

KAYA VE ALÜVYON ORTAMLARDA İNŞAA EDİLMİŞ BİNALARIN YÜKSEKLİĞİ İLE YER ORTAMININ DEPREM ETKİSİNDE İLİŞKİSİ: KOCAELİ GEBZE ÖRNEĞİ

Effect of Soil on Height of Building under Eartquake Effects in Rock and Alluvium Grounds:
Kocaeli Gebze Model

Seda ŞELENBAŞ*

ÖZET

Bu çalışmada, deprem etkisinde bulunan farklı yükseklikteki binaların davranışında etken olan zemin türleri için farklı bina modellerinin yapı analizleri yapılarak zemin ve yapı doğal periyotları karşılaştırılmış ve zeminin bina yüksekliğine etkisi incelenmiştir. Kocaeli bölgesinde kaya ve alüvyon ortamlarda yapılan saha çalışmalarından elde edilen zemin parametreleri ile farklı yükseklikte modellenen binaların yapısal çözümlemesi yapılmıştır. Bina modellerinin farklı zemin türleri üzerindeki davranışı, Sta4CAD V13.1 paket programı yardımıyla analiz edilmiştir. Yapı analizinden elde edilen bina doğal periyotları ve tasarım spektrumları ile arazi çalışmalarına ait zemin hakim titreşim periyotları sonuçları karşılaştırılarak zemin türünün bina yüksekliğine etkisi irdelenmiş, bina modellerindeki hasar riskleri yorumlanmıştır.

ABSTRACT

In this study, the effects of local soil conditions on earthquake motions, soil amplification, soil- structure interaction, earthquake-damage intensity relation, determining soil parameters and design response spectrum criteria given in the Turkish specifications for structures to be built in disaster areas (2007) are explained. Building models on different heights are designed by using soil parameters provided by geophysical methods in rock and alluvium environments on district of Turkey. The behaviour of building models based on soil structure has analyzed with Sta4CAD V13.1 program. The building period and design response spectrum obtained from structural analysis compared with soil predominant period provided with site works, the effects of soil classification on height of building has examined and soil-structure interaction has interpreted.

GİRİŞ

Ülkemiz genelinde geçmişten günümüze kadar olan doğal afetler ve afetlerin bıraktığı hasarlar incelendiğinde depremler ilk sırada yer almaktadır. Bilindiği gibi yurdumuz dünyanın en aktif deprem kuşaklarından birinin üzerinde bulunmaktadır. Geçmişte yurdumuzda birçok yıkıcı depremler olduğu gibi, gelecekte de sık sık olacağı bir gerçektir. Bu amaçla, depremlerde büyük can ve mal kayıplarının yeniden yaşanmaması için zemin türüne en uygun yapı tasarımı geliştirilmelidir. Yaşanılan depremlerin binalar üzerinde bıraktığı hasarlar incelendiğinde deprem etkisinde zeminin davranışı aktif rol aldığı gözlenmektedir.

Günümüzde projelendirme aşamasında zemin yapısı ve yapı modeli tanımlanarak deprem etkisindeki binanın davranışı öngörülebilmektedir. Zemine ait parametrelerin belirlenebilmesi için arazi ve laboratuvar ortamlarında uygulanmak üzere jeofizik yöntemlere başvurulmaktadır. Jeofizik yöntemler sayesinde belirlenen bina temelinin oturacağı zemin sınıfı, zemin taşıma kapasitesi ve diğer karakteristik özellikler zemine uygun bir yapı tasarımındaki en önemli adımı oluşturmaktadır.

* Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, KOCAELİ
e-mail: sedpatkav@gmail.com

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının deprem etkisinde oluşan yüklere karşı koyabilecek özelliklere sahip olması ve ortaya çıkacak hasarın sınırlandırılması hedeflenmektedir. Bu hususta, farklı zemin koşullarında, bir depremin yapılar üzerindeki etkisi incelenerek yapı hasarı en aza indirgenebilmektedir.

Bu çalışmada, zemin türünün belirlenmesi, farklı zemin türleri için farklı yükseklikte bina modellerinin tasarlanması ve yapısal analiz ile deprem davranışlarının incelenmesi, zemin yapı etkileşimi ve deprem hasar ilişkisi ortaya konmuştur. Öncelikle 1 kat, 5 kat ve 10 katlı bir bina modeli oluşturularak kaya ve alüvyon ortamlarda saha çalışmaları yapılmıştır. Elde edilen killi formasyon, killi kireçtaşı, ana kaya ve dolgu zemin türleri üzerinde 12 farklı model yapısı çözümlenmiştir. İkinci analiz çalışması olarak 6 katlı bir bina modeli için DBYBHY' de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları kullanılarak 4 farklı model analizi yapılmıştır. Yapısal çözümlenmeler Sta4CAD V13.1 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılan çözümlenmelerden elde edilen bina doğal periyotları ile zemin hakim periyotları karşılaştırılarak zemin türünün bina yüksekliğine etkisi irdelenmiş, zemin-yapı ilişkisi ve hasar riskleri yorumlanmıştır.

Önceki çalışmalara göre Livaoğlu ve Doğançün (2002) tarafından deprem yönetmeliklerinde verilen zemin sınıflarına göre yapı davranışlarının karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla yapılan araştırmada, zemin sınıflarının ve bunlara ilişkin parametrelerin yapı davranışını ne şekilde ve hangi oranlarda etkilediği incelenmiştir. Çalışmaya konu olan DBYBHY (2007) ve Eurocode-8' de tanımlanan 7 farklı zemin sınıfının 6 ve 12 katlı yapı modelleri için Sap2000 paket programı ile deprem hesabı gerçekleştirilmiştir. Kısa periyotlu yapılar ($T \leq 0,9$ s) için Eurocode-8' den elde edilen ivme spektrumu değerleri Türk Deprem Yönetmeliği' nden elde edilen değerlere göre daha büyük olduğu tespit edilmiştir. 6 ve 12 katlı yapılar karşılaştırıldığında periyot uzadıkça Eurocode-8' de daha büyük ivme tepkileri elde edildiği ve uzun periyotlu yapılarda meydana gelen kolon kesme kuvvetlerinin arttığı ortaya konmuştur.

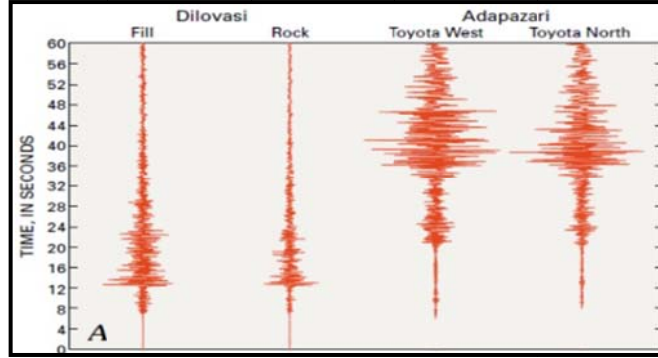
Tezcan ve diğ. (2002) tarafından İstanbul'un Avcılar ilçesi için dalga büyütmesinin incelenmesi amacıyla yapılan araştırmada, 1999 Kocaeli Depremi merkez üssüne 120 km uzaklıkta olan Avcılar bölgesinde üç hâkim titreşim periyodu 1,60 s, 1,0 s ve 0,70 s kullanılarak dalga büyütmeleri karşılaştırılmıştır. Bu bölgede meydana gelen en büyük hasarın 5 ile 8 kat yüksekliğindeki binalarda görülmesinin nedenleri, yüksek periyotlu deprem dalgalarına ve zemin büyütmesinden kaynaklanacağı ortaya konmuştur. Özellikle doğal periyodu 1,60 – 1,70 s olarak tasarlanacak binalarda o bölgedeki zemin büyütmesi ve rezonans etki sebebiyle ağır hasarların görülebileceği öngörülmüştür.

YEREL ZEMİN KOŞULLARININ DEPREM HAREKETİNE ETKİSİ

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY) 2007' de depreme dayanıklı yapı tasarımı için gerekli olan tasarım ivme spektrumu, yerel zemin koşulları göz önünde bulundurularak belirlenmektedir. Kuvvetli yer hareketinin genlik, frekans içeriği ve süreden oluşan önemli özelliklerinin tamamı yerel zemin koşullarından önemli derecede etkilenmektedir. Bunların etki derecesi, yeraltındaki birimlerin geometrisi ve litolojik özellikleri, inceleme alanının topografyası ve girdi hareketinin özelliklerine bağlıdır.

Bir deprem oluştuğundan sonra, deprem odağından yayılan sismik dalgalar, ilerledikleri ortamlar boyunca kırılır ve yansımalarla uğrayarak yeryüzüne ulaşırlar. Sismik dalgaların ilerlemeleri sırasında içlerinden geçtikleri tabakalar arasındaki empedans farklılıkları nedeniyle genlikleri değişir. Buna bağlı olarak deprem hareketinin şiddeti, periyodu ve süresinde artış görülür. Genç çökellerle dolan alüvyon havzalar cisim dalgalarını hapsederek alüvyon içinde yüzey dalgalarının oluşmasına neden olmaktadır (Kramer, 1996). Bu nedenle bu tür potansiyele sahip bölgelerin

belirlenmesi ve incelenmesi gerekmektedir. Deprem esnasında gevşek ve sıkışmamış zeminler, zemin hakim titreşim periyotlarını büyütürken deprem sarsıntısını dolayısıyla depremin yıkıcı etkisini artırır (Şekil 1). Bu durum sonucunda deprem esnasında bu tür zemin üzerindeki binada depremin yıkıcı etkisi, diğerlerinden birkaç misli büyük olur.



Şekil 1. Yerel zemin koşullarının yer hareketi üzerindeki etkisi (Öncel, 2015)

Figure 1. Effect of local soil conditions on ground motion (Öncel, 2015)

ZEMİN BÜYÜTMESİ

Yüzeyle yakın zemin tabakalarından geçerken deprem dalgalarının genliklerinde meydana gelen artış zemin büyütmesi olarak bilinmektedir. Depremler sırasında bir kaynaktan açığa çıkan enerjinin neden olduğu sismik hareketler dalga yayılma yolu, jeolojik ve yerel zemin koşulları tarafından değişikliğe uğrarlar. Ana kayadan zemin yüzeyine doğru hareket eden dalgaların süre, frekans ve genliklerinde önemli değişimler olabilmektedir. Deprem gibi tekrarlı yükler altında sivilaşma, oturma ve şev stabilitesi gibi olguların ortaya çıkması için özel zemin koşulları gerekirken, zemin büyütmesi hemen her depremde meydana gelebilmekte ve yapısal hasar dağılımında önemli rol oynamaktadır.

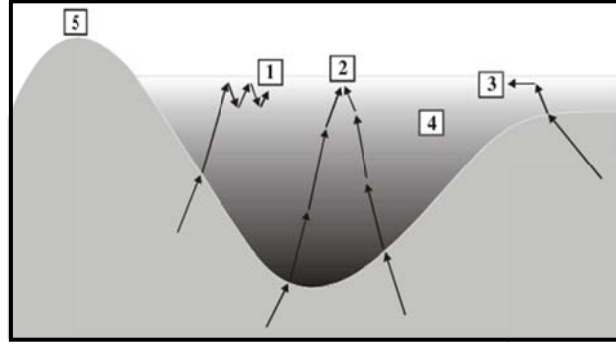
Zemin Büyütmesine Etki Eden Faktörler

Yer içinde bir deprem meydana geldiğinde, sismik dalgalar kaynaktan yola çıkarlar ve yer içinde hızla yayılırlar. Bu dalgalar yer yüzeyine eriştiklerinde birkaç saniyeden dakikalara varan sürelerde titreşimler üretirler. Belirli bir yerdeki titreşimin süresi ve şiddeti, deprem kaynağına olan uzaklığa, depremin büyüklüğüne ve o yerin zemin özelliklerine bağlıdır. Sismik dalgalar kaynaktan yeryüzüne kadar olan seyahatlerinin büyük bir bölümünü yer kabuğunu oluşturan sert kaya içinde geçirmelerine karşın, seyahatlerinin son bölümü özellikleri kayaya göre oldukça farklı olan yumuşak zemin tabakaları içinde geçer ve bu zemin tabakalarının özellikleri yeryüzünde gözlenen titreşimin doğasını büyük ölçüde belirler (Kurtuluş, 2007).

Zemin tabakaları, sismik dalgalar için adeta bir süzgeç gibidir. Bazı frekanslardaki sismik dalgalar sönmümlendirilirken bazıları da büyütülür. Sismik dalgaların zemin tabakaları içinde geçirdiği değişimlerin tümüne lokal zemin etkisi adı verilir. Genellikle bu değişim genliklerin artması şeklinde gözlemlendiğinden lokal zemin etkisi terimi zemin büyütmesi veya zemin transfer fonksiyonu, zemin tepkisi olarak da adlandırılır (Yalçınkaya, 2002).

Zemin büyütmesini etkileyen faktörler beş başlıkta sıralanabilir (Şekil 2);

1. Empedans oranı ve rezonans etkisi
2. Basen altı topoğrafyasına bağlı olarak oluşan odaklanma
3. Basen kenarlarından oluşan yüzey dalgaları
4. Doğrusal olmayan zemin davranışı
5. Topoğrafya etkisi



Şekil 2. Zemin büyütmesini etkileyen faktörler (Yalçınkaya, 2002)
Figure 2. Factors of soil amplification (Yalçınkaya, 2002)

ZEMİN YAPI ETKİLEŞİMİ

Zemin ve zemin içerisinde temeli olan taşıyıcı sistem, birbirleri ile karşılıklı etkileşim içerisinde. Aynı yapının düşük dayanımlı bir zemine oturması halinde göstereceği tepki ile dayanımlı bir zemine oturması halinde göstereceği tepki farklı olacaktır. Her şeyden önce, temelin açık arazi hareketinden kaynaklanan deformasyonlara uyum gösterememesi; yapı tabanı hareketinin açık arazi hareketinden farklı olmasına neden olur. Ayrıca, yapının kendi dinamik tepkisi, alttaki zeminde deformasyona neden olur. Diğer bir ifadeyle zemin özellikleri, yapının dinamik hareketlerini etkilerken, yapının hareketleri de zeminin dinamik hareketlerini etkilemektedir. Teknik literatürde bu olaya yapı-zemin etkileşimi denilmektedir (Karabörk, 2005).

Depremlerin birçoğunda meydana gelen hasar ve can kaybının en önemli sorumlusu alüvyon yani daneli zeminlerdir. Alüvyon zeminlerin kalınlıkları deprem hasarlarını artırıcı yönde rol oynar. Meydana gelen depremlerde alüvyon kalınlığının az olduğu zeminlerde bina yıkılmaları çok az olurken, alüvyon kalınlığının yüksek olduğu zeminlerin üzerindeki binaların neredeyse tamamına yakınının depremden olumsuz etkilendiği ve yıkıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle depreme hassas bölgelerde yapılaşma ve imar konusunda alüvyon kalınlığının bilinmesi, buna göre yapılaşmanın yönlendirilmesi gereklidir (Karaman, 2016).

1985-Meksiko City depreminde, yerleşim bölgesinin altında çok yumuşak zemine dönüşmüş olan eski göl yatağı, uzun periyotlu yer hareketlerini büyütmüş ve maksimum tepkinin 2.0-2.5 saniyelik periyotlarda oluşmasına yol açmıştır. Bu depremde en büyük hasar, doğal titreşim periyotları büyük olan çok katlı yapılarda görülmüştür (Şekil 3). İncelemeler sonucu en büyük hasar ve göçmenin 20-25 katlı binalarda görüldüğü tespit edilmiştir. Şehrin kurulduğu zeminin yumuşak olması, ivme değerlerini büyük ölçüde artırmıştır (Güney, 2015). Bu örneğe bakıldığında zemin hakim periyodunun büyük olduğu durumlar için yüksek katlı yapılarda oluşabilecek hasarın zemin-yapı etkileşiminde büyük önem taşıdığı söylenebilir. Böyle bir yerde yapılacak yapıların doğal periyodunun düşük olması, hasar görme ve göçme riskini önemli ölçüde azaltır.



Şekil 3. 1985 Meksika depreminde hasar görmüş bir bina (Güney, 2015)
Figure 3. A damaged building in 1985 Mexico City earthquake (Güney, 2015)

DEPREM HASAR İLİŞKİSİ

Bilindiği gibi depremler, yapıya, zamana bağlı olarak değişen yüklerin etkimesine neden olurlar. Buna karşılık olarak da, yapıda zamana bağlı olarak değişen iç kuvvetler oluşur. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, sözü edilen bu iç kuvvetlerin etkisinde ortaya çıkması olası hasarın sınırlandırılmasıdır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımının temel ilkesi, DBYBHY 2007' de aşağıdaki gibi ifade edilmiştir;

- o Hafif şiddetteki depremlerde binalardaki yapısal ve yapısal olmayan sistem elemanlarının her hangi bir hasar görmemesi,
- o Orta şiddetteki depremlerde yapısal ve yapısal olmayan elemanlardaki hasarın onarılabılır düzeyde olması,
- o Şiddetli depremlerde ise can kaybını önlemek amacı ile kalıcı yapısal hasar oluşumunun sınırlandırılmasıdır.

Depremlerde yapısal hasara etki eden faktörler deprem, yerel zemin ve yapı özellikleri olarak 3 grupta tanımlanabilir. Depremler sırasında ortaya çıkan yapısal hasarı belirleyen en önemli faktörlerden biri de depremin büyüklüğü, süresi ve frekans içeriği gibi depreme ait özelliklerdir. Depremler, belirli bir bölgedeki yer hareketi buna sebep olan faylanmanın türü, özellikleri ve oluşan dalgaların içinde yayıldığı ortamın özelliklerinden de etkilenmektedir.

Marmara bölgesinde, 17 Ağustos 1999 tarihinde aletsel büyüklüğü Mw 7.4 olan yıkıcı bir deprem meydana gelmiştir. Odak merkezi Gölcük (Kocaeli) olan deprem bölgede çok ağır yapısal hasar meydana getirirken binlerce insanın ölümüne neden olmuştur. Depremde 20.000'den fazla insan hayatını kaybederken 30.000'den fazla insan yaralanmıştır. Aynı zamanda, depremin episantral alanında deprem sonrasında 90.000 dolayında ağır hasarlı, 80.000 dolayında orta hasarlı ve 2.500 dolayında hafif hasarlı bina bulunduğu saptanmıştır (Karaesmen, 2002).

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü Kriz Yönetim Merkezi' nden alınan bilgilere göre 1999 Kocaeli depreminde 66.441 konut ve 10.901 işyeri ağır hasara, 67.242 konut ve 9.927 işyeri orta hasara, 80.160 konut ve 9.712 işyeri hafif hasara uğramıştır. İzmit Körfezi depremi nedeniyle meydana gelen hasarın %48' i, orta hasarın %43' ü ve hafif hasarın %40' ı Kocaeli ilinde meydana gelmiştir (Özmen, 2000).

DBYBHY (2007) ZEMİN KOŞULLARININ BELİRLENMESİ

DBYBHY 2007' de yerel zemin koşullarının tanımlanması için esas alınan zemin grupları Çizelge 1' de, yerel zemin sınıfları ise Çizelge 2' de verilmiştir. Çizelge 1' deki zemin parametrelerine ilişkin değerler, zemin gruplarının belirlenmesinde yol göstermek üzere verilen standart değerlerdir.

Çizelge 1. Zemin grupları (DBYBHY 2007)

Table 1. Soil groups

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

Çizelge 1. Yerel zemin sınıfları (DBYBHY 2007)

Table 2. Local soil classes

Yerel Zemin Sınıfı	Çizelge 1' e Göre Zemin Grubu ve En üst Zemin Tabakası Kalınlığı (h ₁)
Z1	(A) grubu zeminler h ₁ ≤ 15 m olan (B) grubu zeminler
Z2	h ₁ > 15 m olan (B) grubu zeminler h ₁ ≤ 15 m olan (C) grubu zeminler
Z3	15 m < h ₁ ≤ 50 m olan (C) grubu zeminler h ₁ ≤ 10 m olan (D) grubu zeminler
Z4	h ₁ > 50 m olan (C) grubu zeminler h ₁ > 10 m olan (D) grubu zeminler

DBYBHY (2007) TASARIM SPEKTRUMU

Tasarım spektrumları yeni yapıların tasarımında kullanılacak deprem yükünü belirlemede kullanılır. Başka bir deyişle, tasarım spektrumu, kaydedilmiş bir deprem için değil, gelecekte ortaya çıkması olası depremler için belirlenir.

Deprem yüklerinin belirlenmesi için esas alınacak olan Spektral İvme Katsayısı, $A(T)$, yapının periyoduna karşı gelen spektrum katsayısı $S(T)$, bölgedeki deprem tehlikesini gösteren etkin yer ivme katsayısı A_0 , ve binanın kullanım türüne göre değişen bina önem katsayısı I , çarpılarak bulunur. %5 sönüm oranı için tanımlanan Elastik İvme Spektrumu'nun ordinatı olan Elastik Spektral İvme, $S_a(T)$, Spektral İvme Katsayısı ile yerçekimi ivmesi g ' nin çarpımına karşı gelmektedir.

$$A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T) \quad (1)$$

$$S_a(T) = A(T) \cdot g \quad (2)$$

Etkin Yer İvme Katsayısı A_0

Bağıntı (1)' de yer alan etkin yer ivme katsayısı A_0 , deprem bölgelerine bağlı bir katsayıdır. DBYBHY (2007)' de tanımlanan A_0 , Çizelge 3' de verilmiştir.

Çizelge 3. Etkin yer ivme katsayısı (DBYBHY, 2007)

Table 3. Effective ground acceleration coefficient

<i>Deprem Bölgesi</i>	<i>A_0</i>
1	0.40
2	0.30
3	0.20
4	0.10

Spektrum Katsayısı $S(T)$

Bağıntı (1)' de yer alan Spektrum Katsayısı $S(T)$, yerel zemin koşullarına ve bina doğal periyodu T ' ye bağlı olarak Bağıntı (3), (4) ve (5) ile hesaplanmaktadır.

$$S(T) = 1 + 1.5 \frac{T}{T_A} \quad (0 \leq T \leq T_A) \quad (3)$$

$$S(T) = 2.5 \quad (T_A \leq T \leq T_B) \quad (4)$$

$$S(T) = 2.5 \left(\frac{T_B}{T} \right)^{0.8} \quad (T_B < T) \quad (5)$$

Bağıntı (3), (4) ve (5)' deki spektrum karakteristik periyotları, T_A ve T_B , yerel zemin sınıflarına bağlı olarak Çizelge 4' de verilmiştir.

Çizelge 4. Spektrum karakteristik periyotları (DBYBHY, 2007)

Table 4. Spektrum karakteristik periyotları (DBYBHY, 2007)

Çizelge 2' ye göre Yerel Zemin Sınıfı	T _A (s)	T _B (s)
Z1	0.10	0.30
Z2	0.15	0.40
Z3	0.15	0.60
Z4	0.20	0.90

YAPILAN PARAMETRİK ÇALIŞMA: MODELLEME ve ANALİZLER

Bilindiği gibi depreme dayanıklı yapı tasarımındaki amaç deprem etkisinde bir yapıda oluşabilecek hasarı en aza indirmektir. Bu amaçla zemin ve yapı özellikleri tanımlanan modelin yapı analizi yapılarak bu yapının deprem etkisindeki davranışı öngörülebilmektedir. Bu çalışma 2 adımda aşağıdaki gibi sıralanabilir;

- o Zemin parametrelerinin belirlenmesi
- o DBYBHY (2007)' e göre bina modellenmesi ve analiz

Bu çalışmada kullanılan zemin parametreleri sahada yapılan jeofizik çalışmalar ve laboratuvar çalışmaları sonucu elde edilmiştir. Binanın modellenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Yapısal çözümler ise Sta4CAD V13.1 paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Mevcut yönetmeliğe uygun olarak tasarlanmış betonarme proje, zemin türünün farklı yüksekliklerdeki bina modelleri için değişimini incelemek üzere Sta4CAD programı ile yapısal analizleri yapılmıştır.

Sta4Cad Programı

Sta4CAD, inşaat mühendisliği alanında sık kullanılan bir tasarım ve analiz programıdır. Sta4-CAD program, çok katlı betonarme yapıların statik, deprem, rüzgar ve betonarme analizini entegre olarak yapan bir paket programdır. Program, statik ve betonarme analizleri, standart ve yönetmelikleri esas alacak şekilde yapabilmektedir (Torkan ve Amasralı, 2014).

Zemin Model Parametrelerinin Belirlenmesi

Bu çalışmada, Kocaeli ili, Gebze ilçesinin farklı bölgelerinde yapılmış jeoteknik ve jeofizik çalışmalar ile hazırlanan zemin araştırma raporlarındaki mühendislik parametreleri kullanılarak deprem koşullarında zeminin bina yüksekliğine olan etkisi irdelenmiştir. İnceleme alanında ayrıntılı jeoteknik (temel araştırma sondaj çalışmaları ve laboratuvar deneyleri) ve jeofizik çalışmalar (sismik kırılma, düşey elektrik sondaj) yapılmıştır. Elde edilen veriler yardımıyla çalışma alanında temelin kazılacağı örtü tabakasının, doğal şartlar altında dinamik yöntemle tespit edilebilen fiziksel ve elastik parametrelerine ulaşılmıştır.

Bu kapsamda, kaya ve alüvyon ortamı temsil eden, 4 farklı zemin araştırma raporuna ait veriler, çalışma 1 için bina model analizlerinde kullanılacak olan zemin parametreleri Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 olarak tanımlanmıştır (Çizelge 5).

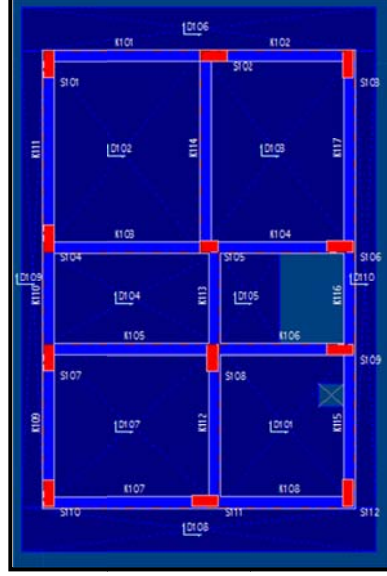
Çalışmada 2 farklı kalıp planı kullanılarak, saha çalışmasından elde edilen kaya ve alüvyon ortamlardaki 4 farklı zemin modeli ve DBYBHY (2007)' de tanımlanan 4 yerel zemin sınıfı dikkate alınarak 2 farklı analiz çalışması yapılmıştır.

Modelleme Aşaması

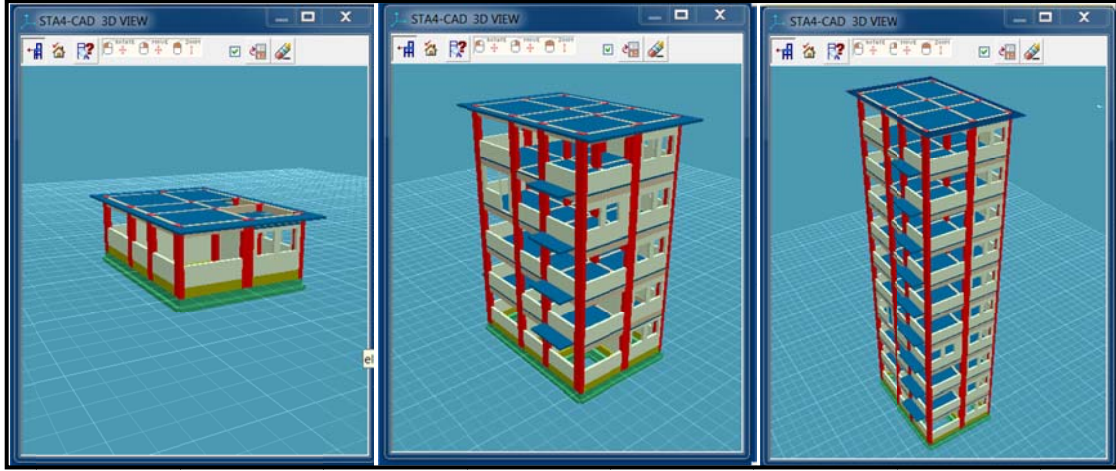
Çalışma 1: Çizelge 5' de belirtilen 4 farklı zemin modeli için 1 katlı, 5 katlı ve 10 katlı bina modelleri için 12 adet model geometrisi oluşturulmuş ve Sta4CAD paket programı ile analiz edilmiştir. Analizde kullanılan kalıp planı (Şekil 4), 1, 5 ve 10 katlı olarak modellenmiş ve üç boyutlu modelleri Şekil 5' de verilmiştir.

Çizelge 5. Zemin model parametreleri
Table 5. Model parameters of soil

Zemin Parametreleri	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Zemin emniyet gerilmesi (q) (kg/cm ²)	2.1	1.25	2.2	1.25
Zemin hakim titreşim periyodu (T ₀) (s)	0.38	0.58	0.37	0.57
Zemin yatak katsayısı K (ton/m ³)	4325	1856	3460	2172
Deprem bölgesi	1. Derece	1. Derece	1. Derece	1. Derece
Zemin grubu	B grubu	C grubu	B grubu	C grubu
Zemin sınıfı	Z2	Z3	Z2	Z3
Bina önem katsayısı	1.0	1.0	1.0	1.0
Etkin yer ivme katsayısı	A ₀ >4.0g	A ₀ >4.0g	A ₀ >4.0g	A ₀ >4.0g
Spektrum karakteristik periyotları (s)	T _a :0.15–T _b :0.40	T _a :0.15–T _b :0.60	T _a :0.15–T _b :0.60	T _a :0.15–T _b :0.60
Litoloji	Killi kireçtaşı	Çakıl-kum dolgu	Killi kireçtaşı	Kil

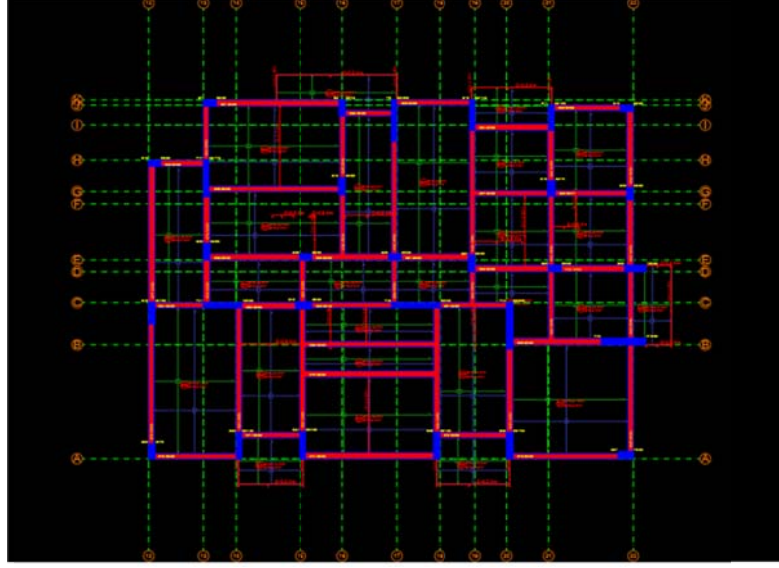


Şekil 4. Çalışma 1 için model bina kalıp planı (1, 5 ve 10 katlı bina modeli)
Figure 4. Plan for model buildings (1-storey, 5-storey, 10-storey building models)



Şekil 5. Üç boyutlu bina modelleri (1, 5, 10 kat)
Figure 5. 3D building models (1-storey, 5-storey, 10-storey)

Çalışma 2: Şekil 6’ de kalıp planı verilen bina, 6 katlı olarak modellenmiş ve modelin farklı zemin grupları için yapısal çözümlemesi Sta4CAD paket programı ile gerçekleştirilmiştir. Model üzerinden Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıfları ile 4 adet model geometrisi oluşturulmuş ve analiz edilmiştir.



Şekil 6. Çalışma 2 için Model bina kalıp planı (6 katlı bina modeli)
Figure 6. Plan for model building (6 storey)

6 katlı yapı modeli için zemin sınıfları değiştirilerek spektrum katsayılarının değişimi incelenmiştir. Spektrum katsayısına bağlı olarak DBYBHY (2007)' e göre eşdeğer deprem yükü yöntemiyle hesabı yapılmış ve binaya etkileyen yükler karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır.

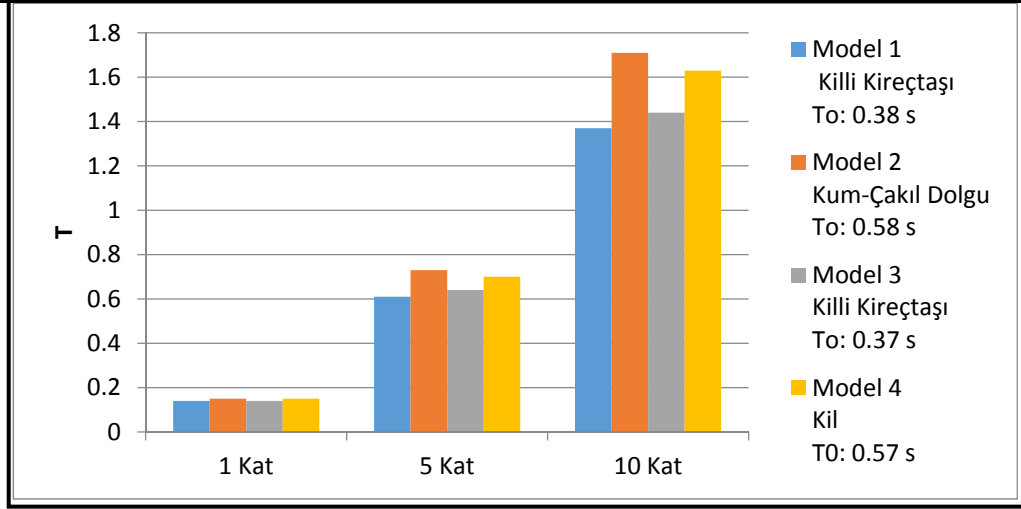
Çalışma 1 Analiz Aşaması

Çalışma 1'de 1, 5 ve 10 katlı binaların 4 farklı yer ortamındaki tepkilerini irdelemek üzere 12 adet model analizi yapılmıştır. Yapı analizi sonucu elde edilen bina doğal periyotları zemin hakim periyot değerleri ile karşılaştırmalı olarak yorumlanmıştır (Çizelge 6).

Çizelge 6. Modellerin zemin hakim periyotları ile bina doğal periyotlarının karşılaştırması
Table 6. Comparison of building natural periods with soil predominant periods of soil models

	Zemin Hakim Titreşim Periyodu (s)	1 Katlı Bina Tasarım Spektrumu (s)	5 Katlı Bina Tasarım Spektrumu (s)	10 Katlı Bina Tasarım Spektrumu (s)
Model 1	0.38	0.14	0.61	1.37
Model 2	0.58	0.15	0.73	1.71
Model 3	0.37	0.14	0.64	1.44
Model 4	0.57	0.15	0.7	1.63

Yapı analizi sonucu elde edilen bina doğal periyotlarının yer ortamı ve bina kat yüksekliğine bağlı değişimleri grafiksel olarak ele alınmıştır. Bina doğal periyotları ile Model 1, Model 2, Model 3 ve Model 4 için oluşturulmuş tasarım spektrum grafiği Şekil 7' de verilmiştir.



Şekil 7. Yer ortamı ve bina kat yüksekliğine bağlı değişen bina doğal periyotlarının karşılaştırılması

Figure 7. Comparison of building natural periods based on ground type and building height

4 farklı yer ortamı modeli için, bina yüksekliğine bağlı yapılan statik analizlerde, bina doğal periyotları karşılaştırıldığında, zemin hakim titreşim periyodunun yüksek olduğu modellerin düşük hakim periyotlu yer ortamlarına göre artmakta ve kat yüksekliği arttıkça bu oranın daha da yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.

Çalışma 2 Analiz Aşaması

Çalışma 2 için Şekil 6' da kalıp planı verilen binanın 6 katlı modeli oluşturulmuş ve yerel zemin sınıfları Z1, Z2, Z3 ve Z4 için 4 farklı yapısal çözümleme yapılmıştır. Analizlerden elde edilen spektrum katsayıları ile spektrum eğrileri oluşturulmuş ve yerel zemin sınıfına bağlı spektrum katsayıları ilişkisi irdelenmiştir. 6 katlı bina modelinin 4 farklı analizi sonucu elde edilen spektrum katsayıları karşılaştırmalı olarak Çizelge 7' de verilmiştir.

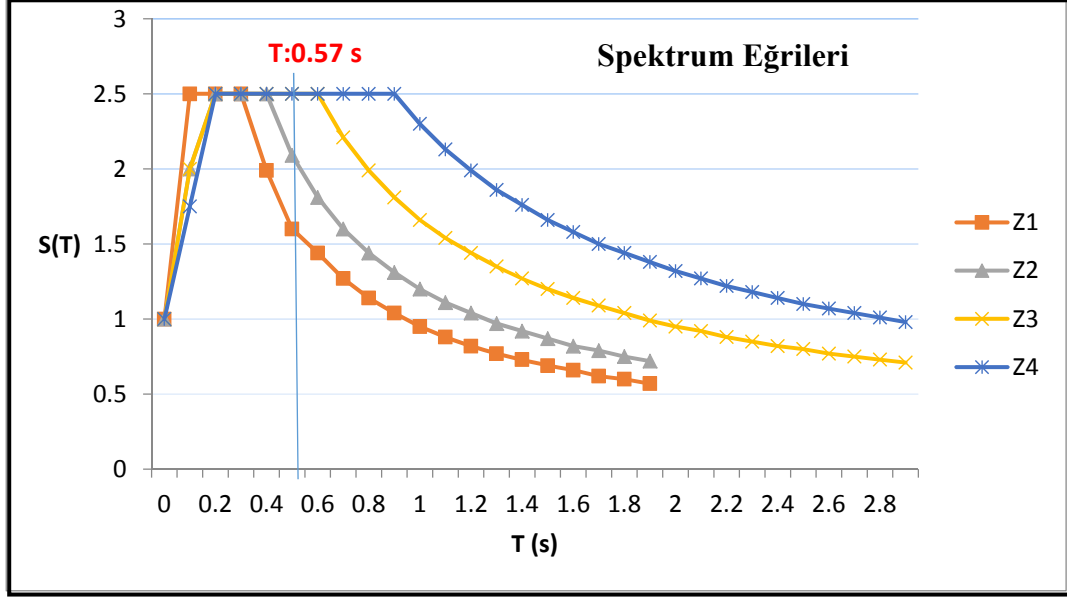
Çizelge 7. Modellerin zemin hakim periyotları ile bina doğal periyotlarının karşılaştırması

Table 7. Comparison of building natural periods with soil predominant periods refer soil models

T (s)	S(T) Z1	S(T) Z2	S(T) Z3	S(T) Z4
0	1	1	1	1
0.1	TA: 2.5	2	2	1.75
0.2	2.5	TA: 2.5	TA: 2.5	TA: 2.5
0.3	TB: 2.5	2.5	2.5	2.5
0.4	1.99	TB: 2.5	2.5	2.5
0.5	1.6	2.09	2.5	2.5
0.6	1.44	1.81	TB: 2.5	2.5
0.7	1.27	1.6	2.21	2.5
0.8	1.14	1.44	1.99	2.5
0.9	1.04	1.31	1.81	TB: 2.5
1	0.95	1.2	1.66	2.3

Yapısal analizi Sta4CAD programında yapılan modelin 4 farklı yer ortamı tanımlanarak oluşturulan tasarım spektrum katsayıları değerlerinin belli aralıklarda maksimum olduğu görülmektedir. Bu durum bina periyodunun spektrum karakteristik periyotları T_A - T_B aralığına denk geldiğinden dolayı spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin 2,5 olarak hesaba katılacağını göstermektedir.

4 yerel zemin sınıfı için model analizi sonucu elde edilen spektrum katsayılarının zaman ortamındaki değişimini gösteren spektrum eğrileri Şekil 8' de verilmiştir.



Şekil 8. Yerel zemin sınıfına bağlı spektrum eğrilerinin karşılaştırması
Figure 8. Comparison of spectrum curves based on local soil type

6 katlı bina modelinin DBYBHY (2007)'de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 zemin sınıflarına bağlı yapılan analizlerde, binanın doğal periyodu $T:0.57$ s elde edilmiştir. Bina spektrum katsayıları karşılaştırıldığında, bina periyodunun Tablo 5.1' de verilen Spektrum Karakteristik Periyotları (T_A , T_B) arasında kaldığı Z3 ve Z4 sınıflarında spektrum katsayısının maksimum değerinde olduğu görülmektedir.

DBYBHY (2007)' de tanımlanan binaya etkiyen deprem yükü (taban kesme kuvveti);

$$V_t = \frac{W \cdot A(T)}{R_a(T)} \quad (6)$$

Burada, V_t , eşdeğer deprem yükü, R_a , taşıyıcı sistem davranış katsayısı, W , yapı toplam ağırlık, $A(T)$ spektral ivme katsayısı olarak tanımlanmıştır.

Bağıntı 6' da verilen spektral ivme katsayısı, $A(T) = A_0 \cdot I \cdot S(T)$ olarak ifade edildiğine göre, bina önem katsayısı, etkin yer ivme katsayısı ve spektrum katsayısının artması ile deprem yükünün maksimum olduğunu ortaya koymaktadır. Analiz sonucu deprem raporundan elde edilen binaya etkiyen deprem yükleri değerleri Çizelge 8' de verilmiştir.

Çizelge 8. Yerel zemin sınıfına bağlı eşdeğer deprem yüklerinin karşılaştırılması

Table 8. Comparison of equivalent seismic loads based on local soil class

	Birim	Z1	Z2	Z3	Z4
X yönünde uygulanan eşdeğer deprem yükü	tf	221.45	278.75	369.41	369.41
Y yönünde uygulanan eşdeğer deprem yükü	tf	225.71	284.12	369.41	369.41

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yapıların güvenli ve ekonomik olarak optimum kriterlerde tasarlanması için uygulama alanının yer mühendislik parametreleri belirlenmeli ve DBYBHY (2007)' e göre yapı modellenmesi yapılmalıdır. Bu çalışmada optimum kriterlerin sağlanmasında 2 farklı model analiz çalışması yapılmış ve yer parametrelerinin önemi farklı yükseklikteki binalar üzerindeki etkisi ele alınarak anlatılmıştır. Kaya ve alüvyon ortamlardaki farklı yükseklikteki binaların deprem etkisindeki davranışları 16 model analizi yapılarak sonuçları karşılaştırılmıştır.

Çalışma 1' de 4 farklı zemin modeli için bina kat yükseklikleri değiştirilerek 1, 5 ve 10 katlı binalar için yapı analizleri yapılarak şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- Aynı zemin koşullarının etkisinde farklı yükseklikteki binalar için bina yüksekliğinin artması ile tasarım ivme spektrumunun büyük ölçüde arttığı gözlenmektedir. Alüvyon ortam modelini temsil eden Model 2 ve Model 4 gibi zemin hakim periyodunun yüksek olduğu zemin modellerinin, kaya ortam modelindeki düşük periyotlu Model 1 ve Model 3 e kıyasla bina doğal periyotlarının %25 oranında daha yüksek değerlere ulaştığı görülmektedir.
- Yapı tasarımında bina periyodunun T_A - T_B zemin periyotları aralığından mümkün olduğunca uzak olmaları yapıya daha az yatay yük etkimesi ve rezonansa girme tehlikesinden uzak olmasını ifade etmektedir. DBYBHY 2007' e göre tasarım aşamasında yapı periyodunun, zemin spektrum karakteristik periyotları T_A - T_B arasında olması halinde spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin en büyük değeri olan 2,5 alınarak hesap yapılmalıdır. Bina tasarım periyodu bu aralıkta ise binanın alacağı deprem yükü en fazladır. Spektrum karakteristik periyotları incelendiğinde bu çalışmada verilen 4 farklı zemin modeli için 5 katın altındaki yapıların maksimum deprem yüküne maruz kalacakları ve daha fazla yapı elemanının hasar göreceğini ortaya koymaktadır.
- Farklı zemin modellerinin bina kat yüksekliğine bağlı değişen bina doğal periyot değerleri karşılaştırıldığında kaya ortam modeli Model 1' de verilen sağlam zemin üzerine oturan yapıların alüvyon ortam modeli Model 2' de verilen yumuşak zemin üzerine oturan yapılara oranla; 1 katlı yapı modellerinde %7, 5 katlı yapı modellerinde %20 ve 10 katlı yapı modellerinde ise %25 oranında arttığı görülmektedir. Model 3' de verilen sağlam zemin üzerine oturan yapılarda Model 4' de verilen yumuşak zemin üzerine oturan yapılara oranla; 1 katlı yapı modellerinde %7, 5 katlı yapı modellerinde %10 ve 10 katlı yapı modellerinde ise %14 oranında arttığı görülmektedir.

Çalışma 2' de 6 katlı bina modeli için DBYBHY' de tanımlanan Z1, Z2, Z3 ve Z4 yerel zemin sınıflarıyla olan ilişkisini irdelemek üzere yapılan analizde bina doğal periyodunun $T:0.57$ sn olarak elde edilmiştir. Modelin zemin sınıfına bağlı değişimini incelemek üzere spektrum katsayı değerleri karşılaştırmalı olarak yorumlanmış ve şu sonuçlara ulaşılmıştır:

- 6 katlı bina modelinin $T:0.57$ sn olarak elde edilmiş doğal periyodu DBYBHY' e göre spektrum karakteristik periyotları tablosunda tanımlanan Z3 sınıfı için $T_A:0.15 - T_B:0.60$, Z4 sınıfı için $T_A:0.20 - T_B:0.90$ aralığında olmasından dolayı spektrum katsayısı $S(T)$ ' nin maksimum değeri 2,5 alınarak hesap yapılmaktadır.
- Spektrum değerinin maksimum olduğu Z3 ve Z4 sınıflarında binaya etkiyen eşdeğer deprem yükünün de maksimum olacağı bilinmektedir. Analizden elde edilen deprem yükleri karşılaştırıldığında, 6 katlı bina modelinde Z1 sınıfındaki binaya etkiyen yükün, Z2 sınıfında %25 oranında, Z3 ve Z4 sınıfında %65 oranında arttığı görülmektedir.
- Çalışma, bina-hasar ilişkisi yönünden incelendiğinde binaya etkiyen yükün artması ile Z3 ve Z4 sınıfı zeminlerde Z1 ve Z2 sınıfına kıyasla hasar görme riskinin daha fazla olduğu görülmektedir. Ayrıca bina doğal periyodunun Z3 ve Z4 sınıfı için T_A-T_B aralığında bulunmasından dolayı yapı modelinin rezonans etkisi sebebiyle ağır hasarlar görebileceği öngörülmektedir.
- Modeller üzerinde yapılan yapı analizleri Z1, Z2, Z3 ve Z4 sınıfları için sırasıyla hesap yapıldığında binaya etkiyen yatay yükler, kesitler ve donatı miktarı en fazla Z4 sınıfında görülürken en az etki Z1 sınıfında görülmektedir. Bu durum, deprem etkisindeki Z4 sınıfındaki modelin daha fazla yapı elemanında hasar alma durumunu ortaya koymaktadır.

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, yapının deprem etkisinde oluşan deprem yüküne daha az maruz kalması ve ortaya çıkacak hasarın sınırlandırılması hedeflenmektedir. Yapıya etkiyen yükün az ya da fazla olması tamamen tasarımda belirlenebilen bir hesap gerektirdiği ve her zemin ve bina periyoduna göre tasarım yapılabilirdiği görülmektedir. Zemin karakteristik periyodu sınırlarının dışında olması beklenen bina modelleri için rijitlik azaltılarak uzun periyotlu yapılar tasarlanmalı ya da rijitlik artırılarak kısa periyotlu yapılar tasarlanmalıdır.

KAYNAKLAR

DBYBHY, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, 2007.

GÜNEY D., Depreme dayanıklı yapı tasarımı 2 ders notu, Deprem yer hareketi ve davranışı, Yıldız Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Yapı Anabilim Dalı, 2015.

KARABÖRK T., DOĞUŞ S., Zemin Özelliklerinin Çok Katlı Yapıların Dinamik Davranışı Üzerine Etkileri, Niğde Üniversitesi Aksaray Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Deprem Sempozyumu, Kocaeli, 2005.

KARAESMEN E., Öncesiyle Sonrasıyla Deprem, Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Yayını, Yayın No: 6, Ankara, 2002.

KARAMAN, E., Yerleşim Alanlarında Deprem Hasarlarını Arttırıcı Yönde Rol Oynayan Risk Faktörleri, <http://forum.yapisal.net/sitemap/t-1884.html> (Ziyaret tarihi: 10 Mayıs 2016).

KURTULUŞ C., BOZKURT A., Jeofizik Yöntemlerle Yer ve Yapı İncelemeleri, Kocaeli Üniversitesi Yayınları, sayfa 61, İzmit, 2007.

LİVAOĞLU R., DOĞANGÜN A., Deprem Yönetmeliklerinde Verilen Zemin Sınıflarına Göre Yapı Davranışlarının Karşılaştırmalı Olarak İncelenmesi, ECAS2002 Uluslararası Yapı ve Deprem Mühendisliği Sempozyumu, Ankara, 14 Ekim 2002.

Kaya ve Alüvyon Ortamlarda İnşaa Edilmiş Binaların Yüksekliği ile Yer Ortamının Deprem Etkisinde İlişkisi:
Kocaeli Gebze Örneği

ÖNCEL A. O., Deprem riskini önleme ve azaltma, Deprem Tasarım Çalıştayı, İstanbul Üniversitesi, Jeofizik Mühendisliği, İstanbul, 2015.

ÖZMEN B., 17 Ağustos 1999 İzmit Körfezi Depreminin Hasar Durumu (Rakamsal Verilerle), TDV/DR 010-53, Türkiye Deprem Vakfı, 2000.

TEZCAN S. S., KAYA E., BAL E., ÖZDEMİR, Z., Seismic Amplification at Avcılar, Engineering Structures, 2002, 24(5), 661-667.

TORKAN R., AMASRALI S., STA4CAD & Çok Katlı Betonarme Yapıların Analizi ve Tasarımı, 1. Basım, Birsen Yayınevi, 2014.

YALÇINKAYA E., Zemin Özelliklerinin Yer Hareketine Etkisi: 1 Ekim 1995 Dinar ve 27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan Depremi Örnekleri, Doktora Tezi, İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeofizik Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 2002.