

AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ ★ MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

**BETONARME YAPILARIN DEPREM PERFORMANSININ
DOĞRUSAL VE DOĞRUSAL OLMAYAN
YÖNTEMLERLE BELİRLENMESİ**

**SEMİNER ÇALIŞMASI DERSİ
Hüseyin Abdullah ŞİŞMAN**

**İnşaat Mühendisliği 4.Sınıf
20170801036**

**NEVŞEHİR
OCAK 2021**

İçindekiler

ŞEKİLLER TABLOSU	iii
1. GİRİŞ	1
1.1 Konu	1
2. YAPI SİSTEMLERİNİN HESAP ESASLARI	1
2.1 Doğrusal Teori.....	1
2.2 Doğrusal Olmayan Teori	2
3. PERFORMANS HEDEFLERİ VE UYGULANACAK YÖNTEMİN BELİRLENMESİ	3
3.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri.....	3
3.1.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)	3
3.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)	3
3.1.3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)	3
3.1.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)	3
3.2 Tasarım İvme Spektrumu.....	3
3.3 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları	4
3.4 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS).....	4
3.5 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)	5
3.6 Bina Performans Düzeyleri	5
3.6.1 Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi	5
3.6.2 Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi	5
3.6.3 Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi.....	5
3.6.4 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi	5
3.7 Bina Performans Hedefleri	6
4. DAYANIMA GÖRE TASARIM İÇİN HESAP ESASLARI	7
4.1 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı.....	7
4.2 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı katsayısı.....	8
4.3 Deprem Etkisi Altında Yüğü Kombinasyonları	8
4.4 Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	9
4.5 Hareketli Yüğü Kütle Katılım Katsayısı	9
5. DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ	10
5.1.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri	10
5.1.2 Hesap Yönteminin Seçilmesi	10
5.2 EŞDEĞER DEPREM YÜĞÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL DEPREM YÜĞÜ HESABI	10
5.2.1 Yüğü Kombinasyonları	11

5.3	MODAL HESAP YÖNTEMLERİ İLE DOĞRUSAL DEPREM HESABI.....	13
5.3.1	Temel Modal Büyüklükler	13
5.3.2	Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı	13
5.3.3	SAP2000 Programı Yardımı ile Mod Birleştirme Yöntemi Uygulanması	14
6.	ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM YAKLAŞIMI	16
6.1	Plastik Mafsallık Hipotezi	16
7.	DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ	16
7.1	Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri	16
7.2	Hesap Yönteminin Seçilmesi	16
7.3	İTME YÖNTEMLERİ	16
7.3.1	Tek Modlu İtme Yöntemi	17
7.3.2	Çok Modlu İtme Yöntemi	17
7.4	ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ.....	18
7.4.1	SAP2000 Programı Yardımı ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Uygulanması.....	19
8.	MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ	22
8.1	Bina Bilgi Düzeyi Katsayıları	22
8.2	Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	22
8.3	Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar.....	22
8.4	Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi.....	23
8.4.1	Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi	23
8.4.2	Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi.....	23
8.4.3	Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi	23
8.4.4	Göçme Durumu	23
9.	SONUÇLAR.....	24
	KAYNAKLAR.....	25

ŞEKİLLER TABLOSU

Şekil 1 Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer Değiştirmesi	2
Şekil 2 TBDY-2018'e Göre Hesap Yöntemleri	2
Şekil 3 Tasarım İvme Spektrumu	3
Şekil 4 BKS.....	4
Şekil 5 DTS	4
Şekil 6 BYS.....	5
Şekil 7 Bina Performans Hedefleri.....	6
Şekil 8 Deprem Yükü Azaltma Katsayısı.....	7
Şekil 9 R,D Katsayıları	8
Şekil 10 Deprem Yükü Etkisinin Diğer Yüklerle Birleştirilmesi.....	8
Şekil 11 Etkin Kesit Rijitliği Çarpanları	9
Şekil 12 Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı.....	9
Şekil 13 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar.....	10
Şekil 14 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi	10
Şekil 15 Temel Modal Büyüklükler	13
Şekil 16 Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı	13
Şekil 17 SAP2000 ile Mod Birleştirme Yöntemi-1.....	14
Şekil 18 SAP2000 ile Mod Birleştirme Yöntemi-2.....	15
Şekil 19 Plastik Mafsal Tanımlaması	17
Şekil 20 Deprem İvme Kayıtları.....	18
Şekil 21 Erzincan Depremi Benzeştirilmiş İvme Kaydı	19
Şekil 22 Time History Analizi.....	21
Şekil 23 Plastik Mafsal Oluşumu.....	22
Şekil 24 Bina Bilgi Düzeyi Katsayısı	22
Şekil 25 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri	22

1. GİRİŞ

1.1 Konu

TBDY-2018'e göre yapıların deprem yükü altında performanslarının değerlendirilmesi genel olarak iki farklı tasarım yaklaşımı ile yapılmaktadır. Bunlar doğrusal (DGT) ve doğrusal olmayan (ŞGDT) yöntemlerdir.

Doğrusal değerlendirme yönteminin temelini oluşturan ve dayanım (kuvvet) bazlı değerlendirme adı verilen birinci tür değerlendirmede, yapı elemanlarının taşıma kapasiteleri, sistem üzerindeki yüklerin oluşturduğu iç kuvvetlerle karşılaştırılarak eleman bazında bir tür deprem yükü azaltma katsayısı çerçevesinde yapılan değerlendirmedir.

Doğrusal olmayan değerlendirme yöntemlerinin esasını oluşturan, şekil değiştirme esaslı değerlendirmenin temel alındığı ve genel olarak malzeme ve geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan sistem hesabına dayanan yöntemlerde ise, belirli bir deprem etkisi altında oluşan plastik mafsallardaki şekil değiştirme düzeyinde yapılan değerlendirmedir.

Yapı mühendisliğindeki gelişmeler, bilgisayar teknolojisindeki ilerleme ve malzeme bilimindeki gelişmeler, mühendislerin deprem hareketini ve depremin yapılar üzerindeki etkilerini daha gerçekçi ve aslına uygun olarak belirlemesine katkıda bulunmaktadır. Bu gelişmeler, yapı sistemlerinin deprem sırasındaki doğrusal olmayan davranışlarının daha yakından izlenmesine ve daha gerçekçi göçme güvenliklerinin belirlenmesine olanak sağlamaktadır.

2. YAPI SİSTEMLERİNİN HESAP ESASLARI

2.1 Doğrusal Teori

Mekanik problemlerinin çözümünde izlenen yol üç aşamada özetlenebilir; (a) denge koşullarının sağlanması, (b) uygunluk koşullarının sağlanması ve (c) bünye bağıntıları yani malzeme için gerilme-birim deformasyon $\sigma - \epsilon$, ilişkisinin belirlenmesidir. İlk iki aşama malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Gerilme-birim deformasyon bağıntılarının doğrusal olduğunu esas alan hesap yöntemleri doğrusal teoriyi esas alan hesap yöntemleri olarak nitelendirilir. Doğrusal teoriyi esas alan analiz yöntemlerinin dayandığı kabuller izleyen şekilde sıralanır:

1. Malzeme doğrusal – elastiktir.
2. Yer değiştirmeler, denge ve geometrik süreklilik denklemlerine etkileri terk edilebilecek kadar küçüktür. Diğer bir deyişle, birinci mertebeye teorisi geçerlidir.
3. Tepki kuvvetleri çift yönlüdür ve sistem boyutları yükleme ile değişmemektedir.

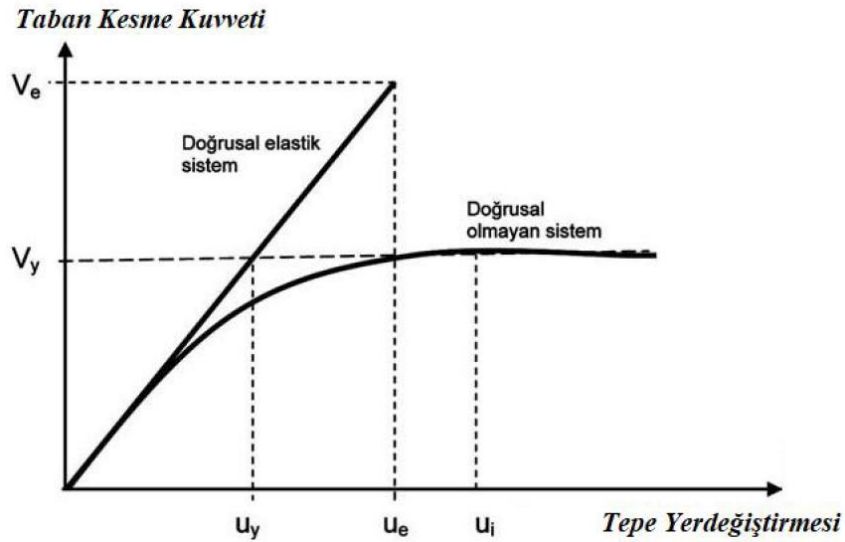
Bu varsayımlar sonucunda süperpozisyon prensibi geçerlidir.

2.2 Doğrusal Olmayan Teori

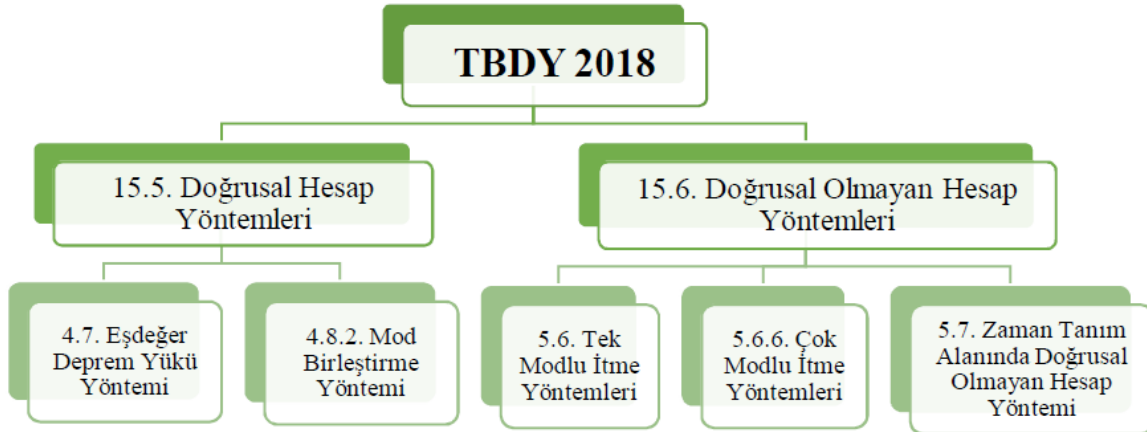
Genellikle, yapı sistemleri işletme yükleri altında doğrusal davranış gösterirler. Yani hesaplanan yer değiştirmeler, şekil değiştirme ve gerilmeler doğrusal teori için yapılan kabuller çerçevesindedir. Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, şekil değiştirme ve gerilmeler lineer–elastik sınırı aşmakta, yer değiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır. Böyle bir durumda doğrusal teoriden söz etmek doğru olmayacaktır ve bunun yerine lineer elastik sınır ötesindeki davranışı göz önüne alan doğrusal olmayan teori geçerli olacaktır. Doğrusal olmayan teori üç şekilde ortaya çıkabilir:

1. Malzeme bakımından doğrusal olmayan teori: malzeme davranışı lineer elastik değildir.
2. Geometri değişimleri bakımından doğrusal olmayan teori: yer değiştirmelerin denge denklemlerine etkileri terk edilebilecek kadar küçük değil.
3. Malzeme ve geometri değişimleri bakımdan doğrusal olmayan teori: malzeme lineer-elastik değil ve yer değiştirmeler çok küçük değil.

Doğrusal olmayan teoride süperpozisyon prensibi geçerli değildir ve yüklerin aralarındaki oran sabit kalacak şekilde bir yük parametresine bağlı olarak değiştiği göz önünde tutulur.



Şekil 1 Taban Kesme Kuvveti – Tepe Yer Değiştirmesi



Şekil 2 TBODY-2018'e Göre Hesap Yöntemleri

3. PERFORMANS HEDEFLERİ VE UYGULANACAK YÖNTEMİN BELİRLENMESİ

3.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyleri

Türkiye Deprem Tehlikesi Haritasında (TDTH) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY)'de deprem yer hareketi dört farklı düzeyde tanımlanmıştır.

3.1.1 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-1 (DD-1)

DD-1 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %2 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 2475 yıl olduğu çok seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, göz önüne alınan en büyük deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.1.2 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-2 (DD-2)

DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.1.3 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-3 (DD-3)

DD-3 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %50 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 72 yıl olduğu sık deprem yer hareketini nitelemektedir.

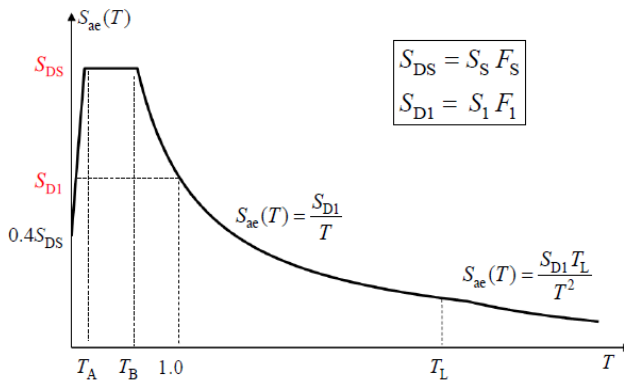
3.1.4 Deprem Yer Hareketi Düzeyi-4 (DD-4)

DD-4 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %68 (30 yılda aşılma olasılığı %50) ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 43 yıl olduğu çok sık deprem yer hareketini nitelemektedir. Bu deprem yer hareketi, servis deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.

3.2 Tasarım İvme Spektrumu

Deprem yer hareketi düzeyleri için deprem verileri Türkiye Deprem Tehlike Haritaları ile tanımlanmıştır. Bu haritalara <https://tdth.afad.gov.tr/> adresli internet sitesinden erişilebilir. Burada hesap yapılacak konum bilgisi, yer hareketi düzeyi bilgisi ve zemin sınıfı bilgisi girilerek detaylı rapor elde edilir.

S_S ve S_1 = Harita spektral ivme katsayıları S_{DS} ve S_{D1} = Tasarım spektral ivme katsayıları
 F_S ve F_1 = Yerel zemin etki katsayıları



$$S_{ac}(T) = \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_A}\right) S_{DS} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S_{ac}(T) = S_{DS} \quad (T_A \leq T \leq T_B)$$

$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1}}{T} \quad (T_B \leq T \leq T_L)$$

$$S_{ac}(T) = \frac{S_{D1} T_L}{T^2} \quad (T_L \leq T)$$

$$T_A = 0.2 \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_B = \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \quad ; \quad T_L = 6 \text{ s}$$

Şekil 3 Tasarım İvme Spektrumu

3.3 Bina Kullanım Sınıfları ve Bina Önem Katsayıları

Bina Kullanım Sınıfı	Binanın Kullanım Amacı	Bina Önem Katsayısı (I)
BKS = 1	<p>Deprem sonrası kullanımı gereken binalar, insanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar, değerli eşyanın saklandığı binalar ve tehlikeli madde içeren binalar</p> <p>a) Deprem sonrasında hemen kullanılması gerekli binalar (Hastaneler, dispanserler, sağlık ocakları, itfaiye bina ve tesisleri, PTT ve diğer haberleşme tesisleri, ulaşım istasyonları ve terminalleri, enerji üretim ve dağıtım tesisleri, vilayet, kaymakamlık ve belediye yönetim binaları, ilk yardım ve afet planlama istasyonları)</p> <p>b) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kışlalar, cezaevleri, vb.</p> <p>c) Müzeler</p> <p>d) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar</p>	1.5
BKS = 2	<p>İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar</p> <p>Alışveriş merkezleri, spor tesisleri, sinema, tiyatro, konser salonları, ibadethaneler, vb.</p>	1.2
BKS = 3	<p>Diğer binalar</p> <p>BKS=1 ve BKS=2 için verilen tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)</p>	1.0

Şekil 4 BKS

3.4 Deprem Tasarım Sınıfı (DTS)

DD-2 Deprem Yer Hareketi Düzeyinde Kısa Periyot Tasarım Spektral İvme Katsayısı (S_{DS})	Bina Kullanım Sınıfı	
	BKS = 1	BKS = 2, 3
$S_{DS} < 0.33$	DTS = 4a	DTS = 4
$0.33 \leq S_{DS} < 0.50$	DTS = 3a	DTS = 3
$0.50 \leq S_{DS} < 0.75$	DTS = 2a	DTS = 2
$0.75 \leq S_{DS}$	DTS = 1a	DTS = 1

Şekil 5 DTS

3.5 Bina Yükseklik Sınıfı (BYS)

Bina Yükseklik Sınıfı	Bina Yükseklik Sınıfları ve Deprem Tasarım Sınıflarına Göre Tanımlanan Bina Yükseklik Aralıkları [m]		
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a	DTS = 4, 4a
BYS = 1	$H_N > 70$	$H_N > 91$	$H_N > 105$
BYS = 2	$56 < H_N \leq 70$	$70 < H_N \leq 91$	$91 < H_N \leq 105$
BYS = 3	$42 < H_N \leq 56$	$56 < H_N \leq 70$	$56 < H_N \leq 91$
BYS = 4	$28 < H_N \leq 42$	$42 < H_N \leq 56$	
BYS = 5	$17.5 < H_N \leq 28$	$28 < H_N \leq 42$	
BYS = 6	$10.5 < H_N \leq 17.5$	$17.5 < H_N \leq 28$	
BYS = 7	$7 < H_N \leq 10.5$	$10.5 < H_N \leq 17.5$	
BYS = 8	$H_N \leq 7$	$H_N \leq 10.5$	

Şekil 6 BYS

3.6 Bina Performans Düzeyleri

Bina Performans Hedeflerinin tanımına esas olmak üzere, deprem etkisi altında bina taşıyıcı sistemleri için Bina Performans Düzeyleri 3.6.1, 3.6.2, 3.6.3, 3.6.4'te tanımlanmıştır.

3.6.1 Kesintisiz Kullanım (KK) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında yapısal hasarın meydana gelmediği veya hasarın ihmal edilebilir ölçüde kaldığı duruma karşı gelmektedir.

3.6.2 Sınırlı Hasar (SH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında sınırlı düzeyde hasarın meydana geldiği, diğer deyişle doğrusal olmayan davranışın sınırlı kaldığı hasar düzeyine karşı gelmektedir.

3.6.3 Kontrollü Hasar (KH) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, can güvenliğini sağlamak üzere bina taşıyıcı sistem elemanlarında çok ağır olmayan ve çoğunlukla onarılması mümkün olan hasar düzeyine karşı gelmektedir.

3.6.4 Göçmenin Önlenmesi (GÖ) Performans Düzeyi

Bu performans düzeyi, bina taşıyıcı sistem elemanlarında ileri düzeyde ağır hasarın meydana geldiği göçme öncesi duruma karşı gelmektedir. Binanın kısmen veya tamamen göçmesi önlenmiştir.

3.7 Bina Performans Hedefleri

(a) Yeni Yapılacak Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar Dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 1a ⁽¹⁾ , 2, 2a ⁽¹⁾ , 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a ⁽²⁾ , 2a ⁽²⁾	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

(b) Yeni Yapılacak veya Mevcut Yüksek Binalar ($BYS = 1$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-4	KK	DGT	—	—
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	DGT ⁽³⁾	KH	DGT ^(3,4)
DD-1	GÖ	ŞGDT	KH	ŞGDT

(c) Mevcut Yerinde Dökme Betonarme, Önüretimli Betonarme ve Çelik Binalar
(Yüksek Binalar dışında – $BYS \geq 2$)

Deprem Yer H. Düzeyi	DTS = 1, 2, 3, 3a, 4, 4a		DTS = 1a, 2a	
	Normal Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı	İleri Performans Hedefi	Değerlendirme/Tasarım Yaklaşımı
DD-3	—	—	SH	ŞGDT
DD-2	KH	ŞGDT	—	—
DD-1	—	—	KH	ŞGDT

Şekil 7 Bina Performans Hedefleri

4. DAYANIMA GÖRE TASARIM İÇİN HESAP ESASLARI

Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yaklaşımının tanımı yönetmelikte aşağıdaki şekilde verilmiştir:

- (a) Öngörülen belirli bir performans hedefi için tanımlanan taşıyıcı sistem süneklik kapasitesine karşı gelen azaltılmış deprem yükleri belirlenir.
- (b) Azaltılmış deprem yükleri altında taşıyıcı sistemin doğrusal deprem hesabı yapılır. Bu hesaptan bulunan eleman azaltılmış iç kuvvetleri, gerekli durumlarda dayanım fazlalığı da dikkate alınarak, diğer yüklerden oluşan iç kuvvetlerle birleştirilerek dayanım talepleri elde edilir.
- (c) Eleman dayanım talepleri, öngörülen performans hedefi için tanımlanmış bulunan eleman iç kuvvet kapasiteleri dayanım kapasiteleri) ile karşılaştırılır.
- (d) Deprem hesabından elde edilen görece kat ötelemeleri izin verilen sınırlarla karşılaştırılır.
- (e) Dayanım taleplerinin dayanım kapasitelerinin altında olduğu ve aynı zamanda görece kat ötelemelerinin izin verilen sınırların altında olduğu gösterilerek tasarım tamamlanır. Aksi durumda eleman kesitleri değiştirilir ve hesap tekrarlanarak sonuca gidilir.

4.1 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

Deprem yüğü azaltma katsayısı Dayanıma Göre Tasarım çerçevesinde öngörülen süneklik kapasitesi – dayanım talebi ilişkisini sağlamak üzere aşağıdaki formüller ile hesaplanır.

$$S_{aR}(T) = \frac{S_{ae}(T)}{R_a(T)}$$

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B$$

$$R_a(T) = D + \left(\frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B$$

Şekil 8 Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı

4.2 Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı ve Dayanım Fazlalığı katsayısı

Bina Taşıyıcı Sistemi	Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı R	Dayanım Fazlalığı Katsayısı D	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfları BYS
A. YERİNDE DÖKME BETONARME BİNA TAŞIYICI SİSTEMLERİ			
A1. Süneklik Düzeyi Yüksek Taşıyıcı Sistemler			
A11. Deprem etkilerinin tamamının moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçevelerle karşılandığı binalar	8	3	BYS ≥ 3
A12. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdelerle karşılandığı binalar	7	2.5	BYS ≥ 2
A13. Deprem etkilerinin tamamının <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdelerle karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 2
A14. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	8	2.5	BYS ≥ 2
A15. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.4.5)	7	2.5	BYS ≥ 2
A16. Deprem etkilerinin tamamının çatı düzeyindeki bağlantıları mafsalı olan ve yüksekliği 12 m'yi geçmeyen <i>süneklik düzeyi yüksek</i> betonarme kolonlar tarafından karşılandığı tek katlı binalar	3	2	-
A2. Süneklik Düzeyi Karma Taşıyıcı Sistemler (Bkz. 4.3.4.1, 4.3.4.6)			
A21. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	6	2.5	BYS ≥ 4
A22. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar (Bkz.4.3.1.2)	5	2.5	BYS ≥ 4
A23. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışlı döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> bağ kirişli (boşluklu) betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	6	2.5	BYS ≥ 6
A24. Deprem etkilerinin moment aktaran <i>süneklik düzeyi sınırlı dolgulu (asmolen) veya dolgusuz tek doğrultulu dışlı döşemeli</i> betonarme çerçeveler ile <i>süneklik düzeyi yüksek</i> boşluksuz betonarme perdeler tarafından birlikte karşılandığı binalar	5	2.5	BYS ≥ 6

Şekil 9 R,D Katsayıları

4.3 Deprem Etkisi Altında Yük Kombinasyonları

$$\begin{array}{l}
 E_d^{(H)} = \pm E_d^{(X)} \pm 0.3 E_d^{(Y)} \\
 E_d^{(H)} = \pm 0.3 E_d^{(X)} \pm E_d^{(Y)}
 \end{array}
 \left|
 \begin{array}{l}
 G + Q + 0.2 S + E_d^{(H)} + 0.3 E_d^{(Z)} \\
 0.9 G + H + E_d^{(H)} - 0.3 E_d^{(Z)}
 \end{array}
 \right.$$

Şekil 10 Deprem Yüğü Etkisinin Diğer Yüklerle Birleştirilmesi

4.4 Etkin Kesit Rijitliği arpanları

Betonarme Taşıyıcı Sistem Elemanı	Etkin Kesit Rijitliği arpanı	
<i>Perde – Döşeme (Düzlem İçi)</i>	<i>Eksenel</i>	<i>Kayma</i>
Perde	0.50	0.50
Bodrum perdesi	0.80	0.50
Döşeme	0.25	0.25
<i>Perde – Döşeme (Düzlem Dışı)</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Perde	0.25	1.00
Bodrum perdesi	0.50	1.00
Döşeme	0.25	1.00
<i>ubuk eleman</i>	<i>Eğilme</i>	<i>Kesme</i>
Bağ kirişi	0.15	1.00
ereve kirişi	0.35	1.00
ereve kolonu	0.70	1.00
Perde (eşiğeğer çubuk)	0.50	0.50

şekil 11 Etkin Kesit Rijitliği arpanları

4.5 Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı

Binanın Kullanım Amacı	<i>n</i>
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, ğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, ibadethane, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işiğeri, otel, hastane, otopark, vb.	0.30

şekil 12 Hareketli Yük Kütle Katılım Katsayısı

5. DOĞRUSAL HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

5.1.1 Doğrusal Hesap Yöntemleri

Dayanımına Göre Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal hesap yöntemleri, Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile Modal Hesap Yöntemleridir (Mod Birleştirme Yöntemi ve Mod Toplama Yöntemi).

5.1.2 Hesap Yönteminin Seçilmesi

Doğrusal hesap yönteminin kullanılması uygun olan bütün binalarda deprem hesabının Modal Hesap Yöntemlerinden herhangi biri kullanılarak yapılması uygundur.

Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin kullanılabileceği binalar aşağıda verilmiştir.

Bina Türü	İzin Verilen Bina Yükseklik Sınıfı	
	DTS = 1, 1a, 2, 2a	DTS = 3, 3a, 4, 4a
Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2.0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar	BYS ≥ 4	BYS ≥ 5
Diğer tüm binalar	BYS ≥ 5	BYS ≥ 6

Şekil 13 Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin Uygulanabileceği Binalar

5.2 EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL DEPREM YÜKÜ HESABI

Tasarlanan yapının ağırlığına bağlı olarak bir taban kat kesme kuvveti bulunur. Bu kuvvete göre sistem boyutlandırılır. Yapı sadece birinci moda göre tasarlanır.

$$V_{tE}^{(X)} = m_t S_{aR}(T_p^{(X)}) \geq 0.04 m_t I S_{DS} g$$

$$m_t = \sum_{i=1}^N m_i$$

$$V_{tE}^{(X)} = \Delta F_{NE}^{(X)} + \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)}$$

$$\Delta F_{NE}^{(X)} = 0.0075 N V_{tE}^{(X)}$$

$$F_{iE}^{(X)} = (V_{tE}^{(X)} - \Delta F_{NE}^{(X)}) \frac{m_i H_i}{\sum_{j=1}^N m_j H_j}$$

$$M_o^{(X)} = \sum_{i=1}^N F_{iE}^{(X)} H_i$$

$$T_p^{(X)} = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^{(X)2}}{\sum_{i=1}^N F_{fi}^{(X)} d_{fi}^{(X)}} \right)^{1/2}$$

$$T_{pA} = C_t H_N^{3/4}$$

Şekil 14 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

5.2.1 Yk Kombinasyonları

1. $G + Q + Ex(-) + 0.3Ey(-)$
2. $G + Q + Ex(-) + 0.3Ey(0)$
3. $G + Q + Ex(-) + 0.3Ey(+)$
4. $G + Q + Ex(-) - 0.3Ey(-)$
5. $G + Q + Ex(-) - 0.3Ey(0)$
6. $G + Q + Ex(-) - 0.3Ey(+)$
7. $G + Q + Ex(0) + 0.3Ey(-)$
8. $G + Q + Ex(0) + 0.3Ey(0)$
9. $G + Q + Ex(0) + 0.3Ey(+)$
10. $G + Q + Ex(0) - 0.3Ey(-)$
11. $G + Q + Ex(0) - 0.3Ey(0)$
12. $G + Q + Ex(0) - 0.3Ey(+)$
13. $G + Q + Ex(+) + 0.3Ey(-)$
14. $G + Q + Ex(+) + 0.3Ey(0)$
15. $G + Q + Ex(+) + 0.3Ey(+)$
16. $G + Q + Ex(+) - 0.3Ey(-)$
17. $G + Q + Ex(+) - 0.3Ey(0)$
18. $G + Q + Ex(+) - 0.3Ey(+)$
19. $G + Q - Ex(-) + 0.3Ey(-)$
20. $G + Q - Ex(-) + 0.3Ey(0)$
21. $G + Q - Ex(-) + 0.3Ey(+)$
22. $G + Q - Ex(-) - 0.3Ey(-)$
23. $G + Q - Ex(-) - 0.3Ey(0)$
24. $G + Q - Ex(-) - 0.3Ey(+)$
25. $G + Q - Ex(0) + 0.3Ey(-)$
26. $G + Q - Ex(0) + 0.3Ey(0)$
27. $G + Q - Ex(0) + 0.3Ey(+)$
28. $G + Q - Ex(0) - 0.3Ey(-)$
29. $G + Q - Ex(0) - 0.3Ey(0)$
30. $G + Q - Ex(0) - 0.3Ey(+)$
31. $G + Q - Ex(+) + 0.3Ey(-)$
32. $G + Q - Ex(+) + 0.3Ey(0)$
33. $G + Q - Ex(+) + 0.3Ey(+)$
34. $G + Q - Ex(+) - 0.3Ey(-)$
35. $G + Q - Ex(+) - 0.3Ey(0)$
36. $G + Q - Ex(+) - 0.3Ey(+)$
73. $0.9G + Ex(-) + 0.3Ey(-)$
74. $0.9G + Ex(-) + 0.3Ey(0)$
75. $0.9G + Ex(-) + 0.3Ey(+)$
76. $0.9G + Ex(-) - 0.3Ey(-)$
77. $0.9G + Ex(-) - 0.3Ey(0)$
37. $G + Q + 0.3Ex(-) + Ey(-)$
38. $G + Q + 0.3Ex(-) + Ey(0)$
39. $G + Q + 0.3Ex(-) + Ey(+)$
40. $G + Q + 0.3Ex(-) - Ey(-)$
41. $G + Q + 0.3Ex(-) - Ey(0)$
42. $G + Q + 0.3Ex(-) - Ey(+)$
43. $G + Q + 0.3Ex(0) + Ey(-)$
44. $G + Q + 0.3Ex(0) + Ey(0)$
45. $G + Q + 0.3Ex(0) + Ey(+)$
46. $G + Q + 0.3Ex(0) - Ey(-)$
47. $G + Q + 0.3Ex(0) - Ey(0)$
48. $G + Q + 0.3Ex(0) - Ey(+)$
49. $G + Q + 0.3Ex(+) + Ey(-)$
50. $G + Q + 0.3Ex(+) + Ey(0)$
51. $G + Q + 0.3Ex(+) + Ey(+)$
52. $G + Q + 0.3Ex(+) - Ey(-)$
53. $G + Q + 0.3Ex(+) - Ey(0)$
54. $G + Q + 0.3Ex(+) - Ey(+)$
55. $G + Q - 0.3Ex(-) + Ey(-)$
56. $G + Q - 0.3Ex(-) + Ey(0)$
57. $G + Q - 0.3Ex(-) + Ey(+)$
58. $G + Q - 0.3Ex(-) - Ey(-)$
59. $G + Q - 0.3Ex(-) - Ey(0)$
60. $G + Q - 0.3Ex(-) - Ey(+)$
61. $G + Q - 0.3Ex(0) + Ey(-)$
62. $G + Q - 0.3Ex(0) + Ey(0)$
63. $G + Q - 0.3Ex(0) + Ey(+)$
64. $G + Q - 0.3Ex(0) - Ey(-)$
65. $G + Q - 0.3Ex(0) - Ey(0)$
66. $G + Q - 0.3Ex(0) - Ey(+)$
67. $G + Q - 0.3Ex(+) + Ey(-)$
68. $G + Q - 0.3Ex(+) + Ey(0)$
69. $G + Q - 0.3Ex(+) + Ey(+)$
70. $G + Q - 0.3Ex(+) - Ey(-)$
71. $G + Q - 0.3Ex(+) - Ey(0)$
72. $G + Q - 0.3Ex(+) - Ey(+)$
78. $0.9G + Ex(-) - 0.3Ey(+)$
79. $0.9G + Ex(0) + 0.3Ey(-)$
80. $0.9G + Ex(0) + 0.3Ey(0)$
81. $0.9G + Ex(0) + 0.3Ey(+)$
82. $0.9G + Ex(0) - 0.3Ey(-)$

83. $0.9G + Ex(0) - 0.3Ey(0)$
 84. $0.9G + Ex(0) - 0.3Ey(+)$
 85. $0.9G + Ex(+)+ 0.3Ey(-)$
 86. $0.9G + Ex(+)+ 0.3Ey(0)$
 87. $0.9G + Ex(+)+ 0.3Ey(+)$
 88. $0.9G + Ex(+)- 0.3Ey(-)$
 89. $0.9G + Ex(+)- 0.3Ey(0)$
 90. $0.9G + Ex(+)- 0.3Ey(+)$
 91. $0.9G - Ex(-)+ 0.3Ey(-)$
 92. $0.9G - Ex(-)+ 0.3Ey(0)$
 93. $0.9G - Ex(-)+ 0.3Ey(+)$
 94. $0.9G - Ex(-)- 0.3Ey(-)$
 95. $0.9G - Ex(-)- 0.3Ey(0)$
 96. $0.9G - Ex(-)- 0.3Ey(+)$
 97. $0.9G - Ex(0)+ 0.3Ey(-)$
 98. $0.9G - Ex(0)+ 0.3Ey(0)$
 99. $0.9G - Ex(0)+ 0.3Ey(+)$
 100. $0.9G - Ex(0)- 0.3Ey(-)$
 101. $0.9G - Ex(0)- 0.3Ey(0)$
 102. $0.9G - Ex(0)- 0.3Ey(+)$
 103. $0.9G - Ex(+)+ 0.3Ey(-)$
 104. $0.9G - Ex(+)+ 0.3Ey(0)$
 105. $0.9G - Ex(+)+ 0.3Ey(+)$
 106. $0.9G - Ex(+)- 0.3Ey(-)$
 107. $0.9G - Ex(+)- 0.3Ey(0)$
 108. $0.9G - Ex(+)- 0.3Ey(+)$
 109. $0.9G + 0.3Ex(-)+ Ey(-)$
 110. $0.9G + 0.3Ex(-)+ Ey(0)$
 111. $0.9G + 0.3Ex(-)+ Ey(+)$
 112. $0.9G + 0.3Ex(-)- Ey(-)$
 113. $0.9G + 0.3Ex(-)- Ey(0)$
 114. $0.9G + 0.3Ex(-)- Ey(+)$

115. $0.9G + 0.3Ex(0)+ Ey(-)$
 116. $0.9G + 0.3Ex(0)+ Ey(0)$
 117. $0.9G + 0.3Ex(0)+ Ey(+)$
 118. $0.9G + 0.3Ex(0)- Ey(-)$
 119. $0.9G + 0.3Ex(0)- Ey(0)$
 120. $0.9G + 0.3Ex(0)- Ey(+)$
 121. $0.9G + 0.3Ex(+)+ Ey(-)$
 122. $0.9G + 0.3Ex(+)+ Ey(0)$
 123. $0.9G + 0.3Ex(+)+ Ey(+)$
 124. $0.9G + 0.3Ex(+)- Ey(-)$
 125. $0.9G + 0.3Ex(+)- Ey(0)$
 126. $0.9G + 0.3Ex(+)- Ey(+)$
 127. $0.9G - 0.3Ex(-)+ Ey(-)$
 128. $0.9G - 0.3Ex(-)+ Ey(0)$
 129. $0.9G - 0.3Ex(-)+ Ey(+)$
 130. $0.9G - 0.3Ex(-)- Ey(-)$
 131. $0.9G - 0.3Ex(-)- Ey(0)$
 132. $0.9G - 0.3Ex(-)- Ey(+)$
 133. $0.9G - 0.3Ex(0)+ Ey(-)$
 134. $0.9G - 0.3Ex(0)+ Ey(0)$
 135. $0.9G - 0.3Ex(0)+ Ey(+)$
 136. $0.9G - 0.3Ex(0)- Ey(-)$
 137. $0.9G - 0.3Ex(0)- Ey(0)$
 138. $0.9G - 0.3Ex(0)- Ey(+)$
 139. $0.9G - 0.3Ex(+)+ Ey(-)$
 140. $0.9G - 0.3Ex(+)+ Ey(0)$
 141. $0.9G - 0.3Ex(+)+ Ey(+)$
 142. $0.9G - 0.3Ex(+)- Ey(-)$
 143. $0.9G - 0.3Ex(+)- Ey(0)$
 144. $0.9G - 0.3Ex(+)- Ey(+)$
 145. $1.4G + 1.6Q$
 146. Bütün Kombinasyonların Zarfı

5.3 MODAL HESAP YÖNTEMLERİ İLE DOĞRUSAL DEPREM HESABI

Binaya küçük küçük fiktif kuvvetler tesir edilip, bu fiktif kuvvetlerde yapının yapmış olduğu yer değiştirmelere bağlı olarak bir çözüm yöntemi geliştirilerek tasarım yapılan yöntemdir.

5.3.1 Temel Modal Büyüklükler

$$\Gamma_n^{(X)} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \Phi_{i(X)n}}{\sum_{i=1}^N (m_i \Phi_{ixn}^2 + m_i \Phi_{iyn}^2 + m_{i\theta} \Phi_{i\theta n}^2)} \quad ; \quad m_{txn}^{(X)} = \Gamma_n^{(X)} \sum_{i=1}^N m_i \Phi_{ixn}$$

$$m_{ixn}^{(X)} = m_i \Phi_{ixn} \Gamma_n^{(X)} \quad ; \quad m_{iyn}^{(X)} = m_i \Phi_{iyn} \Gamma_n^{(X)} \quad ; \quad m_{i\theta n}^{(X)} = m_{i\theta} \Phi_{i\theta n} \Gamma_n^{(X)}$$

$$\sum_{n=1}^{YM} m_{txn}^{(X)} \geq 0.95 m_t \quad ; \quad \sum_{n=1}^{YM} m_{iyn}^{(Y)} \geq 0.95 m_t$$

Şekil 15 Temel Modal Büyüklükler

5.3.2 Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı

Mod Birleştirme Yönteminde, verilen bir deprem doğrultusunda deprem tasarım spektrumundan yararlanılarak göz önüne alınan her bir titreşim modunda davranış büyüklüklerinin en büyük değerleri modal hesap yöntemi ile hesaplanır. Yeteri kadar titreşim modu için hesaplanan, ancak eşzamanlı olmayan en büyük modal davranış büyüklükleri daha sonra istatistiksel olarak birleştirilerek en büyük davranış büyüklüklerinin yaklaşık değerleri elde edilir.

$$r_{n,\max}^{(X)} = \bar{r}_n^{(X)} S_{aR}(T_n)$$

$$r_{\max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{m=1}^{YM} \sum_{n=1}^{YM} r_{m,\max}^{(X)} \rho_{mn} r_{n,\max}^{(X)}} \quad ; \quad r_{\max}^{(X)} = \sqrt{\sum_{n=1}^{YM} (r_{n,\max}^{(X)})^2}$$

$$\rho_{mn} = \frac{8\xi^2 (1+\beta_{mn}) \beta_{mn}^{3/2}}{(1-\beta_{mn}^2)^2 + 4\xi^2 \beta_{mn} (1+\beta_{mn})^2} \quad (\xi_m = \xi_n = \xi)$$

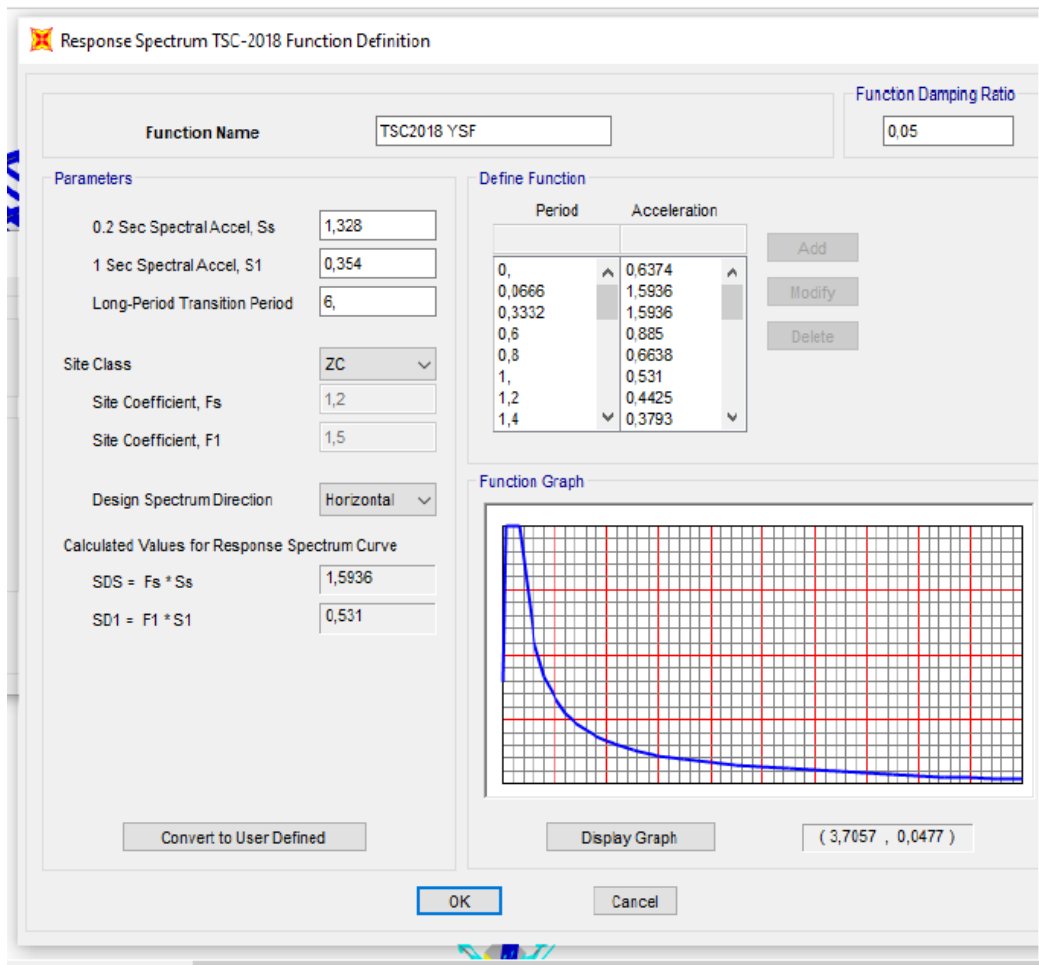
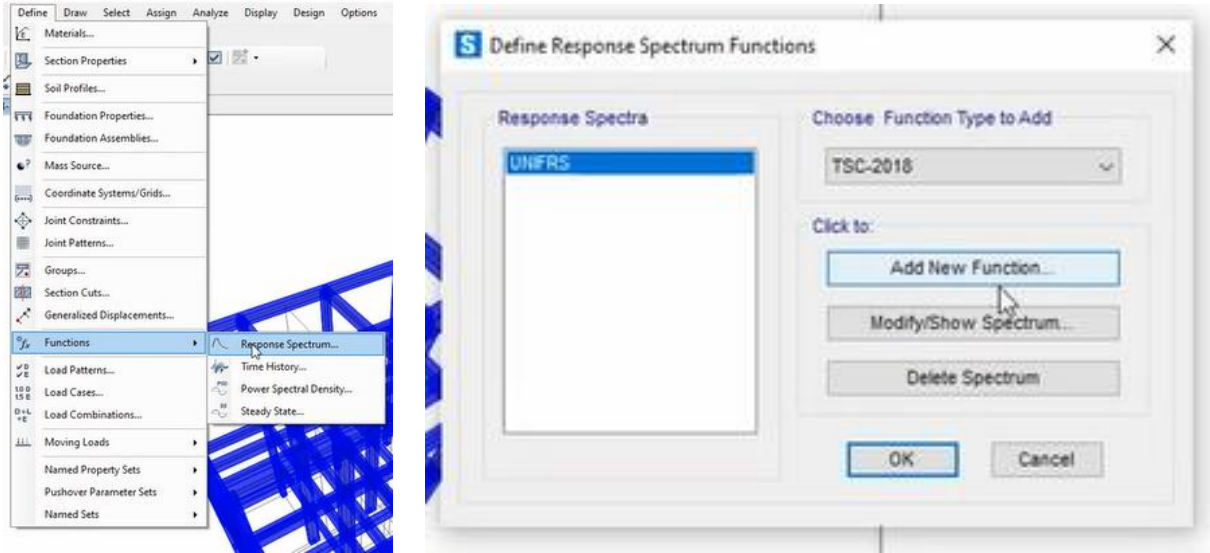
$$V_{txn,\max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,\max}^{(X)} = m_{txn}^{(X)} S_{aR}(T_n) \quad ; \quad M_{oxn,\max}^{(X)} = \sum_{i=1}^N f_{ixn,\max}^{(X)} H_i$$

Şekil 16 Mod Birleştirme Yöntemi ile Deprem Hesabı

Eşdeğer deprem yükü hesabı el hesabı ile kolayca yapılabilirken mod birleştirme yöntemi ve doğrusal olmayan hesap yöntemleri bir yazılım yardımıyla hesaplanabilmektedir.

5.3.3 SAP2000 Programı Yardımı ile Mod Birleştirme Yöntemi Uygulanması

AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritasından elde edilen tasarım ivme spektrumu parametreleri bu aşamada kullanılacaktır. Bunun için "Define→Functions→ResponseSpectrum" komutları seçilir. Burada hazır yönetmeliklerden ülkemizde kullanılan "TSC-2018" yönetmeliği seçilir. Spektral ivme değerleri ilgili yerlere girilirken "Function Damping Ratio" sönüm oranı değeri yönetmelikten %5 alınır.



Şekil 17 SAP2000 ile Mod Birleştirme Yöntemi-1

Deprem yüklerinin tanımlanabilmesi için "Define→ Load Cases" komutları seçilir. Load Cases Type olarak Response Spectrum seçilir. Directional Combinations kısmında SRSS (Karelerin Toplamının Karekökü) ve CQC (Tam Karesel Birleştirme) yöntemlerinden her iki durumu da sağlayan CQC seçilebilir. Yüklemin yönü belirtildikten sonra Scale Factor kısmına yer çekimi ivmesinin R katsayısına bölünmüş değeri girilir. Modal analiz kısmında her kat için üç mod ve toplam kütle katılımın %90 ı aşacak miktarda mod adedi girilerek deprem yükü tanımlanır. Yük ilgili kombinasyonlarla birleştirilerek analiz yaptırılır.

Load Case Data - Response Spectrum

Load Case Name: SPEC X [Set Def Name] Notes: [Modify/Show...]

Load Case Type: Response Spectrum [Design...]

Modal Combination:

- CQC
- SRSS
- Absolute
- GMC
- NRC 10 Percent
- Double Sum

 GMC #1: 1, GMC #2: 0, Periodic + Rigid Type: SRSS

Directional Combination:

- SRSS
- CQC3
- Absolute

 Scale Factor: []

Mass Source: Previous (G+0,3Q)

Diaphragm Eccentricity: Eccentricity Ratio: 0, [Override...]

Modal Load Case: Use Modes from this Modal Load Case: MODAL []

- Standard - Acceleration Loading
- Advanced - Displacement Inertia Loading

Loads Applied:

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Accel	U1	TSC2018 YS	9,81/8
Accel	U1	TSC2018 YSF	1,22625

[Add] [Modify] [Delete]

Show Advanced Load Parameters

Other Parameters: Modal Damping: Constant at 0,05 [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Şekil 18 SAP2000 ile Mod Birleştirme Yöntemi-2

6. ŞEKİL DEĞİŞTİRMEYE GÖRE DEĞERLENDİRME VE TASARIM YAKLAŞIMI

Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım (ŞGDT) yaklaşımı Yönetmelik'te aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır :

- a) Doğrusal olmayan modelleme yaklaşımları ile uyumlu iç kuvvet şekil değiştirme bağıntıları belirlenir.
- b) Sünek davranışa ilişkin şekil değiştirme talepleri ile gevrek davranışa ilişkin dayanım kapasiteleri elde edilip karşılaştırma yapılır.
- c) Mevcut binalar için yapılan hesapta, taleplerin kapasitelerin altında olduğu ya da daha fazla olduğu gösterilerek şekil değiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.
- d) Yeni yapılacak veya güçlendirilecek binalardan talepler kapasitelerden fazla ise kesitler büyütülüp yeniden hesap yapılır. Kapasiteler talepleri sağlıyor ise şekil değiştirmeye göre değerlendirme tamamlanır.

6.1 Plastik Mafsal Hipotezi

Toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve doğrusal olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, doğrusal olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin doğrusal-elastik davrandığı varsayılır. Bu hipoteze, plastik mafsal hipotezi adı verilir. ($L_p=0.5h$)

7. DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİNİN SEÇİLMESİ

7.1 Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemleri

Şekil değiştirmeye Göre Değerlendirme ve Tasarım kapsamında kullanılacak doğrusal olmayan hesap yöntemleri, İtme Yöntemleri ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemidir.

7.2 Hesap Yönteminin Seçilmesi

Tek Modlu İtme Yöntemleri, $BYS \geq 5$ olan ve burulma düzensizliği bulunmayan binalar için kullanılabilir. Çok Modlu İtme Yöntemleri ise $BYS \geq 2$ olan tüm binalar için kullanılabilir. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi, tüm binaların deprem hesabında kullanılabilir. Bu yöntemin yüksek binalar ($BYS =1$ olan binalar) için kullanımı zorunludur.

7.3 İTME YÖNTEMLERİ

Tüm doğrusal olmayan yöntemlerde olduğu üzere hesabın başlangıç adımında (0'ıncı adımında), deprem dışı yüklemeler altında doğrusal olmayan artımsal statik hesap yapılır. Bu hesaptan elde edilen iç kuvvetler ve şekil değiştirmeler, deprem hesabında başlangıç değerleri olarak göz önüne alınacaktır. Yeni yapılan binalarda düşey yüklerden meydana gelen doğrusal olmayan şekil değiştirmelere izin verilmez.

İtme analizinde genel amaç "modal yer değiştirme – modal ivme" olarak tanımlanan modal kapasite diyagramının elde edilip, buradan modal yer değiştirme isteminin belirlenmesidir. Daha sonra sistem yer değiştirme istemine kadar itilip elemanlarda oluşan şekil değiştirmelerin sınır değerlerle karşılaştırılmasıdır.

7.3.1 Tek Modlu İtme Yöntemi

Tek Modlu İtme Yönteminin amacı, deprem doğrultusunda hâkim birinci mod şekli ile orantılı olacak şekilde, deprem istem sınırına kadar monotonik olarak adım adım arttırılan eşdeğer deprem yüklerinin etkisi altında doğrusal olmayan itme analizinin yapılmasıdır. Düşey yük analizini izleyen itme analizinin her bir adımında taşıyıcı sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet artımları ile bunlara ait birikimli değerler ve son adımda deprem istemine karşı gelen maksimum değerler hesaplanır.

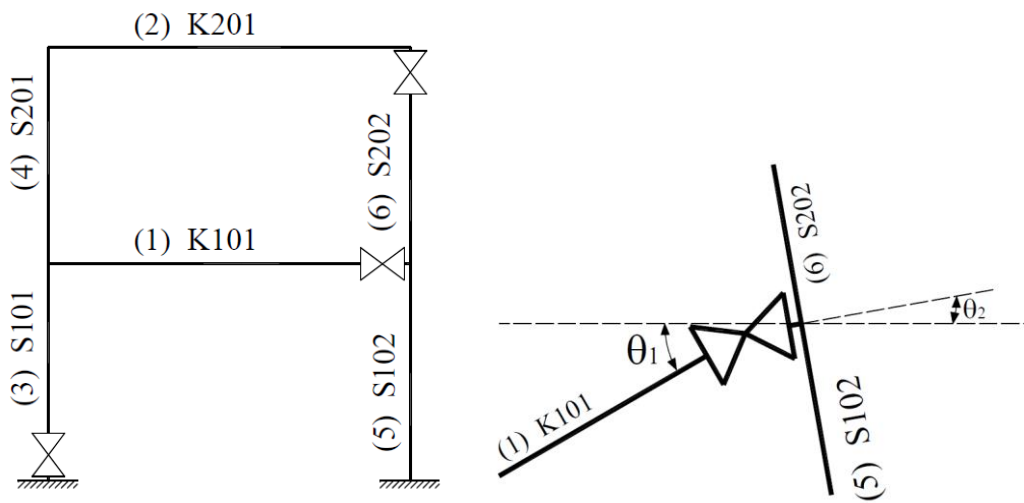
İtme analizi sonucunda tüm kritik kesitlerdeki plastik mafsalları dönme boyuna bölünerek plastik eğrilik istemleri hesaplanır. Kesitler için belirlenen hasar bölgeleri ele alınarak yapı sisteminin deprem performansı değerlendirilir. Ayrıca göreceli kat ötelemeleri değerlendirilerek bina performans seviyesi kontrol edilir.

7.3.2 Çok Modlu İtme Yöntemi

Çok Modlu İtme Yönteminin amacı, taşıyıcı sistemin davranışını temsil eden yeterli sayıda doğal titreşim mod şekli ile orantılı olacak şekilde monotonik olarak adım adım arttırılan ve birbirleri ile uygun biçimde ölçeklendirilen modal yer değiştirmeler veya onlarla uyumlu modal deprem yükleri esas alınarak Çok Modlu İtme Yönteminin artımsal olarak uygulanmasıdır.

Çok modlu itme yönteminde; itme hesabında kuvvet yerine yer değiştirme kullanılır. Ayrıca her adımda, oluşan plastik mafsalların göz önüne alındığı titreşim hesabı yapılarak modal yer değiştirme dağılımı yeniden hesaplanır. Yani her bir adım bir önceki adımın devamı olan yeni bir doğrusal sistem çözümüdür. Özetle;

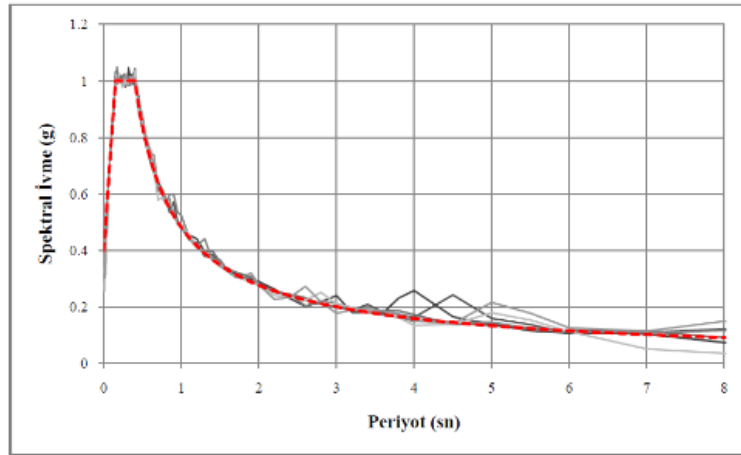
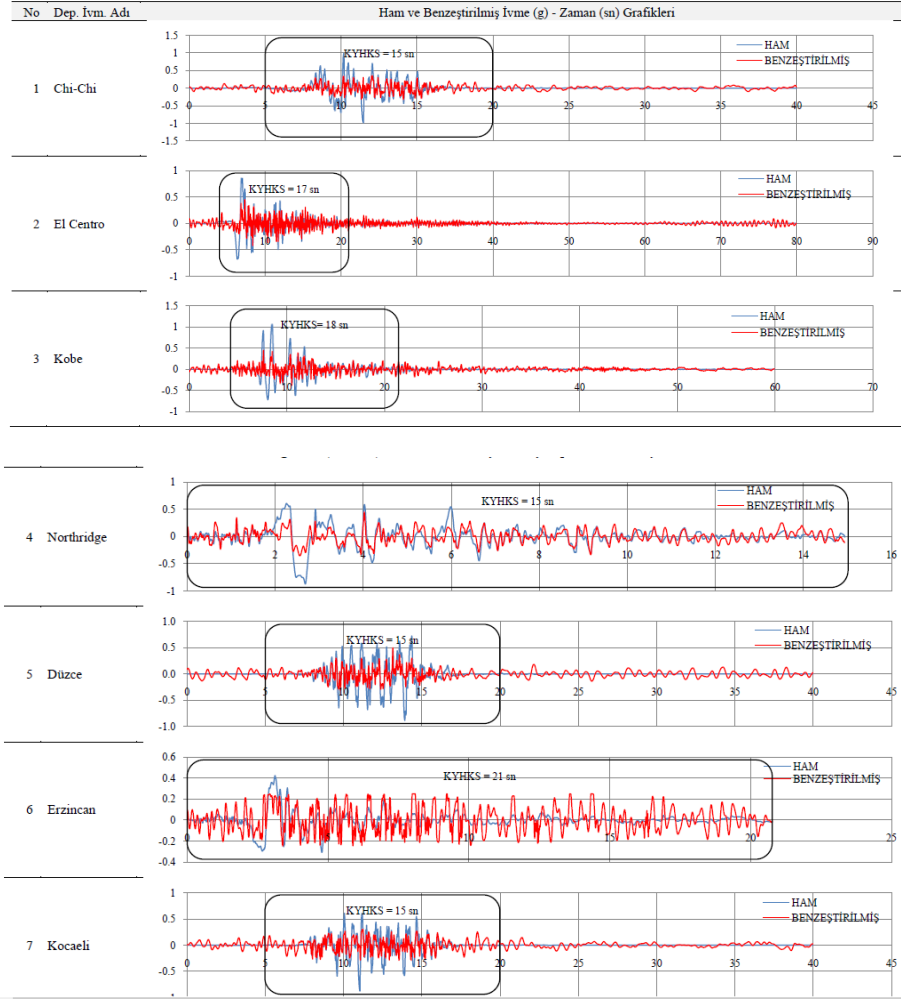
- Düşey yükler altında statik analiz yapılır. Sonuçlar bu yöntemin başlangıç koşulunu ($i=0$) oluşturur.
- Ele alınan her bir mod için modal yer değiştirmeler, iç kuvvetler gibi değerler hesaplanır.
- İç kuvvetler elemanın taşıma kapasitesine bölünerek aralarındaki oran bulunur.
- Her adımda plastik kesitin olduğu noktaya plastik mafsalları tanımlanır. Ardından oluşan yeni sistem çözülür.
- Plastik eğrilik istemleri hesaplanır. Eğrilikler sınır değerleri ile karşılaştırılarak hasar seviyeleri belirlenir.



Şekil 19 Plastik Mafsalları Tanımlaması

7.4 ZAMAN TANIM ALANINDA DOĞRUSAL OLMAYAN HESAP YÖNTEMİ

Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yönteminin amacı, tasarımı yapılan taşıyıcı sistemdeki doğrusal olmayan davranışı göz önüne alınıp sistemin hareket denkleminin adım adım entegre edilmesidir. Bu yöntemle sismik analizler yapılırken daha önce meydana gelmiş depremlerin (11 adet) ivme kayıtları kullanılmaktadır. Analiz sırasında her bir zaman artımında sistemde meydana gelen yer değiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvetler ile bu büyüklüklerin deprem sistemine karşı gelen maksimum değerleri hesaplanır.



Şekil 20 Deprem İvme Kayıtları

7.4.1 SAP2000 Programı Yardımı ile Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi Uygulanması

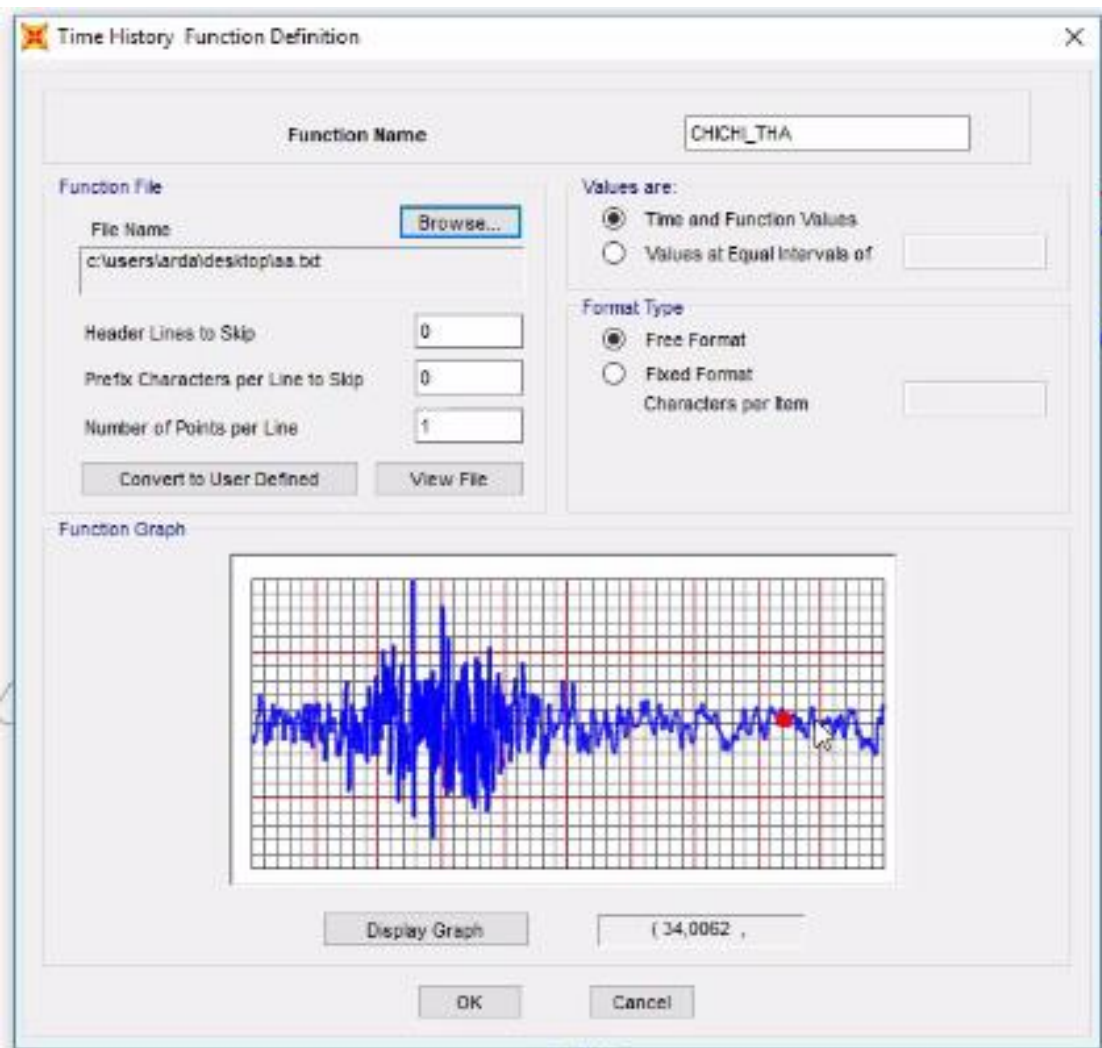
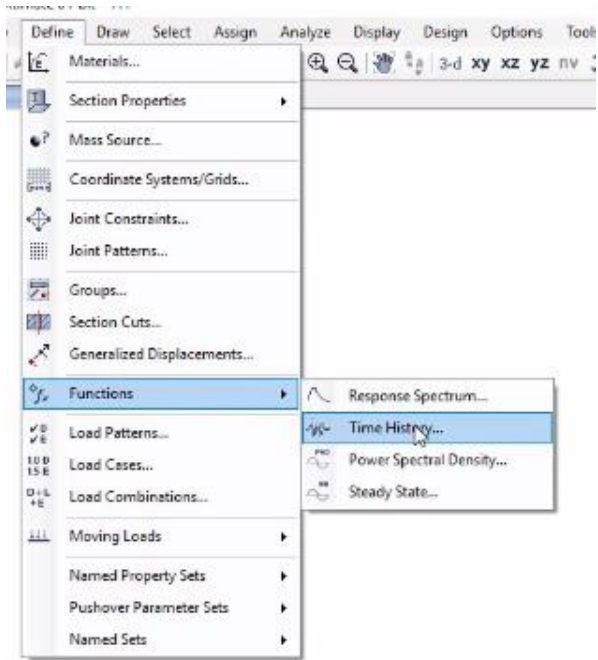
Öncelikle daha önceden hazırlanmış analizde kullanılacak benzeştirilmiş deprem ivme kayıtları bilgisayarda bir not defterinde sıralı olarak zaman ve g cinsinden ivme değerleri şeklinde oluşturulmalıdır. Örneğin Erzincan Depremi için;

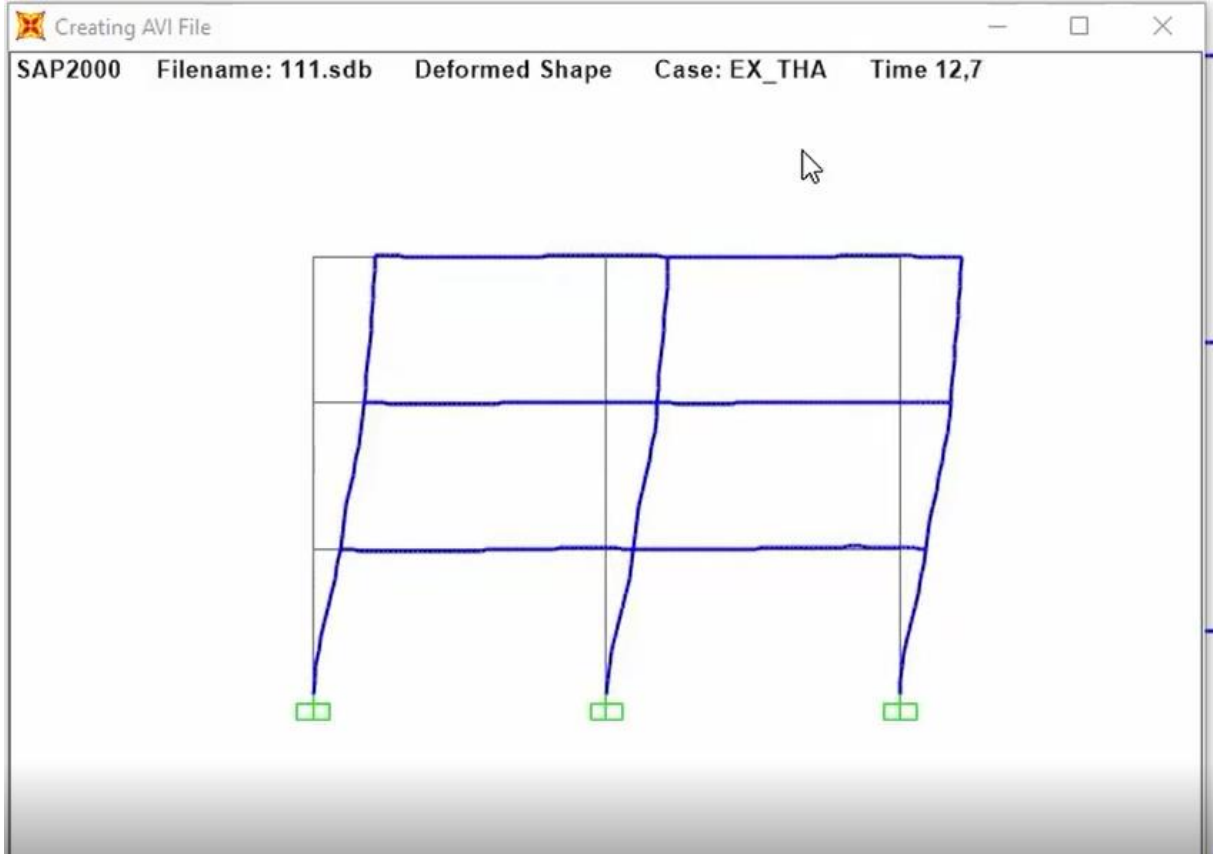
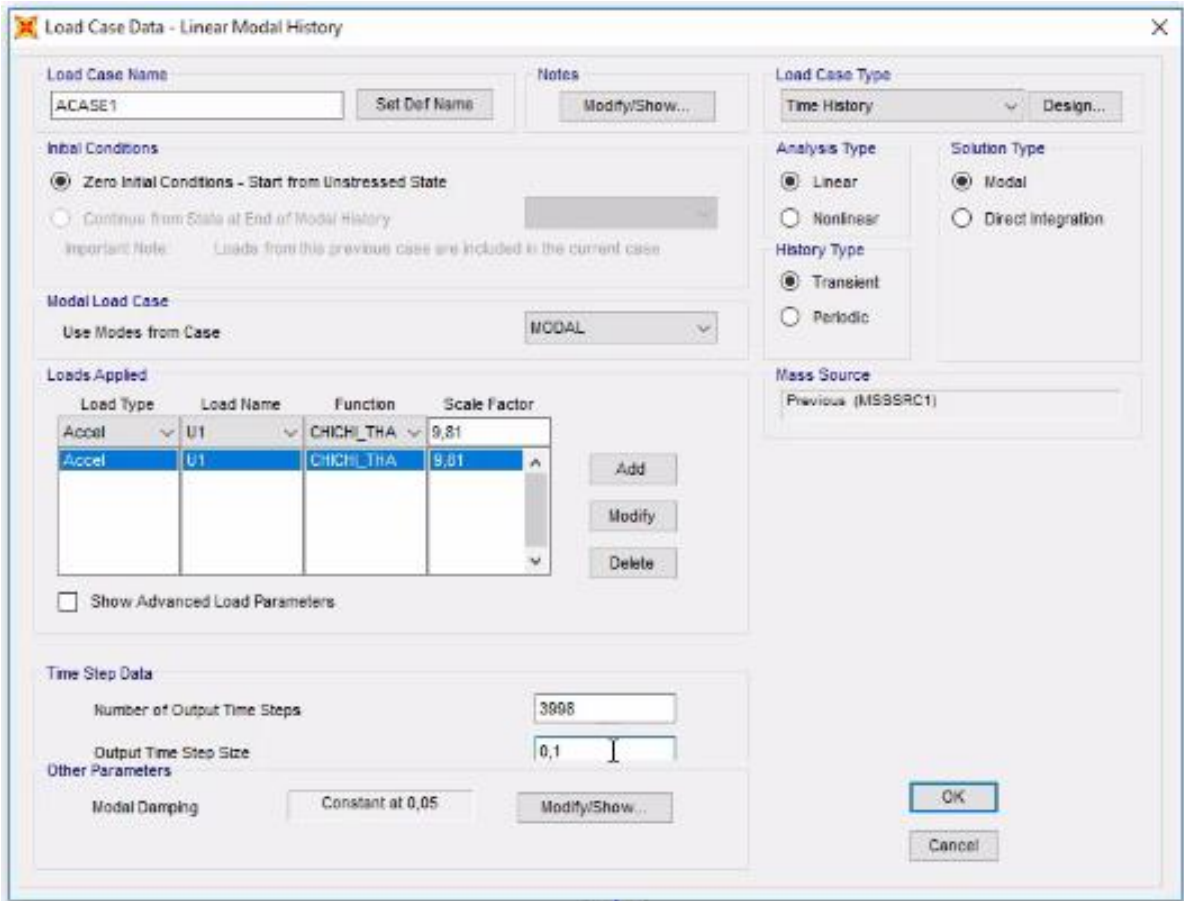
6-ERZİNZAN_BENZ.txt - Not Defteri

Dosya	Düzen	Biçim	Görünüm	Ya
0	0.0884141			
0.005	0.093726			
0.01	0.0967767			
0.015	0.0939618			
0.02	0.0891725			
0.025	0.0790268			
0.03	0.067461			
0.035	0.0515787			
0.04	0.0358537			
0.045	0.0173269			
0.05	0.000193027			
0.055	-0.018336			
0.06	-0.0338053			
0.065	-0.0493028			
0.07	-0.0608682			
0.075	-0.0716304			
0.08	-0.0775778			
0.085	-0.0823257			
0.09	-0.0824841			
0.095	-0.0817339			
0.1	-0.0765321			
0.105	-0.0708313			
0.11	-0.0614327			
0.115	-0.0520848			
0.12	-0.0392401			
0.125	-0.0268386			
0.13	-0.0117155			
0.135	0.00227233			
0.14	0.0184945			
0.145	0.0327961			
0.15	0.048177			

Şekil 21 Erzincan Depremi Benzeştirilmiş İvme Kaydı

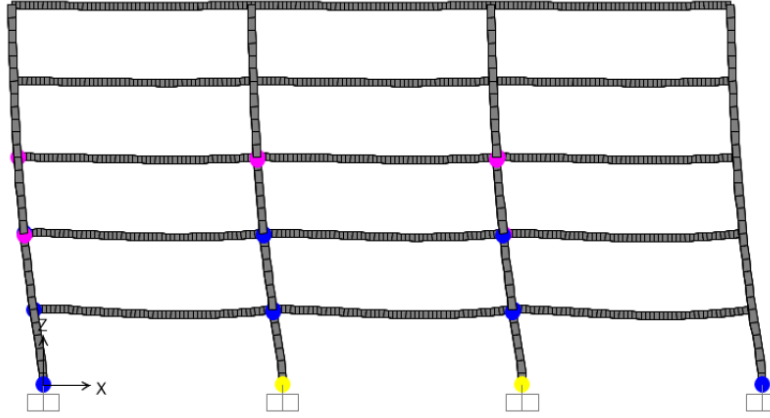
Sırası ile “Define → Functions → Time History → From File” komutları uygulanır. Ardından “Browse” kısmından hazırlanan kayıt seçilerek eklenir. Ardından “Define → Load Case” komutları uygulanır. “Load Case Type” olarak “Time History” seçilir. Ardından ivme kaydı seçilerek yer çekimi ivmesinin R değerine bölümü kadar “Scale Factor” değeri girilerek analiz yaptırılır.





Şekil 22 Time History Analizi

8. MEVCUT BİNALARIN DEĞERLENDİRİLMESİ



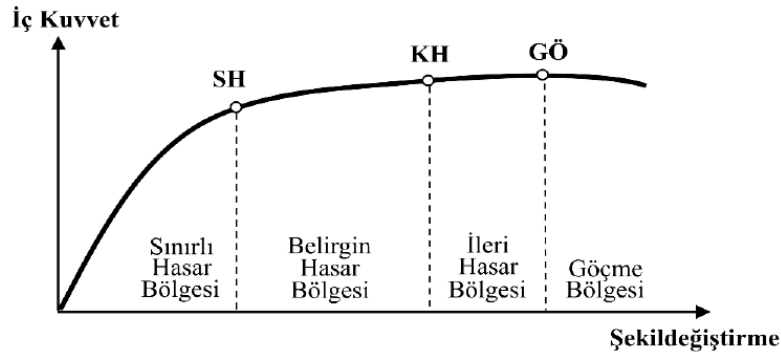
Şekil 23 Plastik Mafsal Oluşumu

8.1 Bina Bilgi Düzeyi Katsayıları

Bilgi Düzeyi	Bilgi Düzeyi Katsayısı
Sınırlı	0.75
Kapsamlı	1.00

Şekil 24 Bina Bilgi Düzeyi Katsayısı

8.2 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri



Şekil 25 Kesit Hasar Sınırları ve Hasar Bölgeleri

Doğrusal veya doğrusal olmayan yöntemlerle hesaplanan iç kuvvetlerin ve/veya şekil değiştirmelerin, yukarıda tanımlanan sınır durumlara karşı gelen sayısal değerler ile karşılaştırılması sonucunda kesitlerin hasar bölgelerine karar verilir. Eleman hasarı, elemanın en fazla hasar gören kesitine göre belirlenir.

8.3 Deprem Hesabına İlişkin Genel İlke ve Kurallar

- Bina Önem Katsayısı uygulanmayacaktır ($I=1$).
- Bina Bilgi Düzeyi Katsayıları hesap yöntemine yansıtılacaktır.
- Beton ve donatı çeliğinin bilgi düzeyine göre belirlenen mevcut dayanımları esas alınacaktır.

- d) Çatlamış kesite ait etkin kesit rijitlikleri kullanılacaktır.
- e) Kenetlenme veya bindirme boyunun yetersiz olması durumunda kesit kapasite momentinin hesabında ilgili donatının akma gerilmesi, kenetlenme veya bindirme boyundaki eksikliği oranında azaltılacaktır.
- f) Deprem hesabında ek dışmerkezlik göz önüne alınmayacaktır.
- g) Deprem yükü azaltma katsayısı $R=1$ alınacaktır.
- h) Nervüzsüz donatı ve 90 derece kırılmış etriye ilgili katsayılar kullanılarak hesaba katılacaktır.

8.4 Mevcut Binaların Deprem Performansının Belirlenmesi

8.4.1 Mevcut Binalarda Sınırlı Hasar Performans Düzeyi

Yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Belirgin Hasar Bölgesi'ne geçebilir, ancak diğer taşıyıcı elemanlarının tümü Sınırlı Hasar Bölgesi'ndedir. Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, bu durumdaki binaların Sınırlı Hasar Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir.

8.4.2 Mevcut Binalarda Kontrollü Hasar Performans Düzeyi

Eğer varsa, gevrek olarak hasar gören elemanların güçlendirilmeleri kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Kontrollü Hasar Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:

- a) Yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %35'i ve düşey elemanların aşağıdaki (b) paragrafında tanımlanan kadari İleri Hasar Bölgesi'ne geçebilir.
- b) İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların, her bir katta düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine toplam katkısı %20'nin altında olmalıdır. En üst katta İleri Hasar Bölgesi'ndeki düşey elemanların kesme kuvvetleri toplamının, o kattaki tüm düşey elemanların kesme kuvvetlerinin toplamına oranı en fazla %40 olabilir.
- c) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi veya Belirgin Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.

8.4.3 Mevcut Binalarda Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyi

Gevrek olarak hasar gören tüm elemanların Göçme Bölgesi'nde olduğunun göz önüne alınması kaydı ile, aşağıdaki koşulları sağlayan binaların Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyinde olduğu kabul edilir:

- a) Yapılan hesap sonucunda kirişlerin en fazla %20'si Göçme Bölgesi'ne geçebilir.
- b) Diğer taşıyıcı elemanların tümü Sınırlı Hasar Bölgesi, Belirgin Hasar Bölgesi veya İleri Hasar Bölgesi'ndedir. Ancak, herhangi bir katta alt ve üst kesitlerinin ikisinde birden Belirgin Hasar Sınırı aşılmış olan düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetlerinin, o kattaki tüm düşey elemanlar tarafından taşınan kesme kuvvetine oranının %30'u aşmaması gerekir.
- c) Binanın mevcut durumunda kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

8.4.4 Göçme Durumu

Bina Göçmenin Önlenmesi Performans Düzeyini sağlayamıyorsa Göçme Durumundadır. Binanın kullanımı can güvenliği bakımından sakıncalıdır.

9. SONUÇLAR

Deprem yükü hesabında yönetmelik kapsamında doğrusal ve doğrusal olmayan yöntemler tanımlanmıştır. Doğrusal yöntemler malzemenin yük altında doğrusal şekil değiştirme gösterdiği esasına dayanır. Malzeme 1kN yük altında 1mm uzama gösteriyorsa 2kN yük altında 2mm uzama gösterir kabulü yapılmıştır. Yapılan deprem hesaplarında en büyük taban kesme kuvvetini Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi vermektedir. Bir yapı analiz edildiğinde bu yöntemle kurtarıyorsa diğer bütün yöntemlerle de kurtaracaktır. Ancak belirli bir sınırı geçen yapılarda artık doğrusal yöntemlerle hesap yapmak hem maliyetli hem de mantıksız olmaya başlayacaktır. Bu noktada malzemenin Doğrusal Olmayan kısmında hesap yapmak gerekecektir. Bu yöntemle hesapta malzeme 1kN yük altında 1mm uzama gösterirken 2kN yük altında örneğin 3mm, 5mm gibi daha yüksek değerlerde uzama gösterecektir. Ancak bu yöntemlerle yapılan yapılarda güvenliği sağlamak için süneklik ön plana çıkmaktadır. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Yöntem ile gerçek deprem etkileri verilerek bütün yapıların analizi gerçekleştirilebilir. Ancak hesaplar karmaşık ve zor olduğu için tasarımcının programa ve yönetmeliklere hâkim olması büyük önem taşır. Ayrıca bu yöntemle yapılan analizlerin uzun süreler aldığı da göz önünde bulundurulmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] **TBDY-2018**, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Ankara.
- [2] **Özgür, T.**, 2008. Betonarme Yapıların Deprem Performansının Doğrusal Ve Doğrusal Olmayan Yöntemlerle Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- [3] **Altan, Y.**, 2020. Merkezi Ve Dışmerkezi Çaprazlı Çelik Bina Yapılarında Deprem Performansının Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Gelişim Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- [4] **Karabulut, A.**, 2011. TDY2007 Yönetmeliği Ve FEMA 440 Raporunda Tanımlanan Doğrusal Olmayan Analiz Yöntemlerinin Mevcut Betonarme Binalar İçin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü Deprem Mühendisliği Yüksek Lisans Programı, İstanbul.
- [5] **Aydinoğlu, M.N.**, 2018. TBDY-2018'e Göre Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarım Esasları, TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası İstanbul Şubesi, İstanbul.
- [6] <https://www.insaport.com/makale/yuksel-kaya/deprem-performansinin-belirlenmesi-icin-hangi-analiz-yontemi-secilmeli/>