

**T. C.
CUMHURİYET ÜNİVERSİTESİ**

**EŞDEĞER DEPREM YÜKÜ VE MOD BİRLEŞTİRME
YÖNTEMLERİNİN ÇOK KATLI BETONARME BİR YAPIDA
HESABI**

LİSANS TEZİ

**Yusuf KOÇ
(2013138042)**

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Öğr. Gör. E. Murat TONUS

**SİVAS
MAYIS 2017**

ÖNSÖZ

“Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemlerinin Çok Katlı Betonarme Bir Yapıda Hesabı ” adlı lisans tezimi hazırlamamda, bilgisi ve hoşgörüsü ile yardımlarını esirgemeyip yol gösteren değerli hocam Sayın Öğr. Gör. Erkan Murat TONUS’a teşekkürü bir borç bilirim. Ayrıca, bugünlere ulaşmamı sağlayan, hayatım boyunca benim için maddi manevi destek ve dualarını eksik etmeyen aileme, gösterdikleri sevgi, saygı, sabır ve hoşgörü için müteşekkir olduğumu belirtmek isterim.

MAYIS 2017

Yusuf KOÇ

İÇİNDEKİLER

1. DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007 (DBYBHY2007)	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Düzensiz Binalar	1
1.2.1. Yapı Sisteminde Düzensizlikler, Düzensiz Binalar	1
1.2.2. Yapısal Düzensizlikler	2
1.2.2.1. Planda Düzensizlik Durumları.....	2
1.2.2.1.1. Burulma (A1) Düzensizliği	2
1.2.2.1.2. Döşeme (A2) Süreksizliği	3
1.2.2.1.3. Planda Çıkıntı (A3) Düzensizliği	4
1.2.2.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları.....	5
1.2.2.2.1. Zayıf Kat (B1) ve Yumuşak Kat (B2) Düzensizlikleri	5
1.2.2.2.2. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3)	6
1.3. Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması, İkinci Mertebe Etkileri ve Deprem Derzleri	7
1.3.1 Etkin göreli kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması.....	7
1.3.2 İkinci mertebe etkileri	8
1.3.3 Deprem derzleri	8
1.4. Zemin Koşullarının Belirlenmesi	8
1.4.1. Zemin grupları ve yerel zemin sınıfları	9
2. DEPREM YÜKÜ HESAP YÖNTEMLERİ	10
2.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi	10
2.2. Mod Birleştirme Yöntemi	20
2.2.1. Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri	20
2.2.2. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı	20
2.2.3. Mod Katkılarının Birleştirilmesi	21
2.2.4. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri	21
2.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri	22
2.3.1. Yatay Deprem Yer Hareketleri.....	22
2.3.2. Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri	22
2.3.3. Zaman Tanım Alanında Hesap.....	22
3. Yatay Yüklere Göre Hesap Muto Yöntemi (D Metodu).....	23
4. Bir Çerçeve Sisteminin Deprem Hesabı	24
4.1. Muto Yöntemi İle Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Bulunması.....	25
5. Deprem Hesabı	27
5.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Deprem Hesabı	32

5.1.1. Yük Kombinasyonları	32
5.1.2. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması	33
5.2. Eşdeğer Deprem Yüküne Göre Düzensizlik Kontrolleri	34
5.2.1. Kat Deplasmanları ve A1 Düzensizlik kontrolü.....	34
5.2.2. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (yumuşak kat) Kontrolü.....	35
5.3. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Deprem Hesabı	36
5.3.1. Azaltılmış İvme Spektrumunun ETABS da Oluşturulması	36
5.3.2. Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı	38
5.3.3. Mod Birleştirme Yöntemi Deprem Yüklerinin Oluşturulması	38
5.3.4. Taban Kesme Kuvvetinin Karşılaştırılması.....	39
5.4. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Düzensizlik Kontrolleri	40
5.4.1. Kat deplasmanları ve A1 burulma düzensizliği kontrolü	40
5.4.2. B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü.....	41
6. İki Yöntemin Sonuçlarının Karşılaştırılması	41
6.1. Taban Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması.....	41
6.2. A1 Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi	42
6.3. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğinin İncelenmesi	42
7. SONUÇ	43
KAYNAKLAR.....	44

KISALTMALAR

DBYBHY 2007	: Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007
E.D.Y.Y.	: Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi
TS 500	: Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları
TS 498	: Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüğülerin Hesap Değerleri
M.B.Y.	: Mod Birleştirme Yöntemi
Z1	: Z1 Zemin Sınıfı
Z2	: Z2 Zemin Sınıfı
Z3	: Z3 Zemin Sınıfı
Z4	: Z4 Zemin Sınıfı

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 1.1 : Zemin Grupları	9
Çizelge 1.2 : Yerel zemin sınıfları.....	10
Çizelge 2.1 : Eşdeğer Deprem Yükünün Uygulanabileceği Binalar	10
Çizelge 2.2 : Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)	11
Çizelge 2.3 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)	12
Çizelge 2.4 : Bina Önem Katsayısı (I).....	12
Çizelge 2.5 : Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)	13
Çizelge 2.6 : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R).....	18
Çizelge 5.1 : Binanın Doğal Titreşim Periyotları ve Kütle Katılım Oranları	28
Çizelge 5.2 : Eşdeğer Deprem Yükü Hesabı	33
Çizelge 5.3 : X doğrultusunda (+ %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	34
Çizelge 5.4 : X doğrultusunda (- %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	34
Çizelge 5.5 : Y doğrultusunda (+ %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	34
Çizelge 5.6 : Y doğrultusunda (- %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.....	35
Çizelge 5.7 : X doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.....	35
Çizelge 5.8 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.....	35
Çizelge 5.9 : Zaman-İvme Fonksiyonu	38
Çizelge 5.10 : Taban kesme kuvvetinin karşılaştırılması.....	40
Çizelge 5.11 : D katsayısının hesabı	40
Çizelge 5.12 : X doğrultusundaki A1 Düzensizlik Kontrolü	40
Çizelge 5.13 : Y doğrultusundaki A1 Düzensizlik Kontrolü	41
Çizelge 5.14 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.....	41
Çizelge 5.15 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.....	41
Çizelge 6.1 : E.D.Y.Y ve M.B.Y. ile bulunan taban kesme kuvveti (VT) değerleri.	42
Çizelge 6.2 : Her iki deprem hesap yöntemi ile elde edilmiş olan A1 burulma düzensizliği katsayıları.....	42
Çizelge 6.3 : Her iki deprem hesap yöntemi ile elde edilmiş olan B2 rijitlik düzensizliği katsayıları.....	43

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1.1 : Betonarme kolonda burulma hasarı	3
Şekil 1.2 : A1 Burulma Düzensizliği.....	3
Şekil 1.3 : A2 türü düzensizlik durumu –I.....	4
Şekil 1.4 : A2 türü düzensizlik durumu II ve III	4
Şekil 1.5 : A3 türü düzensizlik durumu.....	5
Şekil 1.6 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (a).....	6
Şekil 1.7 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (b).....	6
Şekil 1.8 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (c).....	7
Şekil 1.9 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (d).....	7
Şekil 2.1 : F_{fi} katlara etkileyen fiktif yüklerin elde edilmesi.....	14
Şekil 2.2 : Zemin- Spektrum katsayısı grafiği.....	14
Şekil 2.3 : Kat ağırlıkları ve katlara gelen deprem yükleri.....	15
Şekil 2.4 : Rijit bodrum kata sahip binada üst katlar için yapılacak eşdeğer deprem yükü hesabı	16
Şekil 2.5 : Bodrum kata ait eşdeğer deprem yükü hesabı	17
Şekil 2.6 : Kütle merkezinin yeri ve kaydırılmış kütle merkezinin konumları.....	17
Şekil 2.7 : Planda düzensiz ve kat seviyesinde tek bir rijit diyaframa sahip olmayan yapıya deprem yüklerinin uygulanması	19
Şekil 2.8 : X ve Y doğrultusunda depremin ortak etkisi	19
Şekil 4.1 : Yapı kat planı ve yandan görünüşü.....	25
Şekil 5.1 : Binanın Etabs programında 3d modeli	28
Şekil 5.2 : Binanın X Doğrultusundaki Birinci Modu	29
Şekil 5.3 : Binanın Y Doğrultusundaki Birinci Modu	30
Şekil 5.4 : Binanın ETABS Programı ile Bulunan Üçüncü Mod Şekli.....	31
Şekil 5.5 : ETABS programında zaman-ivme fonksiyonunun tanımlanması.	39
Şekil 5.6 : ETABS programında response spektrum case'in tanımlanması.	39

1.DEPREM BÖLGELERİNDE YAPILACAK BİNALAR HAKKINDA YÖNETMELİK 2007 (DBYBHY2007)

1.1.Giriş

Deprem büyüklükleri ortaya çıkardıkları enerjiye bağlı olarak belirlenir. Büyük depremler şiddetli hasarlar meydana getirirler ve seyrek meydana gelirler. Yani, dönüşüm periyotları uzundur. Buna karşılık sık meydana gelen küçük depremler az hasar meydana getirir ve dönüşüm periyotları küçüktür.

Deprem Yönetmeliklerinin amacı yapıya ait taşıyıcı sistemin yatay ve düşey yükleri yapının en üstünden temel zeminine kadar aktarmasını sağlamaktır. Bu amaca yönelik olarak deprem yönetmelikleri yapının yeterli rijitlik, kararlılık ve dayanımı sağlaması için konstrüktif kurallardan ve hesaplardan oluşur. Deprem yönetmelikleri hazırlandıkları tarihe kadarki teorik araştırmalardan, yapılan uygulamalarda edinilen tecrübelerden ve deprem sonrası incelemelerden elde edilen sonuçlara göre hazırlanmaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının esaslarını koyan deprem yönetmeliği, deprem mühendisliğinin pratik sonuçlarını verir. Modern yönetmeliklerin geliştirilmesinde binanın depreme dayanıklı tasarımında aşağıdaki tanımlar esas alınır:

- Hafif şiddetli depremlerde yapının mimari elemanlarında bazı çatlaklara müsaade edilirken, taşıyıcı sisteminde herhangi bir hasar meydana gelmemesi sağlanacaktır.
- Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlarda oluşabilecek hasarın sınırlı ve onarılabilir düzeyde kalması.
- Şiddetli depremlerde ise çok sayıda can kaybına neden olacak yapının toptan göçmesinin önlenmesi sağlanacaktır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında en önemli kaynak deprem yönetmelikleridir. Deprem yönetmelikleri ait oldukları bölgelerin sismik koşulları doğrultusunda yapıların depreme dayanıklı tasarımı için uyulması gereken kuralları içerirler. Ülkemizde bu kurallar Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007'de verilmiştir.

1.2.Düzensiz Binalar

1.2.1. Yapı Sisteminde Düzensizlikler, Düzensiz Binalar

Depreme karşı davranışlarındaki olumsuzluklar ve yapının güvenliğini azaltan yapısal esaslara aykırı düzensizlikleri içeren binalar, düzensiz binalardır. Kat planları ve düzlem çerçeve düzenlemeleri, yatay ve düşey yüklerde çerçevenin davranışına tesir eder. Planların ve çerçevelerin düzenlemelerindeki hatalar deprem tesirleri ve birbirleri ile etkileşime girerek yapıyı zorlayıcı etkilerin artmasına neden olurlar.

- Burulma tesirlerini de dikkate alarak, yapının herhangi bir ucu için hesaplanan maksimum kat ötelenmesinin, her iki uç ötelemeleri ortalamasından %20 daha fazla olması durumunda,
- Yapının girintili köşelerinin yapının o yöndeki boyunun %20 veya daha fazla olması durumunda,
- Kat köşelerinin herhangi birinde kat brüt alanının %33'ünden fazla boşluk olması veya takip eden iki döşeme kat rijitliğinin %50 veya daha farklı olması durumunda,
- Planda yük taşıyan sistemin üst üste çakışmaması durumunda,
- Taşıyıcı elemanların esas sisteme paralel olmaması, eksenlere göre simetrik olmaması,
- Bir katın yanal rijitliğinin, bir üst kata göre %80 veya daha az olması durumunda,
- Bir katın kütlelerinin, altındaki ve üstündeki katın kütlelerine oranının 1,5 veya daha fazla olması durumunda,
- Taşıyıcı sistem genişliğinin bir alt veya üst katın genişliğinden %25 daha fazla olması durumunda, taşıyıcı sistemler düzensiz taşıyıcı sistemler olarak kabul edilir.

1.2.2. Yapısal Düzensizlikler

Yapıların tasarımında ve inşasında kaçınılması gereken, planda ve düşey doğrultudaki yapısal düzensizlikler, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik 2007 (DBYBHY2007) 'de tanımlanmıştır. Düzensiz yapılarda, deprem kuvvetleri artırılmış ve ek çeşitli yapısal kurallar konulmuş, yapı boyutlarında, hesap yöntemlerinde ve uygulamalarda sınırlamalar getirilmiş, dayanımlar, kullanılacak malzemeler sınırlanarak, yapısal düzensizlikler önlenmeye çalışılmıştır. Yönetmelikte, bu düzensizliklere yönelik uygulamaların önüne geçecek maddeler, yasaklayıcı bir nitelik taşımamaktadır. Bu durum, mimarlara ve mimarların tasarımlarını uygulayan mühendislere bir serbestlik sunmaktadır. Ancak mimarlar ve mühendisler, yapısal düzensizliklere yer vermeyecek bina tasarımı ve uygulamaları tercih etmelidirler. Taşıyıcı sistemin düzenli olup olmaması doğrudan yapının davranışını etkilemektedir. Ayrıca düzenli ve düzensiz yapılar, sistemin yapısal çözümünün yapılmasında, kesit tesirlerinin bulunmasında büyük bir rol oynamaktadır. Yapısal düzensizlikler yapı taşıyıcı sisteminin, betonarmenin zorlanmasına, yapıda istenmeyen ve olumsuz kabul edilen gerilme deformasyonlara neden olmaktadır. Küçük bir çaba ile yapısal olumsuzluklardan uzaklaşmamız durumunda, ekonomik güvenli yapıların yapılması olanaklarına kavuşmak mümkündür. Yapı planında basit ve düzenli geometrilileri, olabildiğince simetrik olanlar tercih edilmelidir. Yapı yüksekliği boyunca yapının öteleme rijitliği simetrik olacak şekilde perde ve çerçeveler yerleştirilmelidir. Planda düzensizlik durumları A ile adlandırılırken düşey doğrultudaki düzensizlikler B harfi ile ifade edilmiştir.

1.2.2.1. Planda Düzensizlik Durumları

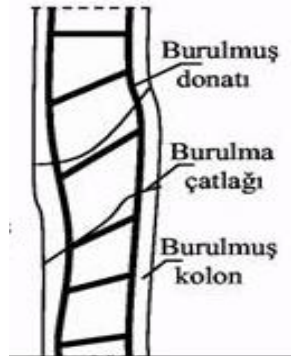
1.2.2.1.1. Burulma (A1) Düzensizliği

Her yapıda kütle ve rijitlik merkezi bulunmaktadır. Kütle merkezi, yaklaşık olarak yapının geometrik merkezidir. Rijitlik merkezi ise kolon ve perde kesme kuvvetlerinin bileşkesinin geçtiği noktadır. Kütle merkezi ile rijitlik merkezini üst üste çakışmaması, yapıda ötelenme ve dönme oluşturmaktadır. Buna eksantrisite adı verilmektedir. Bu durum yapıda burulma momentlerini oluşmasına ve olası bir depremde burulmaya bağlı hasarlara neden olmaktadır. Burulma etkileri, binadaki kütle düzenlemesi ile direnen elemanların konumları arasında denge olmaması durumunda ortaya çıkmaktadır. DBYBHY-2007 'de burulma düzensizliği şu şekilde tanımlanmıştır:

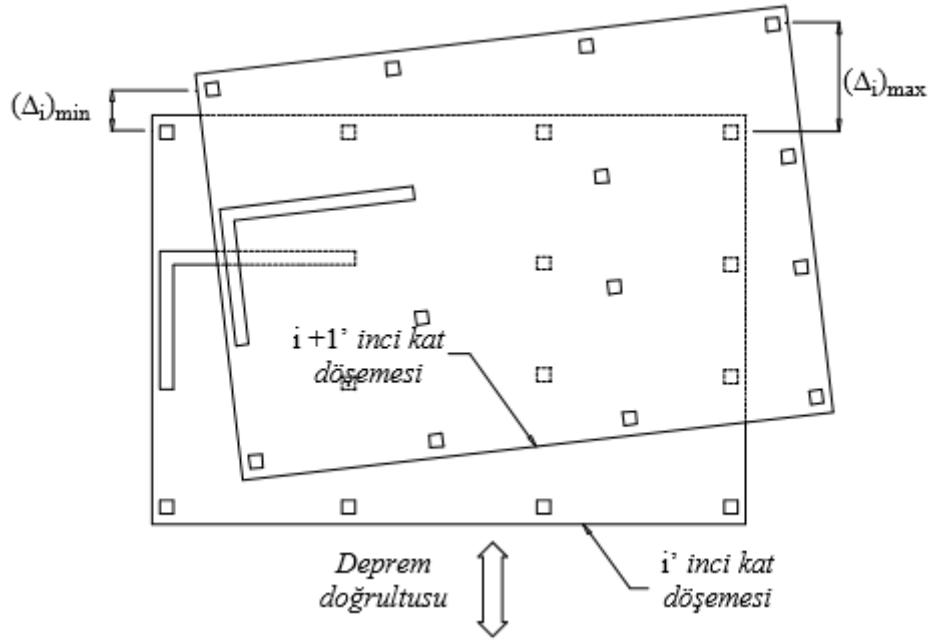
“ Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelenmesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranını ifade eden Burulma Düzensizliği Katsayısı η_{bi} 'nin 1,2'den büyük olması durumu”

Bu yüzden deprem hesabı yapılan tüm yapılarda burulma gerçekleşir. Önemli olan ise bu durumun mertebesinin A1 Burulma Düzensizliği yaratmayacak bir mertebede tutulmasıdır.

Bu düzensizliğin varlığı durumunda, taşıyıcı sistem elemanları olan kolon ve perdelerin yapının rijitliğinin artıracak şekilde düzenlenmesi gerekmektedir. Aksi takdirde depremin etkisiyle rijitlik merkezi etrafında dönen ve ötelenen yapının hasar alması kaçınılmazdır.



Şekil 1.1 : Betonarme kolonda burulma hasarı



Şekil 1.2 : A1 Burulma Düzensizliği

$$(\Delta i)_{ort} = 1/2 [(\Delta i)_{max} + (\Delta i)_{min}] \quad (1.1)$$

$$\eta_{bi} = (\Delta i)_{max} / (\Delta i)_{ort} > 1.2 \quad (1.2)$$

Rijitlik merkezi ve kütle merkezi çakışan her iki doğrultuda simetrik yapılarda deprem yönetmeliği uyarınca %5 minimum dış merkezlilik uygulanmasını öngörür. Deprem yönetmeliği burulma düzensizliği katsayısı $\eta_{bi} > 1,2$ olduğunda eksişmerkezliliği artırarak yapının burulma durumunda daha elverişsiz iç kuvvetlere maruz kaldığını öngörerek güvenli tarafta kalma yoluna gider. A1 tipi burulma düzensizliği olması durumunda $1,2 < \eta_{bi} < 2,0$ olmak koşulu ile bu katta uygulanan $\pm\% 5$ eksişmerkezlik değeri, her iki deprem doğrultusu için Denklem (2.3)'de verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1,2} \right)^2 \quad (1.3)$$

1.2.2.1.2. Döşeme (A2) Süreksizliği

Yapının kat planında, merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanlarının toplamı, o katın brüt alanının üçte birini geçtiği takdirde o yapıda döşeme süreksizliğinden söz edilebilir. Yapıdaki bu boşluklar, deprem yüklerinin kolon ve perdelerine düzenli bir şekilde aktarılmasını engellemektedir. Yerel döşeme boşlukları da bu düzensizliğe neden olmaktadır. Ayrıca ani rijitlik azalmaları, döşeme süreksizliği kapsamında değerlendirilmektedir. Döşeme süreksizlikleri DBYBHY-2007'de şu şekilde ifade edilmiştir:

Herhangi bir katta;

I- Merdiven ve asansör boşlukları dahil, boşluk alanları toplamının kat brüt alanının 1/3'ünden fazla olması durumu,

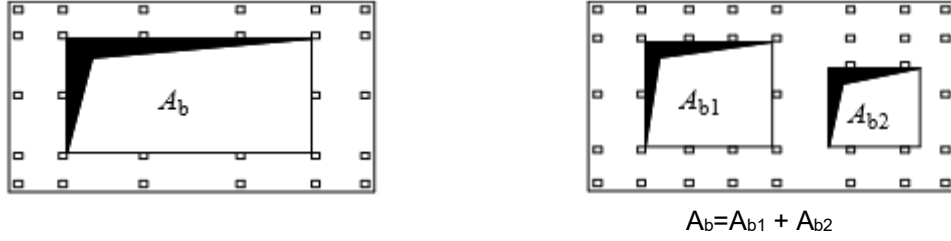
II- Deprem yüklerinin düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılabilmesini güçleştiren yerel döşeme boşluklarının bulunması durumu,

III- Döşemenin düzlem içi rijitlik ve dayanımında ani azalmaların olması durumu”

A2.I Düzensizliğine asma kat gibi kat içerisinde büyük döşeme boşlukları oluşturan durumlarda rastlanmaktadır.

A2.II Düzensizliği aydınlık, merdiven ve asansör boşluğu gibi yerel döşeme süreksizlikleri sonucu oluşmaktadır.

A2.III Düzensizliği döşeme kalınlığındaki ani değişimler sonucu oluşmaktadır. Döşeme, deprem yükleri nedeniyle en az hasar alan taşıyıcı sistem elemanıdır. Ancak döşeme süreksizlikleri, yüklerin taşıyıcı sistem elemanları arasında düzenli aktarılmasını engellediği için sakıncalıdır.

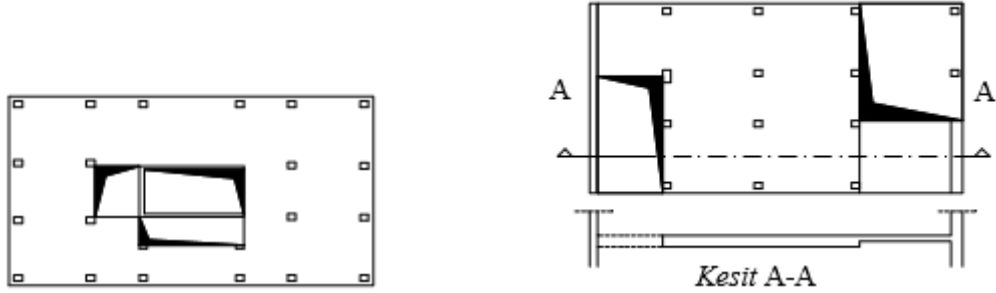


Şekil 1.3 : A2 türü düzensizlik durumu –I

$$A_b / A > 1/3$$

(1.4)

A_b : Boşluk alanları toplamı
 A : Brüt kat alanı



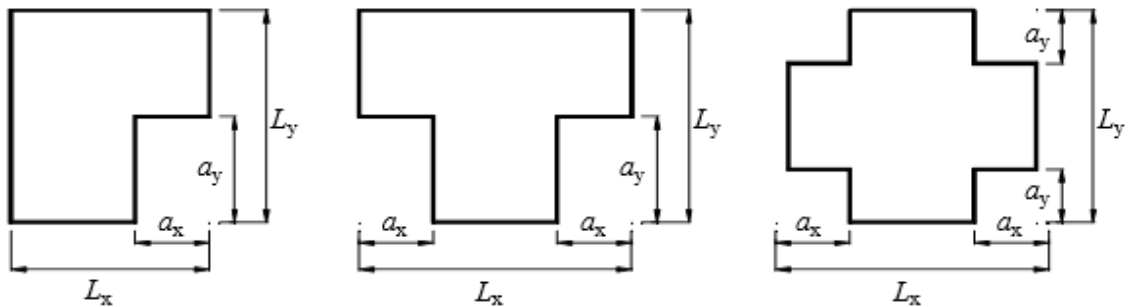
Şekil 1.4 : A2 türü düzensizlik durumu II ve III

1.2.2.1.3. Planda Çıkıntı (A3) Düzensizliği

Planda çıkıntı düzensizliği DBYBHY-2007’de şu şekilde tanımlanmıştır:

“Bina kat planlarında çıkıntı yapan kısımların birbirine dik iki doğrultudaki boyutlarının her ikisinin de, binanın o katının aynı doğrultulardaki toplam plan boyutlarının %20’sinden daha büyük olması durumu”

Bu düzensizliğin bulunduğu yapılarda, yatay deprem kuvvetleri düşey taşıyıcı sistem elemanlarına güvenle aktarılamamaktadır. Düzensiz yük dağılımı, yapılarda burulma hasarlarına neden olmaktadır. Girinti çıkıntı oluşmasını engellemek için yapılar, deprem derzi ile ayrılmalıdır. Aksi takdirde yapılar, yatay yükler altında burulmakta ve hasar görmektedir.



Şekil 1.5 : A3 türü düzensizlik durumu

$$ax > 0.2Lx \text{ ve/veya } ay > 0.2Ly$$

1.2.2.2. Düşey Doğrultuda Düzensizlik Durumları

1.2.2.2.1. Zayıf Kat (B1) ve Yumuşak Kat (B2) Düzensizlikleri

Dolgu duvarlar, kolon ve kirişlere gelen deprem yükünü paylaşarak olası ağır hasarları azaltabilmektedir. Ancak genellikle zemin katları dükkan ve restoran gibi işyeri olarak kullanılan yapılarda cephelerde dolgu duvarlar yerine camekanlar yapılmaktadır. Bu durumda yapı giriş katları, yanıl ötelenmeler açısından diğler katlara nazaran daha az rijit davranmaktadır.

DBYBHY-2007'de B1 düzensizliğı şu şekilde tanımlanmıştır:

“Betonaarme binalarda birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde, herhangi bir kattaki etkili kesme alanı'nın, bir üst kattaki etkili kesme alanı'na oranı olarak tanımlanan Dayanım Düzensizliğı Katsayısı η_{ci} 'nin 0.80'den küçük olması durumu”

$$[\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80] \quad (1.5)$$

Herhangi bir katta etkili kesme alanının tanımı:

$$\sum A_e = \sum A_w + \sum A_g + 0.15 \sum A_k \quad (1.6)$$

B1 türü düzensizliğın bulunduğu binalarda, göz önüne alınan i'inci kattaki dolgu duvarı alanlarının toplamı bir üst kattakine göre fazla ise, η_{ci} 'nin hesabında dolgu duvarları gözönüne alınmayacaktır. $0.60 < (\eta_{ci})_{min} < 0.80$ aralığında taşıyıcı sistem davranış katsayısı, $1.25 (\eta_{ci})_{min}$ değeri ile çarpılarak her iki deprem doğrultusunda da binanın tümüne uygulanacaktır. Ancak hiçbir zaman $\eta_{ci} < 0.60$ olmayacaktır. Aksi durumda, zayıf katın dayanımı ve rijitliğı artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır.

Kolonları, perde duvarları, taşıyıcı duvarları veya dolgu duvarları temelinden en üst katına kadar süreklilik göstermeyen ve duvarsız giriş katları diğler katlarından daha yüksek olan yapılarda, bu elemanların kesintiye uğradığı kat yanıl yüklerin etkisiyle aşırı ötelenerek hasar görmektedir. Bu kata, “Yumuşak Kat” adı verilmektedir. Eğer, göz önüne alınan bir deprem doğrultusu için, herhangi bir katın ortalama görelil ötelenmesinin bir üst veya bir alt katın ortalama görelil ötelenmesine oranı 2'den büyükse, o katın yumuşak kat olduğu söylenebilir. Yumuşak kat düzensizliğı DBYBHY-2007'de şu şekilde tanımlanmıştır:

“Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelil kat öteleme oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelil kat öteleme oranına bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliğı Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'den fazla olması durumu”

Görelil kat ötelemeleri hesabı $\pm\%5$ ek dışmerkezlik etkileri de göz önüne alınarak yapılacaktır.

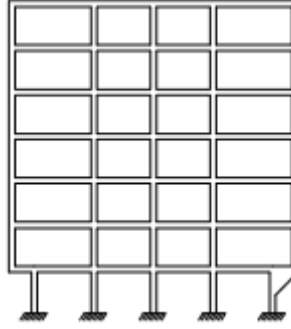
$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \text{ veya} \\ \eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (1.7)$$

Zayıf ve yumuşak kat düzensizliklerinin varlığı çok katlı yapıların depremde yıkılmasının önemli nedenlerindedir. Zayıf kat düzensizliğı, üst katları hasar almasa bile giriş kattaki hasar nedeniyle yapıların yıkılmasına neden olmaktadır. Bu düzensizliğı önlemek için sistemde perde elemanlar tercih edilmeli ve perde duvarlar yapı cephelerine yerleştirilerek yapı rijitliğinin artırılması hedeflenmelidir. Ayrıca giriş katların diğler katlardan daha yüksek inşa edilmemesine özen gösterilmelidir. Altı dükkân- üstü daire tipi yapılaşmadan kaçınılmalıdır.

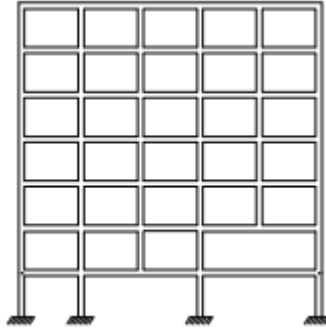
Deprem kuvvetinden oluşan yatay yer değiştirmelerin %70-80'i yumuşak katta oluşmaktadır. Yumuşak kat kolonları aşırı yatay yer değiştirerek kırılmakta ve yapı aniden yıkılmaktadır.

1.2.2.2. Taşıyıcı Sistem Düşey Elemanlarının Süreksizliği (B3)

Bazı cephe kolonlarının konsol kirişlere ya da guselere oturtulması, bazı kolonların aşağı katlarda kaldırılarak kirişlere oturtulması, perdenin alt kat kolonlarına oturtulması ve perdenin alt kat kiriş açıklığına oturtulması durumlarında yapılarda taşıyıcı sistem düşey elemanlarının süreksizliği meydana gelmektedir. Bu düzensizlik, DBYBHY-2007'de şu şekilde tanımlanmıştır: "Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının (kolon veya perdelerin) bazı katlarda kaldırılarak kirişlerin veya guseli kolonların üstüne veya ucuna oturtulması, ya da üst kattaki perdelerin altta kolonlara veya kirişlere oturtulması durumu"

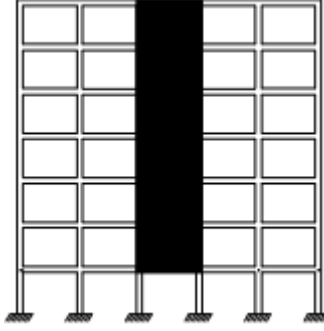


Şekil 1.6 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (a)



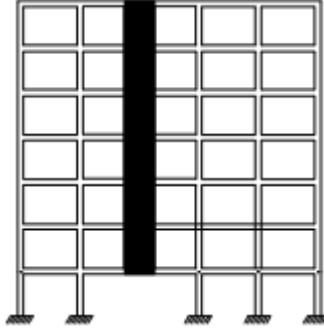
Şekil 1.7 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (b)

(b) Kolonun iki ucundan mesnetli bir kirişe oturması durumunda, kirişin bütün kesitlerinde ve ayrıca göz önüne alınan deprem doğrultusunda bu kirişin bağlandığı düğüm noktalarına birleşen diğer kiriş ve kolonların bütün kesitlerinde, düşey yükler ve depremin ortak etkisinden oluşan tüm iç kuvvet değerleri %50 oranında artırılacaktır.



Şekil 1.8 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (c)

(c) Üst katlardaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.



Şekil 1.9 : B3 Taşıyıcı sistemin düşey elemanlarının süreksizliği (d)

(d) Perdelerin binanın herhangi bir katında, kendi düzlemleri içinde kirişlerin üstüne açıklık ortasında oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez.

1.3. Kat Ötelemelerinin Sınırlandırılması, İkinci Mertebe Etkileri ve Deprem Derzleri

1.3.1 Etkin görelî kat ötelemelerinin hesaplanması ve sınırlandırılması

Herhangi bir kolon veya perde için, ardışık iki kat arasındaki yerdeğiştirme farkını ifade eden azaltılmış görelî kat ötelemesi, Δ_i , aşağıdaki gibi elde edilecektir.

$$\Delta_i = d_i - d_{i-1} \quad (1.8)$$

Denklem 1,8'de d_i ve d_{i-1} , her bir deprem doğrultusu için binanın i 'inci ve $(i-1)$ 'inci katlarında herhangi bir kolon veya perdenin uçlarında azaltılmış deprem yüklerine göre hesaplanan yatay yerdeğiştirmeleri göstermektedir. Ancak $N > 13$ olan binalarda doğal periyod, 0.1 N'den daha büyük alınmamasına ilişkin koşul ve minimum eşdeğer deprem yükü hesabındaki koşul burada göz önüne alınmayabilir. Her bir deprem doğrultusu için, binanın i 'inci katındaki kolon veya perdeler için etkin görelî kat ötelemesi, δ_i , aşağıdaki gibi elde edilecektir:

$$\delta_i = R \Delta_i \quad (1.9)$$

Her bir deprem doğrultusu için, binanın herhangi bir i 'inci katındaki kolon veya perdede, Denklem (1.9) ile hesaplanan δ_i , etkin görelî kat ötelemelerinin kat içindeki en büyük değeri $(\delta_i)_{max}$, aşağıdaki koşulu sağlayacaktır:

$$(\delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02 \quad (1.10)$$

Denklem 1.10'daki koşulun binanın herhangi bir katında sağlanamaması durumunda, taşıyıcı sistemin rijitliği artırılarak deprem hesabı tekrarlanacaktır. Ancak verilen koşul sağlansa bile, yapısal olmayan gevrek elemanların (cephe elemanları vb.) etkin görelî kat ötelemeleri altında kullanılabilirliği hesapla doğrulanacaktır.

1.3.2 İkinci merteye etkileri

Taşıyıcı sistem elemanlarının doğrusal elastik olmayan davranışını esas alan daha kesin bir hesap yapılmadıkça, ikinci merteye etkileri yaklaşık olarak aşağıdaki şekilde göz önüne alınabilir. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda her bir katta, İkinci Merteye Gösterge Değeri, Θ_i 'nin, Denklem (1.11) ile verilen koşulu sağlaması durumunda, ikinci merteye etkileri yürürlükteki betonarme ve çelik yapı yönetmeliklerine göre değerlendirilecektir.

$$\Theta_i = \frac{(\Delta_i)_{\text{ort}} \sum_{j=i}^N w_j}{V_i h_i} \leq 0,12 \quad (1.11)$$

Burada $(\Delta_i)_{\text{ort}}$, i'inci kattaki kolon ve perdelerde hesaplanan azaltılmış görelî kat ötelemelerinin kat içindeki ortalama değeri olarak yukarıda verilmiş olan şekilde bulunacaktır.

1.3.3 Deprem derzleri

Farklı zemin oturmalarına bağlı temel öteleme ve dönmeleri ile sıcaklık değişmelerinin etkisi dışında, bina blokları veya mevcut eski binalarla yeni yapılacak binalar arasında, sadece deprem etkisi için bırakılacak derz boşluklarına ilişkin koşullar aşağıda belirtilmiştir.

1-Derz boşlukları, her bir kat için komşu blok veya binalarda elde edilen yer değiştirmelerin karelerinin toplamının karekökü ile aşağıda tanımlanan α katsayısının çarpımı sonucunda bulunan değerden az olmayacaktır. Göz önüne alınacak kat yer değiştirmeleri, kolon veya perdelerin bağlandığı düğüm noktalarında hesaplanan azaltılmış di yer değiştirmelerinin kat içindeki ortalamaları olacaktır.

a -Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin bütün katlarda aynı seviyelerde olmaları durumunda $\alpha = R / 4$ alınacaktır.

b -Komşu binaların veya bina bloklarının kat döşemelerinin, bazı katlarda olsa bile, farklı seviyelerde olmaları durumunda $\alpha = R / 2$ alınacaktır.

2-Bırakılacak minimum derz boşluğu, 6 metre yüksekliğe kadar en az 30 mm olacak ve bu değere 6 metre 'den sonraki her 3 m'lik yükseklik için en az 10 mm eklenecektir.

3-Bina blokları arasındaki derzler, depremde blokların bütün doğrultularda birbirlerinden bağımsız olarak çalışmasına olanak verecek şekilde düzenlenecektir.

1.4. Zemin Koşullarının Belirlenmesi

Yapıya etkiyecek olan taban kesme kuvveti değeri yalnızca binaya ait yapısal modele değil aynı zamanda binanın üzerine yapılması düşünülen zeminin sahip olduğu değerlere de bağlıdır. Gerek temel hesabı gerekse bina için yapılacak olan statik hesaba temel teşkil eden dinamik analizden zemin koşullarına bağlı olmasından dolayı binanın yapılacağı yerdeki zemin koşullarının bina modellemesine başlanmadan önce belirlenmesi gerekir. Bu nedenle bu kısımda zemin koşullarının deprem hesabını etkileyen faktörleri verilmiştir.

1.4.1. Zemin grupları ve yerel zemin sınıfları

Zeminler, zemin özellikleri dikkate alınarak A, B, C, D şeklinde gruplandırılmışlardır. Zemin grubu ve en üst zemin tabakası kalınlığı h_1 'e bağlı olarak Yerel Zemin Sınıfları tanımlanmıştır. Yerel Zemin Sınıfının belirlenmesi için esas alınacak Zemin Grupları Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 : Zemin Grupları

Zemin Grubu	Zemin Grubu Tanımı	Standart Penetrasyon (N/30)	Rölatif Sıkılık (%)	Serbest Basınç Direnci (kPa)	Kayma Dalgası 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	-	-	500-10 ³	700-10 ³
	2-Orta 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-Katı 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

Yerel Zemin sınıfları zemin grupları ve en üst zemin tabakası kalınlığına bağlı olarak Çizelge 1.2'te verilmiştir.

Çizelge 1.2 : Yerel zemin sınıfları.

Yerel Zemin Sınıfı	Çizelge 1,1'e Göre Zemin Grubu ve En Üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h_1)
Z1	(A) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (B) grubu zeminler
Z2	$h_1 > 15$ m olan (B) grubu zeminler $h_1 \leq 15$ m olan (C) grubu zeminler
Z3	$15 < h_1 < 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 \leq 10$ m olan (D) grubu zeminler
Z4	$h_1 > 50$ m olan (C) grubu zeminler $h_1 > 10$ m olan (D) grubu zeminler

2. DEPREM YÜKÜ HESAP YÖNTEMLERİ

DBYBHY-2007'ye göre binaların ve bina türü yapıların deprem hesabında kullanılacak yöntemler;

- Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi
 - Mod Birleştirme Yöntemi
 - Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi
- olmak üzere üç farklı çeşitte yapılmaktadır.

2.1. Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi'nin uygulanabileceği binalar Çizelge 2,1 'de verilmiştir. Çizelge 2,1 'in kapsamına girmeyen binaların deprem hesabında Mod Birleştirme Yöntemi veya Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemi kullanılacaktır.

Çizelge 2.1 : Eşdeğer Deprem Yükünün Uygulanabileceği Binalar

Deprem Bölgesi	Bina Türü	Toplam Yükseklik Sınırı
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2,0$ koşulunu sağladığı binalar.	$H_N \leq 25$ m
1,2	Her bir katta burulma düzensizliği katsayısının $\eta_{bi} \leq 2,0$ koşulunu sağladığı ve ayrıca B2 türü düzensizliğinin olmadığı binalar.	$H_N \leq 40$ m
3,4	Tüm binalar.	$H_N \leq 40$ m

Burada kullanılan H_N ifadesi bina toplam yüksekliğini ifade etmektedir. Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, binanın tümüne etkiyen Toplam Eşdeğer Deprem Yüğü (Taban Kesme Kuvveti), V_t Denklem (2.1) ile belirlenecektir.

$$V_t = \frac{WA(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10A_0IW \quad (2.1)$$

Bu ifadede;

W : Binanın, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak bulunan toplam ağırlığı

T_1 : Binanın birinci doğal titreşim periyodu

$R_a(T)$: Deprem yükü azaltma katsayısı

$A(T)$: Spektral ivme katsayısı

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı

şeklinde belirtilmiştir.

Binanın deprem sırasındaki toplam ağırlığı olarak göz önüne alınacak olan W , Denklem (2.2) ile belirlenecektir.

$$W = \sum_{i=1}^N w_i \quad (2.2)$$

Buna göre w_i kat ağırlıkları ise Denklem (2.3) ile hesaplanacaktır.

$$w_i = g_i + nq_i \quad (2.3)$$

Bu ifadelerde;

w_i : Binanın i 'inci katının, hareketli yük katılım katsayısı kullanılarak hesaplanan ağırlığı

g_i : Binanın i 'inci katındaki toplam sabit yükler

q_i : Binanın i 'inci katındaki toplam hareketli yükler

n : Hareketli yük katılım katsayısı şeklinde ifade edilmiştir.

Hareketli yük katılım katsayısı, n , Çizelge 3.2 de verilmiştir. Endüstri binalarında; sabit ekipman ağırlıkları için $n=1$ alınacak, ancak vinç kaldırma yükleri kat ağırlıklarının hesabında göz önüne alınmayacaktır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde kullanılacak olan çatı katı ağırlığının hesabında kar yüklerinin %30'u göz önüne alınacaktır.

Çizelge 2.2 : Hareketli Yük Katılım Katsayısı (n)

Binanın Kullanım Amacı	n
Depo, antrepo, vb.	0.80
Okul, öğrenci yurdu, spor tesisi, sinema, tiyatro, konser salonu, garaj, lokanta, mağaza, vb.	0.60
Konut, işyeri, otel, hastane, vb.	0.30

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, Denklem (2.4)'te tanımlanmıştır. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumunun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_{ae}(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g 'nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 I S(T) \quad (2.4)$$

$$S_{ae}(T) = A(T) g \quad (2.5)$$

Bu ifadede;

A_0 :Etkin yer ivme katsayısını

$S(T)$:Spektrum katsayısını

I :Bina önem katsayısını

vermektedir.

Denklem 2.4'te yer alan A_0 , etkin yer ivme katsayısı, Çizelge 2.3'te verilmiştir.

Çizelge 2.3 : Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0)

Deprem Bölgesi	A_0
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Bina önem katsayısı, I , farklı bina kullanım amaçlarına göre Çizelge 2.4'de verilmiştir.

Çizelge 2.4 : Bina Önem Katsayısı (I)

Bina Kullanım Amacı veya Türü	Bina Önem Katsayısı (I)
<p>1. Deprem sonrası kullanımı gereken 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) Toksik, patlayıcı, parlayıcı, vb. özellikleri olan maddelerin bulunduğu veya depolandığı binalar.</p>	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 kışlalar, cezaevleri, vb. b) Müzeler	1.4
3.İnsanların kısa süreli ve yoğun olarak binalar Spor tesisleri, sinema, tiyatro ve konser salonları, vb.	1.2
4.Diğer binalar Yukarıdaki tanımlara girmeyen diğer binalar (Konut, işyerleri, oteller, bina türü endüstri yapıları, vb.)	1.0

Denklem 2.4'de yer alan Spektrum Katsayısı, S(T), yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T'ye bağlı olarak Denklem (2.6) ile hesaplanacaktır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A < T \leq T_B) \quad (2.6)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T)$$

Denklem 2.6'daki Spektrum Karakteristik Periyotları, T_A ve T_B , Çizelge 1.2'de tanımlanmış olan Yerel Zemin Sınıflarına bağlı olmak üzere Çizelge 2.5'da verilmiştir. T_A spektrum karakteristik alt periyodu, T_B ise spektrum karakteristik üst periyodu anlamına gelir. Yapının dinamik analiz sonrasında tespit edilen doğal titreşim periyotlarından x ve y doğrultularında etkili olan birinci doğal titreşim periyotları S(T) hesabında kullanılacaktır.

Çizelge 2.5 : Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A, T_B)

Çizelge 1.2 'ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T_A (saniye)	T_B (saniye)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi uygulandığı takdirde, binanın deprem doğrultusundaki hakim doğal titreşim periyodu, Denklem (2.7) ile hesaplanan değerden daha büyük alınmayacaktır.

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (2.7)$$

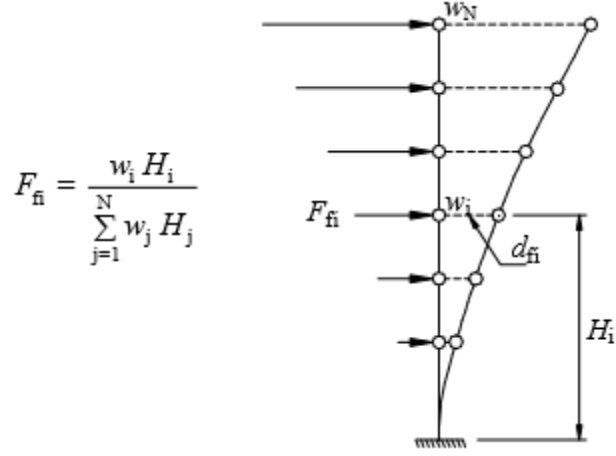
Bu denklemde;

m_i : i'nci katın kütlesidir.

F_{fi} : i'nci kata etkiyen fiktif yükleri gösterir ve Denklem (2.8) ile hesaplanır.

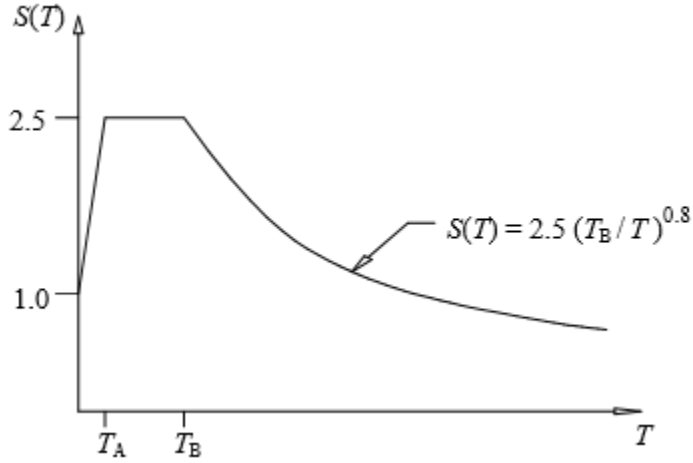
d_{fi} : Fiktif yüklerin etkisi altında, aynı noktalarda deprem doğrultusunda hesaplanan yer değiştirmeleri gösterir.

$$F_{fi} = \frac{w_i H_i}{\sum_{i=1}^N w_j H_j} \quad (2.8)$$



Şekil 2.1 : F_{fi} katlara etkiyen fiktif yüklerin elde edilmesi.

Zaman-Spektrum katsayısı grafiği Şekil 2.2'de verilmiştir.



Şekil 2.2 : Zemin- Spektrum katsayısı grafiği

Taşıyıcı sistemin depremlili durumda sistemin kendine özgü doğrusal elastik olmayan davranışı göz önüne alınarak, spektral ivme katsayılarına bağlı olarak bulunan elastik deprem yükleri, aşağıda tanımlanan Deprem Yükü Azaltma Katsayısına bölünecek ve yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükleri belli bir oranda azaltılmış olacaktır. Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, çeşitli taşıyıcı sistemler için Çizelge 2.6'da tanımlanan Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı, R 'ye ve yapının doğal titreşim periyodu, T 'ye bağlı olarak Denklem (2.9) ve (2.10) ile belirlenecektir.

$$R_a(T) = 1.5 + (R-1.5) \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (2.9)$$

$$R_a(T) = R \quad (T_A < T) \quad (2.10)$$

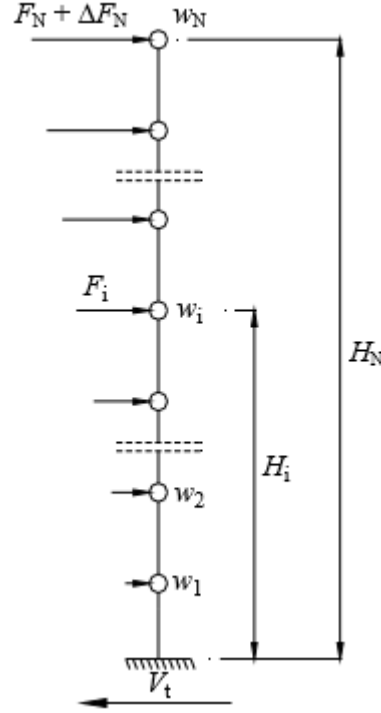
Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, Denklem (2.1) ile hesaplanan yapıya etkiyen toplam eşdeğer deprem yükü, bina katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerin toplamı olarak denklem (2.11) ile ifade edilir ve Şekil 2.3'te gösterilmiştir.

$$V_t = \Delta F_N + \sum_{i=1}^N F_i \quad (2.11)$$

Bu ifadede;

V_t : Toplam eşdeğer deprem yükü

ΔF_N : Binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü



Şekil 2.3 : Kat ağırlıkları ve katlara gelen deprem yükleri

Binanın N'inci katına etkiyen ek eşdeğer deprem yükü ΔF_N 'in değeri Denklem (2.12) ile belirlenecektir.

$$\Delta F_N = 0.0075 N V_t \quad (2.12)$$

Toplam Eşdeğer Deprem Yükü ΔF_N dışında geri kalan kısmı, N'inci kat dahil olmak üzere, bina katlarına Denklem (2.13) ile dağıtılacaktır.

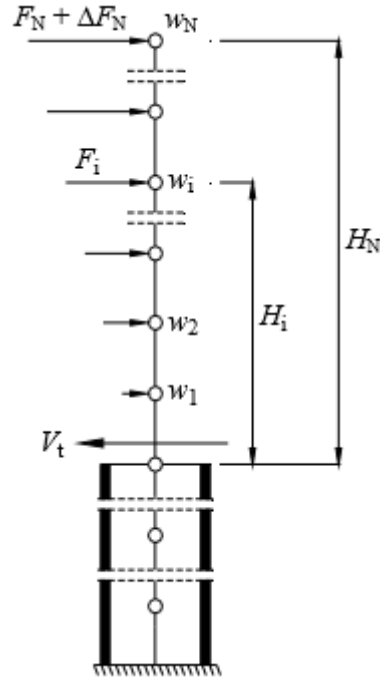
$$F_i = (V_t - \Delta F_N) \frac{w_i H_i}{\sum_{j=1}^N w_j H_j} \quad (2.13)$$

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, bodrum katlarına ve üstteki katlara etkiyen eşdeğer deprem yükleri, ayrı ayrı aşağıda anlatılan şekilde hesaplanacaktır.

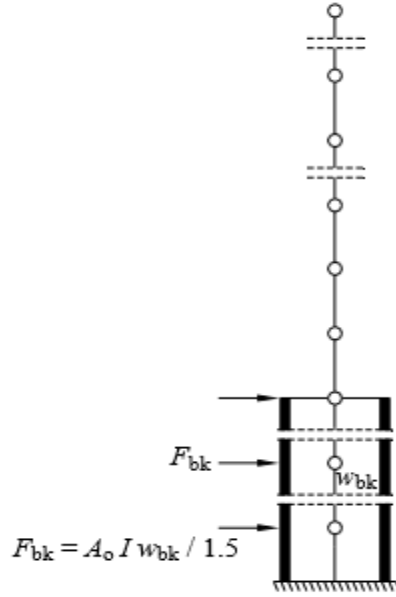
- Üstteki katlara etkiyen toplam eşdeğer deprem yükünün ve eşdeğer kat deprem yüklerinin belirlenmesinde, bodrumdaki rijit çevre perdeleri gözönüne alınmaksızın Çizelge 2.6'dan

seçilen R katsayısı kullanılacak ve sadece üstteki katların ağırlığı hesaba katılacaktır. Bu durumda ilgili bütün tanım ve bağıntılarda temel üst kotu yerine zemin katın kotu göz önüne alınacaktır. Denklem (2.7) ile hesaplanacak olan bina doğal titreşim periyodu bulunurken, fiktif yüklerin belirlenmesi için sadece üst katların ağırlıkları Şekil 2.4'teki biçimde kullanılacaktır.

- b) Rijit bodrum katlarına etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin hesabında, Şekil 2.5'te görüldüğü gibi sadece bodrum kat ağırlıkları göz önüne alınacak ve Spektrum Katsayısı olarak $S(T)=1$ alınacaktır. Her bir bodrum kata etkiyen eşdeğer deprem yükünün hesabında, Denklem (2.5) ile hesaplanan spektral ivme değeri ile bu katın ağırlığı doğrudan çarpılacak ve elde edilen elastik yükler, $R_a(T)= 1.5$ katsayısına bölünerek azaltılacaktır.
- c) Üstteki katlardan bodrum katlarına geçişte yer alan ve çok rijit bodrum perdeleri ile çevrelenen zemin kat döşeme sisteminin kendi düzlemi içindeki dayanımı, bu hesapta elde edilen iç kuvvetlere göre kontrol edilecektir.

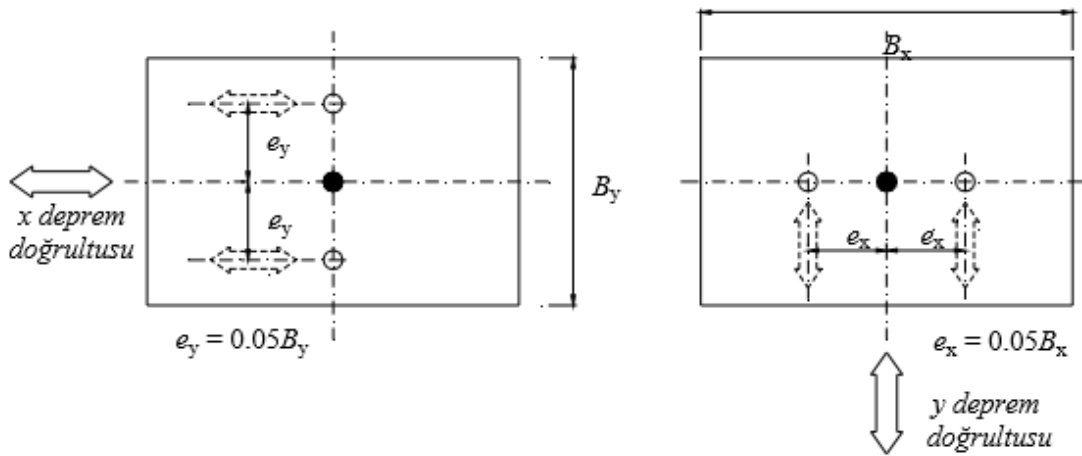


Şekil 2.4 : Rijit bodrum kata sahip binada üst katlar için yapılacak eşdeğer deprem yükü hesabı



Şekil 2.5 : Bodrum kata ait eşdeğer deprem yükü hesabı

Şekil 2.4'te rijit bodrum kata sahip binada üst katlar için yapılacak eşdeğer deprem yükü hesabında, üst katlara etki edecek deprem kuvvetleri ve bu kuvvetlerin uygulama yükseklikleri verilmiştir. Şekil 2.5'te ise aynı durum rijit bodrum kat için izah edilmiştir. Yapının katlarına etki edecek olan eşdeğer deprem yüklerinin etkime yerleri, rijit bodrum kata sahip binada üst katlar için Şekil 2.4'de verilmiş olup, bodrum kata etkiyecek eşdeğer yükler şekil 2.5'de verilmiştir. Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her katta iki yatay yerdeğiştirme bileşeni ile düşey eksen etrafındaki dönme, bağımsız yerdeğiştirme bileşeni olarak göz önüne alınacaktır. Her katta Denklem (2.1) ile hesaplanmış olan eşdeğer deprem yükleri, ek dış merkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile göz önüne alınan deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ayrıca kat kütle merkezine uygulanacaktır. Kat hizasında tüm döşemeleri içine alacak şekilde rijit diyafram uygulandığı takdirde, bu davranışı bozacak olan döşeme boşlukları göz önünde bulundurulmalıdır.



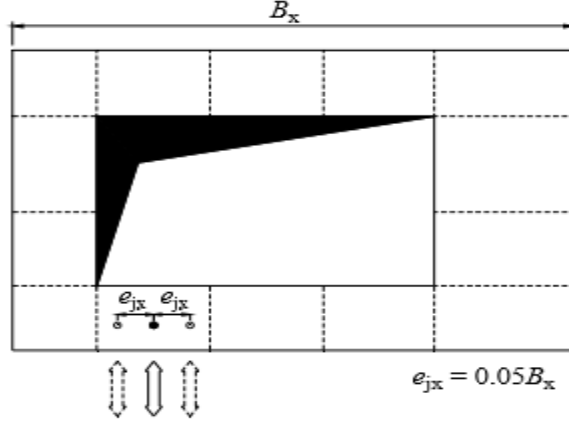
Şekil 2.6 : Kütle merkezinin yeri ve kaydırılmış kütle merkezinin konumları

Yapının sahip olduğu taşıyıcı sistem tipine göre taşıyıcı sistem davranış katsayısı Çizelge 2.6'den alınıp spektrum katsayısı ve deprem yükü hesabında kullanılacaktır.

Çizelge 2.6 : Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)

Bina Taşıyıcı Sistemi	Süneklik Düzeyi Normal Sistemler	Süneklik Düzeyi Yüksek Sistemler
(1)Yerinde Dökme Betonarme Binalar		
(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)Prefabrike Betonarme Binalar		
(2.1) Deprem yüklerinin tamamının bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen çerçevelerle taşındığı binalar	3	7
(2.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	-	3
(2.3) Deprem yüklerinin tamamının prefabrike veya yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdelerle taşındığı, çerçeve bağlantıları mafsallı olan prefabrike binalar	-	5
(2.4) Deprem yüklerinin, bağlantıları tersinir momentleri aktarabilen prefabrike çerçeveler ile yerinde dökme boşluksuz ve/veya bağ kirişli (boşluklu) perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar	3	6
(3)Çelik Binalar		
(3.1) Deprem yüklerinin tamamının çerçevelerle taşındığı binalar	5	8
(3.2) Deprem yüklerinin tamamının, üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar	-	4
(3.3) Deprem yüklerinin tamamının çaprazlı perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	4	5
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	7
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	6
(3.4) Deprem yüklerinin çerçeveler ile birlikte çaprazlı çelik perdeler veya yerinde dökme betonarme perdeler tarafından birlikte taşındığı binalar		
(a) Çaprazların merkezi olması durumu	5	6
(b) Çaprazların dışmerkez olması durumu	-	8
(c) Betonarme perdelerin kullanılması durumu	4	7

A2 türü düzensizliğin bulunduğu ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin yatay düzlemdeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlikte bağımsız statik yer değiştirme bileşeni hesapta göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılı bulunan tekil kütlelere etkiyen eşdeğer deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar Şekil 2.7'deki gibi kaydırılacaktır.



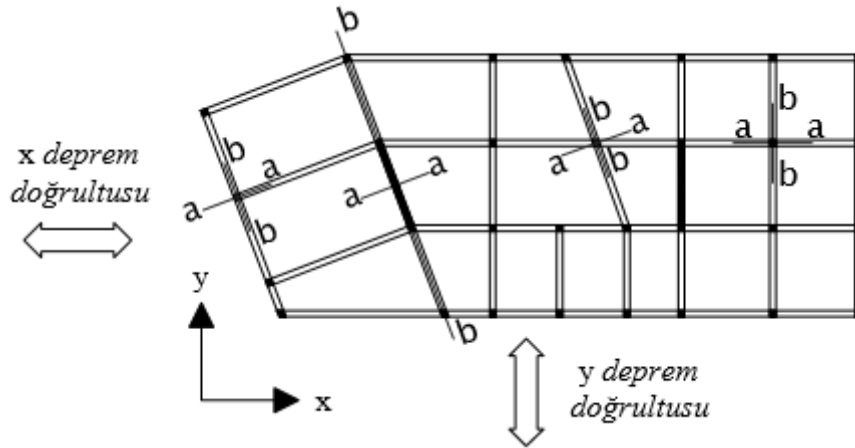
Şekil 2.7 : Planda düzensiz ve kat seviyesinde tek bir rijit diyaframa sahip olmayan yapıya deprem yüklerinin uygulanması

Binanın herhangi bir i'inci katında A1 türü burulma düzensizliği olması durumunda, $1.2 \leq \eta_{bi} \leq 2.0$ olmak koşulu ile bu katta uygulanan $\pm\% 5$ ek dışmerkezlik, her iki deprem doğrultusu için Denklem (2.14)'de verilen D_i katsayısı ile çarpılarak büyütülecektir.

$$D_i = \left(\frac{\eta_{bi}}{1.2} \right)^2 \quad (2.14)$$

Taşıyıcı sisteme ayrı ayrı etki ettirilen x ve y doğrultularındaki depremlerin ortak etkisi altında, taşıyıcı sistem elemanlarının a ve b asal eksen doğrultularındaki iç kuvvetler, en elverişsiz sonucu verecek şekilde Denklem (2.15) ile elde edilecektir.(Şekil 2.8)

$$\begin{aligned} B_a &= \pm B_{ax} \pm 0.30B_{ay} & \text{veya} & & B_a &= \pm 0.30B_{ax} \pm B_{ay} \\ B_b &= \pm B_{bx} \pm 0.30B_{by} & \text{veya} & & B_b &= \pm 0.30B_{bx} \pm B_{by} \end{aligned} \quad (2.15)$$



Şekil 2.8 : X ve Y doğrultusunda depremin ortak etkisi

2.2. Mod Birleştirme Yöntemi

Bu yöntemde maksimum iç kuvvetler ve yer değiştirmeler, binada yeterli sayıda doğal titreşim modunun her biri için hesaplanan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi ile elde edilir. Herhangi bir r'inci titreşim modunda göz önüne alınacak azaltılmış ivme spektrumu ordinatı denklem (2.16) ile belirlenecektir.

$$S_{aR}(T_n) = \frac{S_{ae}(T_n)}{R_a(T_n)} \quad (2.16)$$

Bu ifadede ;

$S_{aR}(T_r)$: r'inci doğal titreşim modu için azaltılmış spektral ivme

$S_{ae}(T_r)$: r'inci titreşim moduna ait elastik spektral ivme

$R_a(T_r)$: r'inci titreşim modunda deprem yükü azaltma katsayısı

Elastik tasarım ivme spektrumunun özel olarak belirlenmesi halinde, Denklem (2.16)'de $S_{ae}(T_r)$ yerine, ilgili özel spektrum ordinatı göz önüne alınacaktır.

2.2.1. Gözönüne Alınacak Dinamik Serbestlik Dereceleri

Döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, her bir katta, birbirine dik doğrultularda iki yatay serbestlik derecesi ile kütle merkezinden geçen düşey eksen etrafındaki dönme serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Her katta modal deprem yükleri bu serbestlik dereceleri için hesaplanacak, ancak ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi amacı ile deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar kaydırılması ile belirlenen noktalara ve ek bir yükleme olarak kat kütle merkezine uygulanacaktır.

A2 türü döşeme düzensizliğinin ve döşemelerin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalışmadığı binalarda, döşemelerin kendi düzlemleri içindeki şekil değiştirmelerinin göz önüne alınmasını sağlayacak yeterlilikte dinamik serbestlik derecesi göz önüne alınacaktır. Ek dışmerkezlik etkisinin hesaba katılabilmesi için, her katta çeşitli noktalarda dağılılı bulunan tekil kütlelere etkileyen modal deprem yüklerinin her biri, deprem doğrultusuna dik doğrultudaki kat boyutunun +%5'i ve -%5'i kadar Şekil 2.7'da görüldüğü üzere kaydırılacaktır. Bu tür binalarda, sadece ek dışmerkezlik etkilerinden oluşan iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri Denklem 2.11'e göre de hesaplanabilir. Bu büyüklükler, ek dışmerkezlik etkisi göz önüne alınmaksızın her bir titreşim modu için hesaplanarak birleştirilen büyüklere doğrudan eklenecektir.

2.2.2. Hesaba Katılacak Yeterli Titreşim Modu Sayısı

Hesaba katılması gereken yeterli titreşim modu sayısı, Y, gözönüne alınan birbirine dik x ve y yatay deprem doğrultularının her birinde, her bir mod için hesaplanan etkin kütlelerin toplamının hiçbir zaman bina toplam kütlelerinin %90'ından daha az olmaması kuralına göre belirlenecektir.

$$\sum_{n=1}^Y M_{xn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{xn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i \quad (2.17)$$
$$\sum_{n=1}^Y M_{yn} = \sum_{n=1}^Y \frac{L_{yn}^2}{M_n} \geq 0.90 \sum_{i=1}^N m_i$$

Bu ifadede;

M_{xn} :Göz önüne alınan x deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle.

M_{yn} :Göz önüne alınan y deprem doğrultusunda binanın n'inci doğal titreşim modundaki etkin kütle
 M_n :n'inci doğal titreşim moduna ait modal kütle
 m_i :Binanın i'inci katının kütlesi olarak tanımlanmıştır.

Denklem (2.17)'de yer alan L_{xn} ve L_{yn} ile modal kütle M_n 'nin ifadeleri, kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalar için aşağıda verilmiştir:

$$L_{xn} = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yin} \quad ; \quad L_{yn} = \sum_{i=1}^N m_i \phi_{yin} \quad (2.18)$$

$$M_n = \sum_{i=1}^N (m_i \phi_{xin}^2 + m_i \phi_{yin}^2 + m_{\theta i} \phi_{\theta in}^2)$$

Bu ifadelerde;

Θ_{xin} :Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta x eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni

Θ_{yin} :Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta y eksenini doğrultusundaki yatay bileşeni

$\Theta_{\theta in}$:Kat döşemelerinin rijit diyafram olarak çalıştığı binalarda, n'inci mod şeklinin i'inci katta düşey eksen etrafındaki dönme bileşeni olarak tanımlanmıştır.

Bodrum katlarında rijitliği üst katlara oranla çok büyük olan betonarme çevre perdelerinin bulunduğu ve bodrum kat döşemelerinin yatay düzlemde rijit diyafram olarak çalıştığı binaların hesabında, sadece bodrum katların üstündeki katlarda etkili olan titreşim modlarının göz önüne alınması ile yetinilebilir. Bu durumda, Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi için verilen kurallar aynen uygulanacak ve Mod Birleştirme Yöntemi ile yapılacak hesapta, bodrumdaki rijit çevre perdeleri göz önüne alınmaksızın Çizelge 2.6'den seçilen R katsayısı kullanılacak, sadece üstteki katların kütleleri hesaba katılacaktır.

2.2.3. Mod Katkılarının Birleştirilmesi

Binaya etkileyen toplam deprem yükü, kat kesme kuvveti, iç kuvvet bileşenleri, yerdeğiştirme ve görelî kat ötelemesi gibi büyüklüklerin her biri için ayrı ayrı uygulanmak üzere, her titreşim modu için hesaplanan ve eşzamanlı olmayan maksimum katkıların istatistiksel olarak birleştirilmesi için uygulanacak kurallar aşağıda verilmiştir:

$T_m < T_n$ olmak üzere, göz önüne alınan herhangi bir titreşim moduna ait doğal periyotların daima $T_m / T_n < 0.80$ koşulunu sağlaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Karelerin Toplamının Kare Kökü Kuralı (SRSS) uygulanabilir.

Yukarıda verilen koşulun sağlanamaması durumunda, maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için Tam Karesel Birleştirme Kuralı (CQC) uygulanacaktır. Bu kuralın uygulanmasında kullanılacak çapraz korelasyon katsayılarının hesabında, modal sönüm oranları bütün titreşim modları için %5 olarak alınacaktır.

2.2.4. Hesaplanan Büyüklüklere İlişkin Altsınır Değerleri

Göz önüne alınan deprem doğrultusunda, Mod Katkılarının Birleştirilmesi başlığı altında anlatılan şekilde birleştirilerek elde edilen bina toplam deprem yükü V_{TB} 'nin, Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde Denklem (2.1) ile hesaplanan bina toplam deprem yükü V_T 'ye oranının aşağıda tanımlanan β değerinden küçük olması durumunda ($V_{TB} \leq \beta \cdot V_T$), Mod Birleştirme Yöntemine göre bulunan tüm iç kuvvet ve yerdeğiştirme büyüklükleri, Denklem (3.21)'e göre büyütülecektir.

$$B_D = \frac{\beta V_t}{V_{tB}} B_B \quad (2.19)$$

Bu ifade de;

B_B :Mod Birleştirme Yönteminde mod katkılarının birleştirilmesi ile bulunan herhangi bir büyüklük.

B_D :BB büyüklüğüne ait büyütülmüş değer

β :Mod Birleştirme Yöntemi ile hesaplanan büyüklüklerin alt sınırlarının belirlenmesi için kullanılan katsayı olarak tanımlanmıştır.

Yapıda, A1, B2 veya B3 türü düzensizliklerden en az birinin binada bulunması durumunda Denklem (2.19)'da verilen β katsayısı 0.90 alınacak, bu düzensizliklerden hiçbirinin bulunmaması durumunda ise $\beta = 0.80$ alınacaktır.

2.3. Zaman Tanım Alanında Hesap Yöntemleri

Bina ve bina türü yapıların zaman tanım alanında doğrusal elastik ya da doğrusal elastik olmayan deprem hesabı için, yapay yollarla üretilen, daha önce kaydedilmiş veya benzeştirilmiş deprem yer hareketleri kullanılabilir.

2.3.1. Yatay Deprem Yer Hareketleri

Yapay yer hareketlerinin kullanılması durumunda, aşağıdaki özellikleri taşıyan en az üç deprem yer hareketi üretilecektir.

- Kuvvetli yer hareketi kısmının süresi, binanın birinci doğal titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden daha kısa olmayacaktır.
- Üretilen deprem yer hareketinin sıfır periyoda karşı gelen spektral ivme değerlerinin ortalaması A_{0g} 'den daha küçük olmayacaktır.
- Yapay olarak üretilen her bir ivme kaydına göre %5 sönüm oranı için yeniden bulunacak spektral ivme değerlerinin ortalaması, gözönüne alınan deprem doğrultusundaki birinci (hakim) periyod T_1 'e göre $0.2T_1$ ile $2T_1$ arasındaki periyodlar için, tanımlanan $S_{ae}(T)$ elastik spektral ivmelerinin %90'ından daha az olmayacaktır. Zaman tanım alanında doğrusal elastik analiz yapılması durumunda, azaltılmış deprem yer hareketinin elde edilebilmesi için esas alınacak spektral ivme değerleri Denklem (2.16) ile hesaplanacaktır.

2.3.2. Kaydedilmiş veya Benzeştirilmiş Deprem Yer Hareketleri

Zaman Tanım Alanında yapılacak deprem hesabı için kaydedilmiş depremler veya kaynak ve dalga yayılımı özellikleri fiziksel olarak benzeştirilmiş yer hareketleri kullanılabilir. Bu tür yer hareketleri üretilirken yerel zemin koşulları da uygun biçimde göz önüne alınmalıdır. Kaydedilmiş veya benzeştirilmiş yer hareketlerinin kullanılması durumunda en az üç deprem yer hareketi üretilecek ve bunlar 2.3.1'de verilen tüm koşulları sağlayacaktır.

2.3.3. Zaman Tanım Alanında Hesap

Zaman Tanım Alanında doğrusal elastik olmayan hesap yapılması durumunda, taşıyıcı sistem elemanlarının tekrarlı yükler altındaki dinamik davranışını temsil eden iç kuvvet-şekil değiştirme bağıntıları, teorik ve deneysel geçerlilikleri kanıtlanmış olmak kaydı ile ilgili literatürden yararlanılarak tanımlanacaktır. Doğrusal veya doğrusal olmayan hesapta, üç yer hareketi kullanılması durumunda sonuçların maksimumu, en az yedi yer hareketi kullanılması durumunda ise sonuçların ortalaması tasarım için esas alınacaktır.

3. Yatay Yüklere Göre Hesap Muto Yöntemi (D Metodu)

Deprem yükleri altında yapıda taşıyıcı sistemin statik çözümü değişik yöntemlerle gerçekleştirilir. Bu bölümde kiriş ve kolonlardan ibaret olan bir taşıyıcı sistemin çözümünde uygulanabilecek olan Muto yöntemi adı ile bilinen yaklaşık bir hesap algoritması açıklanmaktadır.

Bir düzlem çerçevede, katlarda bulunan V_t kesme kuvvetleri kolayca belirlenebilir. Bu kat kesme kuvvetleri, her katta bulunan kolonlar tarafından rijitlikleri oranında bölüşülerek taşınır. Örneğin bir i . kattaki kesme kuvveti V_i ve bu katta j . aksta bulunan bir kolonun yatay yer değiştirme rijitliği D_{ij} ise, bu kolon tarafından taşınan kesme kuvveti;

$$V_{ij} = V_i \cdot D_{ij} / \sum_j D_{ij} \quad (3.1)$$

olarak hesaplanabilir. Kolonun çerçeve içindeki D_{ij} rijitliğine, önce kendi rijitliği ve yapıdaki diğer elemanların rijitlikleri etkili olacaktır. Bu ise;

$$D_{ij} = a \cdot k_c \quad (3.2)$$

şeklinde yazılabilir. Burada k_c uç düğüm noktaları dönmeye karşı tutulmuş kolonun, iki uç düğüm noktasının birbirine göre olan yatay yerdeğiştirmesine karşı gelen rijitliğidir. Çerçevedeki diğer taşıyıcı elemanların söz konusu kolonun rijitliğine olan etkisi ise bir a düzeltme katsayısı ile hesaba katılmaktadır. Kat içindeki kolonların mutlak olmayan, birbirine göre olan rijitlikleri, önemli olduğu için çoğu durumda,

$$k_c = I_c / L_c \quad (3.3)$$

yazılabilir. Kolonun çerçeve içindeki rijitliğine, kolona doğrudan bağlanan elemanların etkisi büyük olduğu halde, bunların dışındaki elemanların etkisi oldukça azdır.

Çerçevelerin yatay yüklere göre yaklaşık hesabında, şu kabuller yapılır. Yatay kuvvetler yapı boyu ve eni yönünde ayrı ayrı tesir eder. Dış tesirler kat hizalarında tesir eden yatay tekil yük olarak alınırlar. Döşemelerin rijit olduğu deplasmanlardan sonra şeklini koruduğu kabul edilir. Yatay kuvvetlerden ötürü burulma tesiri meydana gelmemektedir. Malzemenin lineer elastik olduğu kabul edilir.

- 1) Kat ağırlıkları hesaplanıp, rüzgar ve deprem gibi yapıya tesir eden yatay yüklerden her kat döşemesi hizasında tesir eden yatay kuvvetler F_t ve bunların aşağıya doğru toplanması suretiyle katlar arasındaki h kat kesme kuvveti bulunur.
- 2) Çerçeve kirişlerinin $k_i = I_i / L_i$ kiriş redörleri, çerçeve kolonlarının $k_{ci} = I_i / L_i$ kolon redörleri verilen formüller yardımıyla k_i değerleri hesaplanır. Hesaplarda k rijitliklerinin daima oranları kullanıldığı için çubukların atalet momentleri oranlarını bilmek yeterlidir.
- 3) Bu k_i değeri ile a değeri hesaplanır.
- 4) Bu a değeri ile k_c kolon redörleri ve verilen formüller yardımı ile D değerleri, bir kattaki toplam D_i değerleri hesaplanır. Her kolon için $D_i / \sum D_i$ değeri bulunur.
- 5) Her kattaki H kat kesme kuvveti, o katın kolonlarına D katsayıları ile orantılı her kolona gelen T_i kolon kesme kuvveti bulunur. $T_i = H D_i / \sum D_i$
- 6) Kolonlardaki moment sıfır noktalarının yeri, bu noktanın kolon alt ucuna uzaklığını kolon boyuna oranını veren ve k katsayıları yardımı ile alınan, değerleri yardımı ile bulunur.
 $Y = y_0 + y_1 + y_2 + y_3$
- 7) Her kolona gelen kesme kuvveti, y değeri ve h kolon yüksekliği yardımıyla kolon momentleri hesaplanır.

$$\text{Kolon alt uç momentleri } M_{alt} = T \cdot y \cdot h$$

$$\text{Kolon üst uç momentleri } M_{üst} = T \cdot (1-y) \cdot h$$

- 8) Kirişlerde moment sıfır noktaları açıklığın ortasında kabul edilerek her düğüm noktasındaki kolon momentleri toplamı o noktada birleşen kirişlere redörleri ile orantılı olarak dağıtılır. En üst katta kolon üst momenti, ara katlarda üst kolonun alt momenti le alt kolonun üst momentinin toplamının dağıtılması demektir.
- 9) Kirişlerde kesme kuvvetleri ve normal kuvvetler ve kolonlardaki normal kuvvetler hesaplanır.
- 10) Deprem yönetmeliğine göre çerçevelerde yatay yüklerden rüzgar ve deprem tesirlerinden hangisi elverişsiz ise, o tesire göre deprem hesabı yapılır.
- 11) Yatay yük çerçeve tesirleri ile daha önce hesaplanmış düşey yük çerçeve tesirleri toplanarak süperpoze tesirler bulunur. Toplam süperpoze tesirlere göre betonarme kesit tahkikleri yapılır.

Çerçeve kolonlarının her biri için bir D katsayısı tarif edilmiştir. D katsayısı kolon rijitliğine, mesnet şartlarına ve kolona birleşen kirişlerin mesnetlerine bağlıdır. $D=a \cdot k_c$, k_c : kolon redörü, k_1, k_2, k_3, k_4 : kiriş redörleri olmak üzere, k : kiriş redörleri ile kolon redörleri arasındaki bağıntı, a : sabit bir değer olup redör durumuna ve mesnet şartlarına, kirişlere birleşen düğümlerin durumuna göre değişir.

- a) Kolona birleşen dört kiriş var ise:

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2 + k_3 + k_4}{2k_c} \quad (3.4)$$

$$a = \frac{\bar{k}}{2 + \bar{k}} \quad (3.5)$$

$$D = a \cdot k_c$$

- b) Kolona mafsallı ise:

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{k_c} \quad (3.6)$$

$$a = \frac{0.5\bar{k}}{2 + \bar{k}} \quad (3.7)$$

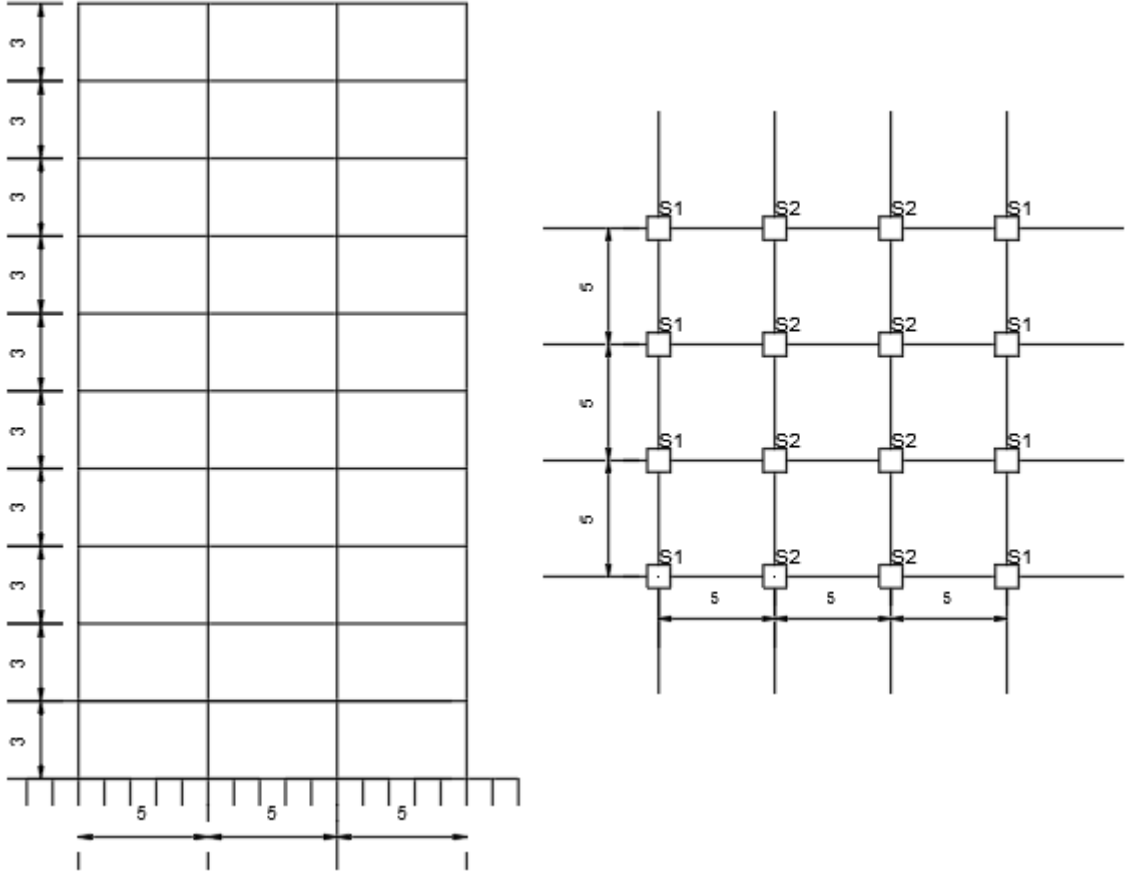
$$D = a \cdot k_c$$

4. Bir Çerçeve Sisteminin Deprem Hesabı

Bu çalışmada, 10 katlı betonarme çok katlı bir yapının yatay ve düşey yükler altında D.B.Y.B.H.Y. 2007 kurallarına göre deprem hesabı yapılacaktır. İlk aşamada muto yöntemine göre binanın birinci doğal titreşim periyodu hesabı yapılacaktır. İkinci aşamada yapı ETABS da modellenerek eşdeğer deprem yükü yöntemi ile hesabı yapılacak, üçüncü aşamada ise ETABS da modellenmiş yapının deprem hesabı mod birleştirme yöntemine göre yapılacaktır.

Yapının kat yüksekliği 3 metre olup, yapı yüksekliği 30 metredir. Kullanılan malzemeler C30 ve S420'dir. Yapı üçüncü deprem bölgesinde ve zemin sınıfı Z2'dir. Yapıdaki tüm kirişler 25/60, tüm kolonlar 60/60 kesitindedir. Döşeme kalınlıkları 15 cm seçilmiştir.

Yapıda sabit yük 0.22 t/m^2 , hareketli yük ise 0.2 t/m^2 alınmıştır. Yapının bir katının ağırlığı 235.575 ton, yapının toplam ağırlığı ise 2355.75 tondur.



Şekil 4.1 : Yapı kat planı ve yandan görünüşü

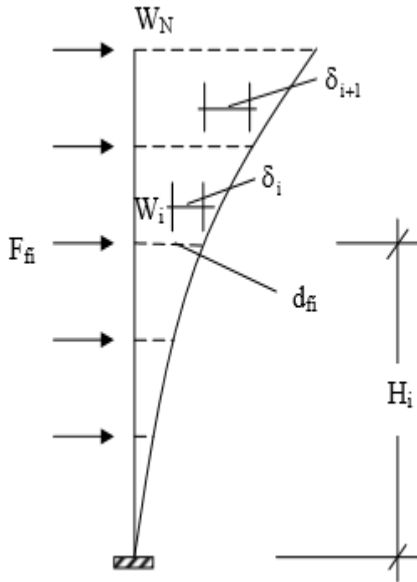
4.1. Muto Yöntemi İle Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Bulunması

$I = bh^3/12$; $I_k = 0.25 \cdot 0.6^3/12 = 4.5 \cdot 10^{-03}$; $I_c = 0.0108 \text{ m}^4$ olarak hesaplanır.
Her bir kattaki kolon rijitlikleri;

kat	k_c
10	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
9	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
8	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
7	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
6	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
5	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
4	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
3	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
2	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$
1	$3.6 \cdot 10^{-03} \text{ m}^4$

Bölüm 3 de verilen formüller ile aşağıda kolon D değerlerinin hesabı verilmiştir.

Kolon D Değerleri											
Katlar	Kolon	Benzer Kolon Sayısı	k_c	k_1	k_2	k_3	k_4	\bar{k}	a	$D=a*k_c$	ΣD
10	S ₁	8	0.0036	-	0.0009	-	0.0009	0.25	0.111	0.00040	0.00896
9											
8											
7											
6											
5	S ₂	8	0.0036	0.0009	0.0009	0.0009	0.0009	0.5	0.2	0.00072	
4											
3											
2											
1											
1	S ₁	8	0.0036	-	0.0009	-	-	0.25	0.333333	0.00120	0.02112
	S ₂	8	0.0036	0.0009	0.0009	-	-	0.5	0.4	0.00144	



Binanın Birinci Doğal Titreşim Periyodunun Belirlenmesi:

$$T_1 = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} d_{fi}} \right)^{1/2}$$

$$F_{fi} = (V_t - \Delta F_N) w_i H_i / (\sum w_i H_i)$$

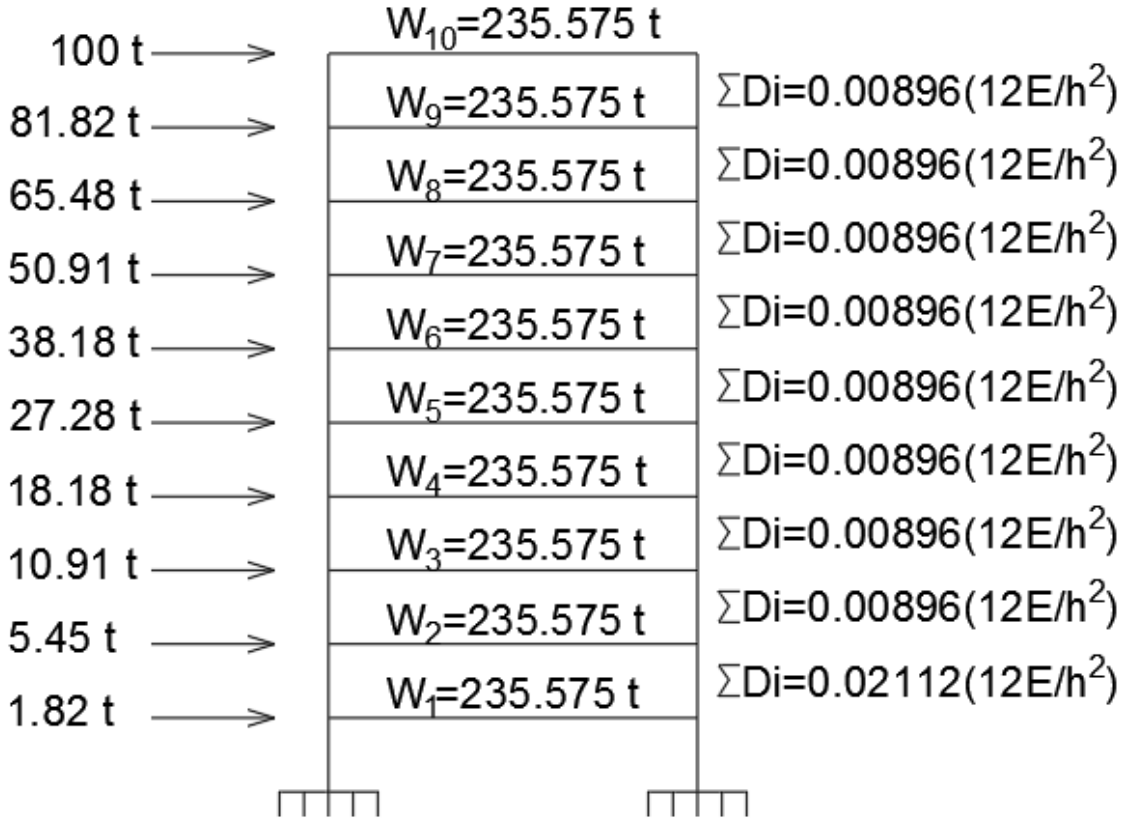
Burada $(V_t - \Delta F_N)$ yerine birim yükleme yapılırsa

$$[(V_t - \Delta F_N) = 100 \text{ ton}]$$

F_i'lerin hesabı aşağıda verilmiştir.

i	$w_i H_i$	$w_i H_i / (\sum w_i H_i)$	$F_{fi} = (V_t - \Delta F_N) w_i H_i / (\sum w_i H_i)$	V_i
10	7067.25	0.1818	18.18	100.00
9	6360.525	0.1636	16.36	81.82
8	5653.8	0.1455	14.55	65.45
7	4947.075	0.1273	12.73	50.91
6	4240.35	0.1091	10.91	38.18
5	3533.625	0.0909	9.09	27.27
4	2826.9	0.0727	7.27	18.18
3	2120.175	0.0545	5.45	10.91
2	1413.45	0.0364	3.64	5.45
1	706.725	0.0182	1.82	1.82

$$\sum w_i H_i = 38869.88$$



C30 için $E=3200000 \text{ t/m}^2$ 'dir.

$$\delta_i = V_i / \sum D_i \quad (4.1)$$

$\sum D_i$	δ_i	d_{fi}	$F_{fi} * d_{fi}$	$m_i * d_{fi}^2$
0.00896	11160.71	44526.02	4452602	4.67043E+11
0.00896	9131.494	33365.31	2729889	2.62252E+11
0.00896	7305.195	24233.82	1586213	1.38348E+11
0.00896	5681.818	16928.62	861820.7	67510658560
0.00896	4261.364	11246.8	429423.4	29798014879
0.00896	3043.831	6985.439	190512	11495201395
0.00896	2029.221	3941.608	71665.59	3659956981
0.00896	1217.532	1912.387	20862.4	861550422.6
0.00896	608.7662	694.8544	3790.115	113740938.8
0.02112	86.08815	86.08815	156.5239	1745886.445

10346935 9.81084E+11

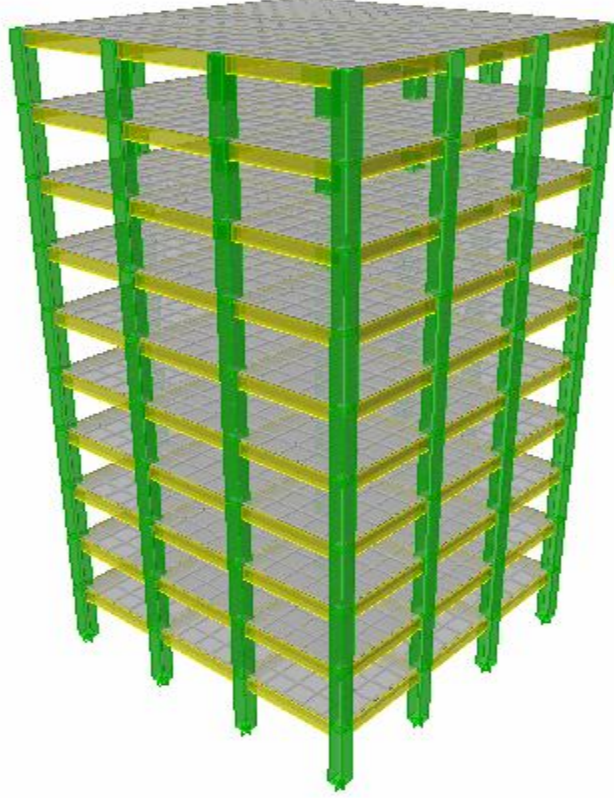
Binanın birinci doğal titreşim periyodu $T_1 = 0.937$ saniye bulunur.

5. Deprem Hesabı

Binanın yapı modeli, 3 boyutlu yapısal analiz programı ETABS kullanılarak yapılmıştır. Analiz sırasında TS 500'de yer alan yük kombinasyonları kullanılmıştır. Yapıda uygulanması gerekli olan 48 adet depremli durum yükleme kombinasyonu oluşturulmuştur. Yapının her iki

doğrultuda sahip olduğu doğal titreşim periyodları bulunmuş ve bu periyodlar Eşdeğer Deprem Yüğü Yönteminde her iki deprem yönündeki taban kesme kuvvetlerinin hesaplanmasında kullanılmıştır.

Şekil 5.1'de binanın ETABS programında modellenmiş olan üç boyutlu yapı modeli verilmiştir.



Şekil 5.1 : Binanın Etabs programında 3d modeli

Binanın X ve Y doğrultusundaki doğal titreşim periyodu, ETABS programı kullanılarak bulunmuştur. Dinamik analiz yapılmış ve yeterli kütle katılım değeri olan % 90'a ulaşılan kadar mod sayısı ETABS programında artırılmıştır ve yeniden dinamik analiz tekrarlanmıştır. X ve Y doğrultusu için bulunan modal değerler ve modların kütle katılım oranları Çizelge 5.1'de verilmiştir.

Mode	Period	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
1	0.95551	46.5743	33.3328	46.5743	33.3328	0
2	0.95551	33.3328	46.5743	79.9071	79.9071	0
3	0.785706	0	0	79.9071	79.9071	80.5481
4	0.306491	4.2559	5.9759	84.1629	85.883	0
5	0.306491	5.9759	4.2559	90.1388	90.1388	0
6	0.253817	0	0	90.1388	90.1388	9.6689
7	0.171305	2.7676	1.1245	92.9065	91.2633	0
8	0.171305	1.1245	2.7676	94.031	94.031	0
9	0.143974	0	0	94.031	94.031	3.8445
10	0.11373	2.1659	0.0284	96.1968	94.0594	0
11	0.11373	0.0284	2.1659	96.2252	96.2252	0
12	0.095969	0	0	96.2252	96.2252	2.1681

Çizelge 5.1 : Binanın Doğal Titreşim Periyotları ve Kütle Katılım Oranları

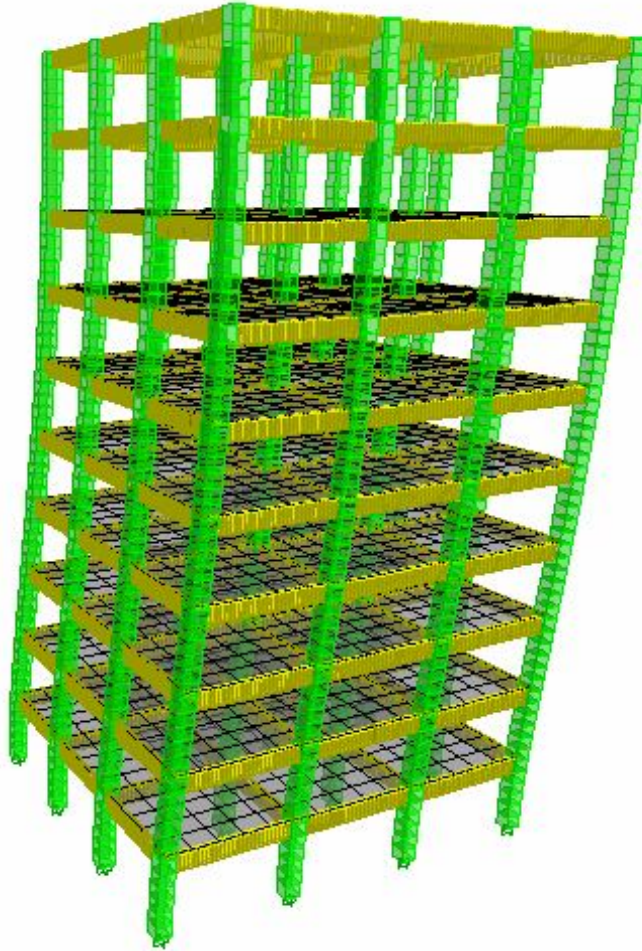
Yukarıda görüldüğü üzere kütle katılım oranı 12 mod için yaklaşık olarak % 96'e karşılık gelmektedir. Deprem Yönetmeliği'nde kütle katılım oranının % 90'ı geçmesi istenmiştir. Yapının üçüncü doğal titreşim periyodu 0.785706 sn bulunmuştur ve binanın üçüncü modu burulma modudur. Bunun sebebi "RZ" yani Z eksenini etrafında dönme serbestliğinin kütle katılım oranının en yüksek oranda etkimiş olmasıdır.

ETABS programında binanın ilk 3 moduna ait mod şekilleri incelenmiştir. Şekil 5.2'de yapının birinci modunun şekli, Şekil 5.3'te yapının ikinci modunun şekli ve Şekil 5.4'te yapının üçüncü modunun şekli verilmiştir. Bina'nın X doğrultusundaki 1. Modu yapının tüm modları göz önüne alındığında birinci moda karşılık gelmektedir. Bina'nın Y doğrultusundaki birinci modu ise yapının modları arasında ikinci moda karşı gelmektedir.

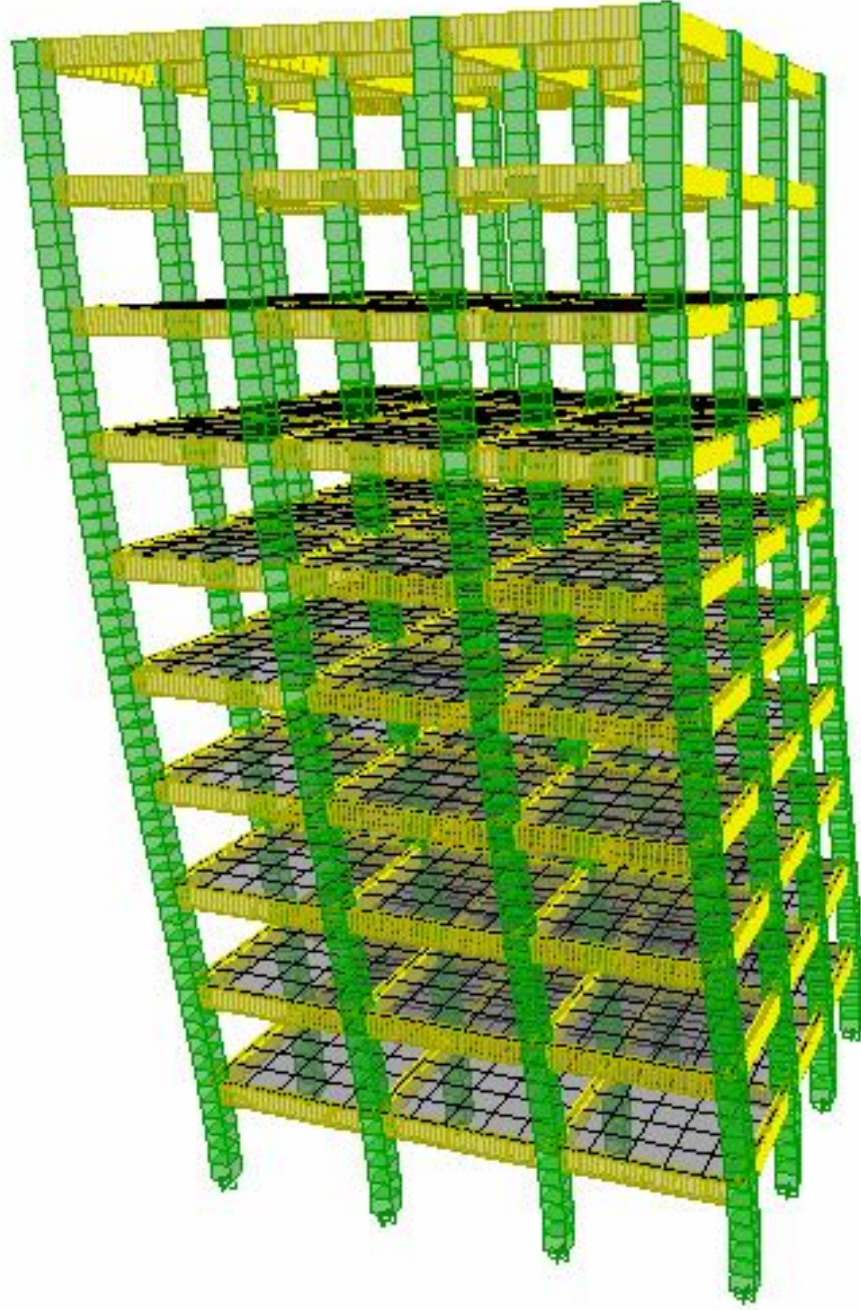
Şekil 5.2'de yapının X doğrultusundaki birinci mod şekli verilmiştir. Binanın X doğrultusundaki birinci moduna karşılık gelen doğal titreşim periyodu (T_{1X}) ETABS programında 0.95551 saniye bulunmuştur. T_{1X} , X doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabında doğrudan kullanılmıştır.

Şekil 5.3'te yapının Y doğrultusundaki birinci mod şekli verilmiştir. Binanın Y doğrultusundaki birinci moduna karşılık gelen doğal titreşim periyodu (T_{1Y}) ETABS programında 0.95551 saniye bulunmuştur. T_{1Y} , Y doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yüğü Hesabında doğrudan kullanılmıştır.

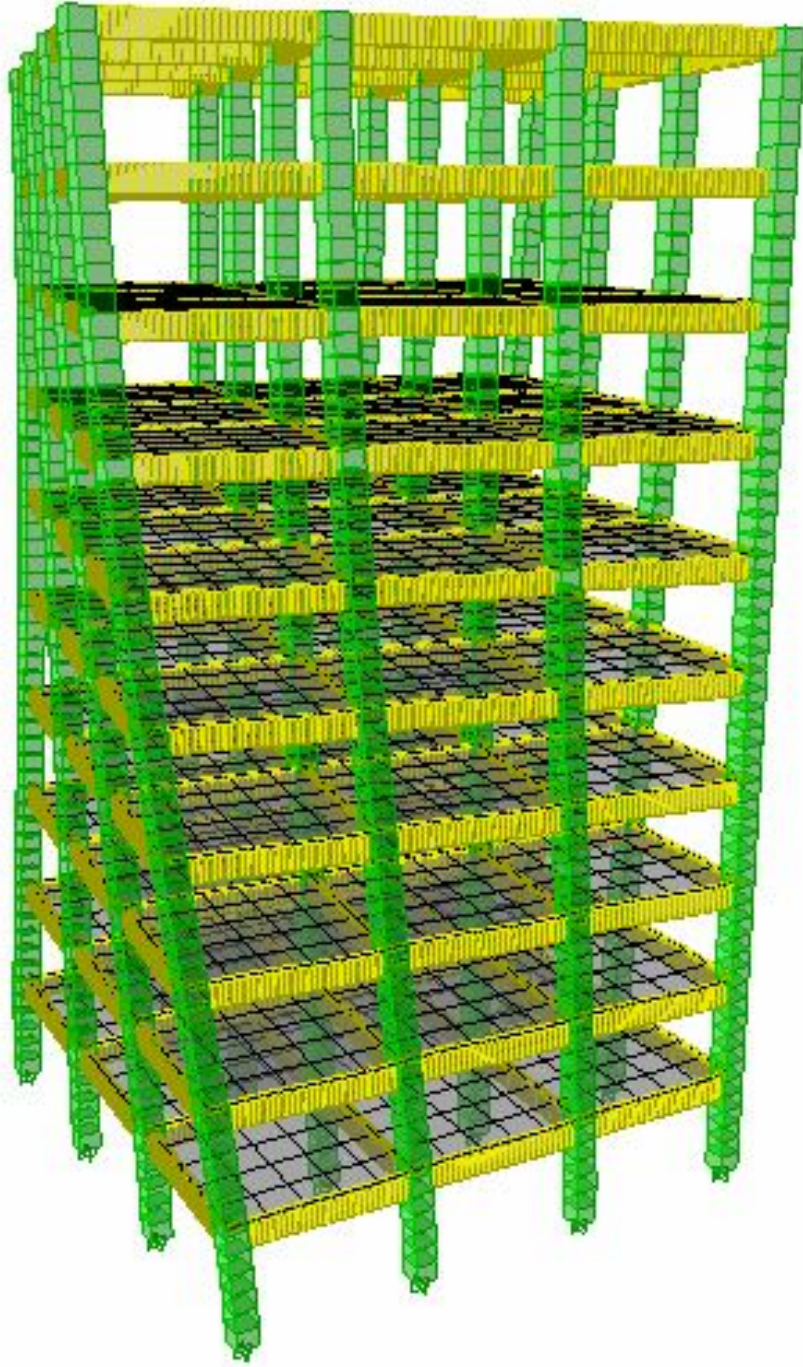
Şekil 5.4'de ETABS programı ile bulunmuş olan binanın üçüncü modu verilmiştir. Yapının üçüncü modu şekil 5.4'de görüldüğü üzere burulma modudur. Yapının üçüncü modu deprem yükü hesaplarında kullanılmamıştır. Binanın üçüncü moduna ait doğal titreşim periyodu ETABS programında 0.785706 saniye bulunmuştur.



Şekil 5.2 : Binanın X Doğrultusundaki Birinci Modu



Şekil 5.3 : Binanın Y Doğrultusundaki Birinci Modu



Şekil 5.4 : Binanın ETABS Programı ile Bulunan Üçüncü Mod Şekli

5.1. Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile Deprem Hesabı

5.1.1. Yüğü Kombinasyonları

Yapı modeli ETABS programında hazırlanıp 49 yükleme kombinasyonlarının her biri için analiz edilmiştir.

- 1- 1.4G+1.6Q
- 2- G+Q+E+0.3F
- 3- G+Q+E-0.3F
- 4- G+Q+F+0.3E
- 5- G+Q+F-0.3E
- 6- G+Q-E+0.3F
- 7- G+Q-E-0.3F
- 8- G+Q-F+0.3E
- 9- G+Q-F-0.3E
- 10- 0.9G+E+0.3F
- 11- 0.9G+E-0.3F
- 12- 0.9G+F+0.3E
- 13- 0.9G+F-0.3E
- 14- 0.9G-E+0.3F
- 15- 0.9G-E-0.3F
- 16- 0.9G-F+0.3E
- 17- 0.9G-F-0.3E
- 18- G+Q+EY1+0.3F
- 19- G+Q+EY1-0.3F
- 20- G+Q+EY2+0.3F
- 21- G+Q+EY2-0.3F
- 22- G+Q+FX1+0.3E
- 23- G+Q+FX1-0.3E
- 24- G+Q+FX2+0.3E
- 25- G+Q+FX2-0.3E
- 26- G+Q-EY1+0.3F
- 27- G+Q-EY1-0.3F
- 28- G+Q-EY2+0.3F
- 29- G+Q-EY2-0.3F
- 30- G+Q-FX1+0.3E
- 31- G+Q-FX1-0.3E
- 32- G+Q-FX2+0.3E
- 33- G+Q-FX2-0.3E
- 34- 0.9G+EY1+0.3F
- 35- 0.9G+EY1-0.3F
- 36- 0.9G+EY2+0.3F
- 37- 0.9G+EY2-0.3F
- 38- 0.9G+FX1+0.3E
- 39- 0.9G+FX1-0.3E
- 40- 0.9G+FX2+0.3E
- 41- 0.9G+FX2-0.3E
- 42- 0.9G-EY1+0.3F
- 43- 0.9G-EY1-0.3F
- 44- 0.9G-EY2+0.3F
- 45- 0.9G-EY2-0.3F
- 46- 0.9G-FX1+0.3E
- 47- 0.9G-FX1-0.3E
- 48- 0.9G-FX2+0.3E
- 49- 0.9G-FX2-0.3E

Burada, G sabit yükleri, Q hareketli yükleri, E,EY1,EY2,F,FX1 ve FX2 deprem yüklerini göstermektedir.

5.1.2. Katlara Etkiyen Eşdeğer Deprem Yükünün Bulunması

Yapıya etkiyen Eşdeğer Deprem Yükleri her iki bina doğrultusu için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Eşdeğer deprem yüklerinin hesabı 2. Bölümde anlatılmış olan işlem sırası ile yapılmıştır. Dinamik analiz ile elde edilen binanın doğal titreşim periyotları ve bina ağırlığı eşdeğer deprem yükü hesabında doğrudan kullanılmıştır.

Toplam bina ağırlığı: 2355.75 ton

Bina'nın X Doğrultusunda doğal titreşim periyodu (T_{1x}) : 0.95551 sn

Bina Önem Katsayısı (I) : 1

Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R) : 8

Spektrum Karakteristik Periyotları: Yerel Zemin Sınıfı Z2 için $T_A = 0.15$, $T_B = 0.40$

Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, $R_a(T_{1x}) = 8$, ($T_A < T$ $R_a(T) = R$)

Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A_0) : 0,2

Spektrum Katsayısı $S(T) = 2.5 \cdot (T_B/T)^{0.8} = 1.25$

Taban Kesme Kuvveti $V_{tx} = W \cdot A_0 \cdot S(T) / R(T) = 73.62$ ton

Kontrol: $V_{tx} \geq 0.10 A_0 W = 47.115$ ton

Binanın Y yönündeki doğal titreşim periyodu da aynı olduğu için taban kesme kuvvetleri eşit olacaktır.

EŞDEĞER DEPREM YÜKLERİ											
Story	P	Wi	Hi	Wi*Hi	Wi*Hi/ΣWi*Hi	Fxi	Fyi	ΔFX	ΔFY	ΣFxi	ΣFyi
10.KAT	235.57	235.57	30.00	7067.10	0.18	12.38	12.38	5.52	5.52	17.90	17.90
9.KAT	471.15	235.58	27.00	6360.66	0.16	11.14	11.14			11.14	11.14
8.KAT	706.72	235.57	24.00	5653.68	0.15	9.90	9.90			9.90	9.90
7.KAT	942.3	235.58	21.00	4947.18	0.13	8.67	8.67			8.67	8.67
6.KAT	1177.87	235.57	18.00	4240.26	0.11	7.43	7.43			7.43	7.43
5.KAT	1413.45	235.58	15.00	3533.70	0.09	6.19	6.19			6.19	6.19
4.KAT	1649.02	235.57	12.00	2826.84	0.07	4.95	4.95			4.95	4.95
3.KAT	1884.6	235.58	9.00	2120.22	0.05	3.71	3.71			3.71	3.71
2.KAT	2120.17	235.57	6.00	1413.42	0.04	2.48	2.48			2.48	2.48
1.KAT	2355.75	235.58	3.00	706.74	0.02	1.24	1.24			1.24	1.24
				38869.8						73.62	73.62

Vx	73.62
Vy	73.62
ΔFX	5.52
ΔFY	5.52

Çizelge 5.2 : Eşdeğer Deprem Yükü Hesabı

5.2. Eşdeğer Deprem Yüküne Göre Düzensizlik Kontrolleri

5.2.1. Kat Deplasmanları ve A1 Düzensizlik kontrolü

Eşdeğer deprem yükleri hesabında hesaplanan deprem yükleri deprem yükleri ETABS programıyla binaya etkilmiştir. Burulma düzensizliği DBYBHY2007’de; birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir katta en büyük görelî kat ötelemesinin o katta aynı doğrultudaki ortalama görelî ötelemeye oranı şeklinde tanımlanmıştır.

A1 Burulma düzensizliği kontrolü yapı için her iki deprem doğrultusunda da uygulanmıştır. Hem X doğrultusu hem de Y doğrultusu için yapılmış A1 Burulma düzensizliği hesapları Çizelge 5.3, Çizelge 5.4, Çizelge 5.5 ve Çizelge 5.6’de verilmiştir. A1 burulma düzensizliğine hem X hem de Y doğrultusunda rastlanmamıştır.

KAT	DIŞMERKEZLİK	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	+%5	X	0.0272	0.0251	1.083
9. KAT	+%5	X	0.0260	0.0240	1.084
8. KAT	+%5	X	0.0243	0.0224	1.084
7. KAT	+%5	X	0.0220	0.0203	1.085
6. KAT	+%5	X	0.0193	0.0178	1.085
5. KAT	+%5	X	0.0162	0.0149	1.086
4. KAT	+%5	X	0.0127	0.0117	1.086
3. KAT	+%5	X	0.0091	0.0084	1.086
2. KAT	+%5	X	0.0054	0.0050	1.087
1. KAT	+%5	X	0.0020	0.0018	1.088

Çizelge 5.3 : X doğrultusunda (+ %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.

KAT	DIŞMERKEZLİK	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	-%5	X	0.0272	0.0251	1.083
9. KAT	-%5	X	0.0260	0.0240	1.084
8. KAT	-%5	X	0.0243	0.0224	1.084
7. KAT	-%5	X	0.0220	0.0203	1.085
6. KAT	-%5	X	0.0193	0.0178	1.085
5. KAT	-%5	X	0.0162	0.0149	1.086
4. KAT	-%5	X	0.0127	0.0117	1.086
3. KAT	-%5	X	0.0091	0.0084	1.086
2. KAT	-%5	X	0.0054	0.0050	1.087
1. KAT	-%5	X	0.0020	0.0018	1.088

Çizelge 5.4 : X doğrultusunda (- %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.

KAT	DIŞMERKEZLİK	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	+%5	Y	0.0272	0.0251	1.083
9. KAT	+%5	Y	0.0260	0.0240	1.084
8. KAT	+%5	Y	0.0243	0.0224	1.084
7. KAT	+%5	Y	0.0220	0.0203	1.085
6. KAT	+%5	Y	0.0193	0.0178	1.085
5. KAT	+%5	Y	0.0162	0.0149	1.086
4. KAT	+%5	Y	0.0127	0.0117	1.086
3. KAT	+%5	Y	0.0091	0.0084	1.086
2. KAT	+%5	Y	0.0054	0.0050	1.087
1. KAT	+%5	Y	0.0020	0.0018	1.088

Çizelge 5.5 : Y doğrultusunda (+ %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.

KAT	DIŞMERKEZLİK	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	-%5	Y	0.0272	0.0251	1.083
9. KAT	-%5	Y	0.0260	0.0240	1.084
8. KAT	-%5	Y	0.0243	0.0224	1.084
7. KAT	-%5	Y	0.0220	0.0203	1.085
6. KAT	-%5	Y	0.0193	0.0178	1.085
5. KAT	-%5	Y	0.0162	0.0149	1.086
4. KAT	-%5	Y	0.0127	0.0117	1.086
3. KAT	-%5	Y	0.0091	0.0084	1.086
2. KAT	-%5	Y	0.0054	0.0050	1.087
1. KAT	-%5	Y	0.0020	0.0018	1.088

Çizelge 5.6 : Y doğrultusunda (- %5) A1 burulma düzensizliği kontrolü.

5.2.2. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (yumuşak kat) Kontrolü

Komşu katlar arası rijitlik (yumuşak kat) düzensizliği, DBYBHY2007'de; birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için, herhangi bir i'inci kattaki ortalama görelî kat ötelemesi oranının bir üst veya bir alt kattaki ortalama görelî kat ötelemesi bölünmesi ile tanımlanan Rijitlik Düzensizliği Katsayısı η_{ki} 'nin 2.0'dan fazla olması durumu ile tanımlanmıştır. X ve Y doğrultuları için hesaplanan η_{ki} değerleri Çizelge 5.7 ve Çizelge 5.8'de verilmiştir.

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{ort}$	$\eta_{ki}((\Delta i/h_i))_{ort} / ((\Delta i-1/h_i-1)_{ort})$	$\eta_{ki}((\Delta i/h_i))_{ort} / ((\Delta i+1/h_i+1)_{ort})$
10. KAT	X	0.0251	1.0458	-
9. KAT	X	0.0240	1.0714	0.956
8. KAT	X	0.0224	1.1035	0.933
7. KAT	X	0.0203	1.1534	0.906
6. KAT	X	0.0178	1.1946	0.877
5. KAT	X	0.0149	1.2735	0.837
4. KAT	X	0.0117	1.2447	0.785
3. KAT	X	0.0084	1.6800	0.718
2. KAT	X	0.0050	2.7778	0.595
1. KAT	X	0.0018	-	0.360

Çizelge 5.7 : X doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{ort}$	$\eta_{ki}((\Delta i/h_i))_{ort} / ((\Delta i-1/h_i-1)_{ort})$	$\eta_{ki}((\Delta i/h_i))_{ort} / ((\Delta i+1/h_i+1)_{ort})$
10. KAT	Y	0.0251	1.0458	-
9. KAT	Y	0.0240	1.0714	0.956
8. KAT	Y	0.0224	1.1035	0.933
7. KAT	Y	0.0203	1.1534	0.906
6. KAT	Y	0.0178	1.1946	0.877
5. KAT	Y	0.0149	1.2735	0.837
4. KAT	Y	0.0117	1.2447	0.785
3. KAT	Y	0.0084	1.6800	0.718
2. KAT	Y	0.0050	2.7778	0.595
1. KAT	Y	0.0018	-	0.360

Çizelge 5.8 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.

5.3. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Deprem Hesabı

Yapının Mod Birleştirme Yöntemi ile depremlili durum hesapları binanın her iki doğrultusunda ayrı ayrı ETABS programı kullanılarak yapılmıştır. Mod birleştirme yöntemi, eşdeğer deprem yükü yöntemi gibi statik bir yöntem olmadığı için ivme-tepki spektrumu manuel olarak oluşturularak ETABS programına tanıtılmış ve mod birleştirme yöntemi uygulanmıştır.

5.3.1. Azaltılmış İvme Spektrumunun ETABS da Oluşturulması

Her bir periyoda karşılık gelen ivme değerleri bulunmuş ve ETABS'ta "Response Spectrum Function" kısmına bir fonksiyon halinde girilmiştir. Aşağıda Çizelge 5.9'de ETABS'a girilen zaman-ivme fonksiyonu çizelge halinde verilmiştir.

T	S(T)	A ₀	I	R(T)	S(T)*A ₀ *I/R(T)
0	1	0.2	1	1.5	0.13333333
0.01	1.1	0.2	1	1.933333	0.113793103
0.02	1.2	0.2	1	2.366667	0.101408451
0.03	1.3	0.2	1	2.8	0.092857143
0.04	1.4	0.2	1	3.233333	0.086597938
0.05	1.5	0.2	1	3.666667	0.081818182
0.06	1.6	0.2	1	4.1	0.07804878
0.07	1.7	0.2	1	4.533333	0.075
0.08	1.8	0.2	1	4.966667	0.072483221
0.09	1.9	0.2	1	5.4	0.07037037
0.1	2	0.2	1	5.833333	0.068571429
0.11	2.1	0.2	1	6.266667	0.067021277
0.12	2.2	0.2	1	6.7	0.065671642
0.13	2.3	0.2	1	7.133333	0.064485981
0.14	2.4	0.2	1	7.566667	0.063436123
0.15	2.5	0.2	1	8	0.0625
0.4	2.5	0.2	1	8	0.0625
0.41	2.451099	0.2	1	8	0.061277484
0.42	2.4043	0.2	1	8	0.060107488
0.43	2.359463	0.2	1	8	0.058986584
0.44	2.316466	0.2	1	8	0.057911641
0.45	2.275192	0.2	1	8	0.056879792
0.46	2.235536	0.2	1	8	0.055888409
0.47	2.197403	0.2	1	8	0.054935075
0.48	2.160703	0.2	1	8	0.054017567
0.49	2.125353	0.2	1	8	0.053133833
0.5	2.091279	0.2	1	8	0.052281978
0.51	2.05841	0.2	1	8	0.051460247
0.52	2.026681	0.2	1	8	0.050667017
0.53	1.996031	0.2	1	8	0.049900778
0.54	1.966405	0.2	1	8	0.049160128
0.55	1.93775	0.2	1	8	0.048443762

0.56	1.910019	0.2	1	8	0.047750463
0.57	1.883164	0.2	1	8	0.047079097
0.58	1.857144	0.2	1	8	0.046428603
0.59	1.83192	0.2	1	8	0.045797988
0.6	1.807453	0.2	1	8	0.045186324
0.61	1.78371	0.2	1	8	0.044592738
0.62	1.760657	0.2	1	8	0.044016414
0.63	1.738263	0.2	1	8	0.043456583
0.64	1.716501	0.2	1	8	0.042912521
0.65	1.695342	0.2	1	8	0.04238355
0.66	1.674761	0.2	1	8	0.041869026
0.67	1.654734	0.2	1	8	0.041368347
0.68	1.635238	0.2	1	8	0.040880941
0.69	1.616251	0.2	1	8	0.040406268
0.7	1.597753	0.2	1	8	0.039943818
0.71	1.579724	0.2	1	8	0.03949311
0.72	1.562147	0.2	1	8	0.039053684
0.73	1.545004	0.2	1	8	0.038625109
0.74	1.528279	0.2	1	8	0.038206973
0.75	1.511955	0.2	1	8	0.037798886
0.76	1.496019	0.2	1	8	0.037400477
0.77	1.480456	0.2	1	8	0.037011393
0.78	1.465252	0.2	1	8	0.0366313
0.79	1.450395	0.2	1	8	0.036259878
0.8	1.435873	0.2	1	8	0.035896824
0.81	1.421674	0.2	1	8	0.035541847
0.82	1.407787	0.2	1	8	0.035194673
0.83	1.394201	0.2	1	8	0.034855036
0.84	1.380907	0.2	1	8	0.034522686
0.85	1.367895	0.2	1	8	0.034197383
0.86	1.355156	0.2	1	8	0.033878896
0.87	1.34268	0.2	1	8	0.033567006
0.88	1.33046	0.2	1	8	0.033261503
0.89	1.318487	0.2	1	8	0.032962186
0.9	1.306754	0.2	1	8	0.032668862
0.91	1.295254	0.2	1	8	0.032381346
0.92	1.283978	0.2	1	8	0.032099462
0.93	1.272922	0.2	1	8	0.031823039
0.94	1.262077	0.2	1	8	0.031551915
0.95	1.251437	0.2	1	8	0.031285934
0.96	1.240998	0.2	1	8	0.031024945
0.97	1.230752	0.2	1	8	0.030768805
0.98	1.220695	0.2	1	8	0.030517373
0.99	1.210821	0.2	1	8	0.030270518

1	1.201124	0.2	1	8	0.030028111
1.1	1.112945	0.2	1	8	0.027823635
1.2	1.038109	0.2	1	8	0.025952728
1.3	0.973718	0.2	1	8	0.024342957
1.4	0.917668	0.2	1	8	0.022941699
1.5	0.86839	0.2	1	8	0.021709759
1.6	0.824692	0.2	1	8	0.020617311
1.7	0.78565	0.2	1	8	0.019641239
1.8	0.750533	0.2	1	8	0.018763334
1.9	0.718762	0.2	1	8	0.017969051
2	0.689865	0.2	1	8	0.017246621
2.5	0.57708	0.2	1	8	0.014426999
3	0.498759	0.2	1	8	0.012468982
3.5	0.440893	0.2	1	8	0.011022334
4	0.396223	0.2	1	8	0.009905582
4.5	0.360594	0.2	1	8	0.00901484
5	0.331445	0.2	1	8	0.008286135

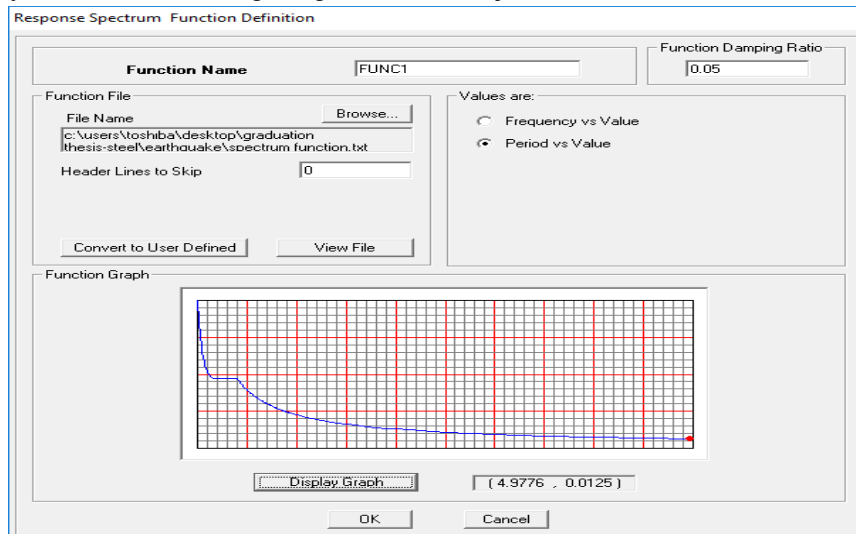
Çizelge 5.9 : Zaman-İvme Fonksiyonu

5.3.2. Taban Kesme Kuvvetinin Hesabı

Mod birleştirme yönteminde taban kesme kuvveti aynı eşdeğer deprem yükü yönteminde olduğu gibi tanımlanmıştır.

5.3.3. Mod Birleştirme Yöntemi Deprem Yüklerinin Oluşturulması

Mod birleştirme yöntemi için her iki doğrultuda yükleme tipi spektrum fonksiyonu olan iki adet yükleme durumu oluşturulmuştur. X doğrultusunda spektral yükleme için SPECX, Y doğrultusundaki spektral yükleme içinde SPECY adı altında yükleme durumları ETABS'da "Load Case" olarak tanımlanmıştır. Yükleme oluşturulurken her iki doğrultuda da fonksiyon olarak azaltılmış zaman-ivme fonksiyonu seçilmiş ve büyütme oranı (scale factor) olarak $g=9.81$ yerçekimi ivmesi girilmiştir. Yükleme durumları için maksimum mod katkılarının birleştirilmesi için (CQC) tam karesel birleştirme kuralı uygulanmıştır ve tüm modları için % 5 sönüm oranı tanımlanmıştır. Deprem Yönetmeliği 2007'de $\pm\%$ 5 kaydırılmış kat kütle merkezlerine deprem yüklerinin uygulanmasını koşul olarak getirdiği için Şekil 5.5'de zaman-ivme fonksiyonunun ETABS'da girildiği menü verilmiştir.



Şekil 5.5 : ETABS programında zaman-ivme fonksiyonunun tanımlanması.

Response Spectrum Case Data

Spectrum Case Name SPECX

Structural and Function Damping

Damping 0.05

Modal Combination

CQC SRSS ABS GMC

f1 f2

Directional Combination

SRSS ABS Orthogonal SF

Input Response Spectra

Direction	Function	Scale Factor
U1	FUNC1	9.81
U2		
UZ		

Excitation angle 0

Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Override Diaph. Eccen. Override...

OK Cancel

Şekil 5.6 : ETABS programında response spektrum case'in tanımlanması.

5.3.4. Taban Kesme Kuvvetinin Karşılaştırılması

Mod birleştirme yöntemiyle 4 farklı deprem bölgesi için ETABS programı ile yapılan deprem hesabı sonucunda taban kesme kuvvetleri programdan okunmuştur. Aşağıdaki tablolarda eşdeğer deprem yükü yönteminde hesaplanan taban kesme kuvvetleri ile mod birleştirme yönteminde bulunan taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması görülmektedir. Yapının her iki doğrultusunda da A1, B2 veya B3 düzensizliklerinden en az biri bulunduğu için β katsayısı her iki doğrultuda da 0,9 alınmıştır. Taban kesme kuvvetlerinin karşılaştırması Çizelge 5.10'de verilmiştir.

Deprem Yönü	E.D.Y.Y Vt	β_x/β_y	B*Vt	M.B.Y Vt
X doğrultusu	73.62 ton	0.9	66.26 ton	59.12 ton
Y doğrultusu	73.62 ton	0.9	66.26 ton	59.12 ton

Çizelge 5.10 : Taban kesme kuvveti karşılaştırması

Yapılan karşılaştırma sonucunda eşdeğer deprem yükü yöntemi ile bulunan ve β katsayısı ile küçültülen taban kesme kuvveti, mod birleştirme yönteminde bulunan taban kesme kuvvetinden büyük bulunmuştur. Bu sebepten mod birleştirme yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetleri deprem yönetmeliğimizde verilen D katsayısı ile büyütülecektir. Bu değerlerin hesabı Çizelge 5.11'de X ve Y doğrultusunda verilmiştir.

Deprem Yönü	E.D.Y.Y Vt	M.B.Y. Vt	β_x/β_y	D
X doğrultusu	73.62 ton	59.12 ton	0.9	1.12
Y doğrultusu	73.62 ton	59.12 ton	0.9	1.12

Çizelge 5.11 : D katsayısının hesabı

Hesaplanan bu katsayılar ETABS programında scale faktör kısmına eklenmiştir ve hesaplar yeniden yapılmıştır.

5.4. Mod Birleştirme Yöntemine Göre Düzensizlik Kontrolleri

Eşdeğer deprem yükü analizi sonrasında yapılan bütün düzensizlik kontrolleri mod birleştirme yönteminde de yapılmıştır.

5.4.1. Kat deplasmanları ve A1 burulma düzensizliği kontrolü

Çizelge 5.12 ve Çizelge 5.13'de hesaplanmış olan burulma düzensizliği değerleri verilmiştir. A1 burulma düzensizliğine hem X hem de Y doğrultusunda rastlanmamıştır.

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	X	0.0102	0.0098	1.033
9. KAT	X	0.0098	0.0095	1.034
8. KAT	X	0.0093	0.0089	1.034
7. KAT	X	0.0085	0.0082	1.034
6. KAT	X	0.0075	0.0073	1.035
5. KAT	X	0.0064	0.0062	1.035
4. KAT	X	0.0051	0.0049	1.036
3. KAT	X	0.0037	0.0036	1.037
2. KAT	X	0.0022	0.0021	1.037
1. KAT	X	0.0008	0.0008	1.038

Çizelge 5.12 : X doğrultusundaki A1 Düzensizlik Kontrolü

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{max}$	$(\Delta i)_{ort}$	η_{bi}
10. KAT	Y	0.0102	0.0098	1.033
9. KAT	Y	0.0098	0.0095	1.034
8. KAT	Y	0.0093	0.0089	1.034
7. KAT	Y	0.0085	0.0082	1.034

6. KAT	Y	0.0075	0.0073	1.035
5. KAT	Y	0.0064	0.0062	1.035
4. KAT	Y	0.0051	0.0049	1.036
3. KAT	Y	0.0037	0.0036	1.037
2. KAT	Y	0.0022	0.0021	1.037
1. KAT	Y	0.0008	0.0008	1.038

Çizelge 5.13 : Y doğrultusundaki A1 Düzensizlik Kontrolü

5.4.2. B2 komşu katlar arası rijitlik düzensizliği (yumuşak kat) kontrolü

Eşdeğer deprem yönteminde yapıldığı üzere mod birleştirme yönteminde de B2 düzensizliği kontrol edilmiş. Çizelge 5.14 ve Çizelge 5.15'de B2 rijitlik düzensizliği kontrolleri görülebilmektedir.

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{ort}$	$\eta_{ki} \left(\frac{(\Delta i / h_i)}{(\Delta i - 1 / h_i - 1)} \right)_{ort}$	$\eta_{ki} \left(\frac{(\Delta i / h_i)}{(\Delta i + 1 / h_i + 1)} \right)_{ort}$
10. KAT	X	0.0098	1.0316	-
9. KAT	X	0.0095	1.0674	0.969
8. KAT	X	0.0089	1.0854	0.937
7. KAT	X	0.0082	1.1233	0.921
6. KAT	X	0.0073	1.1774	0.890
5. KAT	X	0.0062	1.2653	0.849
4. KAT	X	0.0049	1.3611	0.790
3. KAT	X	0.0036	1.7143	0.735
2. KAT	X	0.0021	2.6250	0.583
1. KAT	X	0.0008	-	0.381

Çizelge 5.14 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.

KAT	YÖN	$(\Delta i)_{ort}$	$\eta_{ki} \left(\frac{(\Delta i / h_i)}{(\Delta i - 1 / h_i - 1)} \right)_{ort}$	$\eta_{ki} \left(\frac{(\Delta i / h_i)}{(\Delta i + 1 / h_i + 1)} \right)_{ort}$
10. KAT	Y	0.0098	1.0316	-
9. KAT	Y	0.0095	1.0674	0.969
8. KAT	Y	0.0089	1.0854	0.937
7. KAT	Y	0.0082	1.1233	0.921
6. KAT	Y	0.0073	1.1774	0.890
5. KAT	Y	0.0062	1.2653	0.849
4. KAT	Y	0.0049	1.3611	0.790
3. KAT	Y	0.0036	1.7143	0.735
2. KAT	Y	0.0021	2.6250	0.583
1. KAT	Y	0.0008	-	0.381

Çizelge 5.15 : Y doğrultusunda B2 rijitlik düzensizliği kontrolü.

6. İki Yöntemin Sonuçlarının Karşılaştırılması

Bu Bölümde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemine ait elde edilmiş sonuçlar karşılaştırılarak çizelgeler halinde verilmiştir.

6.1. Taban Kesme Kuvvetlerinin Kıyaslanması

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi (E.D.Y.Y.) ve Mod Birleştirme Yöntemi (M.B.Y.) kullanılarak yapıya X ve Y doğrultularında etki eden taban kesme kuvvetleri Çizelge 6.1’de verilmiştir.

Deprem Doğrultusu	E.D.Y.Y. Vt (ton)	M.B.Y. Vt (ton)
X doğrultusu	73.62	59.12
Y doğrultusu	73.62	59.12

Çizelge 6.1 : E.D.Y.Y ve M.B.Y. ile bulunan taban kesme kuvveti (VT) değerleri.

X doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetinin, Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetinden yaklaşık olarak %24.5 daha büyük olduğu görülmüştür.

Y doğrultusunda Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetinin, Mod Birleştirme Yöntemi ile bulunan taban kesme kuvvetinden yaklaşık olarak %24.5 daha büyük olduğu görülmüştür.

6.2. A1 Burulma Düzensizliğinin İncelenmesi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak yapıda her kata ait hesaplanmış olan A1 burulma düzensizliği katsayısı η_{bi} , Çizelge 6.2’de birlikte verilmiştir. X doğrultusunda en büyük η_{bi} değeri E.D.Y.Y. için birinci katta 1.088 değerinde, M.B.Y.’de ise birinci katta 1,038 değerinde bulunmuştur. X doğrultusunda tüm katlarda E.D.Y.Y. ile hesaplanmış olan η_{bi} değerlerinin M.B.Y. ile hesaplananlardan büyük olduğu gözlenmiştir. Y doğrultusunda en büyük η_{bi} değeri E.D.Y.Y. için birinci katta 1.088 değerinde, M.B.Y.’de ise birinci katta 1,038 değerinde bulunmuştur. Y doğrultusunda tüm katlarda E.D.Y.Y. ile hesaplanmış olan η_{bi} değerlerinin M.B.Y. ile hesaplananlardan büyük olduğu gözlenmiştir.

KAT	X Doğrultusu		Y Doğrultusu	
	E.D.Y.Y.	M.B.Y.	E.D.Y.Y.	M.B.Y.
10	1.083	1.033	1.083	1.033
9	1.084	1.034	1.084	1.034
8	1.084	1.034	1.084	1.034
7	1.085	1.034	1.085	1.034
6	1.085	1.035	1.085	1.035
5	1.086	1.035	1.086	1.035
4	1.086	1.036	1.086	1.036
3	1.086	1.037	1.086	1.037
2	1.087	1.037	1.087	1.037
1	1.088	1.038	1.088	1.038

Çizelge 6.2 : Her iki deprem hesap yöntemi ile elde edilmiş olan A1 burulma düzensizliği katsayıları

6.3. B2 Komşu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliğinin İncelenmesi

Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemi kullanılarak yapıda her kata ait hesaplanmış olan B2 rijitlik düzensizliği katsayısı η_{ki} , Çizelge 6.3’de birlikte verilmiştir. X doğrultusunda en büyük η_{ki} değerinin E.D.Y.Y. için 9. katta 0.956, M.B.Y.’de ise 9. katta 0.969 olduğu görülmüştür. Y doğrultusunda en büyük η_{ki} değeri E.D.Y.Y. için 9. katta 0.956,

M.B.Y.'de ise yine aynı katta 0.969 değerinde olduğu görülmüştür. Her iki doğrultuda da M.B.Y. ile bulunmuş η ki değerlerinin E.D.Y.Y. ile bulunanların tamamından daha büyük değerlerde olduğu görülmektedir.

KAT	X Doğrultusu		Y Doğrultusu	
	E.D.Y.Y.	M.B.Y.	E.D.Y.Y.	M.B.Y.
10	-	-	-	-
9	0.956	0.969	0.956	0.969
8	0.933	0.937	0.933	0.937
7	0.906	0.921	0.906	0.921
6	0.877	0.890	0.877	0.890
5	0.837	0.849	0.837	0.849
4	0.785	0.790	0.785	0.790
3	0.718	0.735	0.718	0.735
2	0.595	0.583	0.595	0.583
1	0.360	0.381	0.360	0.381

Çizelge 6.3 : Her iki deprem hesap yöntemi ile elde edilmiş olan B2 rijitlik düzensizliği katsayıları

7. SONUÇ

“Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme Yöntemlerinin Çok Katlı Betonarme Bir Yapıda Hesabı” adlı bu tez çalışmasında 10 katlı çerçeve sistemli bir betonarme yapının Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik 2007’de verilen deprem yüğü hesap yöntemleri ile deprem yüklemesi yapılmıştır. Binanın statik ve dinamik analizinde ETABS programı kullanılmıştır.

Yapının doğal titreşim periyotları dinamik analizle bulunmuştur. X doğrultusunda doğal titreşim periyodu $T_{1X}= 0,95551sn$, Y doğrultusunda doğal titreşim periyodu $T_{1Y}=0,95551sn$ olarak bulunmuştur. Binaya Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemine göre deprem yüklemesi yapılmıştır. Elde edilen taban kesme kuvveti değerlerinde mod birleştirme yöntemi ile elde edilen değerler, eşdeğer deprem yüğü yöntemine göre %24.5 daha küçük bulunmuştur. Burulma düzensizliği incelendiğinde mod birleştirme yöntemi ile bulunan burulma düzensizliği katsayılarının hem X hem de Y yönünde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunan katsayılardan daha küçük olduğu görülmektedir. Komşu katlar arası rijitlik düzensizliği karşılaştırıldığında mod birleştirme yöntemi ile bulunan rijitlik düzensizliği katsayılarının hem X hem de Y yönünde Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile bulunan katsayılardan daha büyük olduğu görülmektedir.

KAYNAKLAR

TS 498, 1997. Yapı Elemanlarının Boyutlandırmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

TS 500, 2000. Betonarme Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (D.B.Y.B.H.Y), 2007 İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

Doğangün, A., (2014), Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı, Birsen Yayınevi, İstanbul

Doğacan, T., (2012), Betonarme Bir Yapının Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi ve Mod Birleştirme Yöntemine Göre Tasarımı. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.

İşsever, M.A., (2012), Eşdeğer Deprem Yükü ve Mod Birleştirme Yönteminin Çok Katlı Bir Yapıda Kıyaslanması. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), İstanbul.