

MÜHENDİSLİK

BÜLTENİ

Yıl: 15

Sayı: 58

Şubat 2001



YAPILARIN DEPREM HESABINDA EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİNİN KULLANILMASI

İnş. Müh. Ramazan LİVAOĞLU

Karadeniz Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Yapı Anabilim Dalı, Trabzon

Doç. Dr. Adem DOĞANGÜN

ÖZET

Bu çalışmanın amacı uygulamada çalışan meslektaşlarımızın, yapıların depem hesabı için Deprem Yönetmeliğinde (Ocak 1998 de yürürlüğe giren Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkındaki Yönetmelik) verilen hesap yöntemlerini tanımlarını ve kullandıkları yapısal analiz programı sonuçlarını daha sağlıklı yorumlarına yardımcı olmaktır. Bu amaçla bu çalışmada söz konusu yönetmelikte önerilen yöntemlerden Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemine ilişkin temel ilkeler, Kullanılabilir durumları ve hesap için gerekli bağıntılar verildikten sonra seçilen örnek bir yapı modeli üzerinde deprem hesabı yapılmaktadır. Çalışmanın sonunda ise sonuçlar verilmekte ve bazı öneriler getirilmektedir. Yapıların deprem hesabı için Deprem Yönetmeliğinde önerilen yöntemlerden Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemlerine ilişkin bilgiler ise başka bir çalışma olarak sunulacaktır.

1. GİRİŞ

Yapıların deprem hesabı genellikle bilgisayar programları yardımıyla gerçekleştirilmektedir. Genel amaçlı bir bilgisayar programı bir çok meslekten elemanların ortak çalışması sonucu ortaya çıkmaktadır. Programın kapsamına bağlı olarak çalışan sayısı yüzlerce kişiye ulaşabilmektedir. Dolayısıyla programın güvenilirliği, hazırlanmasında katkıda bulunan çeşitli meslekten elemanların bilgi ve tecrübesinin yanında aralarındaki koordinasyona da bağlıdır. Program yardımıyla yapılan hesapların doğruluğu ise programın güvenilirliği yanında hesap için gerekli verileri hazırlayan ve çıkan sonuçları yorumlayan mühendisin bilgi ve tecrübesine de bağlıdır. Nitekim piyasada bugün için kullanılan yapısal analiz programlarının özelliklerinin tam kavranmadan yapılan hesapların doğruluğu zaman zaman tartışma konusu olmaktadır. Bu nedenle, yapısal analiz programlarının kullanılmasının zorunlu hale geldiği günümüzde bunların verilerinin hazırlanmasında ve sonuçlarının yorumlanmasında çok dikkatli olmak gerekmektedir. Çünkü, yapıların statik hesaplarından farklı olarak dinamik hesaplarıyla da uğraşan araştırmacı ve mühendislerin çok iyi bildiği gibi, özellikle deprem gibi dinamik hesaplarda verilere yapılacak çok küçük bir değişiklik sonuçlarda onlarca kat büyük yada küçük değerler elde edilmesine neden olabilmektedir. Bu durumda verilerin hazırlanmasında yapılacak çok küçük bir hata program ne kadar güvenilir olursa olsun yanlış sonuca varılmasına engel olamayacaktır. Tüm bu nedenlerle mühendisin doğru proje yapabilmesi için kullandığı yapısal analiz programının özellikleri yanında, yapıların deprem hesabında kullanacağı yöntemlerin kabullerini, yöntemlerin yapı davranışını ne ölçüde temsil ettikleri, sonuçların verilerdeki hangi parametrelerden daha fazla etkilendiğini bilmesi gereklidir.

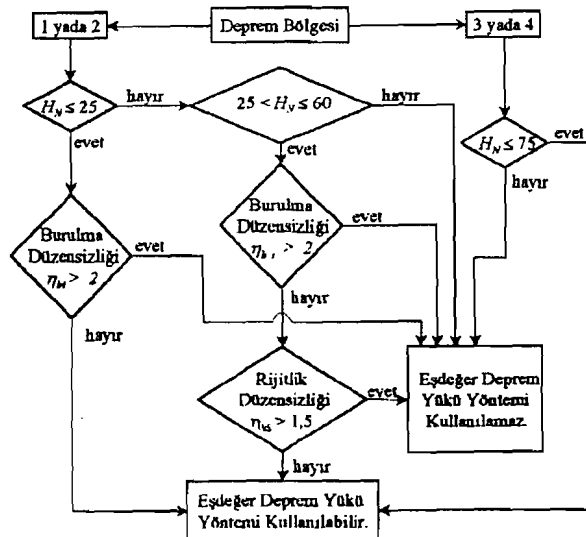
Deprem Yönetmeliğinde yapıların deprem hesabı için Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi, Mod Birleştirme Yöntemi ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi önerilmektedir. Bu yöntemlerden Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin temel ilkeleri, kullanılabilirlik durumları aşağıda açıklanmaktadır.

Burada deprem yönetmeliğinde yapıterimi bina teriminin tercih edildiğini bu çalışmada ise deprem yönetmeliğindeki tanımları muhafaza etmek amacıyla bina teriminin genel durumlarda ise yapı teriminin kullanıldığını belirtmek uygun olmaktadır.

2. EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ YÖNTEMİ

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi Deprem Yönetmeliğinde önerilen üç yöntemden uygulanması en kolay olanıdır. Bu yöntem Eşdeğer Statik Yöntem olarak da bilinmektedir. Yüklerin hesabında, yapı ve zemine ilişkin periyot değerleri gibi dinamik parametrelerin kullanılması nedeniyle Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi sadece birinci modun dikkate alındığı dinamik bir yöntem olarak da kabul edilmektedir.

Mod Birleştirme ve Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri her türlü yapı ve koşul için kullanılabilmesine rağmen Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ancak Şekil 1 de verilen koşullar çerçevesinde kullanılabilir. Ancak Mod Birleştirme Yöntemi kullanılsa dahi karşılaştırma amacıyla Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle çözüm yapılması gerekmektedir. Dolayısıyla Şekil 1 de verilen koşulların sağlanması halinde bu yöntemle yapılan çözümleme yeterli olmakta diğer durumlarda ise başka yöntemlerle de çözüm yapmak gerekmektedir. Şekil 1'de kullanılan sembollerden H_N yapı toplam yüksekliğini, n_b burulma düzensizlik katsayısını, n_r ise rijitlik düzensizlik katsayısını göstermektedir.



Şekil 1 Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle Çözümlemenin Yeterli Olduğu Durumlar.

Bu yöntemle hesap yapabilmek için, Etkin Yer İvmesi katsayısının (A_0), Bina Önem Katsayısının (I), Spektrum Katayısının ($S(T)$), Deprem Yüklü Azaltma katsayısının (R_d) ve Hareketli Yük Azaltma katsayısının (n) Deprem Yönetmeliğinde verilen ve aşağıda da sunulan çizelgeler (Çizelge 1-10) yardımıyla belirlenmesi gerekmektedir.

-Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)

Etkin yer ivmesi, deprem esnasında oluşacağı ve yapıya etkileyebileceği düşünülen deprem hareketinin ivmesidir. Bu ivme yer çekimi ivmesinin ($9,81 \text{ m/s}^2$) bir oranı olarak ifade edilmektedir. Bu oran Deprem Yönetmeliğinde Etkin Yer İvmesi Katsayısı olarak tanımlanmakta ve dört farklı deprem bölgesi için verilmektedir. (Çizelge 1). Yani 1. deprem bölgesi için etkin yer ivme katsayısı 0,4 etkin yer ivmesi ise 0,4 g olmaktadır.

Çizelge 1. Deprem Bölgesine Göre verilen Etkin Yer İvmesi katsayısı (A_0)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Bu katsayı 1975 tarihli deprem yönetmeliğinde deprem bölge katsayısı (C_0) olarak tanımlanmış ve 1. deprem bölgesi için 0,1 olarak verilmiştir. İlk bakışta bu katsayılara göre belirlenecek taban kesme kuvvetinin 4 kat artacağı kanısı oluşmaktadır. Ancak bu kuvvetin hesabında 1975 tarihli deprem yönetmeliğinde tanımlanan Deprem Yüklü Azaltma Katsayısı (R_d) arasında önemli farklar bulunduğundan taban kesme kuvveti için peşinen bu kanıya varmak gerçekçi olmamaktadır.

Bina Önem Katsayısı (I)

Bir yapının öneminin belirlenmesinde içinde bulunduracağı insan sayısı, deprem sırasında ve sonrasında yapının kullanım ihtiyacı, yapıda bulundurulmuş malzemenin kimyasal özellikleri gibi hususlar etkili olmaktadır. Deprem yönetmeliğinde bu tür hususlar dikkate alınarak yapının kullanım amacı ve türüne göre Bina Önem katsayısı verilmektedir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deprem Yönetmeliğinde Yapının Kullanım Amacı ve/veya Türüne Göre verilen Bina Önem Katsayısı (I)

Binanın Kullanım Amacı veya Türü	I
1. Deprem sonrası kullanımı gereken binalar ve tehlikeli madde içeren binalar 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) b) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar	1,5
2. İnsanların uzun süreli ve yoğun olarak bulunduğu ve değerli eşyanın saklandığı binalar a) Okullar, diğer eğitim bina ve tesisleri, yurt ve yatakhaneler, askeri kaşlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1,4
3. İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak bulunduğu binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1,2
4. Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konutlar, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb)	1,0

- Spektrum Katsayısı $S(T)$

Eşdeğer Deprem Yüklü Yöntemine göre deprem hesabında zeminle ilgili olarak kullanılan parametre Spektrum katsayısı olmaktadır. Bu katsayı yerel zemin koşullarının yanında yapı doğal periyodu T ye bağlı olarak belirlenmektedir. Bu katsayısının belirlenmesi için gerekli adımlar aşağıda verilmektedir.

- **Birinci adım:** Zemin grubunun Çizelge 3 den alınması.

- **İkinci adım:** Yerel zemin sınıfı ve bu zemin sınıfına ilişkin Spektrum Karakteristik Periyotlarının (T_1 ve T_B) Çizelge 4 yardımıyla belirlenmesi. Bu çizelgedeki h , en üst zemin tabakasının kalınlığını göstermektedir.

Çizelge 3. Deprem Yönetmeliğinde Tanımlanan Zemin grupları ve Bunların Özellikleri.

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Stand. Penetr. (N/30)	Relatif Sıkılık (%)	Serbest Bas. Direnci (kPa)	Kayma Dalg. Hızı (m/s)
(A)	1. Masif volkanik kayalar ve ayrışmamış sağlam metamorfik kayalar, sert çimentolu tortul kayalar	-	-	> 1000	> 1000
	2. Çok sıkı kum, çakıl	> 50	85-100	-	> 700
	3. Sert kil ve siltli kil	> 32	-	> 400	> 700
(B)	1. Tüf ve aglomera gibi gevşek volkanik kayalar, süreksizlik düzlemleri bulunan ayrışmış çimentolu tortul kayalar.	-	-	500-1000	700-1000
	2. Sıkı kum, çakıl	30-50	65-85	-	400-700
	3. Çok katı kil ve siltli kil.	16-32	-	200-400	300-700
(C)	1. Yumuşak süreksizlik düzlemleri bulunan çok ayrışmış metamorfik kayalar ve çimentolu tortul kayalar	-	-	< 500	400-700
	2. Orta sıkı kum, çakıl	10-30	35-65	-	200-400
	3. Kırıntılı kil ve siltli kil	8-16	-	100-200	200-300
(D)	1. Yeraltı su seviyesinin yüksek olduğu yumuşak, kalın alüvyon tabakaları	-	-	-	< 200
	2. Gevşek kum	< 10	< 35	-	< 200
	3. Yumuşak kil, siltli kil	< 8	-	< 100	< 200

Çizelge 4. Yerel Zemin Sınıfları ve Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A ve T_B).

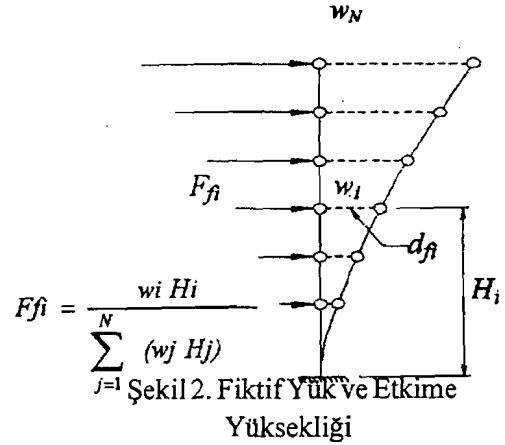
Yerel Zemin Sınıfı	T_A (s)	T_B (s)
Z1 (A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler	0,10	0,30
Z2 $h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler	0,15	0,40
Z3 15 m < $h_1 \leq 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,15	0,60
Z4 $h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler	0,20	0,90

Üçüncü adım: Yapı taşıyıcı sistemine bağlı olan C_t katsayısının Çizelge 5 den alınması.

Periyot hesabında kullanılan sembollerden M_i , F_{fi} ve d_{fi} şekil 2 de gösterildiği gibi sırasıyla i . katın kütlelerini, bu kata etkileyen fiktif yükü ve bu yükten oluşan yerdeğiştirmeyi göstermektedir.

Çizelge 5 Yapı Taşıyıcı Sistemine Bağlı (C_t) Katsayısı

Taşıyıcı Sistemin Özellikleri	C_t
Betonarme çerçevelerden, veya dışmerkez çaprazlı çelik perdelerden oluşan sistemler	0,07
Taşıyıcı sistemi sadece çelik sistemlerden oluşan sistemlerde	0,08
Diğer tüm binalarda	0,09



- Dördüncü adım: Yapının inşa edildiği deprem bölgesine ve yapı yüksekliğine bağlı olarak yapı 1. titreşim periyodunun Çizelge 6 yardımıyla belirlenmesi.

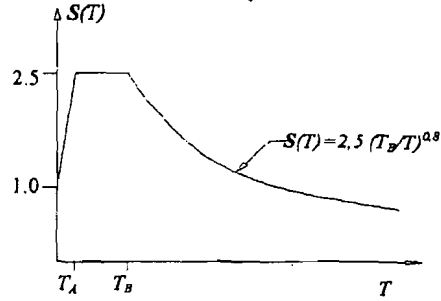
Çizelge 6. Yapı Doğal Periyodunun Hesaplanması.

Kullanılabilir Koşullar	Yapı Periyodu T_f
Yapı 1. ve 2 deprem bölgesinde ve $H_N \leq 25$ m ise	$T_f = C_t H_N^{2/3}$ yada $T_f = 2\pi \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N \sqrt{F_{fi} d_{fi}}}$ bağantılardan biriyle hesaplanabilir.
Yapı 3. ve 4 deprem bölgesinde ve $H_N \leq 75$ m ise	
Eşdeğer Deprem Yükü Yönteminin uygulandığı tüm yapılarda	$T_f = 2\pi \frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N \sqrt{F_{fi} d_{fi}}}$

Beşinci adım: Spektrum Katsayısının Çizelge 7 yardımıyla hesaplanması. Bu katsayının periyoda bağlı değişimi Şekil 3 de görülmektedir.

Çizelge 7 Yapı Periyoduna Göre
Spektrum Katsayısı $S(T)$

Periyot Aralığı	$S(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1 + 1.5T/T_A$
$T_A \leq T \leq T_B$	2.5
$T > T_B$	$2.5(T_B/T)^{0.8}$



Şekil 3. Spektrum Katsayısının
Periyotla Değişimi

- Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı (R)

Bu katsayı elastik deprem yüklerinin azaltılması amacıyla kullanılmaktadır. Çünkü yapı taşıyıcı sistemleri depremlerde elastik olmayan davranış da gösterebilmektedir. Deprem yükü azaltma katsayısı Taşıyıcı Sistem davranış Katsayısına (R) ve Doğal Titreşim Periyoduna (T) bağlı olarak belirlenmektedir. R Katsayısının taşıyıcı sistemine ve süneklik düzeyine bağlı olarak Çizelge 8 de verilmektedir. Süneklik düzeyi normal ve yüksek (SDN ve SDY) teriminin kullanılması, 1998'de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliğinin önceki yönetmeliklerden en önemli farklarından biridir.

Çizelge 8. Bina Taşıyıcı Sistemine Bağlı Olarak Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

BİNA TAŞIYICI SİSTEMİ	SDN Sist.	SDY Sist.
(1) YERİNDE DÖKME BETONARME BİNALAR		
(1.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	8
(1.2) Deprem yüklerinin tamamının bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı binalar.....	4	7
(1.3) Deprem yüklerinin tamamının boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	4	6
(1.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	4	7
(2) PREFABRİKE BETONARME BİNALAR		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar.....	3	6
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	-	5
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrikte boşluksuz perdelerle taşındığı binalar.....	-	4
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrikte çerçeveler ile yerinde dökmeye boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....	3	5
(3) ÇELİK BİNALAR		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar.....	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının; kolonları temelde ankastre, üstte mafsallı tek katlı çerçevelerle taşındığı binalar.....	4	6
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökmeye betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar.....		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	3	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	7
(c) Betonarme perde durumu.....	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökmeye betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar.....		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu.....	4	-
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu.....	-	8
(c) Betonarme perde durumu.....	4	7

Çizelge 8 den alınan Taşıyıcı Sistem davranış Katsayısına bağlı olarak Deprem Yüğü Azaltma katsayısı $R_a(T)$ Çizelge 9 yardımıyla hesaplanabilir.

Çizelge 9. Yapı Periyoduna Göre Deprem Yüğü Azaltma katsayısı, $R_a(T)$

Periyot Aralığı	$R_a(T)$
$0 \leq T \leq T_A$	$1,5 + (R-1,5 T/T_A)$
$T > T_A$	R

Süneklik düzeyi ile ilgili bilgiler Deprem Yönetmeliğinde verilmekte olup taşıyıcı sistemi sadece çerçevelerden oluşan yapılar ve Bina Önem Katsayısı $I \geq 1.4$ olan yapılar için süneklik düzeyi yüksek sistemlerin kullanılması zorunludur.

- Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

Yapının deprem sırasında herhangi bir katının ağırlığı w_i , g_i , q_i ve n sembolleri i . katın sırasıyla ağırlığını, sabit yükünü, hareketli yükünü ve hareketli yük azaltma katsayısını göstermek üzere $w_i = g_i + nq_i$ bağıntısıyla hesaplanmaktadır. hareketli Yük katılım katsayısı Çizelge 10 dan alınmaktadır. Yapı toplam ağırlığı ise

$$W = \sum_{i=1}^N w_i$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Deprem yönetmeliğinde kar yüklerinin %30'unun sabit yük olarak dikkate alınması ön görülmektedir.

Çizelge 10. Hareketli Yük katılım Katsayısı (n)

Binanın Kullanım Amacı	n
Yapılarda sabit ekipman ağırlıkları için	1,00
Depo, antrepo, vb.	0,80
Okul, yurt, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0,60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0,30

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile hesap için yukarıda adı geçen katsayıların belirlenmesinden sonra taban kesme kuvveti olarak da adlandırılan Toplam Eşdeğer Deprem Yükü (V_t), Spektral İvme Katsayısı $A(T) = A_0 I S(T)$ olmak üzere,

$$V_t = \frac{W A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 A_0 I W$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır. Kat seviyelerine etkiyen deprem yükleri ise F_i , yapının en üst katına etkiyecek ek eşdeğer deprem yükünü göstermek üzere

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)}$$

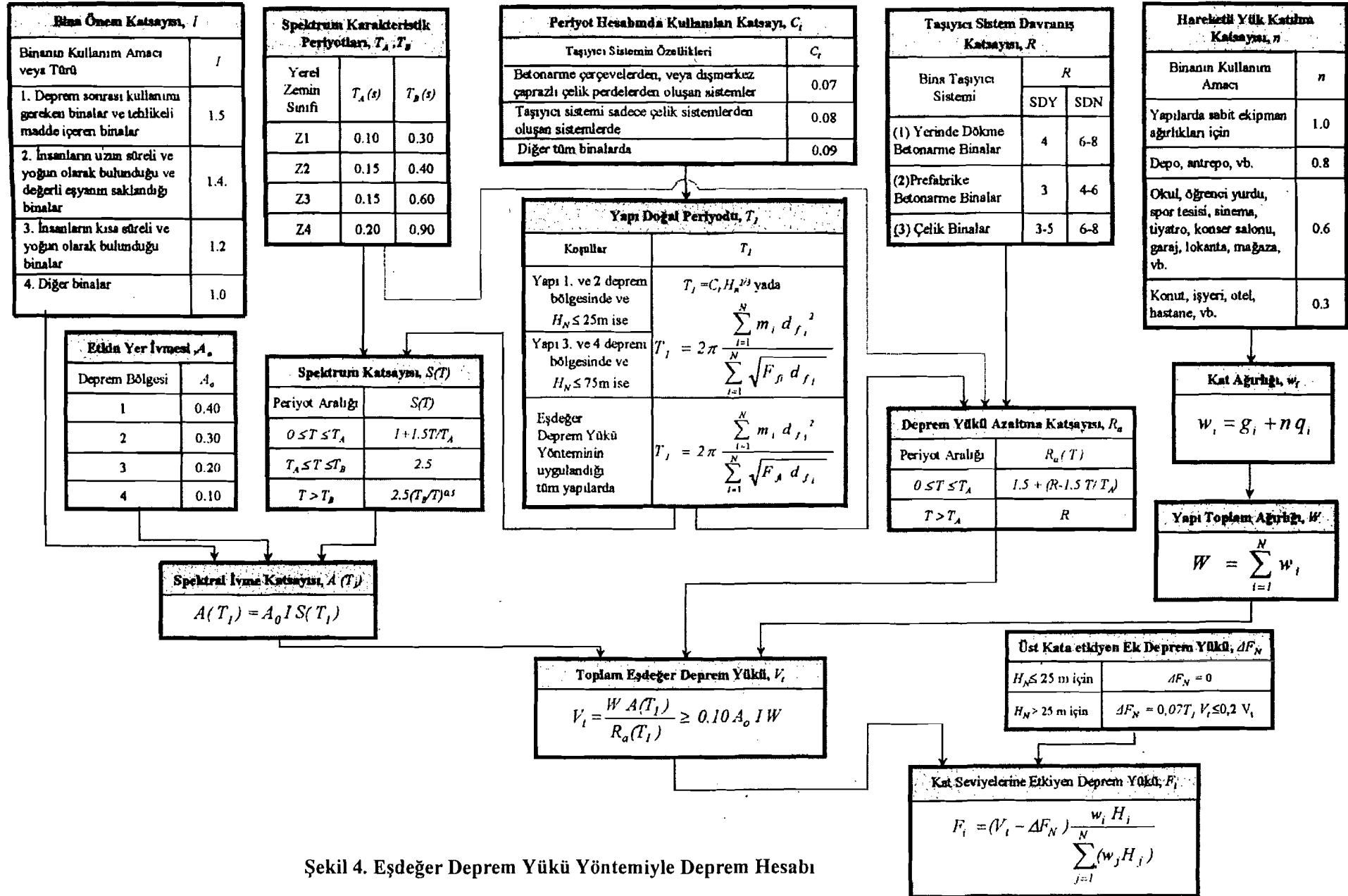
bağıntısıyla belirlenmektedir.

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemini kullanarak yapılan deprem hesabına ilişkin olarak verilen çizelge ve bağıntılar Şekil 4 de özet olarak verilmektedir. Bu şekildeki çizelgelerden bazıları fazla yer kaplamaması için kısaltılarak verilmiş olup bunların ayrıntılı şekilleri metin içinde ve Deprem Yönetmeliğinde verilmektedir.

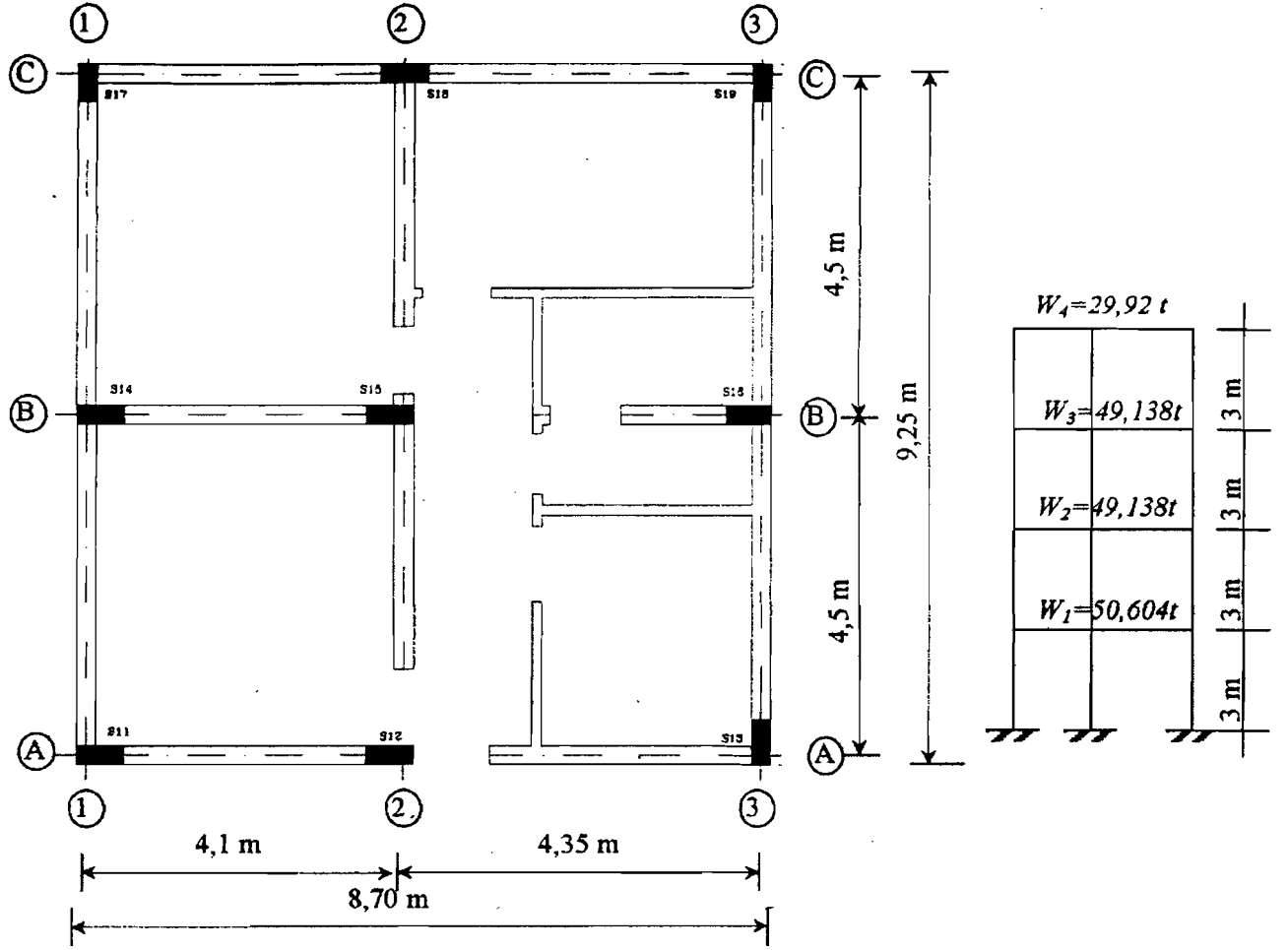
2. SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulamaya konu olan toplam 4 katlı yapının planı ve kat yükseklikleri ile kat ağırlıkları şekil 5 de verilmektedir. Burada verilen kat ağırlıklarının hesabında hareketli yük azaltma katsayısı (Çizelge 10'dan) $n=0,3$ olarak alınmıştır. Yapıda toplam dokuz kolon bulunmaktadır. Kolonların yerleştirilmesinde depreme dayanıklı yapıların projelendirilmesinde önemli olan taşıyıcı sistem düzenleme prensiplerine oluşabilecek düzensizlik durumlarını görebilmek amacıyla uyulmamıştır.

Yapının kullanım amacı konut olup deprem yüklerinin tamamının çerçeveler tarafından taşındığı, süneklik düzeyi yüksek yerinde dökme betonarme bir taşıyıcı sisteme sahip olduğu, yapının 1. deprem bölgesinde inşa edileceği, yapının oturduğu yerel zeminin çok sıkı kumçakıldan oluştuğu kabul edilmektedir. Bu kabullere göre yapının deprem hesabında gerekli olan ve ilgili çizelgelerden alınan değerler aşağıda verilmektedir.



Şekil 4. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle Deprem Hesabı



Şekil 5. sayısal uygulamaya konu olan yapının planı, kat yükseklikleri ve kat ağırlıkları

Etkin Yer İvmesi Katsayısı, A_0 (Çizelge 1 den)	0,40
Bina Önem Katsayısı, I (Çizelge 2 den)	1
Zemin Grubu (Çizelge 3 den)	A
Yerel Zemin Sınıfı ve Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A, T_B (Çizelge 4 den)	ZI $T_A=0,1s$ $T_B=0,3s$
Periyot hesabında kullanılan C_i katsayısı (Çizelge 5 den)	0,07
Doğal Titreşim Periyodu, T_1 (Çizelge 6 yardımıyla)	$T_1=0,07 \cdot 12^{3/4}=0,451$ s
Spektrum Katsayısı, $S(T)$ (Çizelge 7 yardımıyla $T > T_b$ için)	$S(T)=2,5(0,3/0,451)^{0,8}$ $S(T)=1,804$
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R (Çizelge 8 den)	8
Deprem Yüğü Azaltma Katsayısı, $R_a(T)$ (Çizelge 9 dan $T > T_A$)	$R_a(T_1)=8$
Spektral İvme Katsayısı, $A(T)=A_0 \cdot I \cdot S(T)$ bağıntısından	$A(T)=0,4 \cdot 1 \cdot 1,804=0,7216$

Yukarıda verilen değerlerin belirlenmesinden sonra Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (taban kesme kuvveti),

$$V_t = W A(T_1) / R_a(T_1) \rightarrow V_t = 178,8 (0,7216 / 8) = 16,13 \text{ t} \geq 0,10 A_0 I W = 7,152 \text{ t}$$

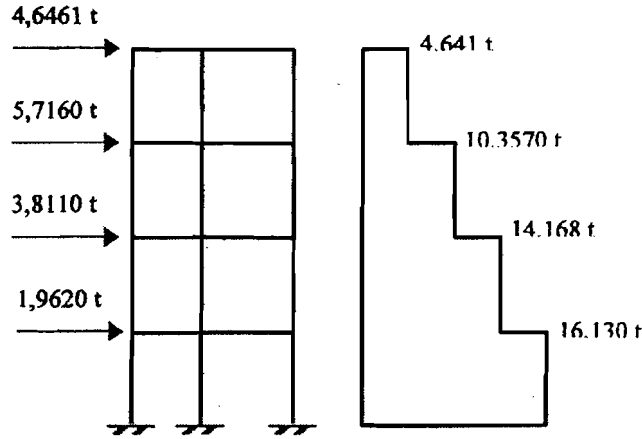
olarak hesaplanır. Taban kesme kuvvetinin belirlenmesinden sonra Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yüğüleri $H_N < 25\text{m}$ için $\Delta F_N = 0$ alınarak,

$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N (w_j H_j)}$$

bağıntısıyla belirlenebilir. Sayısal uygulamaya konu olan yapının 1-1 aksı doğrultusundaki rijitliği daha az olduğu için deprem yüklerinin belirlenmesinde bu doğrultu dikkate alınmaktadır. Örneğin 1.kat için deprem yükü;

$$F_1 = (16.13 \cdot 0) \left(\frac{29.92 \times 12}{29.92 \times 12 + 49.138 \times 9 + 49.138 \times 6 + 50.604 \times 3} \right) = 4,461 \text{ t}$$

şeklindedir. Diğer katlar için de benzer işlemler yapılarak hesaplanan yükler ile toplam kesme kuvvetleri diyagramı Şekil 6 da verilmektedir.



Şekil 6. Katlara Etkiyen Deprem Yükleri ve Toplam kesme Kuvveti Diyagramı

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemiyle hesap katlara etkiyen deprem yüklerinin belirlenmesinden sonra sona ermektedir. Ancak bu yöntemle yapılan hesabın yeterli olabilmesi için Deprem Yönetmeliğinde belirtilen düzensizlik durumlarının incelenmesi gerekmektedir.

DÜZENSİZLİK DURUMLARININ İNCELENMESİ

Düzensizlik durumlarının belirlenmesinde yapının deprem yükleri altında yer değiştirmesinin hesaplanması gerekmektedir. Söz konusu yer değiştirmenin hesabı aşağıda açıklanmaktadır.

Yer değiştirmeler için etkiyen deprem yüklerinin çerçeve akslarına dağıtılması için aksların rijitliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu rijitlikler mesnetlenme koşullarına bağlı olarak bu uygulama için $(12E / I^3)I$ şeklinde belirlenir. Görüldüğü gibi (E) ve (I) sabit olduğundan rijitliklerin dağılımında atalet momentlerini kullanmak yeterli olmaktadır. Örneğin 4. kat için atalet momentini $I = 2 \times 5.20 \cdot 10^{-4} + 8.93 \cdot 10^{-4} = 1.933 \cdot 10^{-3} \text{ m}^4$ olarak hesaplanır. Benzer şekilde diğer akslar ve katlar için hesaplanan atalet momentleri değerleri aşağıda verilmektedir.

Kat No	Atalet momentleri (m ⁴)			Toplam
	1-1 aksı	2-2 Aksı	3-3 aksı	
4. Kat	$1,933 \times 10^{-3}$	$1,560 \times 10^{-3}$	$2,340 \times 10^{-3}$	$5,833 \times 10^{-3}$
3. Kat	$3,062 \times 10^{-3}$	$1,758 \times 10^{-3}$	$3,369 \times 10^{-3}$	$8,189 \times 10^{-3}$
2. Kat	$3,190 \times 10^{-3}$	$1,950 \times 10^{-3}$	$5,140 \times 10^{-3}$	$10,280 \times 10^{-3}$
1. Kat	$4,172 \times 10^{-3}$	$2,340 \times 10^{-3}$	$7,880 \times 10^{-3}$	$14,392 \times 10^{-3}$

Hesaplanan atalet momentlerine dolayısıyla da rijitliklere bağlı olarak dağıtılan deprem yükleri örneğin 1-1 Aksı 4. katı için,

$$F_{41} = 4,6461 \frac{1,933 \cdot 10^{-3}}{5,8310 \cdot 10^{-3}} \rightarrow F_{41} = 1,540 \text{ t}$$

şeklinde hesaplanmaktadır. Diğer aks ve katlar için benzer işlemler yapılarak hesaplanan deprem yükleri aşağıda verilmektedir.

Kat No	Deprem Yükleri			Toplam
	1-1 aksı	2-2 Aksı	3-3 aksı	
4. Kat	1,540 t	1,243 t	1,865 t	4,6460
3. Kat	2,137 t	1,227 t	2,352 t	5,7160
2. Kat	1,135 t	0,651 t	1,905 t	3,8110
1. Kat	0,569 t	0,319 t	1,074 t	1,9620

Yukarıdaki çizelgede verilen yükler taşıyıcı sisteme etkiltilerek yapının yer değiştirmesinin elle hesabı hemen hemen imkansız olduğunda SAP 90 yapısal analiz programı yardımıyla hesaplanarak aşağıda verilmektedir.

Eleman	Eleman Boyutları		Kolon Alanı (cm ²)	Yerleşim Değerleri					
	(cm)	(cm)		Kolonun Uzunluğu (m)		Kolonun Geniřliđi (m)		Kolonun Yüksekliği (m)	
S11	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	0,000008	0,003412	0,000032
S12	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	0,000008	0,003524	0,000032
S13	25	60	1500	0,00000	0,00000	0,00000	0,000008	0,003246	0,000038
S14	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000000	0,003399	0,000002
S15	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000000	0,003521	0,000001
S16	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000000	0,003251	-0,000002
S17	25	50	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000010	0,003379	-0,000041
S18	60	25	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000010	0,003515	-0,000033
S19	25	50	1250	0,00000	0,00000	0,00000	-0,000010	0,003241	-0,000044
ΣA_{n1}			11500	1.kat için $(\Delta_{i1})_{max}$		0,003524	1.kat için $(\Delta_{i1})_{min}$		0,003241
S21	50	25	1125	0,000008	0,003412	0,000032	0,000029	0,009005	0,000059
S22	50	25	1125	0,000008	0,003524	0,000032	0,000029	0,009013	0,000057
S23	25	50	1250	0,000008	0,003246	0,000038	0,000029	0,009125	0,000070
S24	50	25	1125	-0,000000	0,003399	0,000002	-0,000001	0,008980	0,000003
S25	50	25	1125	-0,000000	0,003521	0,000001	-0,000001	0,009003	0,000001
S26	50	25	1125	-0,000000	0,003251	-0,000002	-0,000001	0,009101	-0,000003
S27	25	45	1125	-0,000010	0,003379	-0,000041	-0,000033	0,008961	-0,000072
S28	50	25	1125	-0,000010	0,003515	-0,000033	-0,000033	0,009003	-0,000059
S29	25	45	1125	-0,000010	0,003241	-0,000044	-0,000033	0,009087	-0,000077
ΣA_{n2}			10250	2.kat için $(\Delta_{i2})_{max}$		0,005879	2.kat için $(\Delta_{i2})_{min}$		0,005482
S31	45	25	1000	0,000029	0,009005	0,000059	0,000052	0,014150	0,000073
S32	45	25	1000	0,000029	0,009013	0,000057	0,000053	0,013695	0,000071
S33	25	45	1125	0,000029	0,009125	0,000070	0,000054	0,014234	0,000087
S34	45	25	1000	-0,000001	0,008980	0,000003	-0,000002	0,014114	0,000003
S35	45	25	1000	-0,000001	0,009003	0,000001	-0,000002	0,013671	0,000002
S36	45	25	1000	-0,000001	0,009101	-0,000003	-0,000002	0,014194	-0,000005
S37	25	45	1125	-0,000033	0,008961	-0,000072	-0,000061	0,014101	-0,000085
S38	45	25	1000	-0,000033	0,009003	-0,000059	-0,000062	0,013659	-0,000078
S39	25	35	875	-0,000033	0,009087	-0,000077	-0,000063	0,014172	-0,000093
ΣA_{n3}			9125	3.kat için $(\Delta_{i3})_{max}$		0,005145	3.kat için $(\Delta_{i3})_{min}$		0,004656
S41	40	25	1000	0,000052	0,014150	0,000073	0,000076	0,016819	0,000077
S42	40	25	1000	0,000053	0,013695	0,000071	0,000076	0,016538	0,000076
S43	25	40	1000	0,000054	0,014234	0,000087	0,000077	0,017361	0,000094
S44	40	25	1000	-0,000002	0,014114	0,000003	-0,000001	0,016791	0,000003
S45	40	25	1000	-0,000002	0,013671	0,000002	-0,000001	0,016515	0,000001
S46	40	25	1000	-0,000002	0,014194	-0,000005	-0,000001	0,017328	-0,000007
S47	25	35	875	-0,000061	0,014101	-0,000085	-0,000085	0,016781	-0,000090
S48	40	25	1000	-0,000062	0,013659	-0,000078	-0,000085	0,016508	-0,000082
S49	25	35	875	-0,000063	0,014172	-0,000093	-0,000086	0,017319	-0,000098
ΣA_{n4}			8750	4.kat için $(\Delta_{i4})_{max}$		0,003147	4.kat için $(\Delta_{i4})_{min}$		0,002669

-Görel Kat Ötelenmelerinin Kontrolü

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi biri'nci katındaki kolon veya perdelerde hesaplama görel kat ötelemelerinin (Δ_i) kat içerisindeki en büyük değeri h_i kat yüksekliğini göstermek üzere aşağıda verilen koşulları sağlamalıdır.

$$(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0,0035$$

$$(\Delta_i)_{max} / h_i \leq 0,02 / R$$

sayısal uygulamaya konu olan yapı için bu bağıntılardan ikincisi $R=8$ olduğundan daha elverişsiz olmaktadır. Bu kontrol için hesaplanan değerler aşağıda verilmektedir.

Kat No	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	h_i (m)	$(\Delta_i)_{max} / h_i$	Koşul
1.kat	0,003524	3,00	0,001175	Sağlamıyor.
2.kat	0,005879	3,00	0,001960	Sağlamıyor.
3.kat	0,005145	3,00	0,001715	Sağlamıyor.
4.kat	0,003147	3,00	0,001049	Sağlamıyor.

A-Planda Düzensizlikler

A1 - Burulma Düzensizliği:

Bir Yapıda burulma düzensizliği oluşabilmesi için Burulma Düzensizliği Katsayısı (η_{bi}) nin 1,2' den büyük olması gerekmektedir. Bu katsayı birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görel kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görel ötelemeye oranını ifade etmektedir. Sayısal uygulamaya konu olan yapı için A1 türü düzensizlik durumu,

$$[\eta_{bi} = (\Delta_i)_{max} / (\Delta_i)_{ort} \geq 1,2]$$

$$(\Delta_i)_{ort} = 1/2 [(\Delta_i)_{max} + (\Delta_i)_{min}]$$

bağıntılarıyla hesaplanan değerlere göre incelenmektedir. Bu değerler aşağıda verilmektedir.

Kat No	$(\Delta_i)_{max}$ (m)	$(\Delta_i)_{min}$	$(\Delta_i)_{ort}$ (m)	η_{bi}	Düzensizlik durumu
1.kat	0,003524	0,003241	0,003383	1,04	Yoktur
2.kat	0,005879	0,005482	0,005681	1,03	Yoktur
3.kat	0,005145	0,004656	0,004901	1,05	Yoktur
4.kat	0,003147	0,002669	0,002908	1,08	yoktur

A2 - Döşeme Süreksizliği:

Herhangi bir kattaki döşemede tanımlanan düzensizlik durumları ve bunların sayısal uygulamaya konu olan yapıda oluşup oluşmadığı aşağıda verilmektedir.

Düzensizlik Tanımı	Düzensizlik Durumu
I - Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu	Yoktur
II - Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu	Yoktur
III - Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu	Yoktur

A3 - Planda Çıkıntılar Bulunması :

Yapı kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, yapının katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20'sinden daha büyük olması durumunda bu düzensizlik ortaya çıkmaktadır. Çalışmamıza konu olan yapıda bu durum söz konusu değildir.

B - Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumlar**B1 - Komşu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) :**

Betonarme yapılarda zayıf kat oluşabilmesi için Dayanım Düzensizliği Katsayısı (η_{ci})'nin 0,80'den küçük olması gerekmektedir. Bu katsayı birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki *etkili kesme alanı*'nın, bir üst kattaki *etkili kesme alanı*'na oranı olarak tanımlanmaktadır bu katsayının hesabında kullanılan sembollerden ΣA_c herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanını, ΣA_g herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel doğrultuda perde olarak çalışan taşıyıcı sistem elemanlarının enkesit alanlarının toplamını, ΣA_k herhangi bir katta, gözönüne alınan deprem doğrultusuna paralel kargir dolgu duvar alanlarının (kapı ve pencere boşlukları hariç) toplamını, A_w ise kolon enkesiti etkin gövde alanı (depreme dik doğrultudaki kolon çıkıntılarının alanı hariç) alanını göstermektedir. η_{ci} katsayısı, $\Sigma A_c = \Sigma A_w + \Sigma A_g + 0,15 \Sigma A_k$ olmak üzere $[\eta_{ci} = (\Sigma A_c)_i / (\Sigma A_c)_{i+1} < 0,80]$ bağıntısıyla belirlenmektedir. Sayısal uygulamaya konu olan yapı için $\Sigma A_k = 5,03 \text{ m}^2$, $\Sigma A_g = 0 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmakta $\Sigma(A_w)$ ve $\Sigma(A_c)$ değerleri ise aşağıda verilmektedir.

Katlar	$\Sigma(A_w)_i$	$\Sigma(A_c)_i$	η_{ci}	Düzensizlik durumu
1-2	$\Sigma(A_w)_1 = 1,15 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_1 = 1,15 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,9045 \text{ m}^2$	1,07	yoktur
	$\Sigma(A_w)_2 = 1,025 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_2 = 1,025 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,7795 \text{ m}^2$		
2-3	$\Sigma(A_w)_2 = 1,025 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_2 = 1,025 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,7795 \text{ m}^2$	1,07	yoktur
	$\Sigma(A_w)_3 = 0,9125 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_3 = 0,9125 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,667 \text{ m}^2$		
3-4	$\Sigma(A_w)_3 = 0,9125 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_3 = 0,9125 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,667 \text{ m}^2$	1,02	yoktur
	$\Sigma(A_w)_4 = 0,8750 \text{ m}^2$	$\Sigma(A_c)_4 = 0,8750 + 0 + 0,15 \times 5,03 = 1,629 \text{ m}^2$		

B2 - Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) :

Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesinin bir üst kattaki ortalama görelî kat ötelemesine oranı olarak tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı (η_{ki}) nin 1,5'tan fazla olması durumunda oluşmaktadır. Bu katsayının $[\eta_{ki} = (\Delta_i)_{ort} / (\Delta_{i+1})_{ort} > 1,5]$ bağıntısıyla hesaplanan değerleri aşağıda verilmektedir.

1-2	$(\Delta_1)_{ort} = 3,383 \times 10^{-3} \text{ m}$	$\eta_{k1} = 3,383 \times 10^{-3} / 5,681 \times 10^{-3} > 1,5$ $\eta_{k1} = 0,6 < 1,5$	yoktur
	$(\Delta_2)_{ort} = 5,681 \times 10^{-3} \text{ m}$		
2-3	$(\Delta_2)_{ort} = 5,681 \times 10^{-3} \text{ m}$	$\eta_{k2} = 5,681 \times 10^{-3} / 4,901 \times 10^{-3} > 1,5$ $\eta_{k2} = 1,16 < 1,5$	yoktur
	$(\Delta_3)_{ort} = 4,901 \times 10^{-3} \text{ m}$		
3-4	$(\Delta_3)_{ort} = 4,901 \times 10^{-3} \text{ m}$	$\eta_{k3} = 4,901 \times 10^{-3} / 2,908 \times 10^{-3} > 1,5$ $\eta_{k3} = 1,69 > 1,5$	vardır
	$(\Delta_4)_{ort} = 2,908 \times 10^{-3} \text{ m}$		

B3 - Taşıyıcı Sistemin Düşey Elemanlarının Süreksizliği :

Sayısal uygulamaya konu olan yapıda Deprem Yönetmeliğinde Taşıyıcı sistemin düşey elemanların süreksizliği için belirtilen durumlar yoktur.

➤ *İncelenilen yapı 1. derece deprem bölgesinde olduğundan , bina toplam yüksekliği (H_N) < 25 m. den küçük olduğundan ve yapıda A1 türü düzensizlik bulunmadığından Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi bu yapıya uygulanabilir. Bu nedenle yapılan hesaplamalarda bulunan değerler kullanılabilir.*

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmadan elde edilen sonuçların başlıcaları aşağıda verilmektedir.

- Yapılan deprem hesabı için Deprem Yönetmeliğinde önerilen yöntemlerden uygulama açısından en basiti olan Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminin bile artık bilgisayar programları kullanmadan uygulanması hemen hemen imkansızdır. Çünkü düzensizliklerin denetimlerinin yapılması gerekmektedir. Bunları yapabilmek için de sistemin yerdeğiştirmelerinin hesabı gerekmektedir. Betonarme yapıların için yerdeğiştirmelerinin hesabı ise bilgisayar programları kullanmadan imkansız denecek kadar zordur.

- Yaklaşık 10 civarında çizelgeden alınan değerler ve bağıntılar yardımıyla uygulanabilen Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için gerekli çizelge ve bağıntılar bir sayfada özetlenerek bu yöntemi uygulayanlara kolaylık sağlanmıştır.

- Yapıların projelendirilmesinde taşıyıcı sistem elemanlarının yerleştirilmesinde gerekli özen gösterilmez ise planda ve düşey doğrultuda düzensizlik oluşma ihtimali yüksektir. Bu durumda ise işlemleri yeniden yapmak gerekmekte dolayısıyla da zaman kaybına neden olmaktadır. Bu nedenle taşıyıcı sistem elemanlarının boyut ve konumlarını düzensizlik durumları oluşmayacak şekilde belirlemek için özen gösterilmesinde yarar bulunmaktadır.

- Bir yapının deprem hesabını yaparken mod birleştirme yönteminin kullanmak ve hesaplanan taban kesme kuvvetini Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminden hesaplanan değerle karşılaştırmak uygun olmaktadır. Çünkü Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemiyle hesap yapılmışsa düzensizlik durumlarının incelenmesinde ve $\pm\%5$ eksantrisitenin dikkate alınmasında bilgisayar programları kullanmak gerektiğinden işlemler basit omaktan çıkmaktadır.

- Üniversitelerimizin bir kısmında lisans düzeyinde deprem mühendisliğı ve yapı dinamiğı konularında dersler verilmeye başlanmış, bir kısmında ise bu dersler verilmektedir. Oysa, yeni mezun olan bir mühendis, ülkemizin hemen hemen tamamı deprem riskiyle karşı karşıya olduğundan, yapıların deprem hesabıyla ister istemez karşılaşmaktadır. Bu nedenle bu derslerin zorunlu olarak bütün üniversitelerimizde verilmesi gereğı açıktır.

4. KAYNAKLAR

Celep. Z., Kumbasar, N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", Beta Dağıtım, İstanbul, 2000.

Tankay.E., "30 Sene Öncesi Hesap Yöntemleri ve Sağlam Bina Tasarımı ", İMO İzmir Şubesi Haber Bülten, sayı: 93, Sayfa: 64, Haziran 2000.

ABYYHY., "Afet Bölgelerinde yapılacak yapılar Hakkında Yönetmelik"İMO İzmir Şubesi Yayını No: 25, 1998.

Chopra. A.K., "Dynamics of Structures" Prentice-Hall Internatinal Inc" 1995.

Habibullah. A., Wilson. E. L., "Structural Analysis Programs SAP90", Berkeley, California, 1992.