yd}=191 MPa'dır.

Yapıda BS14 betonu kullanılmıştır. Bu durumda f_{cd}=9 MPa'dır.

m^2 bina ağırlığı: 12.97 kN/m^2

Kat ağırlığı: 1.kat (zemin kat) ağırlığı 1700 kN, diğer kat ağırlıkları 2350 kN'dur.

Toplam bina ağırlığı: 8750 kN

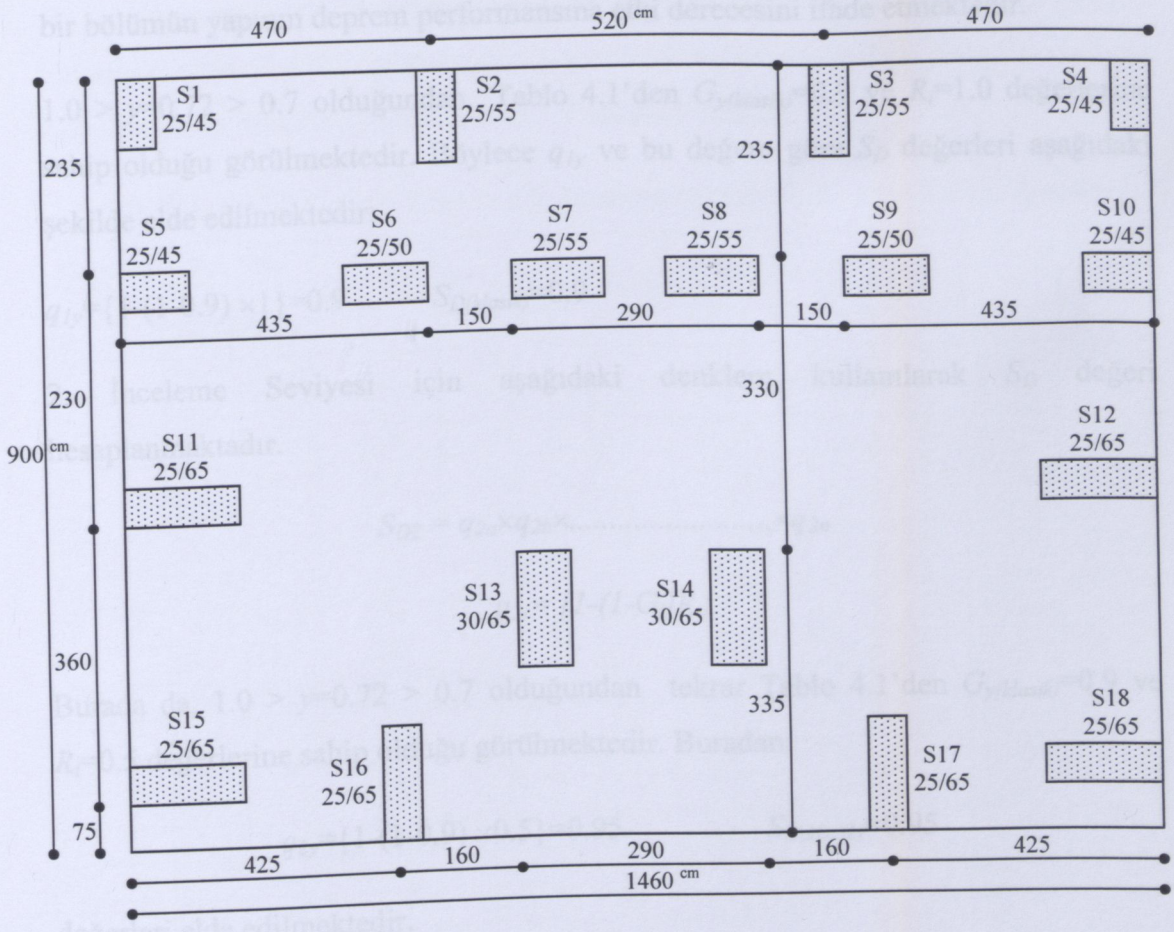
Zemin Durumu: Düzensiz zemin tabakalı

Binanın Bozulma Durumu: İyi değil

S_D ve I_S İndeksinin Klasik Olarak Hesabı

a) *S_D İndeksinin Klasik Olarak Hesabı*

Tasarım ve Boyutlama İndeksi S_D'nin hesabı, Japon Standardında öngörülen düzensizliklere ilave olarak bu çalışmada önerilen ve eklenen bazı düzensizlikleri de dikkate alarak Bölüm 4.3'te açıklanmıştı.



Şekil 7.14 Binanın Zemin Kat Planı

İncelenen binada, Tablo 4.1'de *y* maddesi olarak tanımlanan, bu doktora çalışmasında S_D'nin hesabında dikkate alınması gerekliliği önerilen ve ülkemizde yaygın olarak karşılaşılan çıkma kat düzensizliği bulunmaktadır. Aşağıda, çıkma kat düzensizliği, klasik ve bulanık mantık bağlamında dikkate alınarak S_D indeksi değerleri hesaplanmıştır (*Bak.* Böl.4.3 ve Böl.7.1.5).

y=(Çıkma Yapılmış Katın Altındaki Kat Alanı)/(Çıkma Yapılmış Kat Alanı)

$y=(14.60\times9.00)/(16.60\times11.00)=0.72$

1. İnceleme Seviyesi için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$S_{D1} = q_{1a}\times q_{1b}\times\ldots\ldots\ldots\ldots\times q_{1k}$$

$$q_{1i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$$

Burada, hatırlanacağı gibi G_i incelenen her bölümün inceleme derecesini, R_i ise her bir bölümün yapının deprem performansına etki derecesini ifade etmektedir.

$1.0 > y=0.72 > 0.7$ olduğundan Tablo 4.1'den $G_{y(klasik)}=0.9$ ve $R_i=1.0$ değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Böylece q_{1y} ve bu değere göre S_D değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$q_{1y}=\{1-(1-0.9)\times1\}=0.9$ $\quad S_{D(klasik)}=0.9$

2. İnceleme Seviyesi için aşağıdaki denklem kullanılarak S_D değeri hesaplanmaktadır.

$$S_{D2} = q_{2a}\times q_{2b}\times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{2n}$$

$$q_{2i}= \{1-(1-G_i)R_i\}$$

Burada da, $1.0 > y=0.72 > 0.7$ olduğundan tekrar Tablo 4.1'den $G_{y(klasik)}=0.9$ ve $R_i=0.5$ değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Buradan:

$q_{2y}=\{1-(1-0.9)\times0.5\}=0.95$ $\quad S_{D(klasik)}=0.95$

değerleri elde edilmektedir.

b) I_S İndeksinin Klasik Olarak Hesabı

1. İnceleme Seviyesi:

1. İnceleme seviyesine göre verilen denklemler yardımıyla Tablo 7.8 oluşturulmuştur.

Tablo 7.8 1.İnceleme Seviyesinde Elde Edilen Sonuçlar

Kat	X-Doğrultusu						Y -Doğrultusu					
	C_c	F_w	E_0	S_D	T	I_S	C_c	F_w	E_0	S_D	T	I_S
1.Kat (Zemin Kat)	0.1037	1.0	0.1037	0.90	0.90	0.0840	0.1007	1.0	0.1007	0.90	0.90	0.0815

Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0}=E_S\times Z\times G\times U=0.80\times1.0\times1.10\times1.0=0.88$

Sonuç olarak, X ve Y doğrultusundaki bütün katlar için; $I_S<I_{S0}$ olmaktadır. Bu durumda Sismik İndeks Yöntemine göre 1. inceleme seviyesi dikkate alındığında yapının davranışının belirsiz olduğu söylenebilir.

2. İnceleme Seviyesi:

Bu inceleme seviyesi sadece zemin kat için uygulanmıştır. Bu katın davranışı yapının tamamı için bir fikir verebilmektedir. 2. inceleme seviyesi için daha önceden verilmiş olan formüller dikkate alınarak Tablo 7.9 oluşturulmuştur.

Tablo 7.9 1. Kat (Zemin Kat) için 2. İnceleme Seviyesinde Elde Edilen Sonuçlar

Kolonlar	bxh (cm)		X		Y		F		Hasar Modu	
	X	Y	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	X	Y	X	Y
S1	45x25	25x45	31.6	90.6	56.8	128.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S2	50x25	25x50	32.7	99.6	65.3	143.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S3	50x25	25x50	32.7	99.6	65.3	143.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S4	45x25	25x45	31.6	90.6	56.8	128.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S5	25x45	45x25	58.8	121.3	32.7	107.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S6	25x50	50x25	67.5	140.5	33.8	117.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S7	25x55	55x25	90.2	161.4	41.0	128.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S8	25x55	55x25	90.2	161.4	41.0	128.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S9	25x50	50x25	67.5	140.5	33.8	117.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S10	25x45	45x25	58.8	121.3	32.7	107.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S11	25x65	65x25	119.1	198.6	45.8	144.9	3.1238	3.20	Eğilme	Eğilme
S12	25x65	65x25	119.1	198.6	45.8	144.9	3.1238	3.20	Eğilme	Eğilme
S13	65x30	30x65	65.3	155.7	141.5	235.3	3.20	3.1118	Eğilme	Eğilme
S14	65x30	30x65	65.3	155.7	141.5	235.3	3.20	3.1118	Eğilme	Eğilme
S15	25x65	65x25	117.4	199.8	45.1	146.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S16	65x25	25x65	44.3	121.5	115.1	201.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S17	65x25	25x65	44.3	121.5	115.1	201.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S18	25x65	65x25	117.4	199.8	45.1	146.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme

X-Doğrultusu için

Kolonların tamamı yüksek süneklikte olduğundan ve hepsinin eğilmeden dolayı hasar göreceği tahmin edildiğinden, bütün kolonları bir grupta toplayabiliriz.

1. Grup: 18 Kolonun Tamamı.

Hasar Modu: Eğilme

$F_1=3.1238$

$C_1=\Sigma Q_{mu}/W=125.38/875=0.1433$

$E_{01}=C_1\times F_1=0.1433\times 3.1238=0.448$

$E_0=[(n+1)/(n+i)] \times [E_{01}^2+E_{02}^2+E_{03}^2]^{0.5}$

$E_0=[(4+1)/(4+1)] \times [(0.448)^2]^{0.5}=0.448$

$I_S=E_0\times S_D\times T=0.448\times 0.95\times 0.90=0.383$

$C_T\times S_D > 0.3$ olması gerektiği koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakalım:

$$C_T = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3)$$

Toplam Dayanım Değeri: $C_T = 0.11$

$C_T \times S_D = 0.11 \times 0.95 = 0.1045 < 0.3$ olduğundan koşul sağlanmamaktadır.

Y-Doğrultusu için

Kolonların tamamı yüksek süneklikte olduğundan ve hepsinin eğilmeden dolayı hasar göreceği tahmin edildiğinden, bu doğrultuda da bütün kolonları bir grupta toplayabiliriz.

1. Grup: 18 Kolonun Tamamı.

Hasar Modu: Eğilme

$F = 3.1118$

$C_1 = Q_{mu}/W = 115.42/875 = 0.1319$

$E_{01} = C_1 \times F_1 = 0.1319 \times 3.1118 = 0.411$

$E_0 = [(4+1)/(4+1)] \times [(0.411)^2]^{0.5} = 0.411$

$I_S = E_0 \times S_D \times T = 0.411 \times 0.95 \times 0.90 = 0.3514$

$C_T \times S_D > 0.3$ olması gerektiği koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakalım:

$$C_T = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3)$$

Toplam Dayanım Değeri: $C_T = 0.10$

$C_T \times S_D = 0.10 \times 0.95 = 0.095 < 0.3$ olduğundan koşul sağlanmamaktadır.

Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0} = E_S \times Z \times G \times U = 0.60 \times 1.0 \times 1.10 \times 1.0 = 0.66$

Sonuç olarak, yukarıda görüldüğü gibi her iki doğrultuda da $I_S < I_{S0}$ olduğundan dolayı yapının deprem güvenliğinin yeterli olmadığı söylenebilmektedir.

S_D ve I_S İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı

a) *S_D İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı*

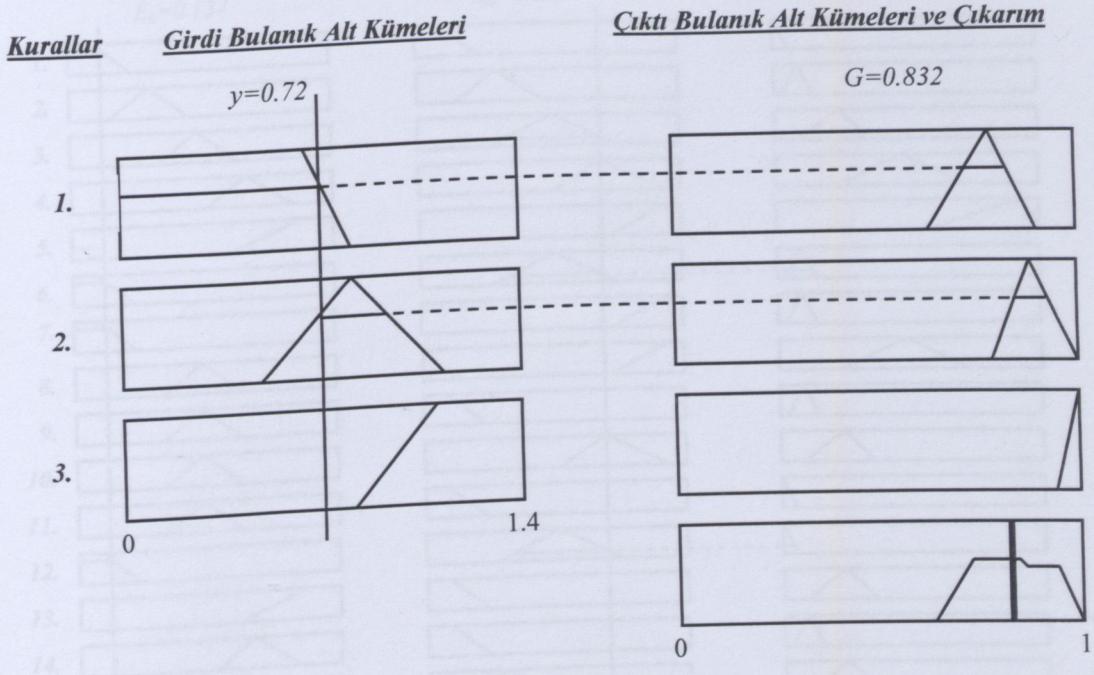
Önceki bölümde, çıkma kat düzensizliği oran değeri y=0.72 olarak hesaplanmıştı. y oran değeri bulanık girdi değeri olarak kullanılmak suretiyle G değeri elde edilebilir (Şekil 7.15). Burada yapılacak olan çıkma kat düzensizliği için bulanık mantık çözüm tekniğinin esasları Bölüm 7.1.5'te verilmişti.

1. İnceleme Seviyesi için, $G_{y(bulanık)}$=0.832 ve R_i=1.0'dir. Böylece q_{1y} ve bu değere göre S_D değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

q_{1y}={1-(1-0.832) ×1}=0.832 $S_{D(bulanık)}$= 0.832

2. İnceleme Seviyesi için, $G_{y(bulanık)}$=0.832 ve R_i=0.5 değerlerine sahiptir. Buradan:

q_{2y}={1-(1-0.832) ×0.5}=0.916 $S_{D(bulanık)}$=0.916 değerleri elde edilmektedir.



Şekil 7.15 Çıkma Kat Düzensizliği için Bulanık Çıkarım

b) I_S İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı

I_S'in bulanık mantık yöntemi ile hesabının esasları Bölüm 7.2'de verilmişti.

1. İnceleme Seviyesi:

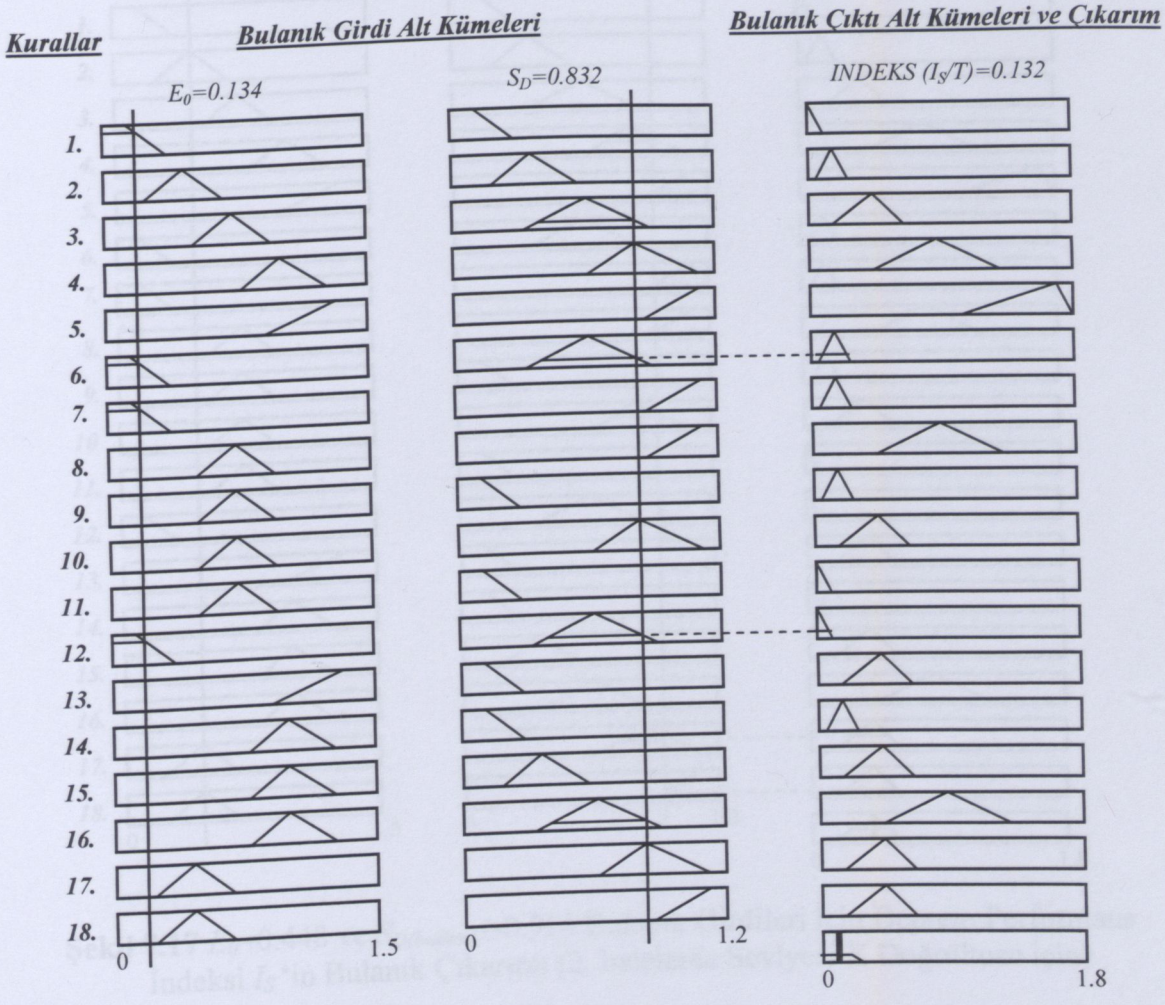
İncelenen binanın X ve Y doğrultusunda E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti.

X-Doğrultusu için: E_0=0.133, $S_{D(bulanık)}$= 0.832, T=0.90

Y-Doğrultusu için: E_0=0.134, $S_{D(bulanık)}$= 0.832, T=0.90

E_0 değerleri birbirine çok yakın olduğu için bulunacak olan bulanık I_S değeri hem X hem de Y doğrultusu için geçerli olacaktır. Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 ve $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.16). Buradan bulanık I_{ST} değeri elde edilecektir. T değeri yerine konulduğunda $I_{S(bulanık)}$ değeri elde edilecektir.

$$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T=0.132 \qquad I_{S(bulanık)}=0.1188$$



Şekil 7.16 E_0=0.134 ve $S_{D(bulanık)}$=0.832 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S'in Bulanık Çıkarımı (1. İnceleme Seviyesi X ve Y Doğrultusu için)

2. İnceleme Seviyesi:

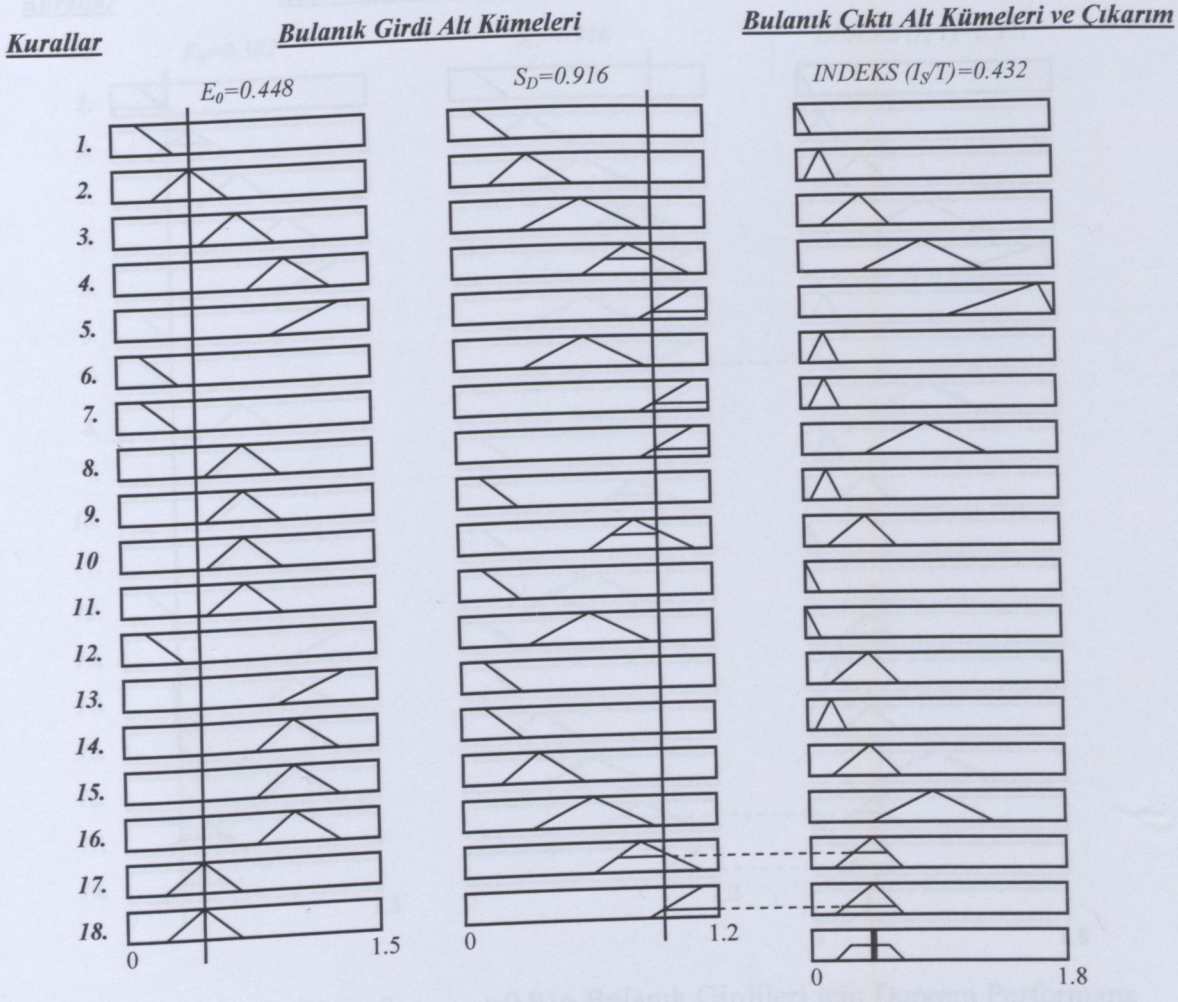
X-Doğrultusu için

İncelenen binanın X doğrultusunda 1. kat için E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti.

E_0 =0.448, $S_{D(bulanık)}$= 0.916, T=0.90

Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 ve $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.17).

$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T$=0.432 $I_{S(bulanık)}$=0.3888



Şekil 7.17 E_0=0.448 ve $S_{D(bulanık)}$=0.916 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S 'in Bulanık Çıkarımı (2. İnceleme Seviyesi X Doğrultusu için)

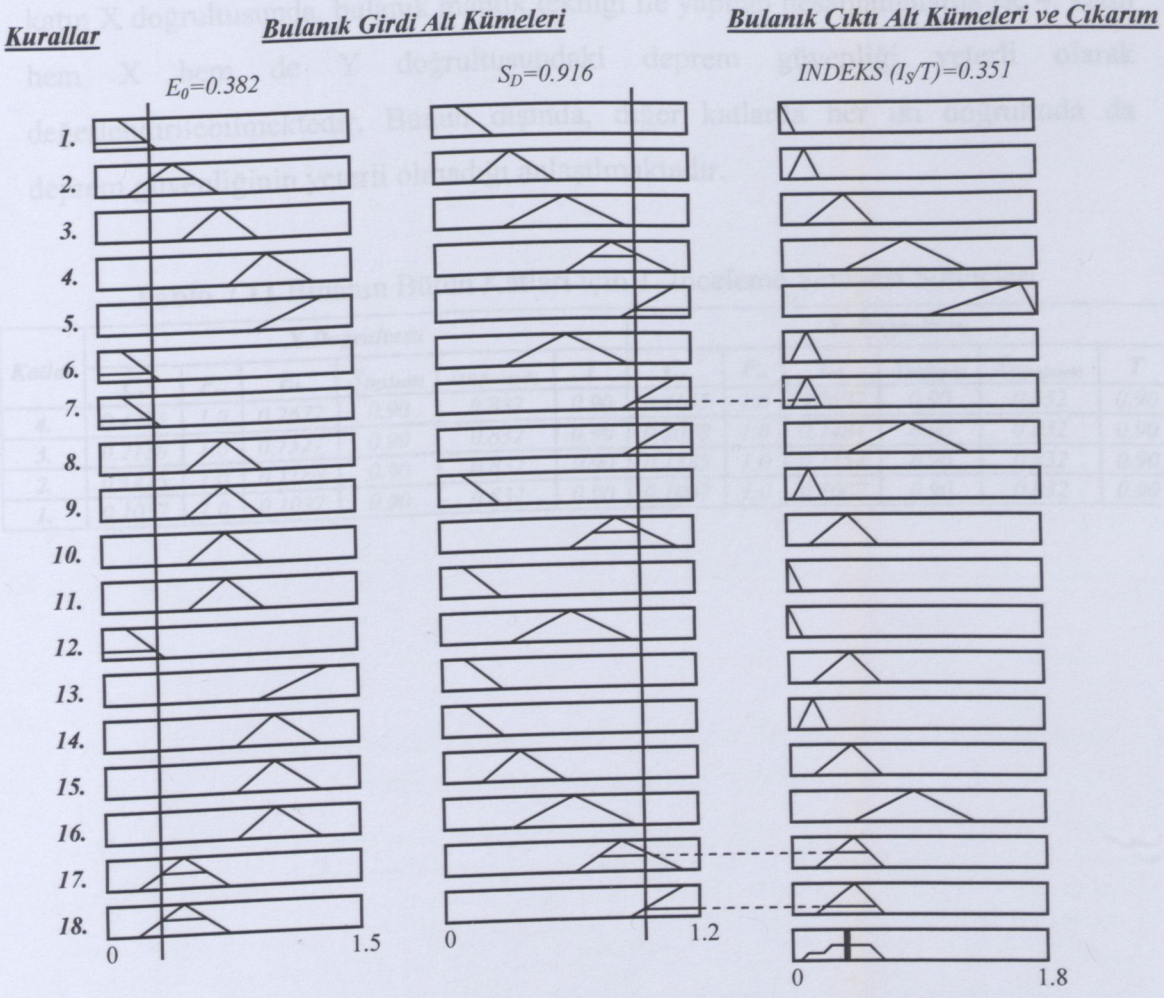
Y-Doğrultusu için

Binanın Y doğrultusunda 1. kat için E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti.

E_0 =0.382, $S_{D(bulanık)}$= 0.916, T=0.90

Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 ve $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.18).

$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T$=0.351 $I_{S(bulanık)}$=0.3159



Şekil 7.18 E_0=0.382 ve $S_{D(bulanık)}$=0.916 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S 'in Bulanık Çıkarımı (2. İnceleme Seviyesi Y Doğrultusu için)

Sonuç olarak bulunan klasik ve bulanık I_S değerleri Tablo 7.10'da verilmektedir.

Tablo 7.10 1. Kat (Zemin Kat) için Klasik ve Bulanık I_S Değerleri

Doğrultu	*İnceleme Seviyesi*			
	1.		*2.*	
	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$
X	*0.0840*	*0.0885*	*0.3830*	*0.3375*
Y	*0.0815*	*0.0880*	*0.3266*	*0.3159*

Binanın bütün katları için, her iki doğrultuda 1. ve 2. inceleme seviyelerinde yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 7.11-7.13 ve Şekil 7.19-7.24'de verilmektedir. Bu tablo ve şekillerden görüleceği gibi, klasik olarak yapılan hesaplamalarda sadece 4. katın X doğrultusunda, bulanık mantık tekniği ile yapılan hesaplamalarda ise 4. katın hem X hem de Y doğrultusundaki deprem güvenliği yeterli olarak değerlendirilebilmektedir. Bunun dışında, diğer katlarda her iki doğrultuda da deprem güvenliğinin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 7.11 Binanın Bütün Katları için 1. İnceleme Seviyesi Sonuçları

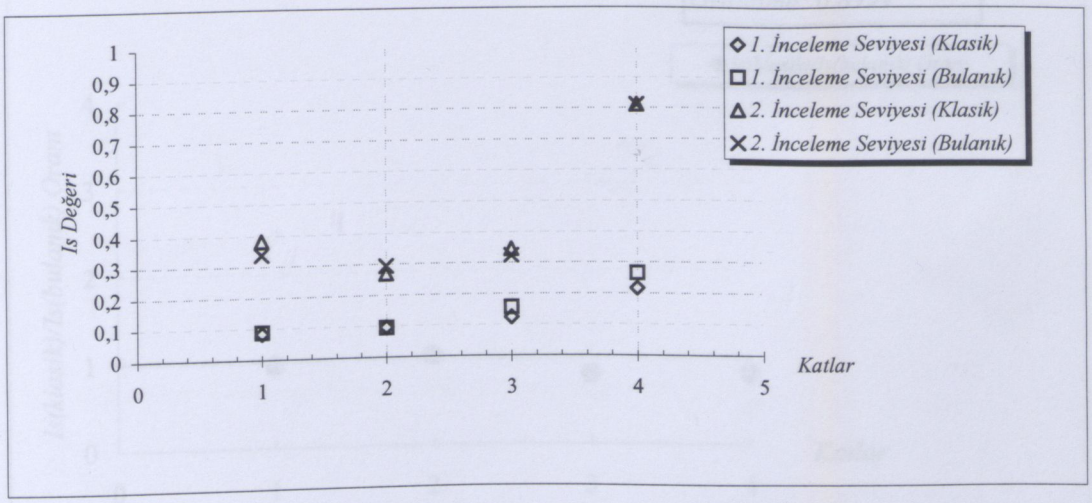
Katlar	*X-Doğrultusu*						*Y-Doğrultusu*					
	C_c	F_w	E_0	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	T	C_c	F_w	E_0	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	T
4.	*0.4275*	*1.0*	*0.2672*	*0.90*	*0.832*	*0.90*	*0.4155*	*1.0*	*0.2597*	*0.90*	*0.832*	*0.90*
3.	*0.2138*	*1.0*	*0.1527*	*0.90*	*0.832*	*0.90*	*0.2078*	*1.0*	*0.1484*	*0.90*	*0.832*	*0.90*
2.	*0.1425*	*1.0*	*0.1188*	*0.90*	*0.832*	*0.90*	*0.1385*	*1.0*	*0.1154*	*0.90*	*0.832*	*0.90*
1.	*0.1037*	*1.0*	*0.1037*	*0.90*	*0.832*	*0.90*	*0.1007*	*1.0*	*0.1007*	*0.90*	*0.832*	*0.90*

Tablo 7.12 Binanın Bütün Katları için 2. İnceleme Seviyesi Sonuçları

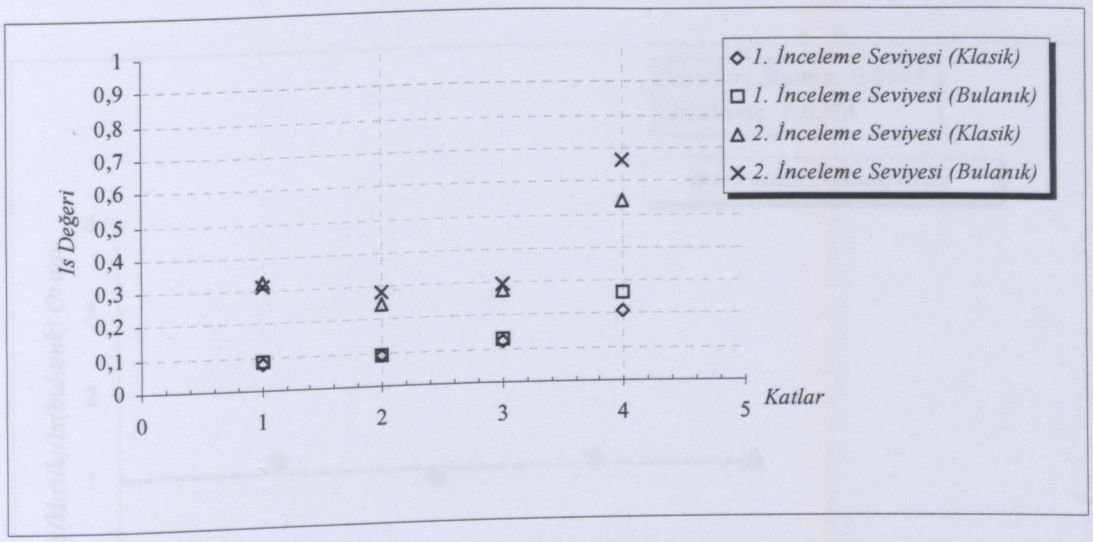
Katlar	Kolonlar	bxh (cm)		X		Y		F		Hasar Modu		E_0		S_D		T
		X	Y	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	X	Y	X	Y	X	Y	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	
4.	S1, S4	45x25	25x45	31.1	68.8	56.0	105.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.9478	0.6288	0.950	0.916	0.900
	S2, S3	50x25	25x50	32.7	74.0	65.5	121.7	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S5, S10	25x45	45x25	55.1	104.6	30.6	83.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S6, S9	25x50	50x25	64.5	121.2	32.3	90.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S7, S8	25x55	55x25	87.6	141.7	39.8	98.6	2.9899	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S11, S12	25x65	65x25	109.1	178.1	41.9	110.0	3.0335	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S13, S14	65x30	30x65	63.4	117.4	137.4	207.1	3.20	2.62	Eğilme	Eğilme					
	S15, S18	25x65	65x25	109.8	178.4	42.2	110.3	3.0101	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	65x25	25x65	42.6	89.2	110.8	178.8	3.20	2.98	Eğilme	Eğilme					
3.	S1, S4	45x25	25x45	39.5	78.9	71.0	115.8	3.20	3.03	Eğilme	Eğilme	0.4036	0.3201			
	S2, S3	50x25	25x50	42.1	85.6	84.2	134.0	3.20	2.91	Eğilme	Eğilme					
	S5, S10	25x45	45x25	69.9	114.8	38.8	93.1	3.0612	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S6, S9	25x50	50x25	83.0	133.0	41.5	101.1	2.9475	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S7, S8	25x55	55x25	109.9	154.6	49.9	110.6	2.1439	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S11, S12	25x65	65x25	139.7	193.0	53.7	123.8	1.9820	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S13, S14	65x30	30x65	80.7	135.1	174.9	225.9	3.1379	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S15, S18	25x65	65x25	140.7	193.6	54.1	124.3	1.9441	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	65x25	25x65	54.6	103.6	142.1	194.5	3.20	1.89	Eğilme	Eğilme					
2.	S, S4	45x25	25x45	44.3	89.0	79.7	126.6	3.20	2.90	Eğilme	Eğilme	0.3139	0.2871			
	S2, S3	50x25	25x50	44.3	97.1	79.7	146.4	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S5, S10	25x45	45x25	78.8	125.0	43.8	102.7	2.8968	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S6, S9	25x50	50x25	93.8	144.8	46.9	112.1	2.7583	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S, S8	25x55	55x25	123.1	167.5	55.9	122.6	1.8425	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S11, S12	25x65	65x25	158.5	207.9	61.0	137.5	1.40	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S13, S14	65x30	30x65	90.8	152.8	196.7	244.7	3.1597	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S15, S18	25x65	65x25	159.3	208.9	61.3	138.4	1.39	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	65x25	25x65	61.7	118.0	160.3	210.1	3.20	1.39	Eğilme	Eğilme					
1.	S1, S4	45x25	25x45	31.6	90.6	56.8	128.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.4476	0.3820			
	S2, S3	50x25	25x50	32.7	99.6	65.3	143.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S, S10	25x45	45x25	58.8	121.3	32.7	107.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S, S9	25x50	50x25	67.5	140.5	33.8	117.6	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S, S8	25x55	55x25	90.2	161.4	41.0	128.8	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S11, S12	25x65	65x25	119.1	198.6	45.8	144.9	3.1238	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S13, S14	65x30	30x65	65.3	155.7	141.5	235.3	3.20	3.1118	Eğilme	Eğilme					
	S15, S18	25x65	65x25	117.4	199.8	45.1	146.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	65x25	25x65	44.3	121.5	115.1	201.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					

Tablo 7.13 Binanın Her İki Doğrultusu için 1. ve 2. İnceleme Seviyesinde Elde Edilen $I_{S(klasik)}$ ve $I_{S(bulanık)}$ Değerleri

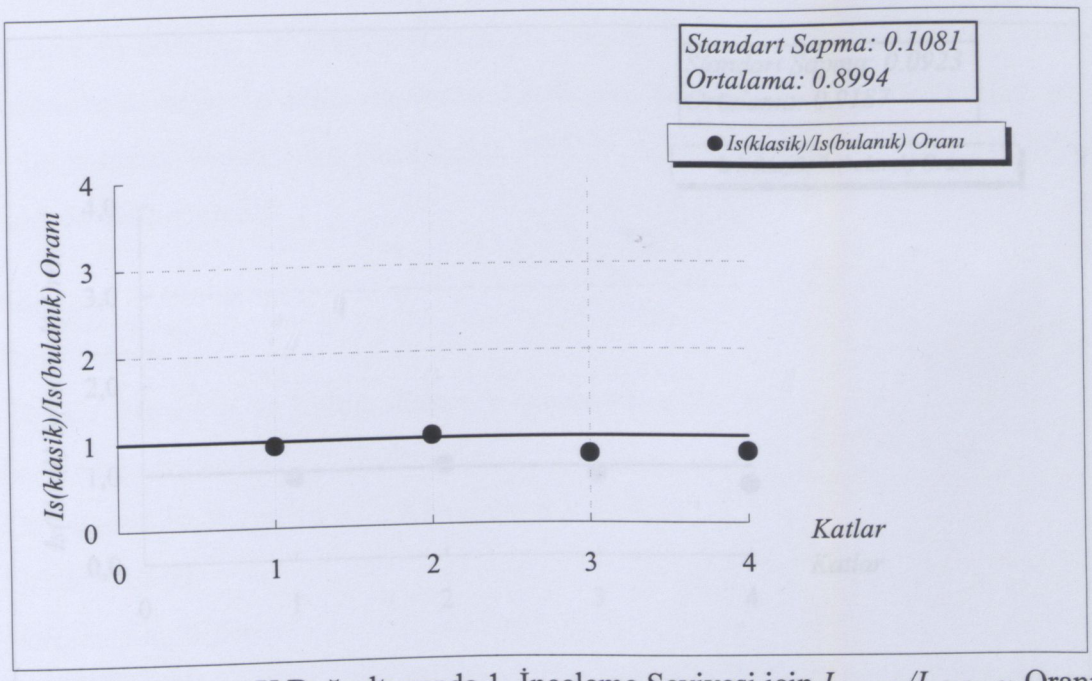
Katlar	Doğrultu	İnceleme Seviyesi					
		1.			2.		
		$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}/I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}/I_{S(bulanık)}$
4.	X	0.2164	0.2637	0.8206	0.8104	0.8115	0.9986
	Y	0.2103	0.2628	0.8002	0.5376	0.6615	0.8127
3.	X	0.1236	0.1557	0.8000	0.3451	0.3240	1.0651
	Y	0.1202	0.1305	0.9211	0.2737	0.2945	0.9294
2.	X	0.0962	0.0936	1.0278	0.2684	0.2940	0.9129
	Y	0.0934	0.0909	1.0275	0.2454	0.2816	0.8714
1.	X	0.0840	0.0885	0.9492	0.3827	0.3375	1.1339
	Y	0.0815	0.0880	0.9261	0.3266	0.3159	1.0339



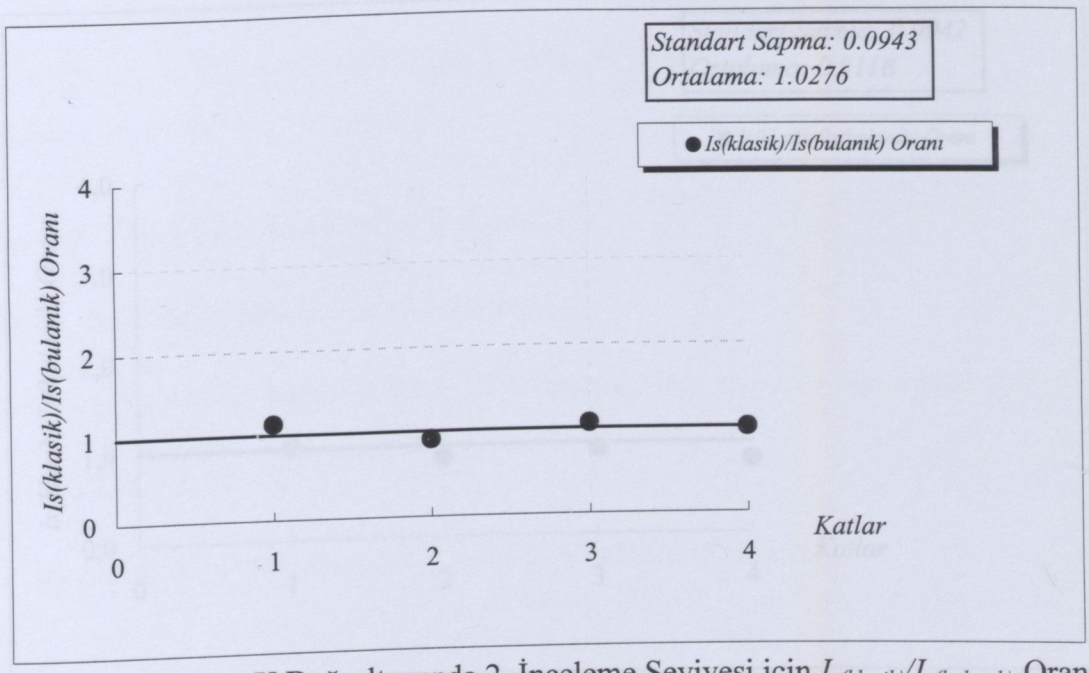
Şekil 7.19 Binanın X Doğrultusunda 1. ve 2. İnceleme Seviyesi Klasik ve Bulanık Sonuçlarının Grafik Gösterimi



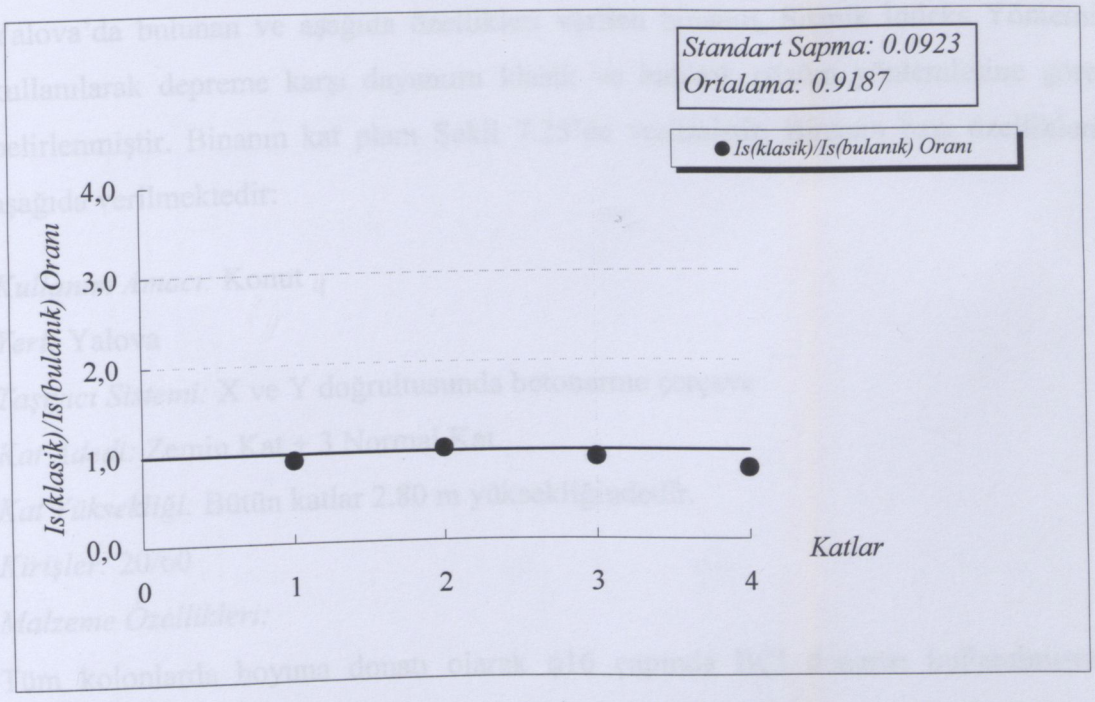
Şekil 7.20 Binanın Y Doğrultusunda 1. ve 2. İnceleme Seviyesi Klasik ve Bulanık Sonuçlarının Grafik Gösterimi



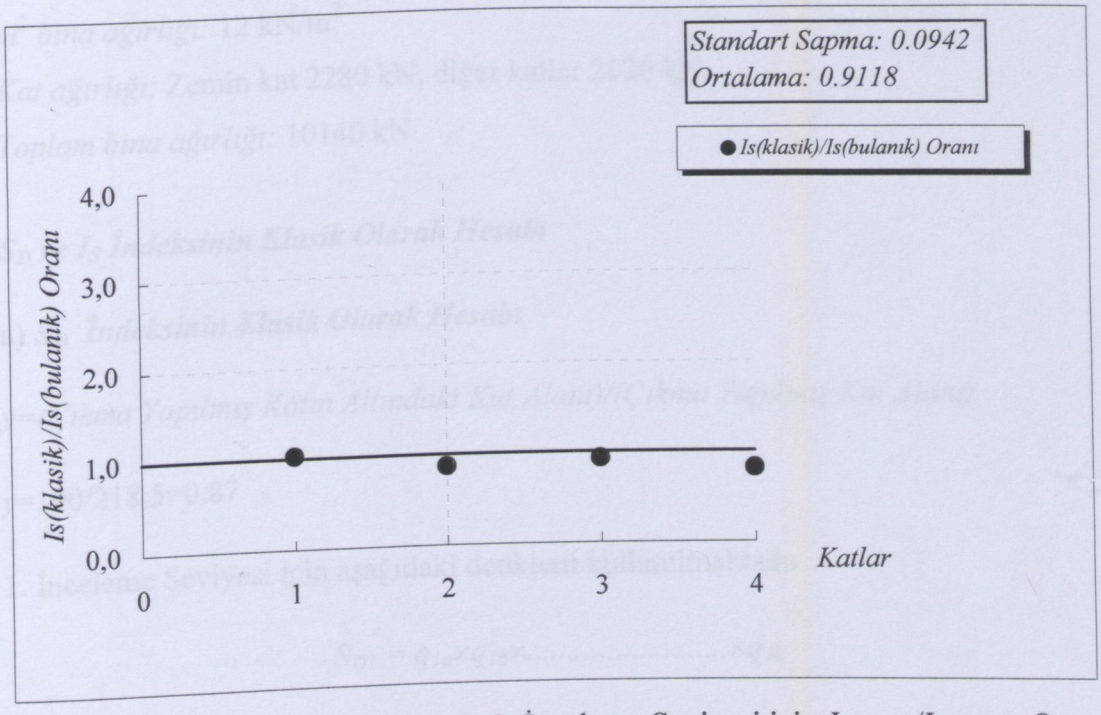
Şekil 7.21 Binanın X Doğrultusunda 1. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.22 Binanın X Doğrultusunda 2. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.23 Binanın Y Doğrultusunda 1. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.24 Binanın Y Doğrultusunda 2. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi

7.3.2 Uygulama 2

Yalova'da bulunan ve aşağıda özellikleri verilen binanın, Sismik İndeks Yöntemi kullanılarak depreme karşı dayanımı klasik ve bulanık çözüm yöntemlerine göre belirlenmiştir. Binanın kat planı Şekil 7.25'de verilmiştir. Binanın bazı özellikleri aşağıda verilmektedir:

Kullanım Amacı: Konut

Yeri: Yalova

Taşıyıcı Sistemi: X ve Y doğrultusunda betonarme çerçeve

Kat Adedi: Zemin Kat + 3 Normal Kat

Kat Yüksekliği: Bütün katlar 2.80 m yüksekliğindedir.

Kirişler: 20/60

Malzeme Özellikleri:

Tüm kolonlarda boyuna donatı olarak ϕ16 çapında BÇI donatısı kullanılmıştır. Etriye olarak kolonlarda ϕ8/200 çap ve aralığına sahip BÇI donatısı kullanılmıştır. Hem boyuna, hem de enine donatıda f_{yd}=191 MPa'dır.

Yapıda BS14 betonu kullanılmıştır. Bu durumda f_{cd}=9 MPa olarak alınmaktadır.

m^2 bina ağırlığı: 12 kN/m^2

Kat ağırlığı: Zemin kat 2280 kN, diğer katlar 2620 kN.

Toplam bina ağırlığı: 10140 kN

S_D ve I_S İndeksinin Klasik Olarak Hesabı

a) *S_D İndeksinin Klasik Olarak Hesabı*

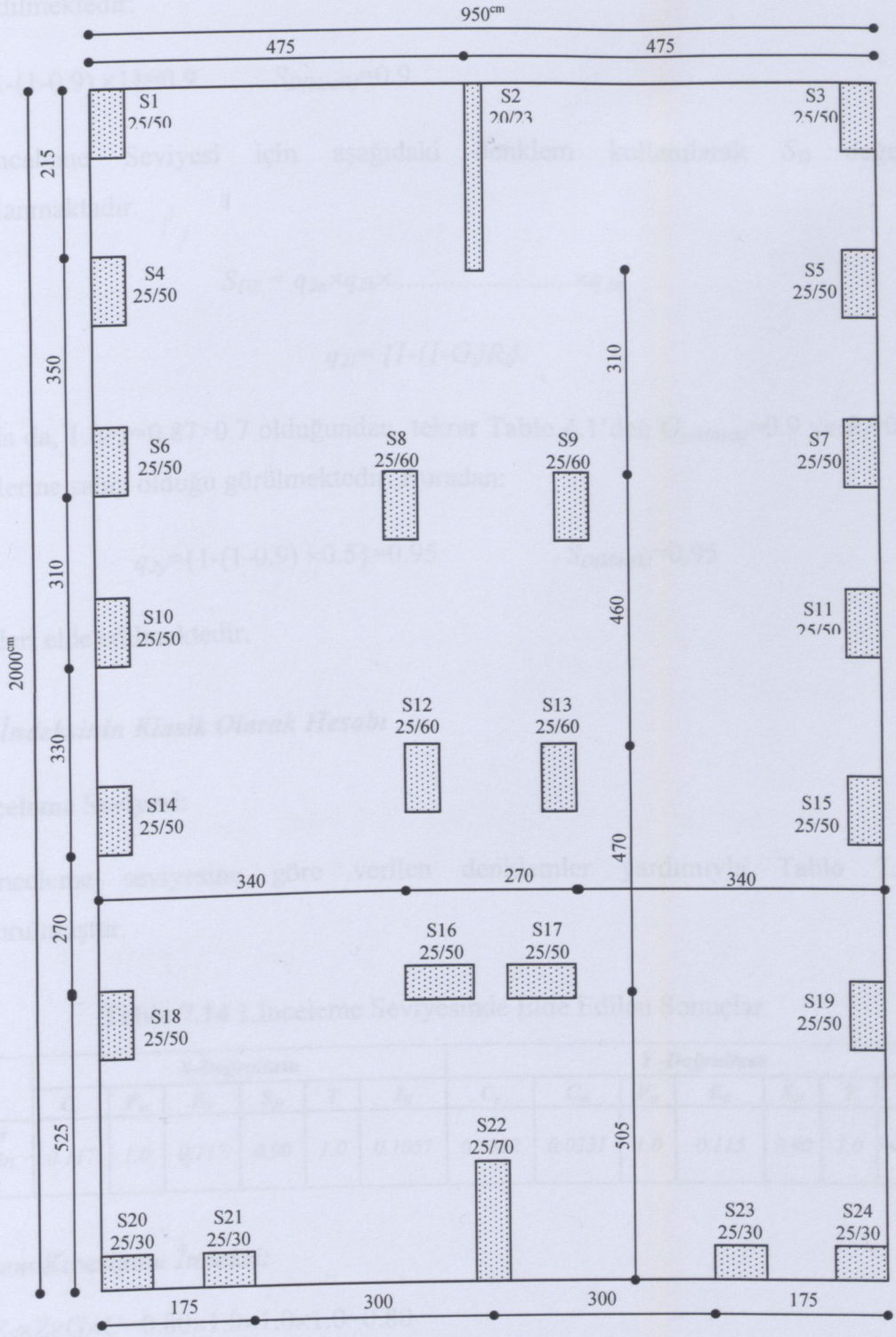
y=(Çıkma Yapılmış Katın Altındaki Kat Alanı)/(Çıkma Yapılmış Kat Alanı)

y=190/218.5=0.87

1. İnceleme Seviyesi için aşağıdaki denklem kullanılmaktadır.

$$S_{D1} = q_{1a} \times q_{1b} \times \ldots\ldots\ldots\ldots \times q_{1k}$$

$$q_{1i} = \{1-(1-G_i)R_i\}$$



Şekil 7.25 Bina Kat Planı

$1.0>y=0.87>0.7$ olduğundan Tablo 4.1'den $G_{y(klasik)}=0.9$ ve $R_i=1.0$ değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Böylece q_{1y} ve bu değere göre S_D değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

$q_{1y}=\{1-(1-0.9)\times1\}=0.9$ $S_{D(klasik)}=0.9$

2. İnceleme Seviyesi için aşağıdaki denklem kullanılarak S_D değeri hesaplanmaktadır.

$$S_{D2} = q_{2a}\times q_{2b}\times.....\times q_{2n}$$

$$q_{2i}= \{1-(1-G_i)R_i\}$$

Burada da, $1.0>y=0.87>0.7$ olduğundan tekrar Tablo 4.1'den $G_{y(klasik)}=0.9$ ve $R_i=0.5$ değerlerine sahip olduğu görülmektedir. Buradan:

$q_{2y}=\{1-(1-0.9)\times0.5\}=0.95$ $S_{D(klasik)}=0.95$

değerleri elde edilmektedir.

b) *I_S İndeksinin Klasik Olarak Hesabı*

1. İnceleme Seviyesi:

1. İnceleme seviyesine göre verilen denklemler yardımıyla Tablo 7.14 oluşturulmuştur.

Tablo 7.14 1.İnceleme Seviyesinde Elde Edilen Sonuçlar

Kat	X-Doğrultusu						Y-Doğrultusu						
	C_c	F_w	E_0	S_D	T	I_S	C_c	C_w	F_w	E_0	S_D	T	I_S
1.Kat (Zemin Kat)	0.117	1.0	0.117	0.90	1.0	0.1057	0.1312	0.0231	1.0	0.115	0.90	1.0	0.1035

Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0}=E_S\times Z\times G\times U=0.80\times1.0\times1.0\times1.0=0.80$

Sonuç olarak, X ve Y doğrultusundaki bütün katlar için; $I_S<I_{S0}$ olmaktadır. Bu durumda Sismik İndeks Yöntemine göre 1. inceleme seviyesi dikkate alındığında 1. kat için yapının davranışının belirsiz olduğu söylenebilir.

2. İnceleme Seviyesi:

Bu inceleme seviyesi sadece 1. kat için uygulanmıştır. Bu katın davranışı yapının tamamı için bir fikir verebilmektedir. 2. inceleme seviyesi için daha önceden verilmiş olan formüller dikkate alınarak Tablo 7.15 oluşturulmuştur.

Tablo 7.15 1. Kat (Zemin Kat) için 2. İnceleme Seviyesinde Elde Edilen Sonuçlar

Kolonlar	bxh (cm)		X		Y		F		Hasar Modu	
	X	Y	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	X	Y	X	Y
S1, S3	50x25	25x50	33.4	82.8	66.9	115.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S2	235x20	20x235	91.8	238.9	1078.3	680.8	3.20	1.00	Eğilme	Kayma
S4, S5	50x25	25x50	45.7	96.0	91.3	129.2	3.20	2.19	Eğilme	Eğilme
S6, S7	50x25	25x50	43.0	92.5	85.9	125.4	3.20	2.42	Eğilme	Eğilme
S8, S9	60x25	25x60	63.4	128.7	152.1	188.2	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme
S10, S11	50x25	25x50	43.7	93.5	87.5	126.4	3.20	2.35	Eğilme	Eğilme
S12, S13	60x25	25x60	58.7	134.9	140.9	194.9	3.20	2.00	Eğilme	Eğilme
S14, S15	50x25	25x50	44.1	93.9	88.1	126.9	3.20	2.32	Eğilme	Eğilme
S16, S17	25x50	50x25	98.2	158.5	49.1	122.8	2.9795	3.20	Eğilme	Eğilme
S18, S19	50x25	25x50	44.0	93.8	88.0	126.8	3.20	2.33	Eğilme	Eğilme
S20, S24	25x30	30x25	37.3	65.3	31.1	61.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S21, S23	25x30	30x25	45.0	80.6	37.5	76.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme
S22	70x25	25x70	70.7	130.5	198.0	218.8	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme

X-Doğrultusu için

Kolonların tamamı yüksek süneklikte olduğundan ve hepsinin eğilmeden dolayı hasar göreceği tahmin edildiğinden, bütün kolonları bir grupta toplayabiliriz.

1. Grup: 24 Kolonun Tamamı.

Hasar Modu: Eğilme

$F_1=2.9795$

$C_1=\Sigma Q_{mu}/W=127.55/1014=0.1258$

$E_{01}=C_1 \times F_1=0.1258 \times 2.9795=0.375$

$E_0=[(n+1)/(n+i)] \times [E_{01}^2+E_{02}^2+E_{03}^2]^{0.5}$

$E_0=[(4+1)/(4+1)] \times [(0.375)^2]^{0.5}=0.375$

$I_S=E_0 \times S_D \times T=0.375 \times 0.95 \times 1.0=0.337$

$C_T \times S_D > 0.3$ olması gerektiği koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakalım:

$$C_T = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_1 + a_2C_2 + a_3C_3)$$

Toplam Dayanım Değeri: C_T= 0.098

$C_T \times S_D$=0.098×0.95=0.09 < 0.3 olduğundan koşul sağlanmamaktadır.

Y-Doğrultusu için

Kolonların tamamı yüksek süneklikte olduğundan ve hepsinin eğilmeden dolayı hasar göreceği tahmin edildiğinden, bu doğrultuda da bütün kolonları bir grupta toplayabiliriz.

1. Grup: S2 Kolonu.

Hasar Modu: Kayma

F_1=1.0

$C_1=Q_{su}/W$=68.08/1014=0.067

$E_{01}=C_1 \times F_1$=0.0671×1.0=0.067

2. Grup: S4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,18,19,22 Kolonları (toplam 18 kolon).

Hasar Modu: Eğilme

F_2=1.27

$C_2=Q_{mu}/W$=166.56/1014=0.1643

$E_{02}=C_2 \times F_2$=0.1643×1.27=0.209

3. Grup: S1,3,16,17,20,24,21,23 Kolonları (toplam 8 kolon).

Hasar Modu: Eğilme

F_3=3.20

$C_3=Q_{mu}/W$=36.92/1014=0.0364

$E_{03}=C_3 \times F_3$=0.0364×3.20=0.116

$E_0=[(4+1)/(4+1)] \times [(0.067)^2+(0.209)^2+(0.116)^2]^{0.5}$=0.248

$I_S=E_0 \times S_D \times T$=0.248×0.95×1.0=0.236

$C_T \times S_D > 0.3$ olması gerektiği koşulunun sağlanıp sağlanmadığına bakalım:

$$C_T = \frac{(n+1)}{(n+i)}(C_1 + a_2 C_2 + a_3 C_3)$$

Toplam Dayanım Değeri: C_T= 0.10

$C_T \times S_D$=0.10×0.95=0.095 < 0.3 olduğundan koşul sağlanmamaktadır.

Deprem Kıyaslama İndeksi:

$I_{S0}=E_S \times Z \times G \times U$=0.60×1.0×1.0×1.0=0.60

Sonuç olarak, yukarıda görüldüğü gibi her iki doğrultuda da $I_S < I_{S0}$ olduğundan dolayı yapının deprem güvenliğinin yeterli olmadığı söylenebilmektedir.

S_D ve I_S İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı

a) *S_D İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı*

Önceki bölümde, çıkma kat düzensizliği oran değeri y=0.87 olarak hesaplanmıştı. y oran değeri bulanık girdi değeri olarak kullanılmak suretiyle G değeri elde edilebilir (Şekil 7.26). Burada yapılacak olan çıkma kat düzensizliği için bulanık mantık çözümü tekniğinin esasları Bölüm 7.1.5'te verilmişti.

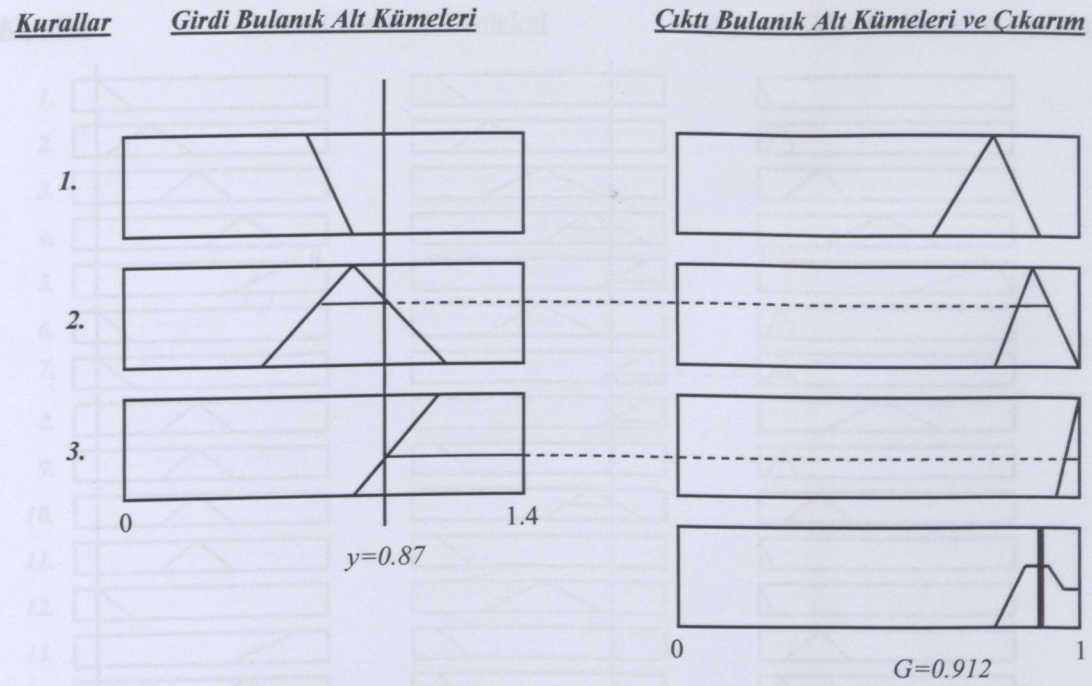
1. İnceleme Seviyesi için, $G_{y(bulanık)}$=0.912 ve R_i=1.0'dir. Böylece q_{1y} ve bu değere göre S_D değerleri aşağıdaki şekilde elde edilmektedir:

q_{1y}={1-(1-0.912) ×1}=0.912 $S_{D(bulanık)}$= 0.912

2. İnceleme Seviyesi için, $G_{y(bulanık)}$=0.912 ve R_i=0.5 değerlerine sahiptir. Buradan:

q_{2y}={1-(1-0.912) ×0.5}=0.956 $S_{D(bulanık)}$=0.956

değerleri elde edilmektedir.



Şekil 7.26 Çıkma Kat Düzensizliği için Bulanık Çıkarım

b) I_S İndeksinin Bulanık Mantık ile Hesabı

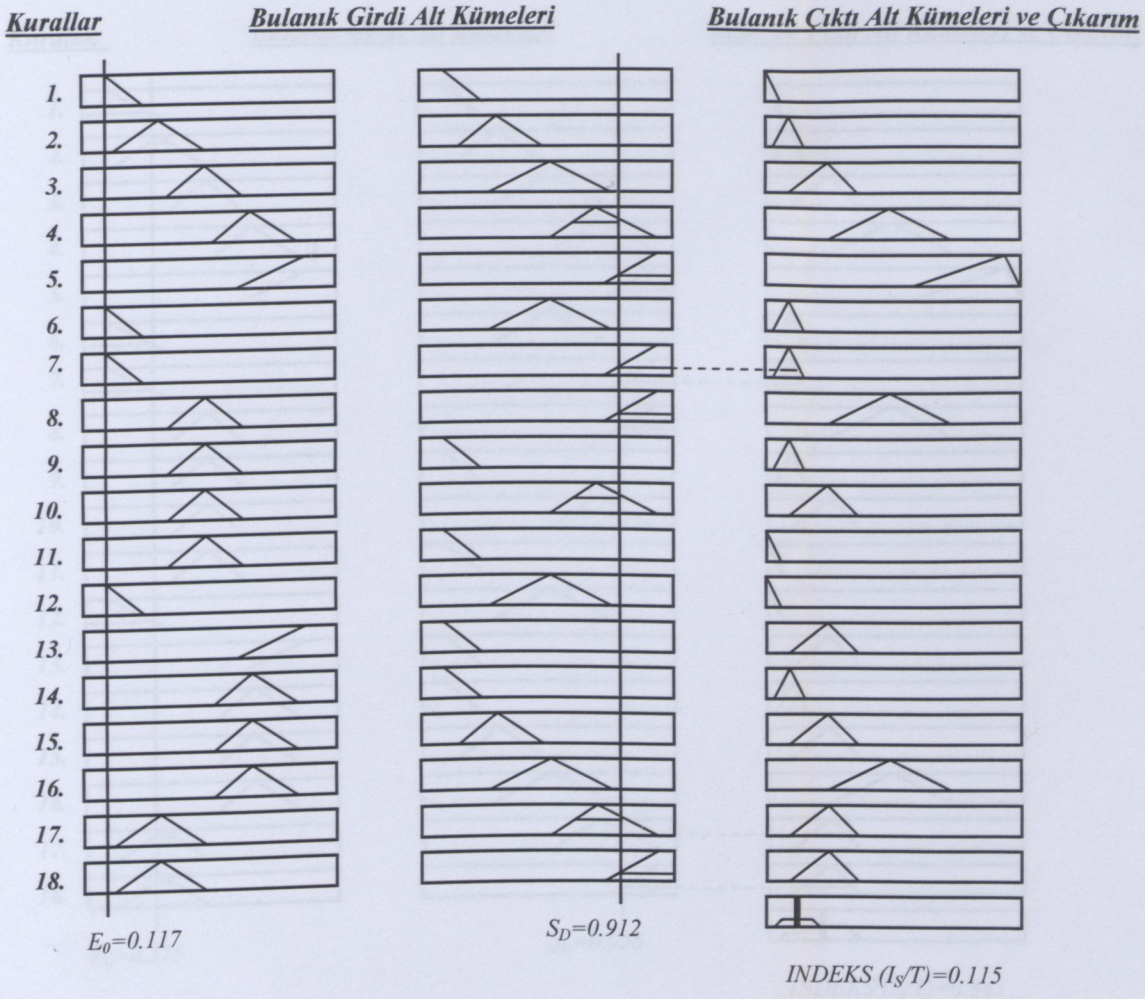
1. İnceleme Seviyesi:

İncelenen binanın X ve Y doğrultusunda E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti. Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 *ve* $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.27). Burada, E_0 değerleri yaklaşık aynı değerler olduğu için bir tek $I_{S(bulanık)}$ değeri bulunacak ve her iki yön için aynı değer kullanılacaktır. Buradan bulanık I_{ST} değeri elde edilecektir. T değeri yerine konulduğunda $I_{S(bulanık)}$ değeri elde edilecektir.

X-Doğrultusu için: E_0=0.117, $S_{D(bulanık)}$= 0.912, T=1.0

Y-Doğrultusu için: E_0=0.115, $S_{D(bulanık)}$= 0.912, T=1.0

$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T$=0.115 $I_{S(bulanık)}$=0.115



Şekil 7.27 E_0=0.117 ve $S_{D(bulanık)}$=0.912 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S 'in Bulanık Çıkarımı (1. İnceleme Seviyesi X ve Y Doğrultusu için)

2. İnceleme Seviyesi:

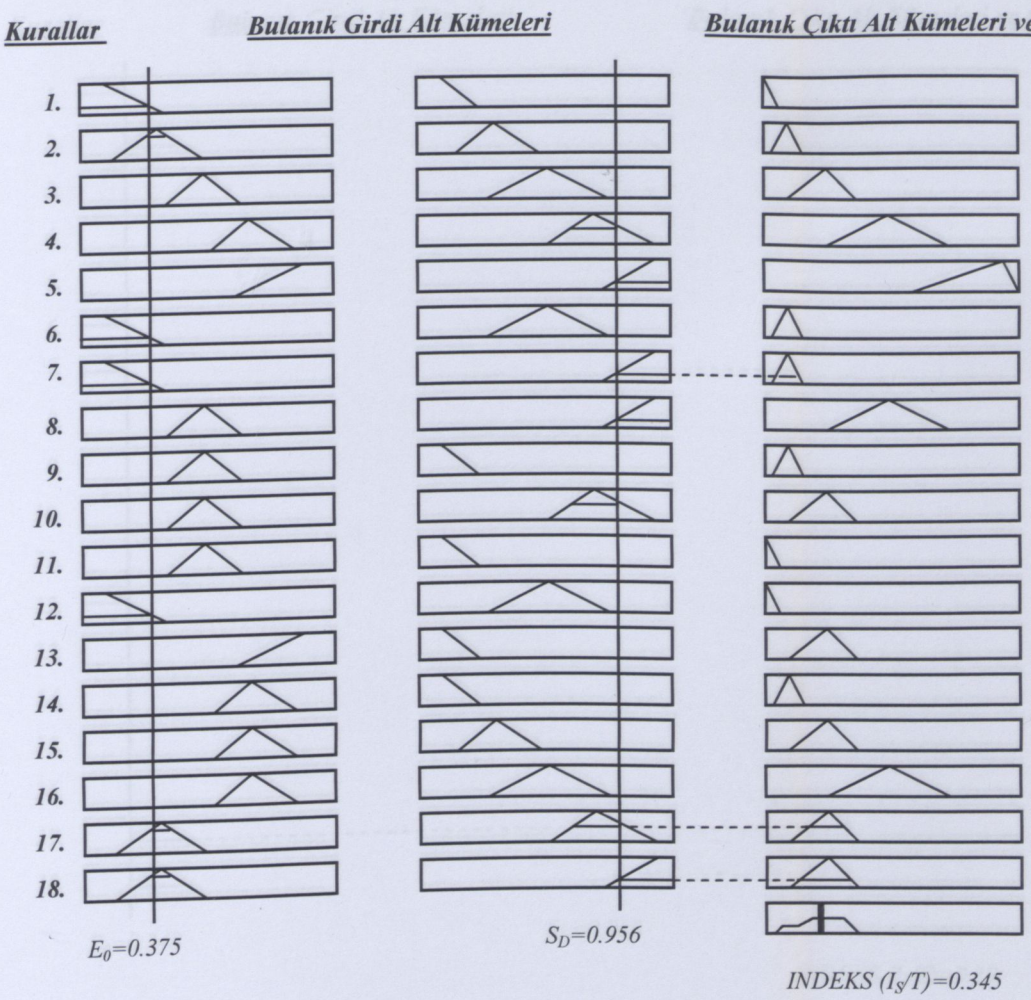
X-Doğrultusu için

İncelenen binanın X doğrultusunda 1. kat için E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti.

E_0 =0.375, $S_{D(bulanık)}$= 0.956, T=1.0

Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 ve $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.28).

$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T$=0.345 $I_{S(bulanık)}$=0.345



Şekil 7.28 E_0=0.375 ve $S_{D(bulanık)}$=0.956 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S'in Bulanık Çıkarımı (2. İnceleme Seviyesi X Doğrultusu için)

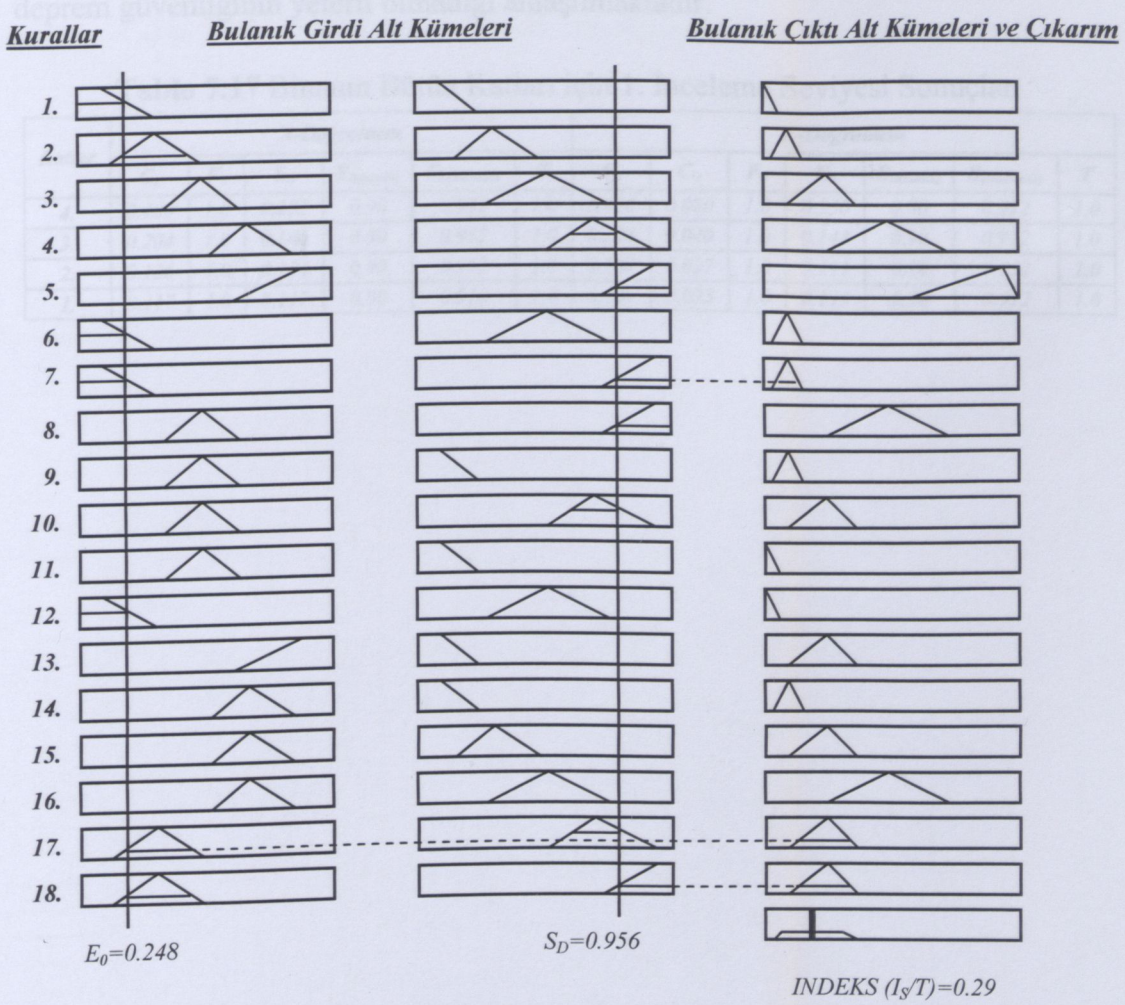
Y-Doğrultusu için

Binanın Y doğrultusunda 1. kat için E_0, $S_{D(bulanık)}$ ve T değerleri aşağıdaki gibi elde edilmişti.

E_0 =0.248, $S_{D(bulanık)}$= 0.956, T=1.0

Bulanık I_{ST} değerini elde etmek için E_0 ve $S_{D(bulanık)}$ değerleri girdi olarak kullanılacaktır (Şekil 7.29).

$I_{ST}=I_{S(bulanık)}/T$=0.290 $I_{S(bulanık)}$=0.290



Şekil 7.29 E_0=0.248 ve $S_{D(bulanık)}$=0.956 Bulanık Girdileri için Deprem Performans İndeksi I_S 'in Bulanık Çıkarımı (2. İnceleme Seviyesi Y Doğrultusu için)

Sonuç olarak bulunan klasik ve bulanık I_S değerleri Tablo 7.16'da verilmektedir.

Tablo 7.16 1. Kat (Zemin Kat) için Klasik ve Bulanık I_S Değerleri

Doğrultu	*İnceleme Seviyesi*			
	1.		*2.*	
	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$
X	*0.1057*	*0.1150*	*0.3370*	*0.3450*
Y	*0.1035*	*01150*	*0.2360*	*0.2900*

Binanın bütün katları için, her iki doğrultuda 1. ve 2. inceleme seviyelerinde yapılan hesaplamaların sonuçları Tablo 7.17-7.19 ve Şekil 7.30-7.35'de verilmektedir. Bu tablo ve şekillerden görüleceği gibi, sadece 4. katın Y doğrultusunda, klasik ve bulanık mantık tekniği ile yapılan hesaplamalarda deprem güvenliği yeterli olarak

değerlendirilebilmektedir. Bunun dışında, diğer katlarda her iki doğrultuda da deprem güvenliğinin yeterli olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 7.17 Binanın Bütün Katları için 1. İnceleme Seviyesi Sonuçları

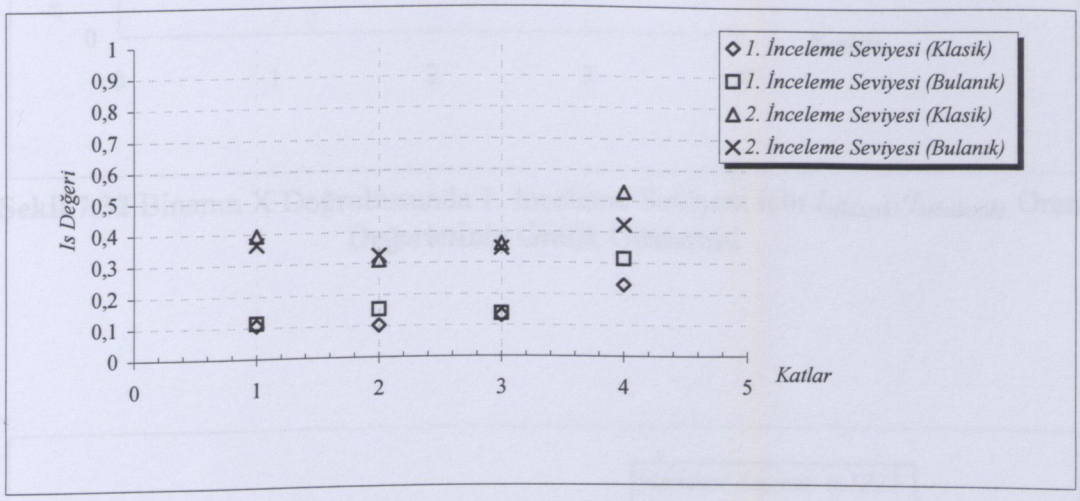
Katlar	X-Doğrultusu						Y-Doğrultusu						
	C_c	F_w	E_0	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	T	C_c	C_w	F_w	E_0	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	T
4.	0.409	1.0	0.255	0.90	0.912	1.0	0.456	0.080	1.0	0.250	0.90	0.912	1.0
3.	0.204	1.0	0.146	0.90	0.912	1.0	0.228	0.040	1.0	0.143	0.90	0.912	1.0
2.	0.136	1.0	0.114	0.90	0.912	1.0	0.152	0.027	1.0	0.111	0.90	0.912	1.0
1.	0.117	1.0	0.117	0.90	0.912	1.0	0.131	0.023	1.0	0.115	0.90	0.912	1.0

Tablo 7.18 Binanın Bütün Katları için 2. İnceleme Seviyesi Sonuçları

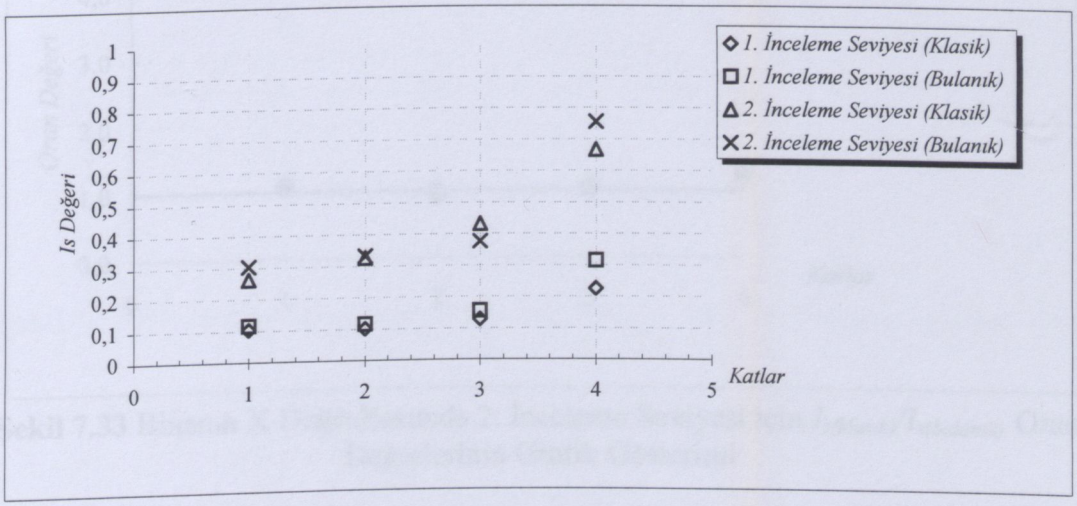
Katlar	Kolonlar	bxh (cm)		X		Y		F		Hasar Modu		E_0		S_D		T
		X	Y	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	Q_{mu} (kN)	Q_{su} (kN)	X	Y	X	Y	X	Y	$S_{D(klasik)}$	$S_{D(bulanık)}$	
4.	S1, S3	45x25	25x45	24.4	75.7	48.7	107.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.558	0.702	0.950	0.956	1.00
	S2	50x25	25x50	47.1	189.3	553.1	623.2	3.20	1.00	Eğilme	Kayma					
	S4, S5	235x20	20x235	28.8	79.0	57.5	111.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S6, S7	50x25	25x50	27.6	78.1	55.3	110.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S8, S9	50x25	25x50	42.3	96.2	101.4	153.1	3.20	2.63	Eğilme	Eğilme					
	S10, S11	60x25	25x60	27.9	78.4	55.9	110.3	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S12, S13	50x25	25x50	44.0	97.7	105.7	154.8	3.20	2.44	Eğilme	Eğilme					
	S14, S15	60x25	25x60	28.1	78.5	56.1	110.4	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	50x25	25x50	85.8	120.9	42.9	87.6	2.15	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S18, S19	25x50	50x25	28.0	78.4	56.1	110.4	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S20, S24	50x25	25x50	28.6	59.1	23.8	55.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S21, S23	25x30	30x25	34.2	62.9	28.5	58.9	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S22	25x30	30x25	46.4	105.4	130.0	191.5	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
3.	S1, S3	70x25	25x70	27.6	78.1	55.1	110.0	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.380	0.454			
	S2	50x25	25x50	64.1	205.8	753.2	642.4	3.20	1.00	Eğilme	Kayma					
	S4, S5	235x20	20x235	35.5	84.7	71.0	117.1	3.20	3.08	Eğilme	Eğilme					
	S6, S7	50x25	25x50	33.5	82.9	67.0	115.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S8, S9	50x25	25x50	53.3	107.0	127.8	164.8	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S10, S11	60x25	25x60	34.1	83.4	68.1	115.7	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S12, S13	50x25	25x50	55.8	110.1	133.9	168.2	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S14, S15	60x25	25x60	34.3	83.6	68.6	115.9	3.20	3.18	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	50x25	25x50	106.3	133.5	53.2	99.3	1.26	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S18, S19	25x50	50x25	34.2	83.6	68.5	115.9	3.20	3.18	Eğilme	Eğilme					
	S20, S24	50x25	25x50	31.8	61.2	26.5	57.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S21, S23	25x30	30x25	41.0	68.8	34.2	64.6	3.14	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S22	25x30	30x25	56.2	113.8	157.5	200.6	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
2.	S1, S3	70x25	25x70	33.4	82.8	66.9	115.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.328	0.343			
	S2	50x25	25x50	91.8	238.9	1078.3	680.8	3.20	1.00	Eğilme	Kayma					
	S4, S5	235x20	20x235	45.7	96.0	91.3	129.2	3.20	2.58	Eğilme	Eğilme					
	S6, S7	50x25	25x50	43.0	92.5	85.9	125.4	3.20	2.80	Eğilme	Eğilme					
	S8, S9	50x25	25x50	63.4	128.7	152.1	188.2	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S10, S11	60x25	25x60	43.7	93.5	87.5	126.4	3.20	2.74	Eğilme	Eğilme					
	S12, S13	50x25	25x50	58.7	134.9	140.9	194.9	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S14, S15	60x25	25x60	44.1	93.9	88.1	126.9	3.20	2.72	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	50x25	25x50	98.2	158.5	49.1	122.8	2.97	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S18, S19	25x50	50x25	44.0	93.8	88.0	126.8	3.20	2.72	Eğilme	Eğilme					
	S20, S24	50x25	25x50	37.3	65.3	31.1	61.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S21, S23	25x30	30x25	45.0	80.6	37.5	76.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S22	25x30	30x25	70.7	130.5	198.0	218.8	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
1.	S1, S3	70x25	25x70	33.4	82.8	66.9	115.1	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme	0.416	0.276			
	S2	50x25	25x50	91.8	238.9	1078.3	680.8	3.20	1.00	Eğilme	Kayma					
	S4, S5	235x20	20x235	45.7	96.0	91.3	129.2	3.20	2.19	Eğilme	Eğilme					
	S6, S7	50x25	25x50	43.0	92.5	85.9	125.4	3.20	2.42	Eğilme	Eğilme					
	S8, S9	50x25	25x50	63.4	128.7	152.1	188.2	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					
	S10, S11	60x25	25x60	43.7	93.5	87.5	126.4	3.20	2.35	Eğilme	Eğilme					
	S12, S13	50x25	25x50	58.7	134.9	140.9	194.9	3.20	2.00	Eğilme	Eğilme					
	S14, S15	60x25	25x60	44.1	93.9	88.1	126.9	3.20	2.32	Eğilme	Eğilme					
	S16, S17	50x25	25x50	98.2	158.5	49.1	122.8	2.9795	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S18, S19	25x50	50x25	44.0	93.8	88.0	126.8	3.20	2.33	Eğilme	Eğilme					
	S20, S24	50x25	25x50	37.3	65.3	31.1	61.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S21, S23	25x30	30x25	45.0	80.6	37.5	76.2	3.20	3.20	Eğilme	Eğilme					
	S22	25x30	30x25	70.7	130.5	198.0	218.8	3.20	1.27	Eğilme	Eğilme					

Tablo 7.19 Binanın her iki doğrultusu için 1. ve 2. İnceleme Seviyesinde Elde Edilen $I_{S(klasik)}$ ve $I_{S(bulanık)}$ Değerleri

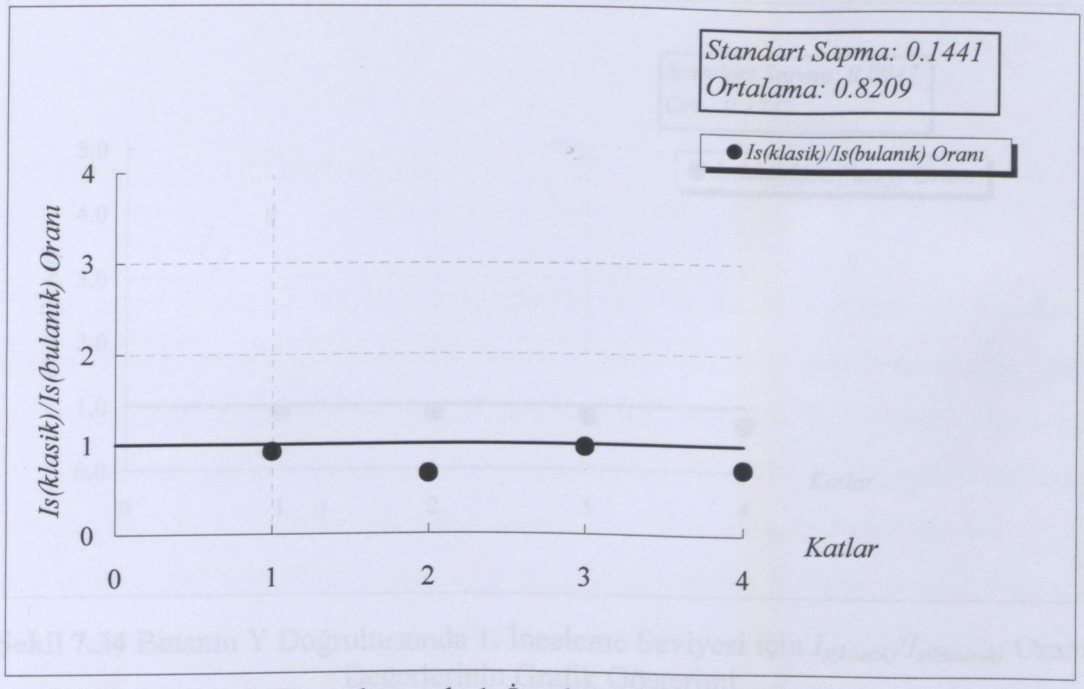
Katlar	Doğrultu	İnceleme Seviyesi					
		1.			2.		
		$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}/I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}$	$I_{S(bulanık)}$	$I_{S(klasik)}/I_{S(bulanık)}$
4.	X	0.2301	0.3150	0.7305	0.5300	0.4240	1.2500
	Y	0.2253	0.3140	0.7175	0.6670	0.7550	0.8834
3.	X	0.1314	0.1360	0.9662	0.3610	0.3470	1.0403
	Y	0.1287	0.1550	0.8303	0.4310	0.3760	1.1463
2.	X	0.1022	0.1530	0.6680	0.3120	0.3250	0.9600
	Y	0.1001	0.1150	0.8704	0.3250	0.3310	0.9819
1.	X	0.1057	0.1150	0.9191	0.3950	0.3650	1.0822
	Y	0.1035	0.1150	0.9000	0.2620	0.3030	0.8647



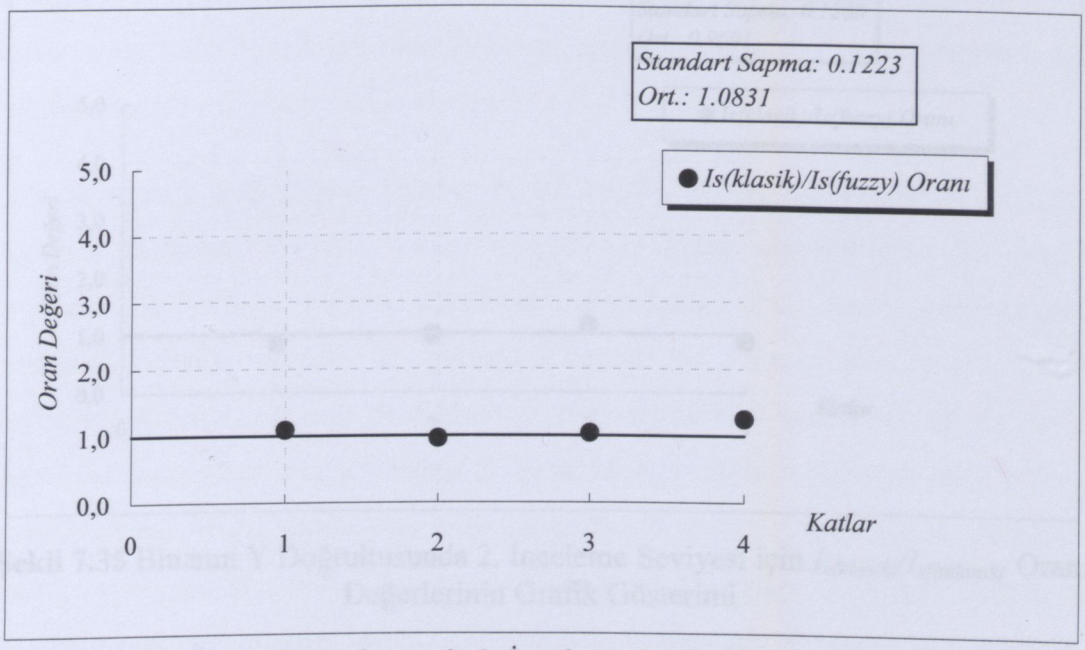
Şekil 7.30 Binanın X Doğrultusunda 1. ve 2. İnceleme Seviyesi Klasik ve Bulanık Sonuçlarının Grafik Gösterimi



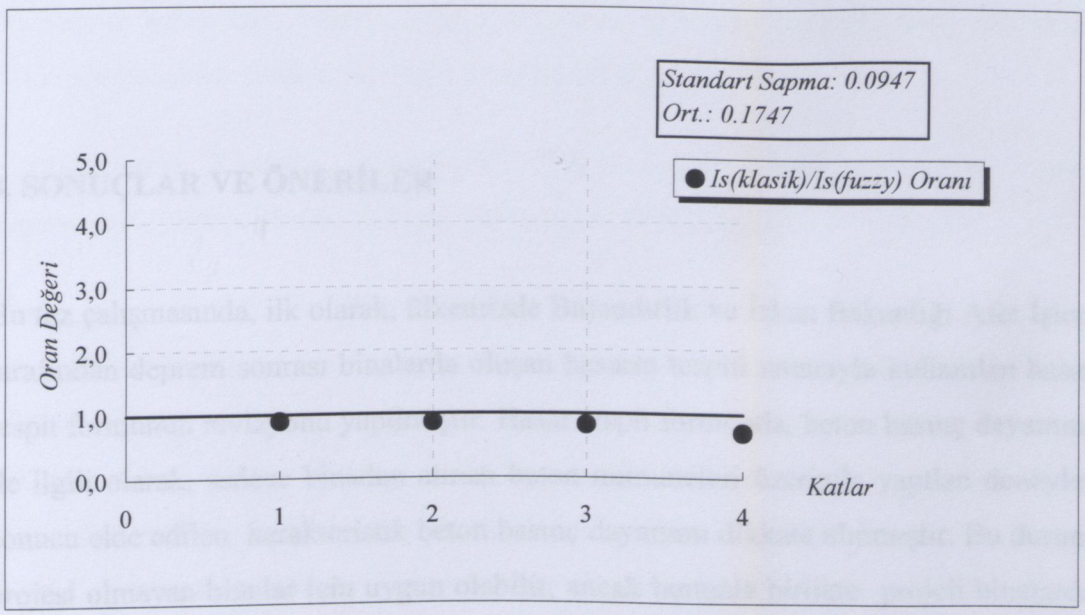
Şekil 7.31 Binanın Y Doğrultusunda 1. ve 2. İnceleme Seviyesi Klasik ve Bulanık Sonuçlarının Grafik Gösterimi



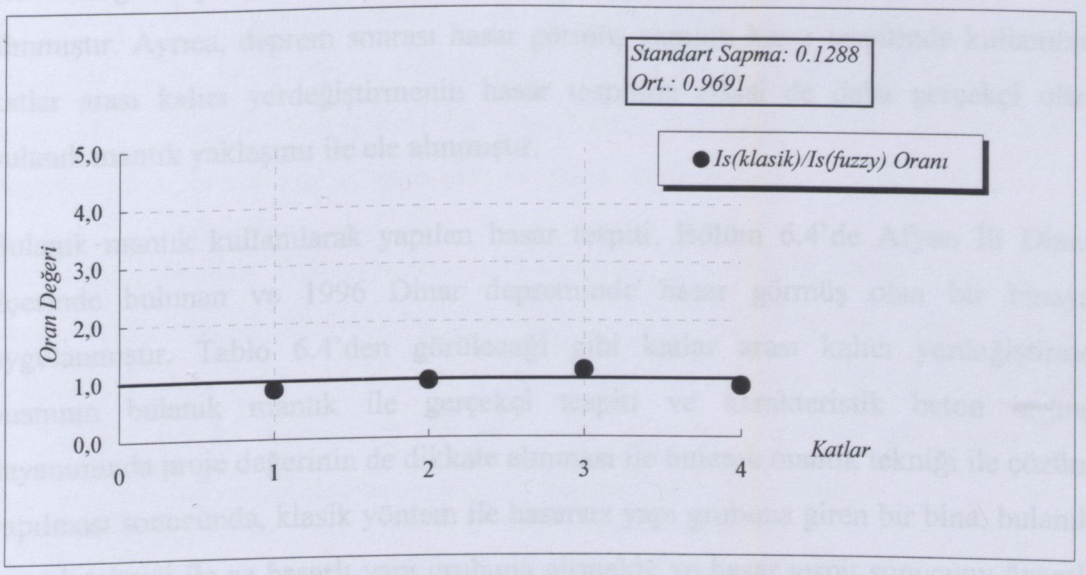
Şekil 7.32 Binanın X Doğrultusunda 1. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.33 Binanın X Doğrultusunda 2. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.34 Binanın Y Doğrultusunda 1. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi



Şekil 7.35 Binanın Y Doğrultusunda 2. İnceleme Seviyesi için $I_{s(klasik)}/I_{s(bulanık)}$ Oranı Değerlerinin Grafik Gösterimi

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, ilk olarak, ülkemizde Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri tarafından deprem sonrası binalarda oluşan hasarın tespiti amacıyla kullanılan hasar tespit formunun revizyonu yapılmıştır. Hasar tespit formunda, beton basınç dayanımı ile ilgili olarak, sadece binadan alınan beton numuneleri üzerinde yapılan deneyler sonucu elde edilen karakteristik beton basınç dayanımı dikkate alınmıştır. Bu durum projesi olmayan binalar için uygun olabilir, ancak bununla birlikte projeli binalarda beton basınç dayanımının proje değerinin de dikkate alınarak puanlamaya dahil edilmesi daha uygun olmaktadır. Bu çalışmada, hasar tespit formunda verilen kritere ek olarak, yapılan deneyler sonucu bulunan karakteristik beton basınç dayanımının, proje karakteristik beton basınç dayanımının %90'ından düşüklüğü oranında 0 ile 1.00 aralığında puanlanması gerektiği durumu bulanık mantık yaklaşımı ile dikkate alınmıştır. Ayrıca, deprem sonrası hasar görmüş yapının hasar tespitinde kullanılan katlar arası kalıcı yerdeğiştirmenin hasar tespitine etkisi de daha gerçekçi olan bulanık mantık yaklaşımı ile ele alınmıştır.

Bulanık mantık kullanılarak yapılan hasar tespiti, Bölüm 6.4'de Afyon İli Dinar ilçesinde bulunan ve 1996 Dinar depreminde hasar görmüş olan bir binaya uygulanmıştır. Tablo 6.4'den görüleceği gibi katlar arası kalıcı yerdeğiştirme puanının bulanık mantık ile gerçekçi tespiti ve karakteristik beton basınç dayanımında proje değerinin de dikkate alınması ile bulanık mantık tekniği ile çözüm yapılması sonucunda, klasik yöntem ile hasarsız yapı grubuna giren bir bina, bulanık mantık tekniği ile az hasarlı yapı grubuna girmekte ve hasar tespit sonucunu önemli ölçüde etkileyebilmektedir. Sonuçlar irdelendiğinde klasik mantığın keskin ve tavizsiz sınırlarına kıyasla, bulanık mantığın insan düşünüş ve yargısına daha uygun sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Mevcut binaların deprem güvenliğinin değerlendirilmesi konusunda hızlı ve düzenli bir yapıya sahip olan Sismik İndeks Yöntemi, yapıların depreme karşı dayanımı hakkında kolay bir şekilde fikir edinilmesini sağlayabilmektedir.

Sismik İndeks Yöntemi, düzensizliklerin çok fazla olmadığı binalarda binanın deprem güvenliği hakkında oldukça güvenilir ve doğru sonuçlar vermektedir.

Çoğu yeni standartlara uygun olarak yapılmamış mevcut binaların deprem güvenliğinin belirlenmesinde, yürürlükteki şartnamede öngörüldüğü gibi sünekliğin bütün bina için tek bir değer ile ifade edilmesi, sünek olmayan elemanlardaki riskin dikkate alınmaması anlamına gelir ki bu da binanın deprem performansını değerlendirmede doğru olmayan sonuçlar elde edilmesine neden olmaktadır. Sismik İndeks Yöntemi binaların deprem performansını değerlendirmede, tüm binanın sünekliğini temsil eden tek bir değer almak yerine eleman bazlı süneklik kavramını esas aldığından dolayı doğru ve güvenilir bir yaklaşıma sahiptir.

Ana sismik kıyaslama indeksi E_S, Japonya'daki bir çok binanın incelenmesi sonucunda İndeks Yönteminin 1. inceleme seviyesi için 0.8, 2. ve 3. inceleme seviyesi için 0.6 olarak alınmaktadır. Ancak, ülkemizdeki binalar için bu değerlerin kullanımının ne kadar doğru olduğu tartışmaya açıktır. Bu problemin giderilmesi ancak bu yöntemin ülkemizdeki bir çok binaya uygulanması ile bir veri tabanı oluşturmak ve bu veri tabanı üzerinden yapılacak araştırma ile mümkün olacaktır.

Bu tez çalışmasında, ikinci olarak, Sismik İndeks Yönteminin ülkemizdeki mevcut yapıların deprem güvenliğinin belirlenmesinde kullanılabilmesi için, ülkemizde sık karşılaşılan çıkmalı binalar ile plan ve kesitte görülen burulma düzensizliği, döşeme süreksizliği, çıkıntı düzensizliği, zayıf kat ve düşeyde süreksizlik gibi düzensizlik durumlarının eklenmesi ile Sismik İndeks Yöntemi genişletilmiştir.

Ülkemizde, çıkmalı yapılarda kapalı çıkmaların bulunduğu yerlerde kolonların kirişlerle bağlanmaması veya kolon ötelenmesi yapılması yapının deprem davranışını olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle, bu çalışmada, çıkma kat düzensizliğinin yapının deprem performansına etki derecesi R_i değeri, planda düzensizlik durumunun R_i değeri gibi, R_{1i}=1.00 ve R_{2i}=0.5 olarak dikkate alınmıştır. Ancak, birçok yapıda yapılacak araştırmalar sonucunda daha gerçekçi değerler seçilebilir.

Sismik İndeks Yönteminde, Tasarım ve Boyutlama İndeksi S_D'nin hesabında göz önüne alınan bodrum kat düzensizliği, kat yüksekliği farklılıklarının oluşturduğu düzensizlik, komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat), komşu katlar arası dayanım düzensizliği (zayıf kat) ve çıkmalı binalarda görülen çıkma kat düzensizliğine bulanık mantık uygulanmış ve G_i değerleri bulanık mantık tekniği ile bulunmuştur. Ayrıca, Deprem Performans İndeksi I_S değerleri bulanık mantık ile çözümlenmiştir.

Bu çalışmada, yazar tarafından Sismik İndeks Yöntemi esaslı, *C* programlama dili ile kodlanmış, EK B'de akış şeması ve EK C'de disket halinde verilmiş olan bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program kullanılarak Sismik İndeks Yöntemi, Bölüm 3.3.3'de İstanbul İli Avcılar ilçesinde bulunan dört katlı bir bina, Bölüm 7.3'de İstanbul İli Avcılar ilçesi ile Yalova'da bulunan ve 1999 Marmara depreminde hasar görmüş dört katlı iki bina olmak üzere toplam üç binaya uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar, ilgili eklerde tablo ve grafikler ile gösterilmiştir.

Bölüm 7.3'de yapılan çözümlemeden elde edilen sonuçlar incelendiğinde, bulanık mantık çözümünün geleneksel ve klasik çözümün keskin geçişlerini yumuşattığı, belli bir esneklik kazandırdığı ve daha gerçekçi sonuçların elde edilmesine yardımcı olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

ACI 318, 1995. Building code requirements for reinforced concrete, *American Concrete Institute*, Detroit, Michigan.

Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1997. *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara.

Akiyama, T., 1984. Applications of fuzzy set theory to infrastructure planning and its prospects, *Proceedings of JSCE*, Tokyo, Japan, September 1984, 23-31.

FEMA 310, 1998. Handbook for the seismic evaluation of buildings–A prestandard, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

ATC 14, 1987. Evaluating the seismic resistance of existing buildings, *Applied Technology Council*, Redwood City, California.

ATC 20-2, 1989. Addendum to the ATC 20 postearthquake building safety evaluation procedures, *Applied Technology Council*, Redwood City, California.

ATC 21, 1988. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A handbook, *Applied Technology Council*, Federal Emergency Management Agency FEMA 154, Redwood City, California.

ATC 21-1, 1988. Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: Supporting documentation, *Applied Technology Council,* Federal Emergency Management Agency FEMA 155, Washington.

ATC 22, 1989. A handbook for seismic evaluation of existing buildings (Preliminary), *Applied Technology Council*, Federal Emergency Management Agency FEMA 178, Redwood City, California.

Boduroğlu, H. and Gerçek, M., 1990. On the evaluation of seismic safety and strengthening of existing reinforced concrete buildings, *Proceedings of the Ninth European Conference on Earthquake Engineering*, Moscow, Russia, May 1990, 227-236.

Castenada, D. and Brown, C., 1994. Methodology for forensic investigations of seismic damage, *Journal of Structural Engineering*, **120** (12), 3506-3523.

Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, Beta Dağıtım, İstanbul.

FEMA, 1998. Seismic map package, *Federal Emergency Management Agency*, Washington.

Gülkan, P., Yakut, A., 1994. Mühendislik hizmeti görmüş yapılar için hasar tespit formu hazırlanması, *ODTÜ Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi*, **Rapor No. 94-01**, Ankara.

Kosko, B., 1994. Fuzzy Thinking, Flamingo Press, London.

Kömür, M., 1996. Betonarme kirişlerin kafes-kiriş analojisinde fuzzy mantığı yaklaşımı, *Yüksek Lisans Tezi*, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.

Kömür, M. ve Demir, C., 1996. Yapı mühendisliğinde bulanık mantık, *GAP 1. Mühendislik Kongresi*, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, Mayıs 1996, 704-710.

Kumazawa, F., Kaminosono, T. and Nakano, Y., 2000. Quick inspection procedure applicable to RC buildings in Turkey, *Proceedings of the Third Japan-Turkey Workshop on Earthquake Engineering*, İ.T.Ü., İstanbul, February 2000, 391-402.

Mamdani, E.H., 1976. Advances in linguistic synthesis of fuzzy controllers, *International Journal of Man Machine Studies*, **8**, 669-678.

Molas, G.L. and Tamazaki, F., 1995. Neural networks for quick earthquake damage estimation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **24**, 505-516.

Murat, Y.Ş., 2001. Sinyalize kavşaklarda bulanık mantık tekniği ile trafik uyumlu sinyal devre modeli, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Okhubo, M., 1991. Current Japanese system on seismic capacity and retrofit techniques for existing reinforced concrete buildings and post-earthquake damage inspection and restoration techniques, *Structural System Research Project*, **Report No. SSRP-91/02**, Department of Applied Mechanics and Engineering Sciences, University of California, San Diego, La Jolla, California,

Pagnoni, T., Tazir, Z.H. and Gavarini, C., 1989. AMEDEUS: A KBS for the assessment of earthquake damaged buildings, *Proceedings of the IABSE Colloquium on Expert Systems in Civil Engineering*, Bergamo, Italy, April 1989, 141-150.

Park, Y.J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K., 1985a. Seismic damage analysis of reinforced concrete buildings, *Journal of Structural Engineering*, **111** (4), 740-757.

Park, Y.J., Ang, A.H.-S. and Wen, Y.K., 1985b. Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete, *Journal of Structural Engineering*, **111**(4), 740-757.

Revadigar, S. and Mau, S.T., 1999. Automated multicriterion building damage assessment from seismic data, *Journal of Structural Engineering*, **125** (2), 211-217.

Ross, J.T., 1995. Fuzzy Logic with Engineering Applications, McGrow-Hill Inc., New York.

Shepherd, R. and Haynes, T.E., 1993. Expert system and assessment of earthquake hazard reduction, *Proceedings of the IABSE Colloquium on Knowledge Based Systems in Civil Engineering*, Beijing, China, September 1993, 351-360.

Shwe, T.T. and Adeli, H., 1993. AI and CAD for earthquake damage evaluation, *Engineering Structures*, **15** (5), 315-319.

Song, B., Hao, S., Murakami, S. and Sadohara, S., 1996. Comprehensive evaluation method on earthquake damage using fuzzy theory, *Journal of Urban Planning and Development*, **122** (1), 1-17.

Şen, Z., 1998. Fuzzy algorithm for estimation of solar irridation from sunshine duration, *Solar Energy*, **63** (1), 39-49.

Şen, Z., 2001. Bulanık Mantık ve Modelleme İlkeleri, Bilge Kültür Sanat Yayınevi, İstanbul.

Zadeh, L.A., 1965. Fuzzy sets, *Information & Control*, **8**, 338-353.

Zadeh, L. A., 1968. Fuzzy algorithms, *Information & Control*, **12** (2), 94-102.

Zadeh, L.A., 1971. Towards a Theory of Fuzzy Systems, *in Aspect of Network and System Theory*, Eds. R. E. Kalman and N. DeClaris, California.

E K L E R

EK A.

A.1 DEPREMİN ETKİLEDİĞİ BETONARME YAPILAR İÇİN JAPONLAR TARAFINDAN ÖNERİLEN ÖN İNCELEME HASAR TESPİT FORMU

İNCELENEN BİNANIN ÖZELLİKLERİ

(1) Yapı Tanıtma No : ..... Kaçıncı İnceleme Olduğu :.....
İncelemenin Zamanı ve Tarihi : ..... : .... , ... / ..... / .....
İnceleyenler (Görev/Belge No.) : .....(...../.....)
.....(...../.....)

1. Adres: .....
2. Bilgi Alınan Kişi: ..... Tel: .....
3. Kullanım Amacı:[ ]Apartman/Konut [ ]Bağımsız Ev [ ]İşyeri [ ]Büro [ ]Diğer
4. Bölme Duvarı Tipi: [ ]Delikli Tuğla [ ]Dolu Tuğla [ ]Perde [ ]Diğer(....)
5. Katların Sayısı: [ ]Bodrumlar+[ ]Zemin+[ ]Normal Katlar=[ ] Toplam

(6) **ÖZET** (Formun geri kalanını doldurduktan sonra, sonucu aşağıda özetleyiniz)

KARAR:

[ ] HASARSIZ [ ] AZ HASARLI [ ] ORTA HASARLI [ ] AĞIR HASARLI

Hasarlı kısımlar onarılmadan ve/veya insan hayatını tehdit edici tehlikeler ortadan kaldırılmadan geçici kullanıma izin verilmez. Ayrıntılı incelemeye gerek görülebilir.

Ani göçmeyi önlemek için acil onarıma ihtiyaç duyulmaktadır. Ayrıca geçici kullanıma kesinlikle izin verilmez. Ayrıntılı inceleme gereklidir.

ÖNERİLER:

[ ] Destekleme / Kararlılık Bağları / Mantolama Gereken Yerler:
.....
[ ] Yıkılma ve/veya Devrilme Tehlikelerinin Ortadan Kaldırılma Gereksinimi:
.....
[ ] Barikat / Şeritle Sınırlama:
.....
[ ] Diğerleri :
.....

DÜŞÜNCELER:.....

İNCELEMELER

2 Yapının Bütününe İlişkin İncelemeler

Aşağıdaki hasardan ötürü yapının "AĞIR HASARLI" olduğu açıkça belli ise, nedenini işaretleyiniz ve yapıyı "AĞIR HASARLI" olarak tanımlayınız. İlk sayfadaki özette de bu şekilde belirtiniz, 3. ve 4. adımları atlayınız.

[ ] Bütün veya Bölgesel Göçme	[ ] Üst Yapının Ağır Hasarlı Olması ve/veya Temelden Ayrılması
[ ] Tüm Yapıda veya Bir Katında Belirgin Yatıklık	[ ] Diğer

3 Hasar Görmüş Binalar ve Etrafındaki Zemine İlişkin İncelemeler

	A	B	C
a. Hasar Görmüş Bitişik Binalardan Doğan Tehlike	[ ] Yok	[ ] Belirsiz	[ ] Var
b. Zemin Göçmesinden Ötürü Binaların Oturması	[ ] Yok	[ ] 0.2-1.0 m	[ ] >1.0 m
c. Farklı Oturmalardan Dolayı Binanın Yatması	[ ] <1/60 rad.≅1° (yana yatmamış)	[ ] 1/60-1/30 rad.≅2° (yana yatmış gibi)	[ ] >1/30 rad. >2° (yana yatmış olduğu açık)
d. Kolonlardaki Hasar **1.** En fazla hasar görmüş katı belirleyip, kabaca planını çizerek, sayfanın altında belirtildiği şekilde hasarlı kolon sayısını belirledikten sonra, e-1 ve e-2' yi doldurunuz. **2.** Eğer kolonlarda ciddi bir hasar olmayıp; bazı kirişlerde ve/veya alt ve üst kolon-kiriş birleşim noktalarında hasar varsa, bunları da kolon hasarı olarak dikkate alınız.			
d-1. IV. veya V. Derecede Hasarlı Kolonların Yüzdesi [(2)/(3)x100]=%...	[ ]<%1	[ ] %1-%10	[ ] >%10
d-2. III. Derecede Hasarlı Kolonların Yüzdesi [(2)/(3)x100]=%...	[ ]<%15	[ ] %15-%30	[ ] >%30

Yapı Güvenliği Konusunda Verilen Karar	**[ ] HASARSIZ veya [ ] AZ HASARLI* (Sadece A varsa)**	**[ ] ORTA HASARLI (B = 1 ancak C = 0)**	**[ ] AĞIR HASARLI (C ≥ 1 veya B ≥ 2)**

* *Kural Olarak, Yapının Tamamının İçeriden de Kontrolü Yapılmış Olmalıdır.*

Gözlenebilen Kolonların İşaretlendiği ***Taslak Plan***:	**İNCELEME YAPILAN KAT:** .....
	(1) Hasar Derecesi IV veya V Olan Kolonların Sayısı: .....
	(2) Hasar Derecesi III Olan Kolonların Sayısı: .....
	(3) İncelenen Kolon Sayısı: .....
	(4) Toplam Kolon Sayısı: .....
	(5) İncelenen Kolon Yüzdesi: [(3)/(4)x100]= %.....

- Hasar Derecesi III' den büyük olan kolonlar tespit edilip çizilen krokide gösterilecektir.

4 Düşen veya Devrilen Parçaların Yaratacağı Tehlike

	A	B	C
e. Çerçeve içinde kalan Bölme Duvarları [ ] Boşluklu Tuğla [ ] Dolu Tuğla [ ] Briket	[ ] Hasarsız ya da Az Hasarlı	[ ] Hasarlı Fakat Düzlem Dışına Kaçma Yok	[ ] Çok Hasarlı, Çevreden Ayrılmış, Düzlemi Dışına Kaçıklık Gözleniyor
f. Etrafı Çevrilmemiş Bölme Duvarları [ ] Boşluklu Tuğla [ ] Dolu Tuğla [ ] Briket	[ ] Hasarsız	[ ] Az Hasarlı	[ ] Çapraz Çatlaklar Gözleniyor.
g. Oturtma Çatı	[ ] Hasarsız [ ] Bilinmiyor	[ ] Az Hasarlı Ancak Düşme Tehlikesi Yok	[ ] Fark Edilebilir Nitelikte Ayrılma, Yerdeğiştirme veya Yatma
h. Merdivenler [ ] İç [ ] Dış	[ ] Hasarsız ya da Az Hasarlı [ ] Bilinmiyor	[ ] Ağır Hasarlı Kısımlar Var Ancak Donatılar Halen Ankrajlı	[ ] Fark Edilebilir Derecede Yatma/ Birleşim Elemanlarında Ayrılma
i. Pencere Çerçevesi ve Camlar	[ ] Hasarsız ya da Az Hasarlı	[ ] Görülebilir Çatlak ve/veya Yerdeğiştirmeler	[ ] Düşme Tehlikesi Var
j. Cephe Kaplama [ ] Sıva [ ] Diğer	[ ] Hasarsız	[ ] Kısmi Çatlaklar veya Ayrılmalar	[ ] Önemli Çatlak ve/veya Ayrılmalar
k. Su Deposu, Baca, Makine Donanımı	[ ] Eğim Yok [ ] Bilinmiyor	[ ] Az Eğimli	[ ] Düşme Olasılığı Var
l. Diğer Tehlikeler (.....)	[ ] Hasarsız	[ ] Hasarlı	[ ] Çok Tehlikeli

Yapısal Olmayan Elemanlara İlişkin Güvenlik	**[ ] HASARSIZ veya [ ] AZ HASARLI* (Sadece A ve/veya B varsa)**	**[ ] ORTA HASARLI (C ≥ 1)**

* *Kural Olarak, Yapının Tamamının İçeriden de Kontrolü Yapılmış Olmalıdır.*

5 (3.) ve (4.) İnceleme Bölümlerini Kapsayan Ara Özet

İncelemenin Nereden Yapıldığı	[ ] Sadece Dıştan	[ ] Dıştan ve İçten

1.) **(3.)** ve **(4.)**'ün Sonuçlarından En Olumsuzunu Seçerek, ***Genel Değerlendirme*** Olarak İşaretleyiniz.

	HASARSIZ veya AZ HASARLI	**ORTA HASARLI**	**AĞIR HASARLI**
(3.) (Taşıyıcı Sistem Güvenliği)	[ ]	[ ]	[ ]
(4.) (Taşıyıcı Olmayan Sistem Güvenliği)	[ ]	[ ]	---
Genel Değerlendirme (En Olumsuzu İşaretleyiniz)	[ ]* * *Kural Olarak, Yapının Tamamının İçeriden de Kontrolü Yapılmış Olmalıdır.*	[ ]	[ ]

2.) Yukarıdaki sonuçları ilk sayfadaki ÖZET bölümüne işleyiniz. Düşme ve/veya devrilmeye eğilimi bulunan parçaların yaratacağı tehlikeler bölümünde, B ve C değerlendirmesi olan kolonlarda işaretli bir cevap varsa önerilerinizi **(6.)**' da ÖZET bölümünde açıklayınız.

A.2 MÜHENDİSLİK HİZMETİ GÖRMÜŞ YAPILAR İÇİN HASAR TESPİT FORMU

İDARİ BİLGİLER

İl : .....
İlçe : .....
Köy/Mahalle : .....
Sokak : .....
Dış Kapı No : .....

Değerlendirenler İmza
....
....
....
Formun Doldurulduğu Tarih : .....
Fotoğraf Çekildi mi? : .....
Afet Türü : .....
Olduğu Tarih : .....
Can Kaybı (Biliniyorsa) : .....

Kullanım Amacı:
Konut İşyeri Resmi (Kullanım Amacı.....)
Sanayi Otel, Restoran Hastane, Klinik, Sağlık Merkezi Diğer

Bağımsız Birim Adedi: .....

Bağımsız Birim No.	Mülkiyet Sahibi Adı, Soyadı	Kullanan Adı, Soyadı	Projelendirildiği Tarih: ... İnşa Tarihi: ..... Mimari Proje: Var Yok Statik Proje: Var Yok
1.			
2.			
3.			
4.			
.			
.			

(Gerekirse Ekleyiniz)

GENEL BİLGİLER

Genel Not: 2. ve 3. bölümlerde işaretlenen bazı kutuların yanında parantez içinde ***Hasar Arttırıcı Puan*** yazılıdır. Bunların toplamı 5. bölümde kullanılmaktadır.

Kroki: Plan (Takribi Boyutlar)

Plandaki Geometri:
Dikdörtgen T Şeklinde
L Şeklinde U Şeklinde Diğer

Bina X-X Ekseni Doğrultusunda (Krokiye İşleyiniz):
K-G D-B
K45D K45B

Kesit (Takribi Boyutlar)
Kat Yüksekliği: .....
Kat Adedi: ..... Bodrum+ .....Zemin dahil kat = ...
Ara Kat : Var *(0.25)* Yok
Çekme Kat : Var *(0.25)* Yok
Bodrum : ..... m
Zemin : ..... m
Normal Kat : ..... m

Planda Düzensizlik: Var *(0.5)* Yok Kesitte Düzensizlik: Var*(0.5)* Yok

Bina Konumu: Komşu Yapılarla Kat Seviyesi Farkları: Dilatasyon: Var Yok(*0.25*)

Bağımsız Kat Döş. Aynı Seviyede Yapıdaki En Büyük Açıklık:

Kenar *(0.25)* Kat Döş. Farklı Seviyelerde *(0.5)* ≤4 m 4-6 m >6 m (*0.5*)

Orta

Türü:

Betonarme Çerçeve

Betonarme Çerçeve+Perde : Yerinde Dökme Prefabrike

Betonarme Kutu (Tamamen Perde, Tünel Kalıp vs.)

Yığma (Kargir): Taş Boşluklu Fabrika Tuğlası (Delik Yönü: Düşey Yatay)

Harman Tuğla Briket

Çelik Çerçeve: Normal-Çaprazlı Sanayi Tipi

Ahşap: Hımış Bağdadi Prefabrike

Melez (Açıklayınız)

Döşeme Sistemi: Kirişli Düz Döşeme Kaset Döşeme

Asmolen Döşeme Ahşap Bütün Katlar Aynı

Dişli Döşeme Çelik Bütün Katlar Farklı (Belirtiniz)

Kirişsiz Döşeme Mantar Döşeme

Çatı Sistemi:

Malzeme: Beton Galvanizli Saç (Suni Elyaf) Geometri: A B C D

Kiremit Diğer

Duvarlar:

Bodrum Dış Duvarlar: Taş Kargir Briket

B/A Duvar Fb./Harman Tuğla Diğer

Zemin Dahil Diğer Katlarda Düşey Yük Taşımayan Bölme Duvarlar:

Harman Tuğla Boşluklu Fb. Tuğlası Diğer

Briket Gazlı Beton

Kargir Yapılarda Zemin Dahil Diğer Katlarda Düşey Yük Taşıyan Bölme Duvarlar:

Harman Tuğla Briket Taş Kargir Gazlı Beton Diğer

Boşluklu Fb. Tuğlası (Düşey Delikli Yatay Delikli)

Hatıl Durumu: Duvar Harcı:

Duvar Üstü Sürekli Kapı/Pencere Üstü Sürekli Çimento Kireç

Kapı/Pencere Kısmi (Lento) Düşey Hatıl Pencere Altı

Kısa Kolon: Var Yok

Zemin Türü: Temel Sistemi:

Kaya Sıkı Kil/Sert Kum Kum/Katı Kil Münferit Mütemadi

Gevşek Kum/ Yumuşak Kil *(0.25)* Belirlenemedi *(0.25)* Kazık Diğer

Radye Belirlenemedi

Malzeme Kalitesi:

1 2 3 *(0.5)* 4 *(0.5)*

İşçilik:

1 2 3 *(0.25)* 4 *(0.25)*

Betonarme Yapılarda:

Donatı: StI StIII Belirlenemedi

Beton: Çekiç Deneyi Mümkünse;

$\sigma_b<100$ *(1.0)* $100<\sigma_b<150$ *(1.0)*

$150<\sigma_b<225$ $\sigma_b>225$

Gözle Muayene:

İyi Kötü *(1.0)*

Bilinmiyor/Çok Değişken *(1.0)*

HASAR BELİRLEMESİ

Not: Melez (Karma) yapılarda hakim tür hangisi ise formun bu bölümünü o tür için doldurunuz.

Binada genel veya kısmi yıkılma: Var Yok

Eğer varsa "Ağır Hasar" işaretlenecektir.

Zemin Kat veya En Ağır Hasar Görmüş Katta :

Katlar Arası Kalıcı Yerdeğiştirme:	Hasar Puanı (KKYP)
$\delta/h \leq 0.0015$	0
$0.0015 < \delta/h \leq 0.005$	2
$0.005 < \delta/h \leq 0.020$	5
$\delta/h > 0.020$	10

δ : Kalıcı Yerdeğiştirme

h : Kolon veya Kat Yüksekliği

Kolon Hasar Dağılımı Matrisi:

(Eksenleri krokide gösteriniz, gerekirse satır ve sütun ekleyiniz)

Bu Tablo sadece kolon hasarı belirlenmesi için kullanılacaktır.

Y-DOĞRULTUSU	X-DOĞRULTUSU									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
A										
B										
C										
D										
E										
F										
G										

Bu Tabloda; *0*-Hasarsız *1*-Az Hasar *2*-Orta Hasar *3*-Ağır Hasar olarak değerlendirilecektir.

Yerinde Dökülmüş Betonarme Çerçeve veya Betonarme Çerçeve+Perde Sistemler:

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)	EÖK	EHP
Kolonlar						2	
Kirişler						1	
Perde						6	
Birleşimler						1	
Dolgu Duvarlar						0.5	
							TEHP: .....

Eleman Hasar Puanı (*EHP*) = $EÖK\ (A\times1+O\times2+AH\times4)/TS$

Sistem Hasar Puanı (*SİHP*) = $TEHP\times100\ /\ (d_k\times8 + d_{ki}\times4 + d_p\times24 + d_b\times4 + d_d\times2)$

Betonarme Kutu (Tünel Kalıp veya Prefabrike):

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)	EÖK	EHP
Yatay/Düşey Derzler						2	
İç Duvarlar						4	
Cephe Duvarları						1	
							TEHP: .....

$EHP = EÖK\ (A\times1+O\times2+AH\times4)/TS$

$SİHP = TEHP\times100\ /\ (d_{de}\times8 + d_i\times16 + d_c\times4)$

Betonarme Kutu (Tünel Kalıp veya Prefabrike):

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)
Duvarlar					

$SİHP = (A\times1+O\times2+AH\times4)\times100/(4\times TS)$

Prefabrike Betonarme Çerçeve:

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)	EÖK	EHP
Kolonlar						3.5	
Kirişler						2	
Birleşimler						6	
							TEHP: .....

$EHP = EÖK\ (A\times1+O\times2+AH\times4)/TS$

$SİHP = TEHP\times100\ /\ (d_k\times14 + d_{ki}\times8 + d_b\times24)$

Çelik Çerçeve:

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)	EÖK	EHP
Kolonlar						2	
Kirişler						1	
Birleşimler						4	
Dolgu Duvarlar						0.25	
Çapraz Gergiler						0.75	
							TEHP: .....

$EHP = EÖK\ (A\times1+O\times2+AH\times4)/TS$

$SİHP = TEHP\times100\ /\ (d_k\times8 + d_{ki}\times4 + d_b\times16 + d_d\times1 + d_ç\times3)$

Ahşap:

	Toplam Sayı (TS)	Hasarsız (H)	Az Hasarlı (A)	Orta Hasarlı (O)	Ağır Hasarlı (AH)
Taşıyıcı Duvarlar					

$SİHP = (A\times1+O\times2+AH\times4)\times100/(4\times TS)$

Çatı:

Hasarsız *(0)* Az Hasarlı *(0)* Orta Hasarlı *(0.75)* Ağır Hasarlı *(1.5)*

Merdiven:

Hasarsız *(0)* Çatlama veya Göçme Var *(1.0)*

Zeminde Aşırı Oturma Miktarı:

≤0.5 m >0.5 m *(1.5)*

GENEL HASAR PUANI HESAPLAMASI

1. Katlar Arası Kalıcı Yer Değiştirme Puanı (KKYP) : .....
2. Bina Türü için SİHP : .....
3. Hasarı Arttırıcı Puanların Toplamı (≤5)(HAP) : .....
4. Çatı ve Merdiven Hasar Puanı (ÇMHP) : .....

Toplam Hasar Puanı $(THP) = SİHP \times 0.80 + ÇMHP + KKYP + HAP + AOP$

$0 \leq THP \leq 5$	*Hasarsız*
$6 \leq THP \leq 14$	*Az Hasarlı*
$15 \leq THP \leq 43$	*Orta Hasarlı*
$THP > 43$	*Ağır Hasarlı*

Genel Not: SİHP'nin hesaplanmasında kullanılan alt indisli d katsayısı sadece 1.0 ve 0.0 değerini alabilir. d katsayısı söz konusu elemana karşılık gelen Toplam Sayı (TS) değeri 0 iken 0.0, diğer durumlarda 1.0 alınmalıdır.

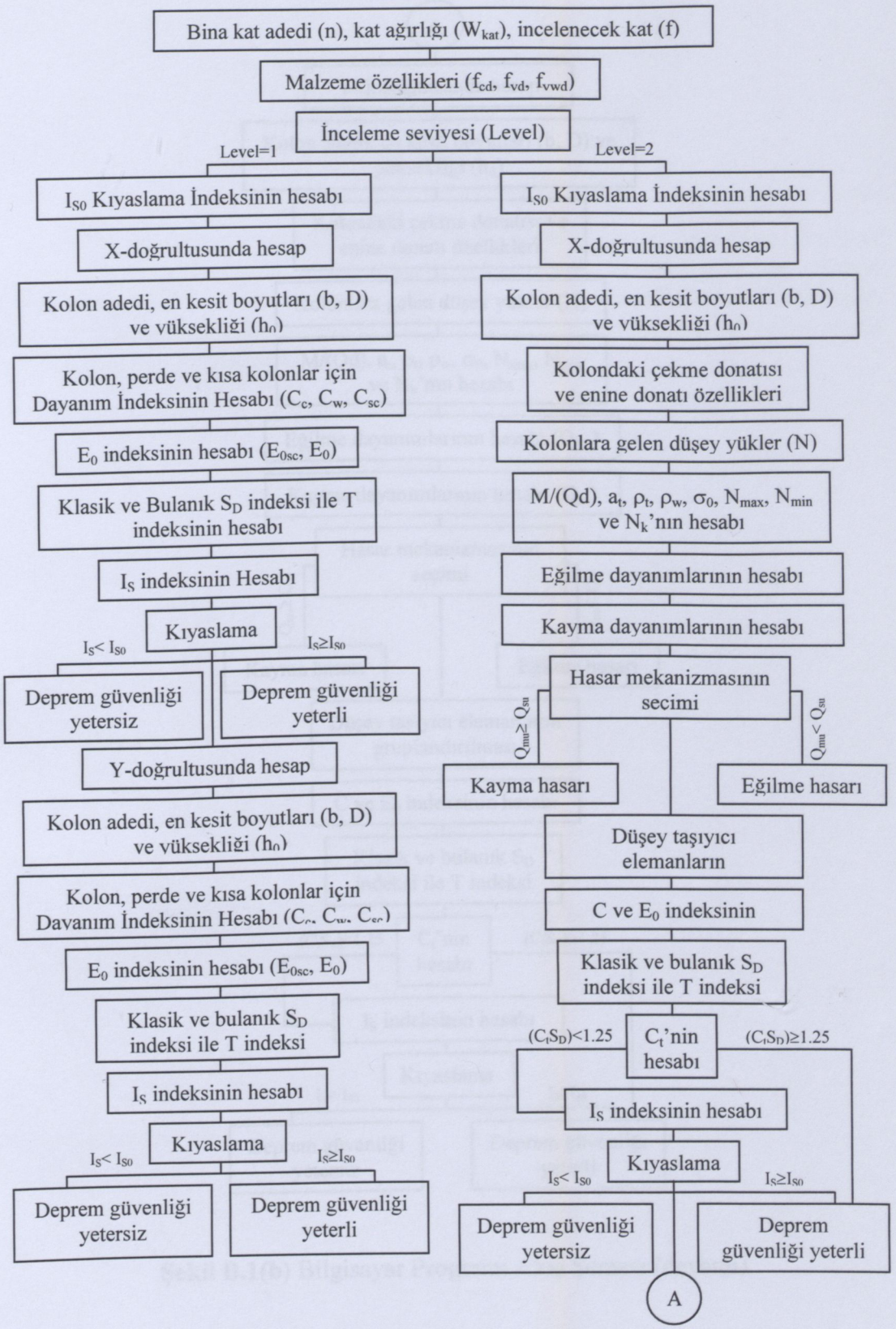
Eleman	***Alt İndis***	***Eleman***	***Alt İndis***
Kolon	k	İç Duvar	i
Kiriş	ki	Cephe Duvarı	c
Perde	p	Birleşim	b
Dolgu Duvar	d	Çapraz Gergi	ç
Derz	de		

EK B.

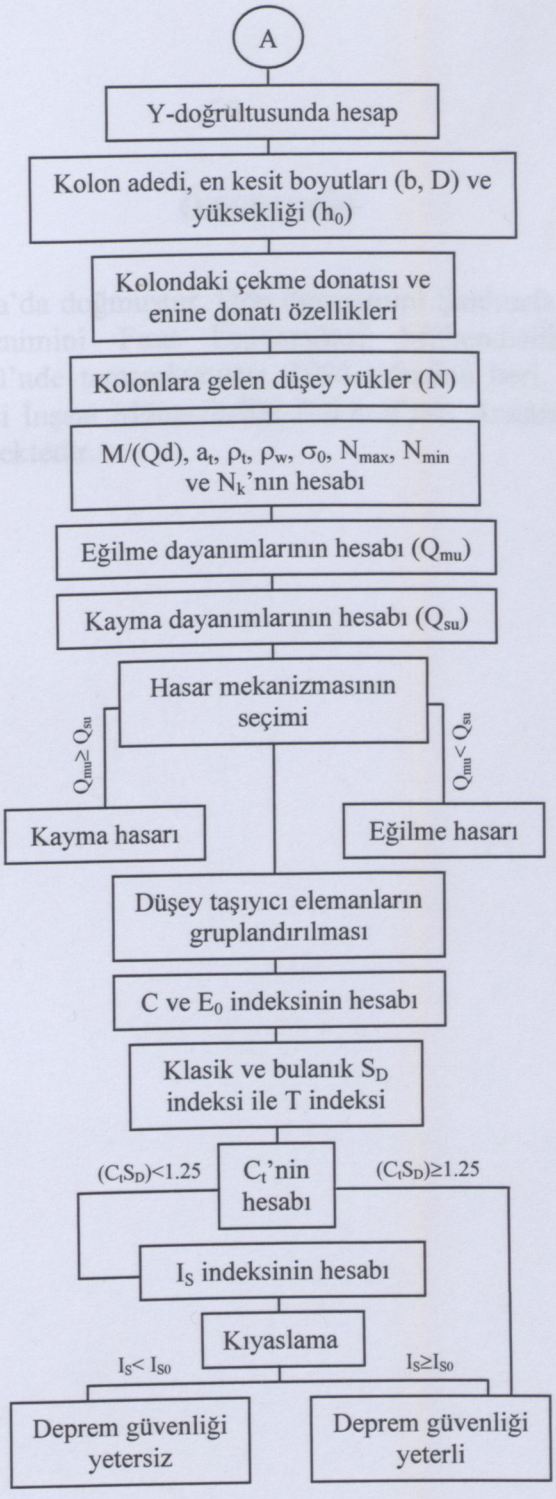
BİLGİSAYAR PROGRAMI

Tez çalışmasında çözülen uygulamalara konu olan binaların Sismik İndeks Yöntemi ile depreme karşı dayanımının değerlendirilmesi amacıyla, yazar tarafından *C* programlama dili ile kodlanmış olan bir bilgisayar programı yazılmıştır. Geliştirilmiş olan bilgisayar programını ve açılan dosyaları içeren disket, EK C olarak tezin kapak kısmındaki cepte sunulmaktadır.

Bu programı kullanabilmek için ilk olarak Sismik İndeks Yönteminin 1. ve 2. aşamasında program için gerekli olan verilerin yazılması için bir veri tabanı oluşturmak üzere iki ve sonuçların yazılması için bir tane olmak üzere üç tane dosya açmak gerekmektedir. Geliştirilen program kullanılarak yapılan çözümlemede izlenen işlem sırası Şekil B.1(a) ve Şekil B.1(b)'de akış diyagramı olarak verilmektedir. Ortalama çözümleme süresi, 64 MB RAM ve 350 MHz hıza sahip PC'de 10-50 s arasında değişmektedir.



Şekil B.1(a) Bilgisayar Programı Akış Şeması



Şekil B.1(b) Bilgisayar Programı Akış Şeması (devamı)

ÖZGEÇMİŞ

1972 yılında Şanlıurfa'da doğmuştur. Orta öğrenimini Şanlıurfa Lisesinde, lisans ve yüksek lisans öğrenimini Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde tamamlamıştır. 1994 yılından beri, Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde Araştırma Görevlisi olarak çalışmalarını sürdürmektedir.