



## Rijit Bodrumlu Binaların TBDY 2018'e Göre Tasarımına Yönelik Bir Değerlendirme

### A Discussion on the Design of Buildings with Rigid Basement According to TBSC 2018

Ali Ruzi Özuygur<sup>1</sup>, Abdullah Dilsiz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Fatih Sultan Mehmet Vakıf Üni. Sütluce Mh. Karaağaç Cd. 12/A Beyoğlu, 34445 İstanbul, TÜRKİYE  
<sup>2</sup>Ankara Yıldırım Beyazıt Üni. MDBF İnşaat Müh. Böl., Ayvalı Mh. Keçiören, 06010 Ankara, TÜRKİYE

**Başvuru / Received:** 07/10/2020

**Kabul / Accepted:** 12/12/2020

**Çevrimiçi Basım / Published Online:** 18/01/2021

**Son Versiyon / Final Version:** 18/01/2021

#### Öz

2018'de yayınlanan ve 2019'da yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) rijit bodrumlu binaların tasarımında iki aşamalı yüklemeye dayanan bir yöntemi zorunlu kılmaktadır. Birinci aşama yüklemesinde rijit bodrum kütleli olarak, üstyapı kendi kütlesiyle modellenir. Böylelikle mod birleştirme yöntemiyle deprem analizinde sadece üstyapının kütlesi dikkate alınır. Üstyapının tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, üstyapının yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. İkinci aşama yüklemesinde üstyapı kütleli olarak, rijit bodrum kendi kütlesiyle modellenir ve böylelikle deprem analizinde sadece rijit bodrumun kütlesi dikkate alınır. Rijit bodrumun tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, kendisinin yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu ikinci modelden elde edilir. Ayrıca, bu şekilde belirlenen rijit bodrum deprem kuvvetlerine üstyapıdan aktarılan düşey ve yatay kuvvetler de eklenir. Üstyapı ve rijit bodrumun deprem hesabında farklı analiz modellerinin kullanılması ve bodrum katların tasarımında bu kuvvetlerin birleştirilmesi belli ölçüde zaman alıcı, karmaşık ve hataya müsait bir süreçtir. Bu çalışmada sayısal analiz sonuçlarına dayalı olarak, rijit bodrumlu binaların modelleme ve tasarımına yönelik bazı değerlendirmeler ve öneriler sunulmuştur.

#### Anahtar Kelimeler

"Rijit Bodrumlu Binalar, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018, Deprem Yükü Azaltma Katsayısı, Mod Birleştirme Analizi, Yüksek Yapılar"

#### Abstract

Turkish Building Seismic Code (TBSC), which was published in 2018 and became effective in 2019 prescribes a two-stage loading method for designing of a building with a rigid basement. In the first loading stage, the rigid basement is modeled as a massless structure and only mass of the superstructure is considered in the modal response spectrum analysis. The seismic design forces of the superstructure are computed using this model with the appropriate response modification coefficient and the overstrength factor. In the second loading stage, the superstructure is modeled as a massless system and only mass of the rigid basement is considered in the modal response spectrum analysis. The seismic design forces of the rigid basement are computed using this second model with the appropriate response modification coefficient and the overstrength factor. In addition, the seismic forces computed for the superstructure are superposed with those computed for rigid basement. Due to the use of separate building models for the analyses and superposition need, this process is relatively cumbersome, complex and prone to errors. In this study, based on the structural analysis results, some considerations and recommendations are presented on the modeling and design of buildings with a rigid basement.

#### Key Words

"Rigid Basement, Turkish Building Seismic Code 2018, Seismic Force Reduction Factor, Mode Superposition Analysis, Tall Buildings"

## 1. Giriş

2019 yılında yürürlüğe giren Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) deprem mühendisliğinde meydana gelen gelişmelere paralel olarak Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) (2007)'ye kıyasla kapsamlı yenilikler getirmiştir. Mevcut pek çok bölümde yapılan değişikliklere ilave olarak daha önce yönetmelikte yer almayan konular da yeni bölümler halinde TBDY (2018)'e dâhil edilmiştir. Bu çalışmanın konusu olan rijit bodrumlu binalara dair tasarım kuralları ve kesin sayısal parametrelere dayalı rijit bodrum kat tanımlaması da bu yenilikler içerisinde yer almaktadır.

Bodrum katların çevresinde toprağın tutulması amacıyla rijit perdelerin düzenlenmesi uygulamada oldukça sık başvurulan bir yöntemdir. Bu perdeler bodrum katların dinamik davranışını görece esnek olan üstyapının dinamik davranışından farklı kılar. Deprem yönetmeliklerinde sünekliliğe dayalı olarak tanımlanan deprem yükü azaltma katsayıları doğal olarak üstyapı ve görece rijit olan bodrumlar için farklı verilmektedir. Üstyapı ve bodrum katlar aynı binanın öğeleri olduğu için birbirlerine bağlıdır ve yapısal açıdan ve dinamik olarak etkileşim içindedir.

Rijit bodrumlu binaların modellenmesi, analizi ve tasarımı hakkında farklı araştırmacılar tarafından çalışmalar yapılmıştır. Öztürk (2006) Türkiye'de inşa edilmiş örnek binalar üzerinde doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri yaparak binaların dinamik davranışlarını incelemiştir. Yapılan çalışmada taban kesme kuvveti katsayısı ve seçilen deprem yer hareketi kayıtlarının hız artımları temel parametreler olarak seçilmiştir. Naeim ve diğ. (2008) bodrumlu yüksek binalarda yapı-zemin etkileşimi açısından bodrum ve temellerin modellenme yaklaşımları üzerine bir araştırma yapmıştır. Yapılan çalışmada yüksek binalar söz konusu olduğunda, bodrum katlar ve temellerin farklı yaklaşımlarla modellenmesinin üstyapı doğal titreşim periyoduna olan etkisinin minimum düzeyde olduğu, ancak kat kesme kuvveti ve görece kat ötelenme oranlarında farklılıklar gözlemlendiği sunulmuştur.

Zhou ve diğ. (2018) tarafından yapılan çalışmada büyük bodrum katlara sahip betonarme yüksek binaların deprem davranışları sarsma tablası ile yapılan deneyler ve sayısal analizlerle araştırılmıştır. Araştırmaya konu olan yapılar ortak bodruma sahip birden fazla bina şeklinde seçilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda binaların deprem davranışı zarflarının elde edilmesi için, yapıları ayrı olarak ve ortak bodrum katlarıyla birlikte modelleyerek analiz edilmesi önerilmiştir. Tura ve Orakçal (2019) tarafından yapılan çalışmada ortak bodrum katlara sahip iki yüksek yapı, karşılıklı etkileşim etkileri dikkate alınarak incelenmiştir. Üst ve alt sınır değerlerinin görülebilmesi için binalar sabit mesnetli olarak tek başlarına ve ortak bodrum katlarla birlikte doğrusal ve doğrusal olmayan dinamik analizlere tabi tutularak karşılıklı etkileşim etkileri elde edilmiştir. Jeong ve diğ. (2020) tarafından yapılan çalışmada 49 katlı bir yüksek binanın, komşu binalarla ortak olan derin bodrum katlarının modellenme yöntemleri araştırılmıştır. Doğrusal olmayan zaman geçmişi analizleri sonuçlarına dayalı olarak, muhafazakâr bir tasarım için ortak bodrum katlarının komşu yapılarla birlikte modellenmesi önerilmiştir.

Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY 2018) rijit bodrumlu binaların tasarımında iki aşamalı yüklemeye dayalı doğrusal bir yöntemi zorunlu kılmaktadır. Birinci aşama yüklemesinde rijit bodrum kütsesiz, üstyapı kendi kütsesiyle modellenir; böylelikle deprem analizinde sadece üstyapının kütsesi dikkate alınır. Üstyapının tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, üstyapının yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. İkinci aşama yüklemesinde üstyapı kütsesiz, rijit bodrum kendi kütsesiyle modellenir; böylelikle deprem analizinde sadece rijit bodrumun kütsesi dikkate alınır. Rijit bodrumun tasarımında kullanılacak deprem kuvvetleri, kendisinin yapısal özelliklerine uygun olarak seçilen deprem yükü azaltma katsayılarıyla bu modelden elde edilir. Ayrıca, bu şekilde belirlenen rijit bodrum deprem kuvvetlerine üstyapıdan aktarılan düşey ve yatay kuvvetler de eklenir. Günümüzde kullanılan bilgisayar yazılımlarında aynı model üzerinde aynı anda kütseleri değiştirerek analiz yapmak imkânı bulunmamaktadır. Kütle özellikleri farklı olan binalar farklı modeller üzerinde analiz edilmelidir. Üstyapı ve rijit bodrumun deprem hesabında farklı analiz modellerinin kullanılması ve bodrum katların tasarımında bu kuvvetlerin birleştirilmesi belli ölçüde zaman alıcı bir süreçtir. Bu çalışmada rijit bodrumlu binaların modelleme ve tasarımına yönelik bazı değerlendirmeler ve öneriler, kat sayısı 10'dan 50 kata kadar değişen 5 farklı bina üzerinde sunulmuştur. Her binanın analizi TBDY 2018'de öngörüldüğü üzere, doğrusal sayısal analiz yöntemlerinden biri olan "Mod Birleştirme Analiz Yöntemi" kullanılarak gerçekleştirilmiş ve ilgili sonuçlar sunulmuştur.

## 2. TBDY 2018'e Göre Rijit Bodrumlu Binaların Tasarım Kuralları

Aşağıda verilen iki şartı sağlayan binalar rijit bodrumlu bina olarak tanımlanır (TBDY 2018):

- Rijit bodrum perdelerinin binayı her taraftan veya en az üç taraftan çevrelemesi,
- Birbirine dik bina eksenlerinin her birinin doğrultusundaki hâkim titreşim modunda, bodrum katlar dahil binanın tümü için hesaplanan doğal titreşim periyodunun, aynı taşıyıcı sistemde zemin kat döşemesi dahil tüm bodrum kütseleri hesaba katılmaksızın aynı doğrultuda hesaplanan doğal titreşim periyoduna oranının 1.1'den küçük olması ( $T_{p,tüm} \leq 1.1 T_{p,üst}$ ).

Deprem yükü azaltma katsayısı aşağıda Denk.1 ve Denk.2 ile verilen formüllerden hesaplanır:

$$R_a(T) = \frac{R}{I} \quad T > T_B \quad (1)$$

$$R_a(T) = D + \left( \frac{R}{I} - D \right) \frac{T}{T_B} \quad T \leq T_B \quad (2)$$

Burada  $R$  taşıyıcı sistem davranış katsayısı,  $D$  dayanım fazlalığı katsayısı,  $I$  bina önem katsayısı,  $T$  sistemin doğal titreşim periyodu ve  $T_B$  spektrum köşe periyodudur.

Rijit bodrumlu binaların deprem hesabı mod birleştirme yöntemi yardımıyla yapılabilir. Bu yöntemde aşağıda kısaca açıklanan iki yükleme durumu hesap yaklaşımı esas alınır. Bu yaklaşımda binanın üst bölümü ve bodrumlu alt bölümü bir arada tek bir taşıyıcı sistem olarak modellenir; ancak üst bölüm ile alt bölümün birbirlerine çok uzak modlarda titreşmeleri nedeni ile deprem hesabı iki yükleme durumu olarak aşağıda açıklandığı gibi ayrı yapılır:

a. İlk yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece üst bölümün kütleleri göz önüne alınarak modal hesap yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece üst bölümün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenir. Hesapta üst bölüm için uygun olan  $R_{üst}$  ve  $D_{üst}$  katsayılarına göre Denklem (1) ve (2)'den hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı  $(R_a)_{m,üst}$  kullanılacaktır. Birinci yükleme durumunda hem üst bölümde hem de alt bölümde azaltılmış iç kuvvetler elde edilir.

Üst bölümün tasarımı burada açıklanan ilk yükleme durumundan elde edilen deprem kuvvetlerine göre yapılır. Deprem kuvvetlerinde minimum taban kesme kuvveti kriterine göre büyütme yapılır. Sünek olmayan davranışa karşı gelen tasarım konularında dayanım fazlalığı katsayısı  $D_{üst}$  dikkate alınır.

b. İkinci yükleme durumunda, ortak tek taşıyıcı sistem modelinde sadece alt bölümün kütleleri göz önüne alınarak analiz yapılır. Bu durumda yeterli titreşim modu sayısı, sadece alt bölümün toplam kütlesi esas alınarak hesaplanan etkin kütle katılım oranlarına göre belirlenir. Hesapta alt bölüm (bodrum) için  $(R_{alt}/I) = 2.5$  ve  $D_{alt} = 1.5$  alınarak Denklem (1) ve (2)'den hesaplanan deprem yükü azaltma katsayısı  $(R_a)_{n,alt}$  kullanılacaktır.

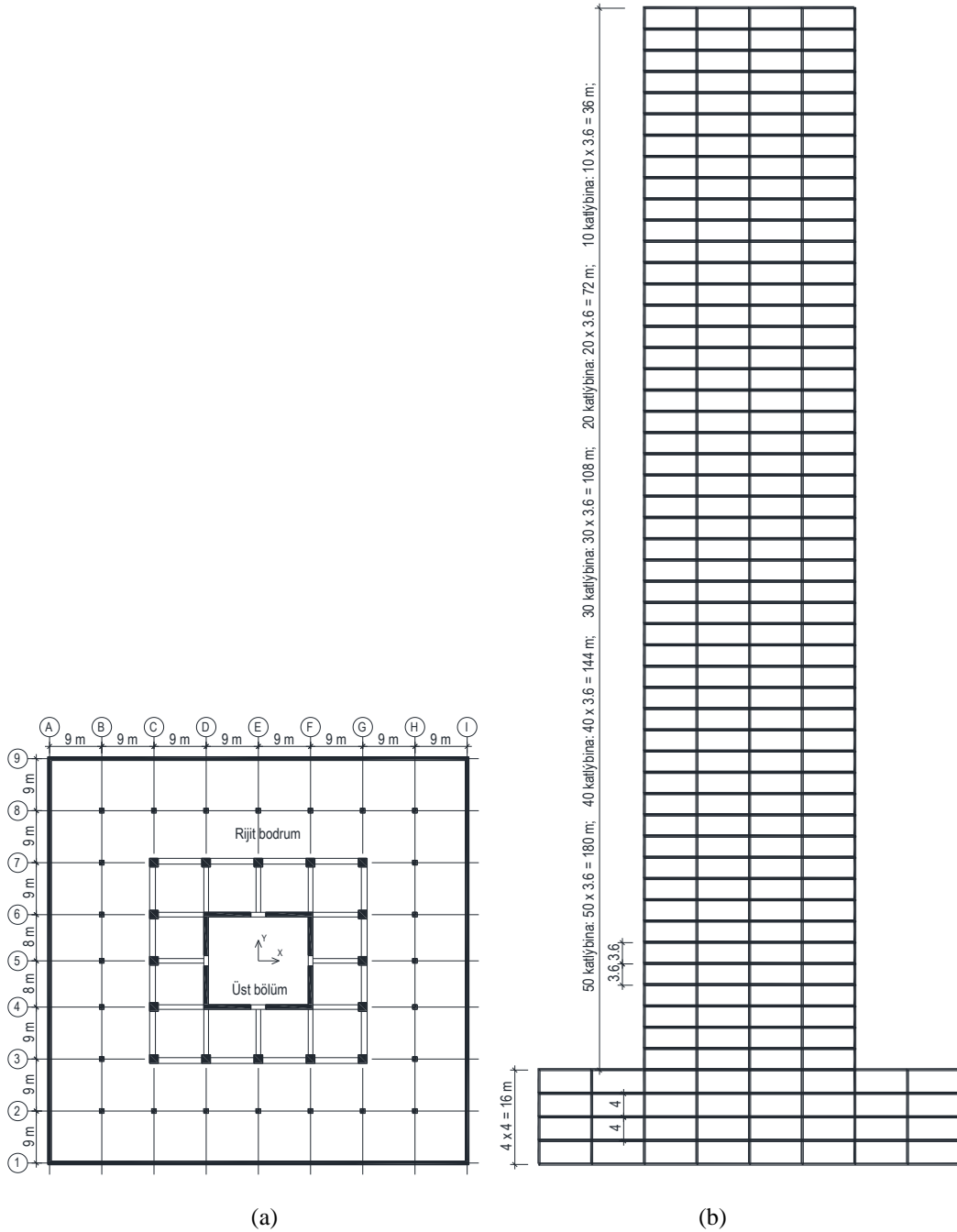
Bodrum katların tasarımı ikinci yükleme durumunda elde edilen deprem kuvvetleriyle birinci yükleme durumunda elde edilen bodrum kat deprem yüklerinin toplamına göre gerçekleştirilir. Bodrum kattaki sünek davranışa göre yapılan tasarım konularında üst bölümden aktarılan kuvvete  $D_{üst}$  katsayısı dahil edilmez. Ancak sünek olmayan davranışa göre yapılan tasarım konularında ikinci yükleme durumundan elde edilen kuvvetlere  $D_{alt}$  katsayısı, üst bölümden aktarılan kuvvete  $0.6D_{üst}$  katsayısı dahil edilir.

### 3. Sayısal Analizlerde Kullanılan Örnek Binalar

Kat sayıları 10 ila 50 arasında değişen 5 farklı konut binası sayısal analize tabi tutulmuştur. Tüm binalar Şekil 1'de gösterildiği şekilde, aynı taşıyıcı sistem planında ve 4 m kat yüksekliğinde olan 4 rijit bodrum kata sahiptir. Bodrum katın taşıyıcı sistemi 0.4 m kalınlığında bodrum çevre perdesi, 0.8 m x 0.8 m boyutunda kolonlar ve 0.35 m kalınlığında döşemeden oluşmaktadır. Binanın üst bölümünde tüm kirişlerin boyutu 0.8 m x 0.6 m, döşeme kalınlığı 0.21 m ve kat yüksekliği 3.6 m'dir. Kat planının ortasında yer alan çekirdek perde kalınlığı, çevresinde yer alan kolon boyutları bina kat sayısına bağlı olarak değişmektedir. 50 katlı binada temel seviyesindeki çekirdek perde kalınlığı 0.8 m ve kolon boyutu 1.6 m x 1.6 m'dir. Binaların çekirdek perde kalınlığı ve kolon boyutları Tablo 1'de özetlendiği gibi üst katlara çıkıldıkça azalmaktadır. Tüm taşıyıcı eleman boyutları ön boyutlandırma hesapları yapılarak, TBDY (2018) ve TS 500 (2000) şartlarını sağlayacak şekilde seçilmiştir.

**Tablo 1.** Üst bölümün çekirdek perde kalınlıkları ve kolon boyutları

|                              | 50 katlı bina | 40 katlı bina | 30 katlı bina | 20 katlı bina | 10 katlı bina |
|------------------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Üst bölümün kat sayısı       | 50            | 40            | 30            | 20            | 10            |
| Çekirdek perde kalınlığı (m) | 0.4           |               |               |               |               |
|                              | 0.5           | 0.4           |               |               |               |
|                              | 0.6           | 0.5           | 0.4           |               |               |
|                              | 0.7           | 0.6           | 0.5           | 0.4           |               |
|                              | 0.8           | 0.7           | 0.6           | 0.5           | 0.4           |
| Kolon boyutları (m)          | 0.8 x 0.8     |               |               |               |               |
|                              | 1.0 x 1.0     | 0.8 x 0.8     |               |               |               |
|                              | 1.2 x 1.2     | 1.0 x 1.0     | 0.8 x 0.8     |               |               |
|                              | 1.4 x 1.4     | 1.2 x 1.2     | 1.0 x 1.0     | 0.8 x 0.8     |               |
|                              | 1.6 x 1.6     | 1.4 x 1.4     | 1.2 x 1.2     | 1.0 x 1.0     | 0.8 x 0.8     |

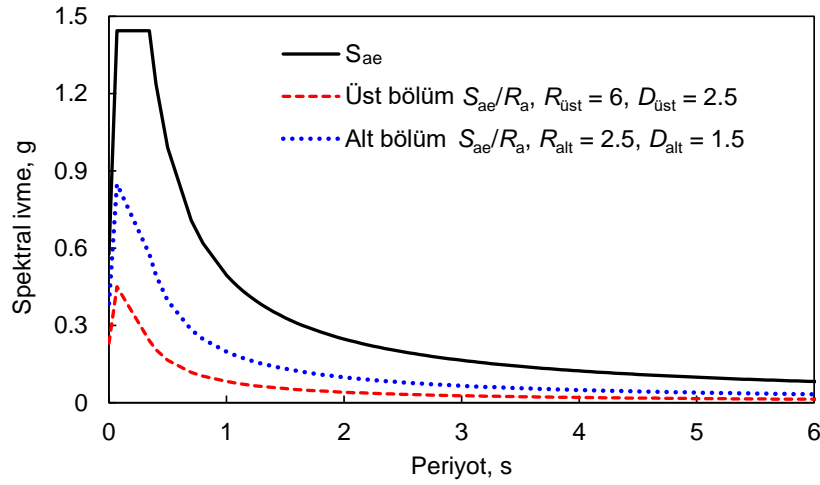


Şekil 1. (a) Bodrum ve üst katların taşıyıcı sistem planı; (b) Kesit

Seçilen beton sınıfı C50 ve donatı sınıfı B420c'dir. Döşeme üzerine gelecek mimari kaplama ve bölme duvar ağırlığı 3.5 kPa kabul edilmiştir. Konut alanlarındaki hareketli yük 2 kPa ve umuma açık alanlar ile otoparklardaki hareketli yük 5 kPa'dır. Üst bölüm çevre kirişleri üzerine 3.5 kN/m değerinde cephe yükü etkiyeceği kabul edilmiştir. Zemin kotunda bulunan açık alanlarda 10 kPa değerinde peyzaj yükü alınmıştır.

#### 4. Deprem İvmesi ve Tasarım İvme Spektrumu

Sayısal analizler DD2 depremi dikkate alınarak gerçekleştirilmiştir. Depremselliği görece yüksek bir konumdan kısa periyot ve 1 saniye periyot ivmeleri  $S_{DS} = 1.444 g$  ve  $S_{DI} = 0.495 g$  şeklinde elde edilmiştir. Bölgenin zemin sınıfı C olarak kabul edilmiştir. Bu parametrelerle elde edilen elastik tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de düz siyah çizgi ile gösterilmiştir. Tasarım ivme spektrumunun köşe periyotları TBDY 2018'de verilen ilgili ifadelerden  $T_A = 0.069 s$  ve  $T_B = 0.343 s$  olarak hesaplanır. Bina önem katsayısı tüm binalar için  $I = 1.0$ 'dir.



Şekil 2. Elastik tasarım ivme spektrumu ve azaltılmış tasarım ivme spektrumları

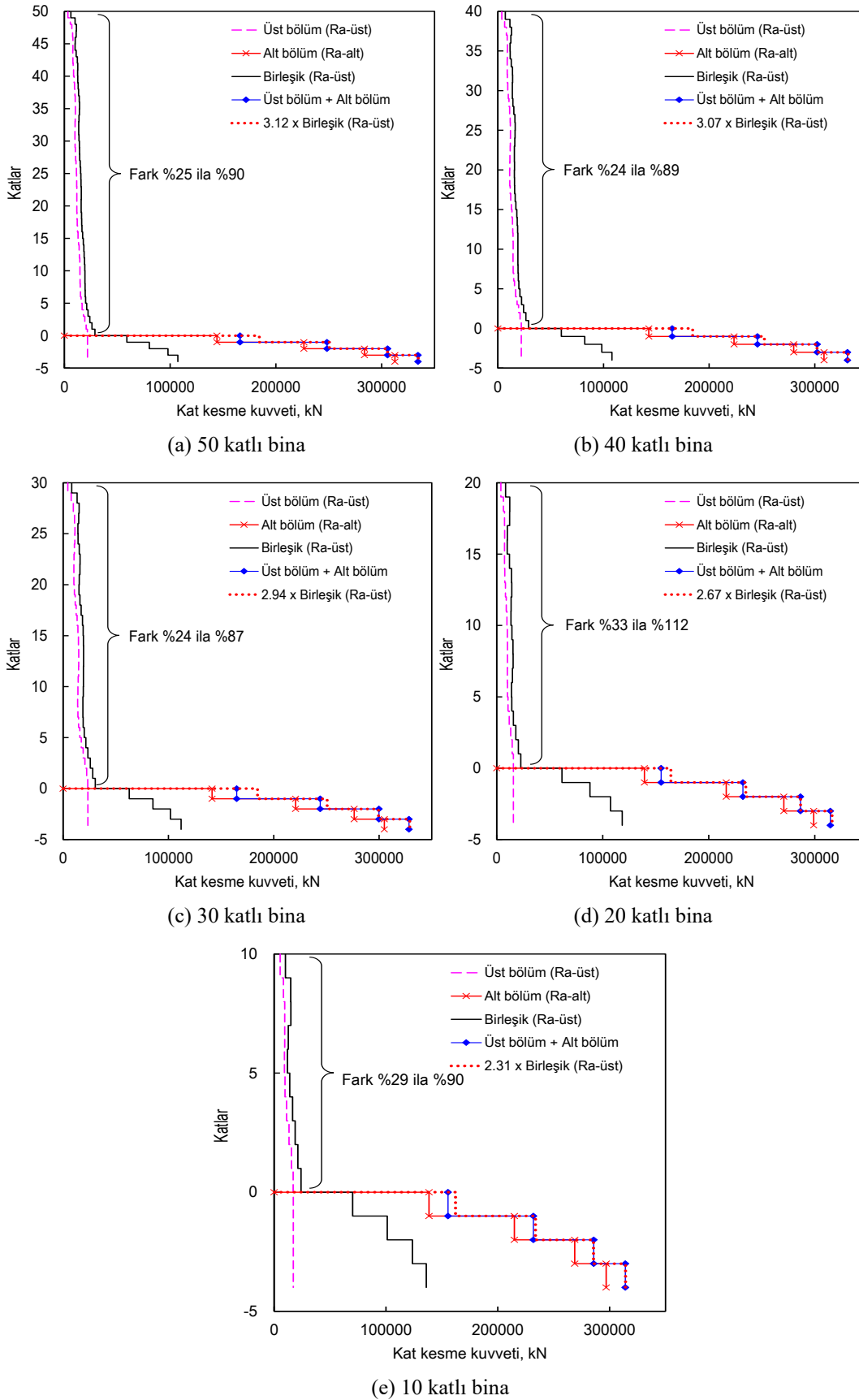
Binanın üst ve alt bölümleri için TBDY 2018'e göre elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumları da Şekil 2'de karşılaştırmalı olarak sunulmaktadır. Üst bölüm için  $R_{üst} = 6$  ve  $D_{üst} = 2.5$  alınması uygundur. Buna göre Denklem (1)'den  $R_a = 6$ ; Denklem (2)'den  $R_a = 3.2$  elde edilir. Bu deprem yükü azaltma katsayıları kullanılarak binanın üst bölümü için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de kırmızı kesik çizgiler ile gösterilmiştir. Benzer şekilde, binanın alt bölümü için ise  $R_{alt} = 2.5$  ve  $D_{alt} = 1.5$  alınır. Buna göre Denklem (1)'den  $R_a = 2.5$ ; Denklem (2)'den de  $R_a = 1.7$  elde edilir. Bu deprem yükü azaltma katsayıları kullanılarak elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu Şekil 2'de mavi noktalı çizgiler ile gösterilmiştir.

## 5. Sayısal Analiz ve Sonuçların Değerlendirilmesi

Sayısal analizler "Mod Birleştirme Analiz Yöntemi" kullanılarak ETABS (2016) programı ile gerçekleştirilmiştir. Öncelikle yukarıda özetlenen rijit bodrumlu binaların analiz aşamalarına göre birinci durum deprem yüklemesi yapılmıştır. Bu durumda binanın üst bölümü kütleli, alt bölümü kütleli olarak Şekil 2'de üst bölüm için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu yardımıyla modal analiz yapılmıştır. Daha sonra ikinci durum deprem yüklemesi yapılmıştır. Bu durumda ise binanın üst bölümü kütleli, alt bölümü kütleli olarak Şekil 2'de alt bölüm için elde edilen azaltılmış tasarım ivme spektrumu yardımıyla modal analiz yapılmıştır. Bu iki analizden elde edilen kat kesme kuvvetleri Şekil 3'te tüm binalar için ayrı ayrı gösterilmiştir.

Alt bölümün tasarımı için birinci aşamada üst bölümde elde edilen deprem kuvvetleriyle birlikte düşey kuvvetlerin de eleman bazında alt bölüme aktarılması gerekir. Uygulamada çok sayıda yük kombinasyonu söz konusu olacağı için bir modelden diğer modele eleman bazında yük aktarmak zaman alıcı bir işlemdir. Ayrıca bu aşamanın karmaşık olması nedeniyle hataya mahal verilmesi de olasıdır. Aşağıda bu zorlukları aşmak ve olası hataların önüne geçmek için üst ve alt bölümün kendi kütleleriyle analize dahil edileceği birleşik modele dayalı bir yöntem önerilecek ve sonuçları Şekil 3'deki iki aşamalı analiz sonuçları ile karşılaştırmalı olarak sunulacaktır. Yönetmeliğin öngördüğü ve yukarıda açıklanan iki aşamalı dinamik yüklemeye ek olarak, üçüncü aşamada binanın üst ve alt bölümü kendi kütleleriyle üst bölüm için elde edilen azaltılmış ivme spektrumuna göre modal analize tabi tutulur. Birinci ve ikinci aşama yüklemesiyle üst bölüm ve alt bölüm için elde edilen tasarım kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranı elde edilir. Bu oran her katta farklı olabilir; ancak basitlik için alt bölümde elde edilen oranların maksimumu alt bölüm için, üst bölümde elde edilen oranların maksimumu üst bölüm için kullanılabilir. Üçüncü aşama analizinden elde edilen deprem kuvvetleri veya kat kesme kuvvetleri, yukarıda açıklanan kat kesme kuvveti oranlarıyla büyütülerek veya azaltılarak üst bölüm ve alt bölüm için farklı yük kombinasyonları tanımlanabilir. Bu şekilde birleşik model üzerinden farklı yük kombinasyonlarıyla üst bölüm ve alt bölümün tasarımı mümkün olacaktır.

Birleşik model üzerindeki yük kombinasyonları sünek ve sünek olmayan davranışa göre yapılacak tasarım konuları için ayrı ayrı oluşturulmalıdır. Bu çalışmada sayısal analize tabi tutulan binalar için kullanılacak kombinasyon büyütme katsayıları Şekil 3'te gösterilmiştir. Şekil 3a'da verilen 50 katlı binanın kat kesme kuvvetleri grafiğinde, birinci aşama analizinden elde edilen üst bölüm taban kesme kuvveti, ikinci aşama analizinden elde edilen bodrum kat kesme kuvvetleriyle toplanarak "Üst bölüm + Alt bölüm" lejantıyla gösterilmiştir. Bu toplam alt bölüm kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen alt bölüm kat kesme kuvvetlerine oranı 2.31 ila 3.12 arasında elde edilmiştir. Şekil 3a'da üçüncü aşama analizinden elde edilen alt bölüm kat kesme kuvvetleri 3.12 katsayısıyla büyütülerek noktalı kırmızı çizgiyle gösterilmiştir. Burada not edilmelidir ki, Şekil 3'de alt yapı için elde edilen oranlar ile bu kısmın tasarımına yönelik olarak önerilen yöntemin sonuçları verilmektedir. Bu şekilde üst bölüm ve alt bölümün kütlelerinin dikkate alındığı birleşik model üzerinde TBDY 2018'in gerekli kıldığı deprem kuvveti şartları yerine getirilmiştir.



Şekil 3. Rijit bodrumlu binaların kat kesme kuvvetleri

Şekil 3a'da verilen 50 katlı binanın üst bölüm kat kesme kuvvetleri incelendiğinde ise, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden %25 ila %90 oranında büyük olduğu görülür.

Birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetleri %25 oranında azaltılarak tasarımda kullanılabilir. Ancak, üst ve alt yapıların dinamik yüklemeler altında bir bütün olarak davranacağı da göz önüne alınarak, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin tasarımda azaltılmadan kullanılması güvenli tarafta kalınması açısından daha uygun ve yerinde olacaktır. Ayrıca, bu çalışmada önerilen birleşik model yöntemi kullanılmasa dahi, tüm binanın gerçek kütleleriyle modellenerek özellikle üst bölüm davranışının incelenmesi gerektiği görülmektedir. Zira burada sayısal analize tabi tutulan binalarda görüldüğü üzere, taşıyıcı sistemi düzenli sayılabilecek binalarda birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetleri birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden büyük elde edilmiştir. Ancak farklı binalarda bunun aksi gerçekleşirse TBDY 2018 şartlarını yerine getirmek için, birleşik model kat kesme kuvvetlerinin büyütülmesi gerektiği açıktır.

Yukarıda verilen değerlendirmeler kat kesme kuvvetleri Şekil 3b – e’de verilen diğer binalar için de geçerlidir. Öz bir anlatım gözetilerek ayrıca detaya girilmemiştir. Görüldüğü gibi alt bölümde birleşik model kat kesme kuvvetine uygulanacak büyütme katsayıları bina kat sayısı azaldıkça küçülmektedir. Üst bölüm kat kesme kuvvetlerindeki fark değerlerinde ise bina kat sayısına bağlı olarak düzenli ve dikkate değer bir değişim gözlenmemiştir.

## 6. Sonuç ve Öneriler

Rijit bodrumlu binaların analiz ve tasarımı, bu çalışmada önerilen üst ve alt bölümün gerçek kütleleriyle dikkate alındığı birleşik model üzerinden TBDY 2018 şartları yerine getirilerek etkili bir şekilde yapılabilir. Bu çalışmada önerilen yöntemle göre TBDY 2018’de verilen iki aşamalı yükleme durumuna ek olarak, üçüncü aşamada binanın üst ve alt bölümü kendi kütleleriyle üst bölüm için elde edilen azaltılmış ivme spektrumuna göre modal analize tabi tutulmaktadır. İlave bir analiz yapılmakla birlikte, önerilen yöntem ile farklı aşamaların analiz sonuçlarının birleştirilmesi aşamasındaki karmaşa ve olası hatalar bertaraf edilmektedir. Birinci ve ikinci aşama yüklemesiyle üst bölüm ve alt bölüm için elde edilen tasarım kat kesme kuvvetlerinin, üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerine oranı elde edilmektedir. Üçüncü aşama analizinden elde edilen kat kesme kuvvetleri, yukarıda açıklanan kat kesme kuvveti oranlarıyla büyütülerek veya azaltılarak üst bölüm ve alt bölüm için farklı yük kombinasyonları tanımlanabilir. Bu şekilde birleşik model üzerinden farklı yük kombinasyonlarıyla üst bölüm ve alt bölümün tasarımı mümkün olacaktır. Bu çalışmada gerçekleştirilen sayısal analizlerden alt bölümde birleşik model kat kesme kuvvetine uygulanacak büyütme katsayıları 50, 40, 30, 20 ve 10 katlı binalar için sırasıyla 3.12, 3.07, 2.94, 2.67 ve 2.31 olarak elde edilmiştir. Bu katsayılar farklı binalarda farklı şekilde elde edilebilir.

Bu çalışmada Mod Birleştirme Yöntemi ile analize tabi tutulan binalarda birleşik modelden elde edilen üst bölüm kat kesme kuvvetlerinin, birinci aşama üst bölüm analizinden elde edilen kat kesme kuvvetlerinden büyük olduğu görülmüştür. Bu sonuca dayalı olarak güvenli tarafta kalmak amacıyla, birleşik modelden elde edilen kat kesme kuvvetlerinin tasarımda azaltılmadan kullanılması önerilir. Çünkü tasarımda alt ve üst kısımların ayrı modellenip analiz edilmesi yönetmelikçe benimsenmiş olsa da yapı dinamik yüklemeler altında bir bütün olarak davranacaktır. Ayrıca, bu çalışmada önerilen birleşik model yöntemi kullanılmasa dahi, tüm binanın gerçek kütleleriyle modellenerek üst bölüm davranışının incelenmesi önerilir. Zira incelenen binaların analiz sonuçlarından da görüldüğü üzere tasarımda esas alınacak olan kat kesme kuvvetlerinde farklılıklar ortaya çıkmaktadır.

## Referanslar

- CSI ETABS (2016). Extended 3D analysis of building systems, Nonlinear V. 16. Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA.
- DBYBHY – Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (2007). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Ankara.
- Jeong, S. Y., Kang, T. H. K., Yoon, J. K., Klemencic, R. (2020). Seismic performance evaluation of a tall building: Practical modeling of surrounding basement structures, *Journal of Building Engineering*, Volume 31, <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2020.101420>.
- Naeim, F., Tileylioglu, S., Alimoradi, A., Stewart, J. P. (2008). Impact of foundation modeling on the accuracy of response history analysis of a tall building, *SMIP08 Seminar Proceedings*, California.
- Öztürk, B. (2006). Dynamic Analysis and The Resulting Nonlinear Response of Building Structures Located in Seismically Active Regions in Turkey, Paper No. 078, 4th International Conference on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.
- TBDY – Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018). Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Türkiye Cumhuriyeti İçişleri Bakanlığı, Ankara.
- TS 500 (2000). Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.
- Tura, C., Orakcal, K. (2019). Earthquake response analysis of multiple towers on a common podium: a representative case study, *Tek. Dergi* 30 (6) (2019) 9647–9673.
- Zhou, Y., Chen, P., Wang, C., Zhang, L., Lu, L. (2018). Seismic performance evaluation of tall, multitower reinforced concrete buildings with large bottom podiums, *Struct. Concr.* 19 (6) (2018) 1591–1607.