

7 Katlı betonarme bir binada farklı temel durumları ve zemin rijitliğinin yapı davranışına etkisi

Effect of different foundation cases and soil stiffness on the structural behavior of a 7 story RC building

Nuray YAŞAR¹, Barış TANRIVERDİ², Hayri Baytan ÖZMEN^{3*}

¹ İnşaat Mühendisliği ABD, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye.

cenurayvasar@gmail.com

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye.

baris.tanriverdi@usak.edu.tr

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Uşak Üniversitesi, Uşak, Türkiye.

baytan.ozmen@usak.edu.tr

Geliş Tarihi/Received: 30.11.2021

Bölüm/Section: Mühendislik-Mimarlık ve Doğa Bilimleri/İnşaat Mühendisliği

Kabul Tarih/Acceptedi: 17.12.2021

Araştırma Makalesi/Research Article

Özet

Yapıların sismik tasarım ve performans düzeylerinin belirlenmesinde uygulama kolaylığı nedeniyle bina tabanında ankastre mesnet tanımı yapılarak zemin davranışının etkisi göz ardı edilmektedir. Zeminde meydana gelen deformasyonlar ve temel dönmelerinin yapı davranışını ciddi oranda değiştirebildiğini literatürde yapılan çalışmalar göstermektedir. Bu değişimi incelemek amacıyla betonarme binaları esas alan bir çalışma planlanmıştır. Ülkemizde mevcut betonarme binaların karakteristik özelliklerini yansıtan farklı temel tip ve boyutlarına sahip ve farklı rijitlikte zeminler üzerinde inşa edilmiş 26 farklı bina türü yapı dikkate alınmıştır. Binalar TS500 ve TBDY-2018 esas alınarak tasarlanmış olup, üç boyutlu analiz modelleri SAP2000 programı kullanılarak hazırlanmıştır. Tamamı dolgu duvarlı olarak tasarlanan modellerde, dolgu duvar etkisi eşdeğer çapraz basınç çubuğu şeklinde tanımlanmıştır. Tüm modellerde doğrusal elastik olmayan hesap yöntemi kullanılarak analizler yapılmıştır. Binaların yatay dayanım, periyot ve deplasman talebi değerlerinin ankastre temel kabulüne göre değişimi incelenmiş ve hasar durumu değerlendirilmesi yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre bina periyot ve deplasman taleplerinde en ideal durumda dahi yaklaşık %15 artış görülmektedir. Temel boyutları ve zemin rijitliği açısından elverişsiz koşullarda bu artışın %82'ye ulaşması mümkündür. Farklı temel durumlarının yapıda hasar dağılımı üzerindeki etkisi genel olarak %10'un altındadır. Yatay dayanım üzerindeki etkisi ise yönetmeliğe uygun temel boyutlarında daha kısıtlı olarak %2'den düşük seviyededir.

Anahtar Kelimeler: Dolgu duvarlı çerçeve, zemin yapı etkileşimi, temel boyutu, temel tipi, zemin yatak katsayısı.

Abstract

The effect of foundation behavior is neglected by accepting the foundation as infinitely rigid at the base of the buildings as it is practical in seismic design and performance evaluation. Studies in the literature shows that the deformations and rotations in the foundation can significantly change the behavior of the structure. In order to examine this change, a study based on reinforced concrete buildings has been planned. 26 different types of buildings, which have different foundation types and dimensions reflecting the characteristic features of existing reinforced concrete buildings in our country and built on soils with different stiffness are taken into account. Buildings are designed on the basis of TS500 and TBDY-2018 and three-dimensional models are prepared using the SAP2000 program. The behavior of infill walls is defined by equivalent compression struts. All models are evaluated using nonlinear static analysis. The differences of the horizontal strength, period and displacement demand values of the buildings according to the fixed base assumption is examined

* Yazışılan yazar/Corresponding author: Hayri Baytan ÖZMEN

¹ orcid.org/0000-0003-0036-7761; ² orcid.org/0000-0003-0557-0099; ³ orcid.org/0000-0001-6750-8632

and the damage situation is evaluated. According to the results of the analysis, an increase of approximately 15% is observed in the building period and displacement demands, even in the most ideal situation. It is possible for this increase to reach 82% in unfavorable conditions in terms of foundation dimensions and soil stiffness. The effect of different foundation conditions on the damage distribution in the structure is generally below 10%. The effect on the horizontal strength is less than 2% for the foundation dimensions in accordance with the seismic code.

Keywords: Frame with infill walls, soil-structure interaction, foundation dimension, foundation type, soil subgrade reaction modulus.

1. Giriş

İnşaat mühendisliği uygulamacıları arasında radye temel tipinin adeta her soruna çözüm sağlayan bir özellikte olduğuna inanılmaktadır. Hâlbuki bu temel tipinde özellikle betonarme radye derinliğinin az olduğu durumlarda kolon elemanlar için ankastre mesnet kabulünün ne derecede sağlandığı meçhuldür. Çalışma kapsamında radye ve sürekli temellerde ankastre temel kabulünün geçerliliği sorgulanmıştır. Ankastre mesnet kabulünün sağlanamaması durumunda yapı elemanlarının kuvvet taşıma mekanizmasında ve beklenen deformasyon değerlerinde önemli ölçüde değişim ve artış olabilir. Yapılan çalışmada her temel ve zemin durumu için yapılan ankastre temel kabulünün hangi durumlarda ne ölçüde sağlanabileceği ile ilgili bilgiler sunularak binalar için tehlikeli olabilecek imalat durumlarının engellenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada elde edilen sonuçların, var olan betonarme bina stoğunun deprem davranışının anlaşılmasına katkıda bulunması amaçlanmaktadır.

Tasarlanan veya uygulaması yapılan betonarme yapıların deprem esnasındaki davranışlarının doğru bir şekilde tahmin edilebilmesi ve davranışının yeterli düzeyde anlaşılabilmesi gerekmektedir. Bu durum, araştırmacıları tasarım aşamasında yönlendirecek yönetmeliklerin ötesinde tasarım kavramlarının detaylı incelenmesini gerektirir çünkü bazı durumlarda yönetmeliklerde bulunmayan konularda yaklaşımlar geliştirilmesi veyahut tasarım kabulleri yapılması gerekli olabilir. Zemin-temel-yapı etkileşimi de sözü edilen tip konulardan biri olup, 1970'lerden beri araştırılmasına rağmen, tasarım ve uygulamada yaygın olarak dikkate alınan bir konu henüz olamamıştır.

Ülkemizde özellikle 2007 Deprem Yönetmeliği ile birlikte, yapı zemin etkileşimi konusunun hesaplamalarda yer alması gündeme gelmiştir. Deprem yönetmeliğinin yeni düzenlenmiş olan güçlendirme ile ilgili bölümünde bu konuya değinilmiş ve zemin koşullarının yapı çözümlemesinde dikkate alınmasının uygun olacağı ifade edilmiştir [1]. Deprem zararlarının etkin şekilde azaltılabilmesi için yapıların deprem davranışlarının gerçekçi olarak belirlenmesi, inşaat mühendisliğinde oldukça öneme sahip bir konudur. Yapı sistemlerinin deprem davranışlarının eksiksiz bir şekilde belirlenmesi, yapıların önemli bir parçası olan temellerin modellenmesi ve zemin özelliklerinin hesaplamalara eklenmesiyle ilişkilendirilebilir [2].

Günümüzde yönetmelikler tasarımcıların zemin yapı etkileşimini dikkate almadan tasarım yapmasına izin vermektedir. Bununla beraber güncellenen yönetmeliklerde zemin yapı ilişki daha fazla yer bulmaktadır. Yönetmeliklerin zemin yapı ilişkisini dikkate alma şekli tasarımcıya hangi durumlarda zemin yapı etkileşiminin dikkate alınması gerektiğini belirterek yapılmaktadır. Yönetmeliklerde zemin sınıflarına bağlı olarak verilen geleneksel ivme spektrumları ise serbest zemin yüzeyindeki depremi tanımlar. Bu durum zemin özelliklerinin yapıya olan etkisini tanımlarken yapının zemine olan etkisini tanımlamaz. Yani etkileşim tek yönlüdür, karşılıklı değildir [3].

Yapı çözümlemesinde genel kabul zemine bağlanan kolonların, sabit veyahut ankastre mesnetler şeklinde modellenmesi şeklindedir. Bu modellemede zeminin üst yapıya etkisi tam anlamıyla incelenemez. Yapı-zemin etkileşimi hesaba katılarak yapılan çözümlemelerde yapı periyodunun ve buna bağlı olarak tesir eden yatay yüklerin zemin özelliklerine bağlı olarak değiştiği fark edilir. Zemini rijit bir ortam kabulü ile yapı zemin etkileşimi ihmal edilerek yapılan çözümlemelerin zemin koşullarının kötü olduğu durumlarda yetersiz kaldığı Korkmaz ve Demir [4] tarafından yapılan araştırma sonucu elde edilen doğrusal olmayan statik itme çözümlemesi ile de desteklenmektedir.

Betonarme yapıların tasarımında genel olarak iki farklı yaklaşım kullanılmaktadır. Bu yaklaşımlardan birinde temel zemini rijit dikkate alınarak tabanda kolonların ankastre olduğu kabul edilmekte, üst yapıdan aktarılan gerilmelere maruz kalan ve kaldığı etkilere karşı tepki oluşturan zemin etkisi dikkate alınmamaktadır. Sadece temel tasarımında zemin tesirleri göz önünde bulundurulmaktadır. Zemin tesirleri dikkate alınmadan yapılan bir üst yapı tasarımının yetersiz olacağı söylenebilir. Yapı zemin etkileşiminin betonarme yapıların tasarımına etkisinin ihmal edilemeyecek düzeydedir [5].

Çetinkaya ve diğ., 2017 yılında yaptıkları çalışmada sonucunda yapının zemine rijit bağlı olması durumunun yapı-zemin etkileşimli duruma göre dikkate alınacak tasarım kuvvetinin %40 a kadar azaldığını gözlemişlerdir. Zayıf zemin üzerine konumlanmış düşük periyoda sahip yapılarda tasarım kuvveti üzerindeki değişimlerin ciddi boyutlara ulaşacağına dikkat çekerek binaların tasarım hesaplarında kullanılan davranış spektrum eğrilerinin yapı-temel-zemin etkileşim etkileri göz önünde bulundurularak düzenlenmesi ve bu şekilde kullanılmasını önermiştir [6].

Anand ve Kumar çalışmalarında geleneksel olarak zemin yapı etkileşiminin yararlı olarak düşünöldüğü, yönetmeliklerin zemin yapı etkileşimi dikkate almama veya deprem yükünü azaltarak kullanma yönünde hazırlandığını belirttikten sonra zemin yapı etkileşiminin yapıyı esnekleştirdiğini ve buna bağı olarak yapının periyot ve sönümünün arttığını eklemişlerdir [7].

R. Tomeo ve diğı. çalışmalarında zemin yapı etkileşimi altında betonarme çerçevelerin davranışları incelenmiş ve çalışmada zemine ankastre bağı 4 ve 8 katlı modeller ve 21 deprem kaydı kullanılarak görece iyi ve kötü zeminler dikkate alarak analizler yapmıştır. Zemin yapı ilişkisi yaylar tarafından sağlanmıştır. Çalışmalarının sonucunda, zemin yapı etkileşiminin özellikle yumuşak zeminlerdeki betonarme çerçeveler için önemli olduğunu, zemin yapı ilişkisinin deprem talebini azalttığını ve yanal deplasmanı arttırdığını belirtmiştir [8].

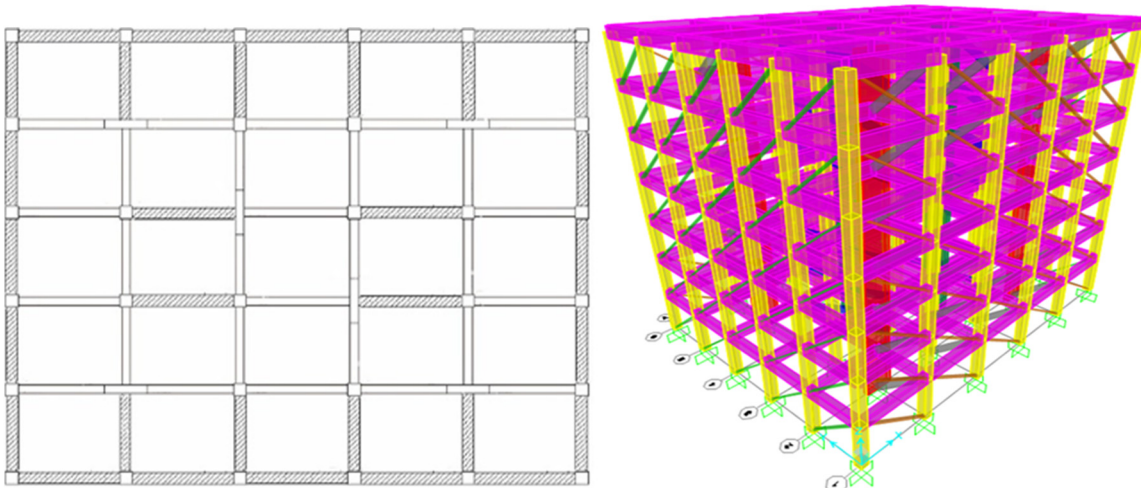
Zemin yapının davranışını etkilerken, yapı da zeminin davranışını etkiler. Dolayısıyla zemin yapı etkileşimi zemin ve yapı arasında karşılıklı olarak gelişen bir olaydır. Yönetmeliklerde zemin sınıflarına göre verilen elastik ivme spektrumları zeminin yapıya etkisini göstermekte, fakat yapının zemine etkisini göstermemektedir. Yani etkileşim tek yönlüdür. Ayrıca yönetmelikler yapıların zemine ankastre bağı olarak tasarlanmasına izin vermekte veya zemin yapı etkileşimini dikkate almak için deprem kuvvetlerinin azaltılmasına izin vermektedir. Ancak yapılan bu kabuller deprem anındaki yapı davranışıyla ve yapının hasar görülebilirliğı ile farklılaşabilmektedir. Zemin yapı etkileşiminin yapıların hasar olasılığını arttırdığı, mevcut yapıların deprem performansının değerlendirilmesinde dikkate alınması gerektiğı literatürde ulaşılan temel sonuçlar arasındadır [9].

Matematik modelin kompleks olması nedeniyle zemin-yapı etkileşimi çözümlerinde yapı elastik ve tek serbestlik dereceli olarak karakterize edilmekte ve analizler bu kabule göre yapılmaktadır. Fakat özellikle dinamik yükleme etkisi altında elastik yapı kabulü zemin-yapı etkileşimi çözümlerinin doğı değerlendirilmesini güçleştirmektedir [10].

Çaycı ve diğı. 2021 yılında yapmış oldukları çalışmanın amacı zemin-yapı etkileşimi ve zemin rijitliğındeki değışimin sismik talepler üzerindeki etkilerinin araştırılmasıdır. Yapısal analizlerde genel olarak temeller ankastre kabul edilerek çözümlenmekte ve temellerde yer değıştirme ve dönme olmadığı kabul edilmektedir. Oysa, yapı sistemlerinin statik yükler altındaki çözümlerinde dahi temellerde çökme ve dönmeler oluşmaktadır. Yapılara etkiyen deprem gibi dinamik bir yükleme durumunda yapı, zemin ile birlikte hareket etmekte hatta bazen yapı ve zemin zıt yönde hareket etmekte ve temeller dinamik yükleme boyunca zemin üzerinde farklı konumlarda bulunabilmektedir [11].

Yapılan çalışmada farklı temel ebadlarının ve zemin özelliklerinin bina taşıyıcı sistem davranışlarına etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda; tüm katlarında dolgu duvarların da modellemeye dâhil edildiğı 7 katlı referans çerçeve model, referans kabul edilerek dört farklı zemin rijitliğı ve 6 farklı temel kesiti ile her iki yönde zeminin yer değıştirme ve dönme rijitlikleri dikkate alınarak modellenmiştir. Bina modelleri yönetmelik gereklerine uygun olarak seçilmiş kesitlere sahip radye ve sürekli temelli olarak oluşturulmuştur. Daha sonrasında radye ve sürekli temele sahip binaların yönetmelik sınırlarının altında ve üstünde temel boyutlarına sahip olacak şekilde tekrar modelleri hazırlanmıştır. Zemin yatak katsayısının değışimi, yapı performansını etkilemektedir [12]. Bu sebeple oluşturulan modellerin düşey yatak katsayısı 11,200, 25,000, 45,000, 80,000 kN/m³ olan farklı zeminler için analizleri yapılmış yapı özellikleri ve kapasite eğrileri karşılaştırılmıştır.

2. Yapı modellerinin oluşturulması



Şekil 1. Bina kalıp planı (taşıyıcı dolgu duvarlar taralı olarak gösterilmiştir) ve yapının üç boyutlu analiz modeli

Çalışma kapsamında kullanılan yapı modellerinin özelliklerinin belirlenmesinde mevcut yapılarla ilgili envanter çalışması [13] verileri kullanılmıştır. Düşük ve orta yükseklikteki yaklaşık 500 mevcut bina üzerinde yapılan envanter çalışması ile elde edilen bina özelliklerinin [13] yansıtılması ile 6 ve üzeri katlı yapıları temsilen 7 katlı bina modelleri oluşturulmuştur (bkz. Şekil 1). Ayrıntılı saha ve arşiv araştırması sonucu yapı model özellikleri; kolon sayısı, kolon-kiriş boyutları, kat

alanı, boşluksuz duvar oranı ve diğer parametreleriyle (Tablo 1) ülkemizde 1998 sonrası yüksek deprem riski olan bölgelerde projelendirilmiş tipik binaları yansıtacak şekilde belirlenmiştir. Modellerde kullanılan değerler envantere elde edilen yapısal parametrelerin ortalama değerlerine uygun şekilde seçilmiştir.

Tablo 1 de gösterilen envanter çalışması verilerine göre elde edilen değerler sonucunda 44x44 cm boyutlarında kolon ve 30x70 cm ebadında kiriş ile perde duvarı olmayan tipik kiriş-kolon betonarme çerçeveli yapı 7 katlı olarak modellenmiştir. Yapı kolonlarında boyuna donatı oranı %1 ile %1.2 arasında değişmektedir. Modellemede döşeme düzleminde rijit diyafram tanımlanmış ve döşeme yükleri malzeme ve kesit özellikleri dikkate alınarak üçgen ve trapez yayılı yükler ile üzerinde bulunduğu kirişlere etkitilmiştir.

Seçilen konut binasının tasarımı TBDY-2018 [14] ve TS 500 [15] esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bina x ve y doğrultusunda simetrik olup yatay ekseninde 4 m'lik düşey ekseninde 3 m'lik 5 açıklıktan oluşmaktadır. Yapı tüm katlarda aynı yüksekliğe sahip olup kat yüksekliği 2.80 m'dir. 7 Katlı olarak tasarlanan binanın zemin üzerinden toplam yüksekliği 19.60 m'dir. Kullanım amacı konut olan binanın taşıyıcı sisteminin süreklilik düzeyi yüksek moment aktaran betonarme çerçevelerden oluşturulması öngörülmüş olup binanın tasarımında, doğrusal hesap yöntemlerinden eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılmıştır. Analizlerde, beton sınıfı C30/37 ve donatı çeliği sınıfı B420C olarak dikkate alınmıştır. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yükler Yönetmeliğinden (TS 498) [16] döşemelerde hareketli yükler $q = 2 \text{ kN/m}^2$ olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvar yükü 5 kN/m alınmış ve ilgili kirişlere aktarılmıştır. Çalışma kapsamında tasarımı ve değerlendirmesi yapılan binanın Türkiye' de yüksek deprem riski bulunan yüksek nüfusa sahip İstanbul ili, 41.000511° enlem ve 28.865811° boylamlarına sahip Bahçelievler İlçesinde deprem yer hareketi düzeyi (DD-2) ve ZC zemin sınıfında bulunduğu varsayılmıştır.

Tablo 1. Kullanılan bina modellerinin özellikleri

Özellik	Birim	Stok Ortalama	Model	
			Envanter Çalışması Sonucu Referans Model	Revize Referans Model
Beton Dayanımı	MPa	29	30	30
Çelik Dayanımı	MPa	416	420	420
Periyot	sn	-	Tx= 0.81593 Ty= 0.7806	Tx= 0.74597 Ty= 0.7418
Kat Yüksekliği	m	2.79	2.80	2.80
Toplam Kolon Alanı / Toplam Bina Alanı	%	2.31	2.32	2.836
X doğrultusunda Toplam Boşluksuz Duvar Uzunluğu /Toplam Kat Alanı	m/100m ²	4.06	4.75	7.79
Y doğrultusunda Toplam Boşluksuz Duvar Uzunluğu /Toplam Kat Alanı	m/100m ²	6.38	6.83	6.92
X doğrultusunda Toplam Boşluklu Duvar Uzunluğu /Toplam Kat Alanı	m/100m ²	-	11.87	11.87
Y doğrultusunda Toplam Boşluklu Duvar Uzunluğu /Toplam Kat Alanı	m/100m ²	-	8.53	8.53
E _d	MPa	-	2275.35	2275.35
f _d	MPa	-	4.13700	4.13700
τ _d	MPa	-	0.06895	0.06895

2.1. Boşluksuz tuğla dolgu duvarın modellenmesi

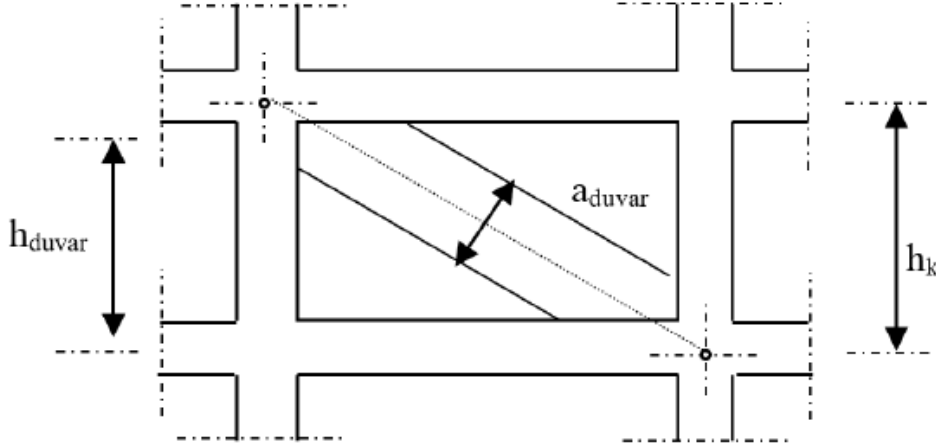
Duvarların etkisi eşdeğer çapraz basınç çubukları kullanılarak yansıtılmıştır (bkz. Şekil 2). Eşdeğer basınç çubukların kalınlığı seçilen duvar kalınlığı olarak dikkate alınırken, çubukların genişliği TBDY-2018'de verilen bağıntılar (denklem 1-3) ile hesaplanmıştır [14].

$$a_d = 0.175(\lambda_d h_k)^{-0.4} r_d \quad (1)$$

$$\lambda_d = \left[\frac{E_d t_d \sin 2\theta}{4E_c I_k h_d} \right]^{1/4} \quad (2)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_d}{L_d} \right) \quad (3)$$

Çubuk genişliğini a_d , h_k kolon boyunu, r_d dolgu duvarı köşegen uzunluğunu, E_d ve E_c dolgu duvarın ve çerçeve elemanların elastisite modülünü, t_d dolgu duvar kalınlığını, h_d dolgu duvar yüksekliğini, θ dolgu duvar köşegen açısını, I_k kolonun atalet momentini ifade etmektedir.



Şekil 2. Dolgu duvarın eşdeğer çapraz basınç çubuğu olarak modellenmesi

Basınç çubuklarının özellikleri FEMA-356 [17] ve TBDY-2018 [14] dikkate alınarak belirlenmiştir. Çalışmada kullanılan dolgu duvarın kalınlığı 20 cm, basınç dayanımı ve kesme dayanımı sırasıyla FEMA 356 'de orta dayanımlı durumlar için önerilen 600 psi (4.137 MPa) ve 10 psi (0.07 MPa) olarak dikkate alınmıştır. Dolgu duvarın elastisite modülü için ise FEMA 356 'de önerilen denklem kullanılarak 2.275×10^6 kN/m² hesaplanmıştır.

Duvar ağırlıkları, üzerinde buldukları kirişlere düzgün yayılı yük olarak etki ettirilmiştir; ağırlıksız eşdeğer basınç çubukları, çerçevelerin ilgili diyagonalı boyunca ortadan tek plastik eksenel mafsallı olarak ve yatay yükün yönüne bağlı olarak sadece basınca çalışacak şekilde yerleştirilmiştir.

2.2. Boşluklu tuğla dolgu duvarın modellenmesi

Dolgu duvarlar uygulamada bilindiği gibi bazı alanlarda tamamen dolu, bazı alanlarda ise kapı ve pencere boşlukları bulunmaktadır. Bu çalışmada tüm katlarda dış duvarlar için kapı pencere boşluğu olduğu varsayılarak bu duvarların rijitliği azaltılmıştır. Dolgu duvarda bırakılan boşluk yüzdesi (boşluk alanı/dolgu duvar alanı) %40 alınarak Asteris [18]'tarafından "B durumu" diye nitelenen bağıntıdan ilgili katsayı alınarak hesaba dâhil edilmiştir. İç kısımda bulunan duvarlar ise; envanter çalışması ile elde edilen boşluksuz duvar oranlarına göre kapı ve pencere bulunmayacak akslara (Şekil 1'deki) gibi simetrik yerleştirilmiştir.

Referans modellerin yatak katsayısı ve zemin taşıma gücü Bowles tablosundan [19] Tablo 2'de verilen değerlere göre ortalama bir zemin sınıfı olması düşünülerek yatak katsayısı 45,000 kN/m³ ve 2018 Deprem Yönetmeliği'ne göre taşıma gücü 450 kN/m² alınmıştır.

Tablo 2. Çeşitli zemin için yatak katsayısı değerleri [19]

Zemin Türü	K _s (kN/m ³)
Gevşek kum	4,800-16,000
Orta sıklıkta kum	9,600-80,000
Sıkı kum	64,000-128,000
Killi orta sıklıkta kum	32,000-80,000
Siltli orta sıklıkta kum	24,000-48,000
Killi zeminler :	
q _a ≤ 200 kPa	12,000-24,000
200 < q _a ≤ 800 kPa	24,000-48,000
q _a > 800 kPa	> 48,000

Çalışma kapsamında envanter çalışmasına göre eř boyutlu kolon kullanılarak hazırlanan modeller ile yapılan analizler sonucunda, sonuçların sınırlı oranda değiştiği görülmüştür. Bu sebeple kolon boyut ve rijitlik farkının yüksek düzeyde olmasının ankastre olmayan temellerde daha kritik durumlar doğuracağı düşünülerek 6 adet kolonun boyutları değiştirilmiş ve Şekil 1’de gösterildiği gibi yapıya simetrik bir Şekilde yerleştirilip referans model yeniden belirlenmiştir. Revize edilen kolonların boyutları büyütülerek 300x1500 mm olarak belirlenmiştir.

Modellerde kullanılan farklı temel ve yay sabitlerinin daha kolay anlaşılabilmesi için Tablo 3’de gösterildiği gibi isimlendirilme yapılmıştır. Radye temeller için tüm modellerde bina kenarlarından 500 mm daha büyük yatay ve dūřey plan boyutları kullanılmıştır. Sürekli temellerde yönetmelik Őartları dikkate alınarak planda yatay yönde 400 mm, dūřey yönde 300 mm yüksekliğinde temel kirişleri kullanılmıştır. Temel genişlik ve ampatman boyutları değişken olarak alınmış ve ilgili değerler tabloda verilmiştir.

Tablo 3. Model isimlendirmesi

Model Adı	Açıklama	Temel Kalınlığı	Yatak Katsayısı (kN/m ³)
Referans Model	Referans model; ankastre mesnetli çerçeve modelidir.		
R40/YK11200 R40/YK25000 R40/YK45000 R40/YK80000	Yönetmelik sınırlarının altında tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 400 mm	11,200 25,000 45,000 80,000
R60/YK11200 R60/YK25000 R60/YK45000 R60/YK80000	Yönetmelik sınırlarına uygun Şekilde tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 600 mm	11,200 25,000 45,000 80,000
R80/YK11200 R80/YK25000 R80/YK45000 R80/YK80000	Yönetmelik sınırlarının üstünde tasarlanmış radye temelli model.	Radye temel yüksekliği = 800 mm	11,200 25,000 45,000 80,000
STK/YK11200 STK/YK25000 STK/YK45000 STK/YK80000	Yönetmelik sınırlarının altında tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik= 440 mm Ampatman = 0	11,200 25,000 45,000 80,000
STR/YK11200 STR/YK25000 STR/YK45000 STR/YK80000	Yönetmelik sınırlarına uygun Şekilde tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik= 640 mm Ampatman = 200 mm	11,200 25,000 45,000 80,000
STC/YK11200 STC/YK25000 STC/YK45000 STC/YK80000	Yönetmelik sınırlarının üstünde tasarlanmış sürekli temelli model.	Genişlik = 740 mm Ampatman = 400 mm	11,200 25,000 45,000 80,000

Çalışma “Farklı Temel ve Zemin Özelliklerinin Bina Taşıyıcı Sistem Davranışlarına Etkisi” [20] adlı yüksek lisans tezi kapsamında yapılmış olup bazı detaylara makalenin çok uzun olmaması adına makalede yer verilmemiştir. İlgili tez içeriğinde daha detaylı bilgiye ulaşılabilir.

3. Doğrusal olmayan statik itme analizi

Yapıların yatay yükler etkisindeki davranışlarının ve performans düzeylerinin belirlenmesine yönelik yapılan doğrusal olmayan statik itme analizleri, genel olarak yapıda adım adım artırılan yanal yüklerin tesirlerinde dayanım ile deplasman değişiminin yapı elemanlarındaki elastik olmayan davranış özelliklerinin hesaba katıldığı sayısal bir araştırma metodudur. Statik itme analizinde yapı davranışı, taban kesme kuvveti ve çatı yer değiştirmesi ilişkisini kapsayan kapasite eğrisiyle ifade edilir. Mühendisler tarafından pratikte kullanım yatkınlığı sebebiyle kapasite eğrisi yapıların performans değerlendirmesinde sıklıkla kullanılmaktadır [21].

Çalışmada, radye temel ve sürekli temel sistemine sahip yedi katlı dolgu duvarlı betonarme çerçeve sistemden oluşan 25 adet modelin farklı temel tip ve boyutlarına sahip ve farklı rijitlikte zeminler üzerinde inşa edilmiş durumları dikkate alınarak modellenmiş olup doğrusal olmayan statik itme analizine tabi tutulmuş ve kapasite eğrileri elde edilmiştir.

Taban kesme değeri, toplanmış kat kütleleri ve modal analizden elde edilen kat deplasmanların çarpımıyla bulunan değer oranında katlara x ve y doğrultularında dağıtılmıştır. Yükler her kata kat hizalarında ağırlık merkezlerinden atanmıştır. Analizlerde doğrusal olmayan davranış için P-Delta ve büyük deformasyon etkileri dikkate alınmıştır.

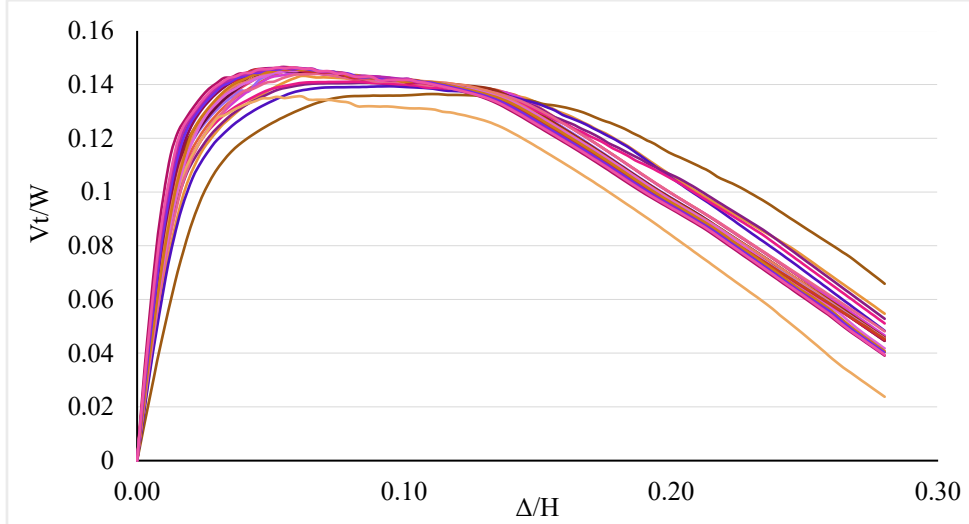
Deplasman talepleri, belirtilen şekilde elde edilen kapasite eğrilerinden 2018 Deprem Yönetmeliği Bölüm 5B.3'e göre hesaplanmıştır.

4. Analiz sonuçları

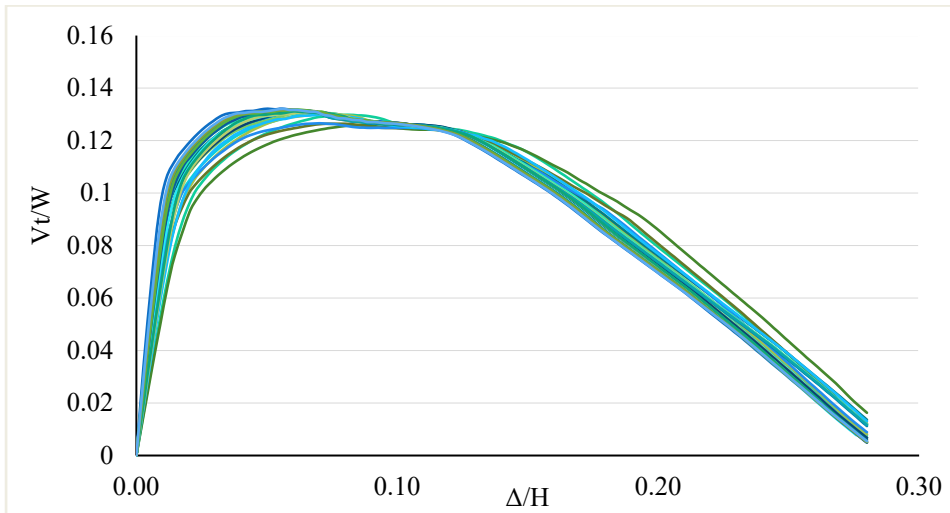
Çalışma kapsamında 7 katlı üç boyutlu model için farklı temel durumu ve zemin rijitliğini dikkate alan iki asal yönde 50 analiz yapılmıştır. Modelleme ve analizde statik hesap programı SAP2000 23.0.0 versiyonu kullanılmış ve model binaların doğrusal olmayan statik itme (pushover) analizleri yapılmıştır [22].

Bina modellerinin sismik davranış ve performanslarının belirlenmesi amacıyla doğrusal olmayan model TBDY-2018 göz önüne alınarak hazırlanmıştır. Doğrusal elastik olmayan davranış elemanın uçlarına yerleştirilen plastik mafsallar yoluyla belirlenmiştir. Kolonların eğilme ve eksenel kuvvete maruz kalmaları nedeniyle iki uca plastik mafsal olarak programda tanımlı otomatik P-M2-M3 mafsalları uygulanmıştır. Kirişler eksenel yük düzeylerinin düşük olması ve eğilmeye çalışmaları nedeniyle iki uca plastik mafsal olarak programda tanımlı otomatik M3 mafsalları uygulanmıştır. Dolgu duvarlara P eksenel yük plastik mafsalı atanmıştır.

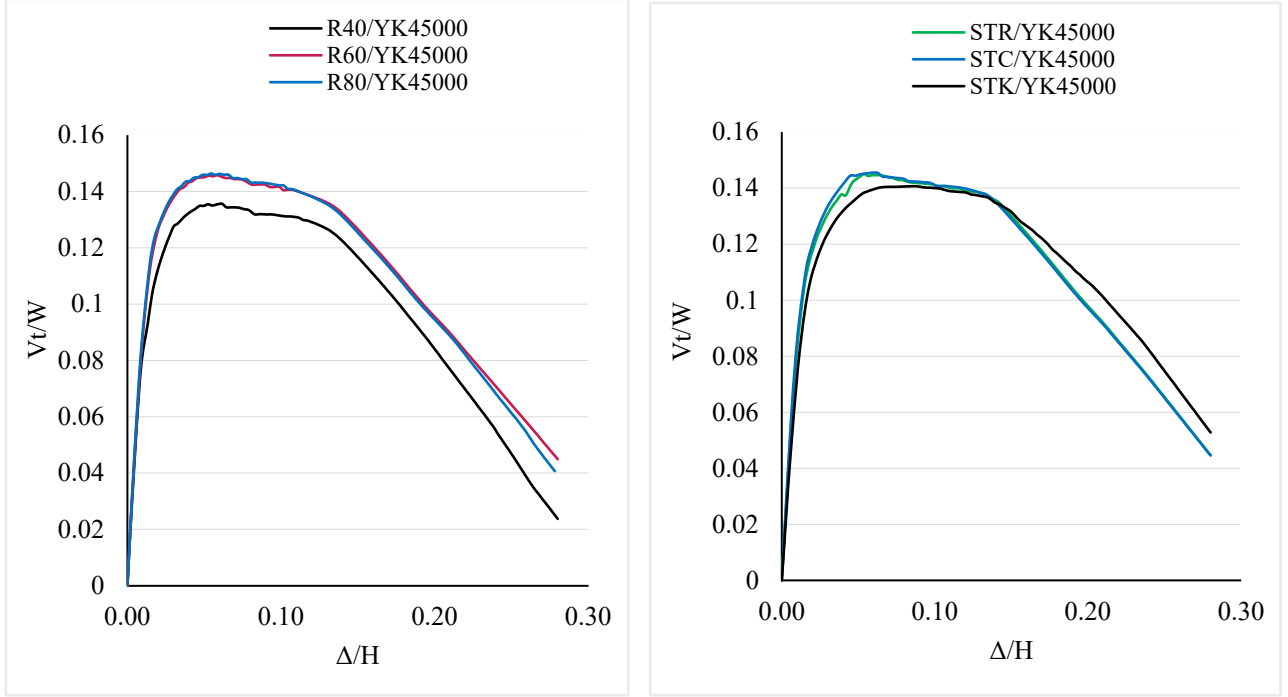
Çalışma kapsamında yapılan 50 adet analiz sonucunda modellere ait kapasite eğrileri şekil 3 ve şekil 4'te verilmiştir. Grafiklerde daha anlaşılır olması bakımından yatay dayanım bina sismik ağırlığına, çatı deplasman değeri de bina yüksekliğine oranlanarak verilmiştir. Temel durumu ve zemin rijitliği değişiminin daha açık olarak görülebilmesi amacıyla şekil 5 ve 6'da bazı modellere ait temel ve zemin rijitlik karşılaştırmaları gösterilmiştir. Binaların X ve Y yönündeki periyotları ise şekil 7'de verilmiştir.



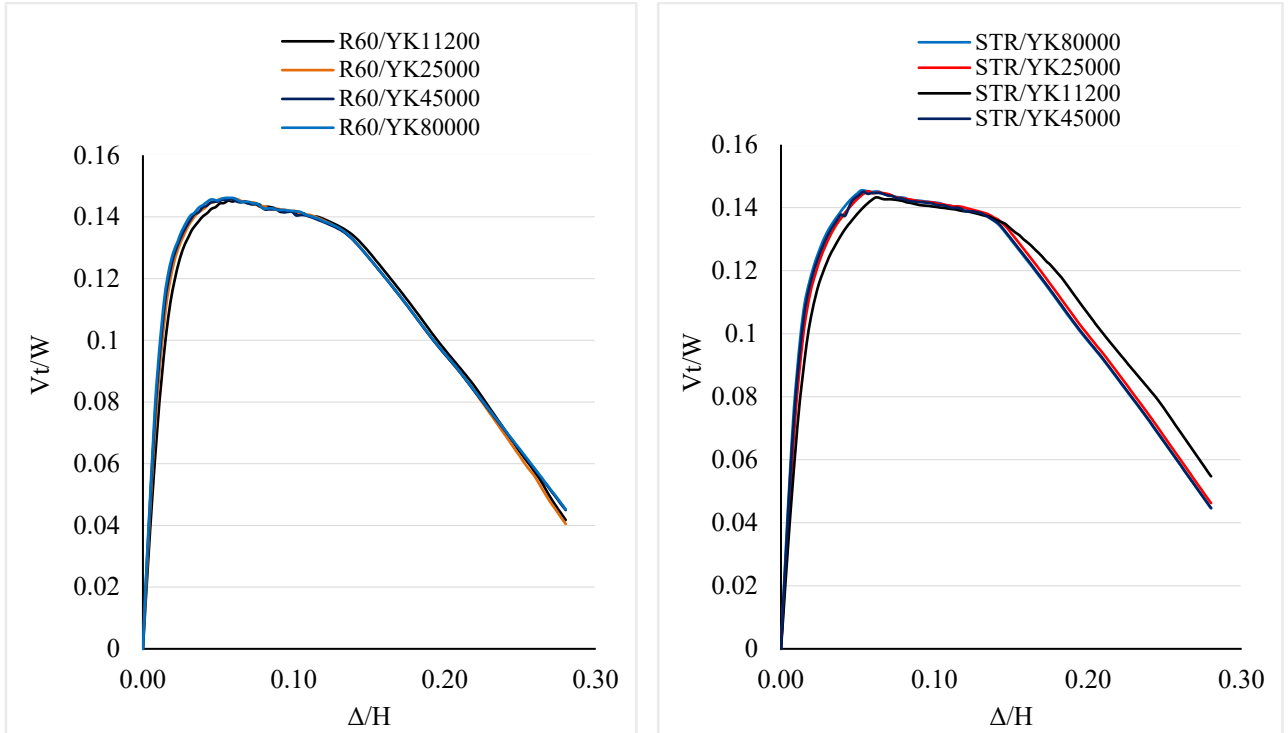
şekil 3. 7 Katlı betonarme çerçeveseli binanın farklı temel ve yatak katsayılarına ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri



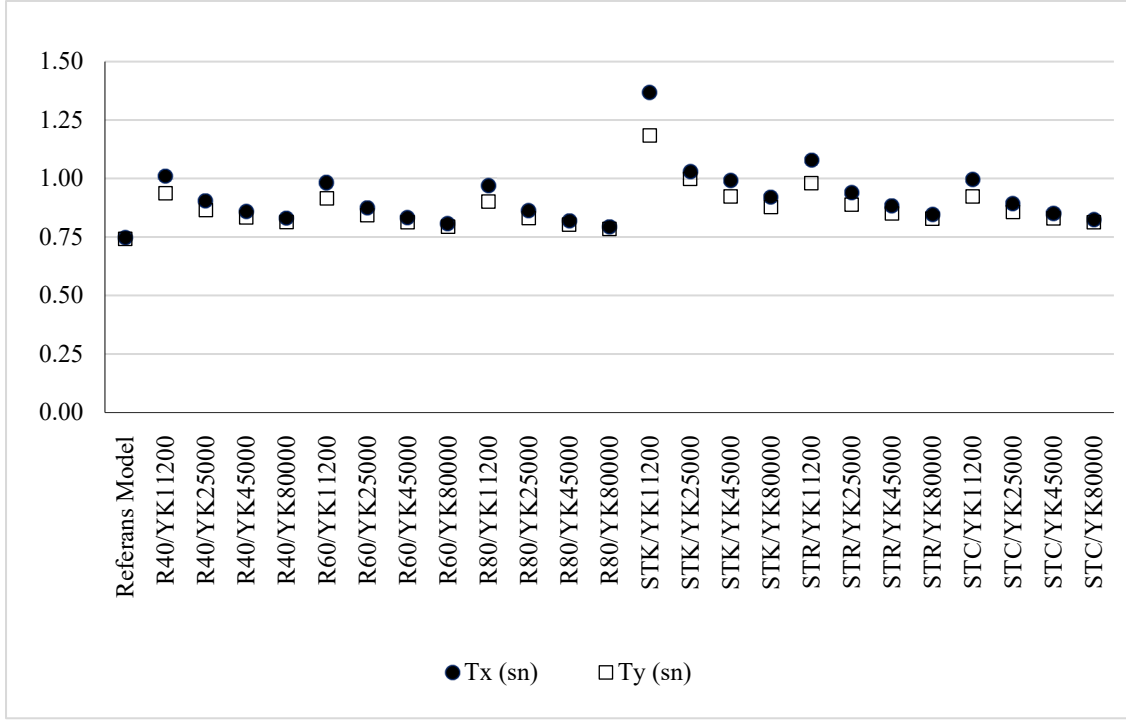
şekil 4. 7 Katlı betonarme çerçeveseli binanın farklı temel ve yatak katsayılarına ait y doğrultusundaki kapasite eğrileri



Şekil 5. 7 Katlı betonarme çerçeveseli binanın yatak katsayısı 45,000 kN/m³ için farklı temel tiplerine ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri



Şekil 6. 7 Katlı betonarme çerçeveseli binanın R60 ve STR temel tipleri için farklı zemin rijitliklerine ait x doğrultusundaki kapasite eğrileri



Şekil 7. Modellere ait X ve Y yönü baskın periyot değerleri

İki doğrulta yapılan doğrusal olmayan analizler sonucunda; itme analizleri ile belirlenen taban kesme dayanımının sismik ağırlığa ($g+nq$) oranlarının referans modele göre X ve Y doğrularında meydana gelen değişimleri Tablo 4'te verilmiştir. Dinamik davranışı yansıtan kütle katılım durumu dikkate alınarak ve daha sağlıklı karşılaştırma yapılması açısından sismik ağırlık değeri için tüm modellerde ankastre temel kabulü yapılan referans model ağırlığı kullanılmıştır.

Tablo 4. Modellere ait yatay dayanım oran ve değişimleri

MODEL ADI	Taban kesme değeri (kN)		Yatay dayanım oranı		Değişim oranı	
	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu
REFERANS MODEL	6,094	5,494	0.147	0.132	1.000	1.000
R40/YK11200	5,985	5,402	0.144	0.130	0.982	0.983
R40/YK25000	6,044	5,438	0.145	0.131	0.992	0.990
R40/YK45000	5,639	5,452	0.136	0.131	0.994	0.992
R40/YK80000	6,066	5,463	0.146	0.131	0.996	0.994
R60/YK11200	6,044	5,437	0.145	0.131	0.992	0.990
R60/YK25000	6,064	5,469	0.146	0.132	0.995	0.996
R60/YK45000	6,060	5,466	0.146	0.132	0.994	0.995
R60/YK80000	6,078	5,469	0.146	0.132	0.997	0.996
R80/YK11200	6,058	5,453	0.146	0.131	0.994	0.993
R80/YK25000	6,073	5,478	0.146	0.132	0.997	0.997
R80/YK45000	6,084	5,482	0.146	0.132	0.999	0.998
R80/YK80000	6,086	5,490	0.146	0.132	0.999	0.999
STK/YK11200	5,673	4,584	0.136	0.110	0.931	0.929
STK/YK25000	5,795	5,237	0.139	0.126	0.951	0.953
STK/YK45000	5,850	5,256	0.141	0.126	0.960	0.957
STK/YK80000	5,867	5,263	0.141	0.127	0.963	0.958
STR/YK11200	5,957	5,397	0.143	0.130	0.978	0.982
STR/YK25000	6,038	5,444	0.145	0.131	0.991	0.991
STR/YK45000	6,030	5,445	0.145	0.131	0.989	0.991

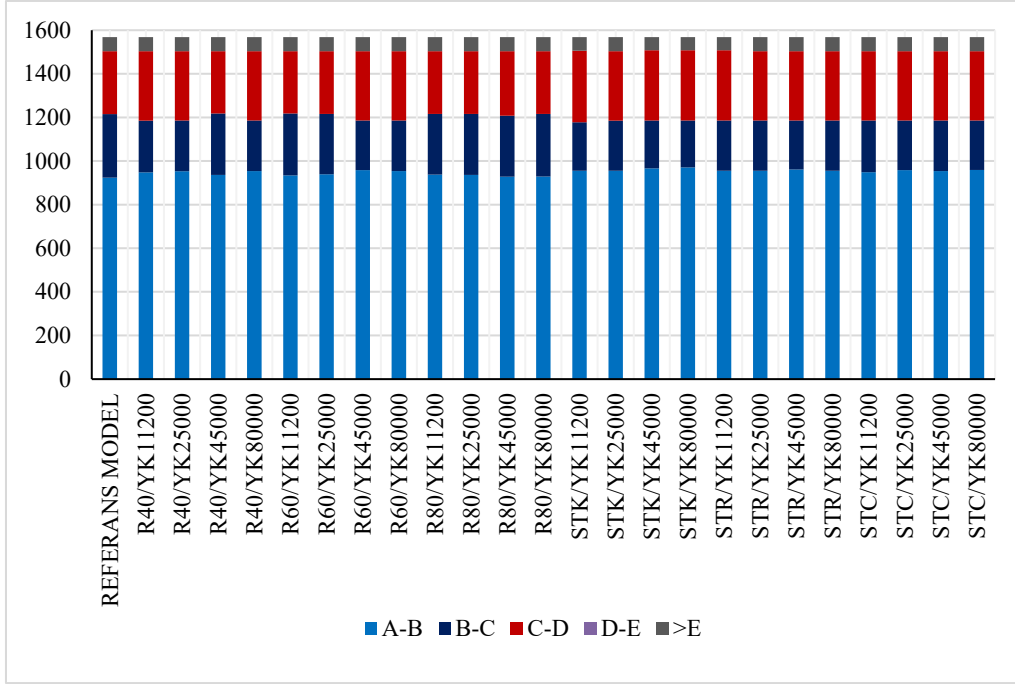
MODEL ADI	Taban kesme değeri (kN)		Yatay dayanım oranı		Değişim oranı	
	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu
STR/YK80000	6,050	5,450	0.146	0.131	0.993	0.992
STC/YK11200	5,993	5,423	0.144	0.130	0.983	0.987
STC/YK25000	6,030	5,451	0.145	0.131	0.990	0.992
STC/YK45000	6,052	5,461	0.146	0.131	0.993	0.994
STC/YK80000	6,046	5,470	0.145	0.132	0.992	0.996

X yönü için yapılan artımsal itme analizi sonucu dayanımın %80'e düştüğü adımda mafsallardaki hasar durumu Tablo 5'te verilmiştir. Y yönü de benzer davranışlar göstermiştir. Tabloda A-E harfleri tipik plastik mafsal durumu koordinatlarını, SH: Sınırlı Hasar, KH: Kontrollü Hasar, GÖ: Göçme Öncesi hasar sınırını temsil etmektedir.

Tablo 5. Modellerin plastik mafsal hasar durumu dağılımı

MODEL ADI	A-B	B-C	C-D	D-E	>E	A-SH	SH-KH	KH-GÖ	>GÖ	Total	
REFERANS MODEL	924	291	289	0	64	1,104	107	64	293	1,568	
RADYE TEMEL	R40/YK11200	948	237	319	0	64	1,113	85	64	306	1,568
	R40/YK25000	953	233	318	0	64	1,117	88	60	303	1,568
	R40/YK45000	936	282	286	0	64	1,105	102	64	297	1,568
	R40/YK80000	954	232	318	0	64	1,126	79	42	321	1,568
	R60/YK11200	934	284	286	0	64	1,089	115	62	302	1,568
	R60/YK25000	939	277	288	0	64	1,089	114	60	305	1,568
	R60/YK45000	958	228	318	0	64	1,128	78	47	315	1,568
	R60/YK80000	954	232	318	0	64	1,130	79	43	316	1,568
	R80/YK11200	938	278	288	0	64	1,091	115	61	301	1,568
	R80/YK25000	936	280	288	0	64	1,095	112	63	298	1,568
	R80/YK45000	928	280	296	0	64	1,099	108	63	298	1,568
	R80/YK80000	929	287	288	0	64	1,100	108	63	297	1,568
SÜREKLİ TEMEL	STK/YK11200	955	223	328	0	62	1,104	95	106	263	1,568
	STK/YK25000	955	230	319	0	64	1,116	89	60	303	1,568
	STK/YK45000	966	220	322	0	60	1,122	86	44	316	1,568
	STK/YK80000	971	215	322	0	60	1,127	83	38	320	1,568
	STR/YK11200	955	231	322	0	60	1,116	89	60	303	1,568
	STR/YK25000	955	231	318	0	64	1,113	95	51	309	1,568
	STR/YK45000	961	225	318	0	64	1,119	90	44	315	1,568
	STR/YK80000	955	231	318	0	64	1,117	92	41	318	1,568
	STC/YK11200	949	237	318	0	64	1,115	91	60	302	1,568
	STC/YK25000	958	228	318	0	64	1,119	91	53	305	1,568
	STC/YK45000	954	232	318	0	64	1,118	91	47	312	1,568
	STC/YK80000	959	227	318	0	64	1,117	91	38	322	1,568

Hasar durumlarının daha iyi anlaşılabilmesi için Tablo 5'de bulunan verilerin grafiksel gösterimi (Şekil 8 ve Şekil 9) verilmiştir.



Şekil 8. Modellere ait plastik mafsal durumu dağılımı

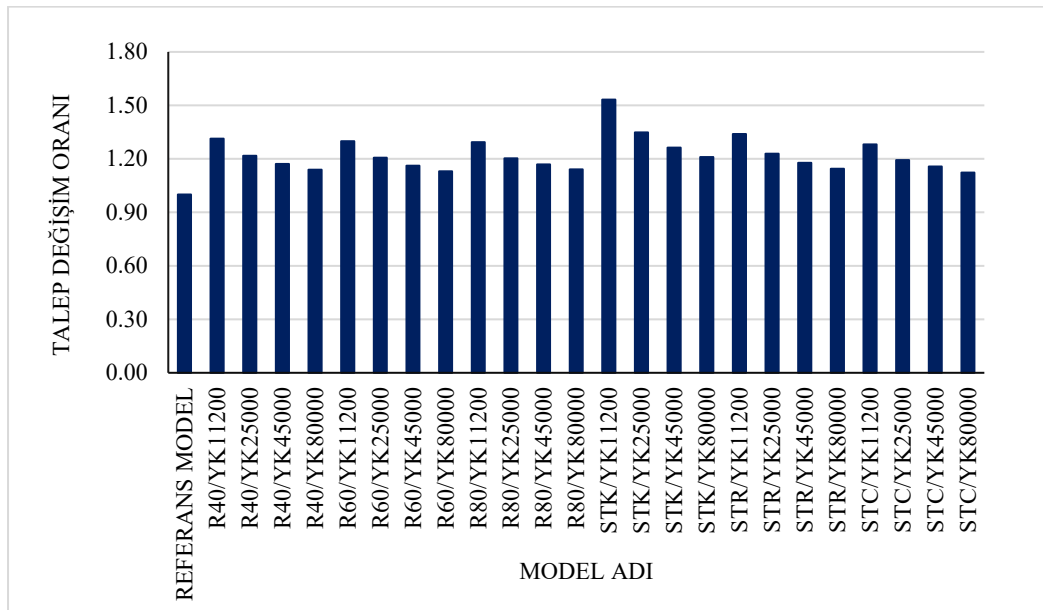


Şekil 9. Modellere ait plastik mafsal hasar durumu dağılımı

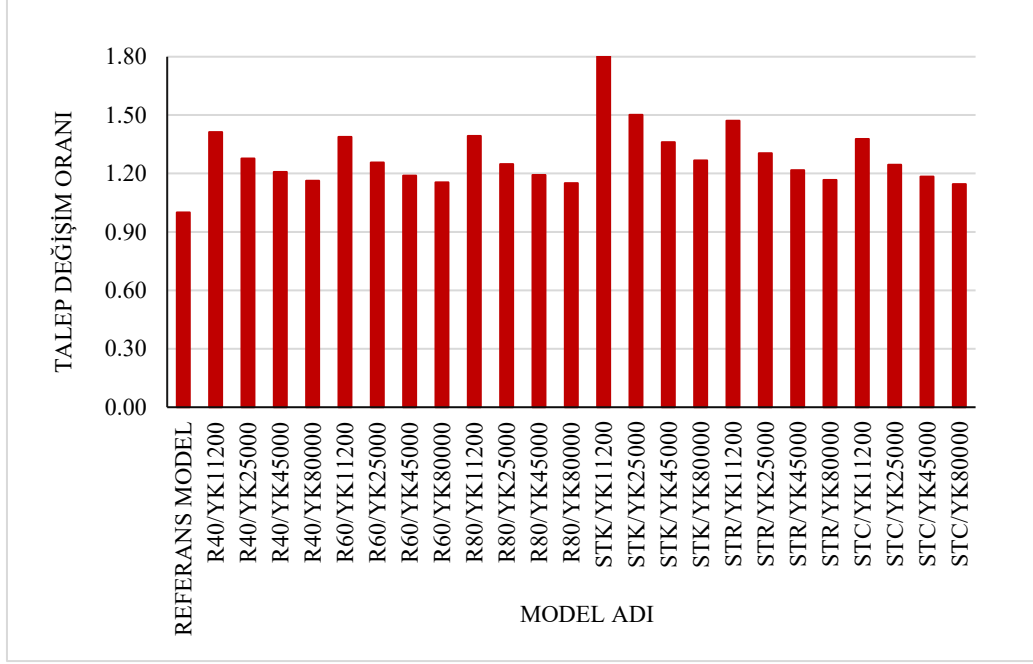
Ankastre temel kabulüne göre önemli deđiŐime sahip bina deplasman talep değerleri Tablo 6’da verilmiştir. Deplasman talepleri 2018 Deprem Yönetmeliği dikkate alınarak hesaplanan çatı deplasman talep değerleri olarak verilmektedir. Oranlardaki yüksek deđiŐimler göze çarpmaktadır (bkz. Şekil 10 ve 11).

Tablo 6. Bina modelleri çatı deplasman talebi değerleri ve referans modele göre değişim oranları

MODEL ADI	Deplasman Talep Değerleri (m)		ORAN	
	X doğrultusu	Y doğrultusu	X doğrultusu	Y doğrultusu
REFERANS MODEL	0.110	0.111	1.00	1.00
RADYE TEMEL	R40/YK11200	0.145	1.31	1.41
	R40/YK25000	0.134	1.22	1.28
	R40/YK45000	0.129	1.17	1.21
	R40/YK80000	0.126	1.14	1.16
	R60/YK11200	0.144	1.30	1.39
	R60/YK25000	0.133	1.21	1.26
	R60/YK45000	0.128	1.16	1.19
	R60/YK80000	0.125	1.13	1.15
	R80/YK11200	0.143	1.29	1.39
	R80/YK25000	0.133	1.20	1.25
	R80/YK45000	0.129	1.17	1.19
	R80/YK80000	0.126	1.14	1.15
SÜREKLİ TEMEL	STK/YK11200	0.169	1.53	1.82
	STK/YK25000	0.149	1.35	1.50
	STK/YK45000	0.139	1.26	1.36
	STK/YK80000	0.134	1.21	1.27
	STR/YK11200	0.148	1.34	1.47
	STR/YK25000	0.136	1.23	1.30
	STR/YK45000	0.130	1.18	1.22
	STR/YK80000	0.126	1.14	1.17
	STC/YK11200	0.142	1.28	1.38
	STC/YK25000	0.132	1.19	1.25
	STC/YK45000	0.128	1.16	1.18
	STC/YK80000	0.124	1.12	1.15



Şekil 10. X doğrultusuna ait deplasman talebi değişimi oranları



Şekil 11. Y doğrultusuna ait deplasman talebi değişimi oranları

5. Sonuçlar

Yapı sistemlerinin mühim bir parçası olan temellerin yapısal tasarımı, genellikle temel altındaki zeminin niteliklerini ihmal eden ve yapı-zemin etkileşimini dikkate almayan metotlarla yapılmaktadır. Yapı-zemin etkileşiminin eksiksiz bir Şekilde incelenebilmesi için, üstyapıdan aktarılan yükler altında gerçek zemin davranışını göz önünde bulunduracak modellerin oluşturulması gerekmektedir. Yapılan çalışmada, radye temel ve sürekli temel sistemine sahip yedi katlı dolgu duvarlı betonarme ereve sistemden oluşan 25 adet modelin farklı temel tip ve boyutlarına sahip ve farklı rijitlikte zeminler üzerinde inşa edilmiş durumları dikkate alınmıştır. Türkiye’deki yapı stoğunu temsil edebileceği düŐünülen 7 katlı betonarme çerçeveli binalar SAP2000 programı ile modellenmiŐ ve analiz edilmiştir. Çalışmada, dolgu duvarların da dikkate alındığı betonarme ereve model sabit tutularak, radye ve sürekli temel kesitleri deđiŐtirilmiŐtir. Daha sonra bu modeller yatak katsayısı 11,200, 25,000, 45,000, 80,000 kN/m³ alınarak yapı özellikleri ve kapasite eğrileri kıyaslanmıŐtır. Çalışma kapsamında elde edilen bulgular aŐađıdaki Şekilde zetlenebilir:

- Yapı periyodu özellikle deprem kuvvet ve deplasman talebinin belirlenmesinde kilit öneme sahip bir parametredir. Yapı periyodunda ankastre temel kabulüne göre büyük deđiŐimler gözlenmiŐtir. Radye temellerde yönetmelik Őartlarına uyulsa bile, zemin rijitliğine bağlı olarak ankastre temele göre %35’e varan oranlarda periyot artıŐları görülmektedir.
- Sürekli temellerde temel boyutlarına daha bağlı periyot değişimi görülmektedir. Yönetmelik Őartlarına uygun sürekli temellerde zemin rijitliğine bağlı olarak %12 ila %45 arasında periyot uzaması grlmŐtir. Zayıf zemin durumları ve yönetmelik Őartlarının altında temellerde periyot değişimi %83 gibi çok yüksek değerlere ulaŐmaktadır.
- Periyot deđiŐimine zemin düşey yatak katsayısının deđiŐiminin etkisi, radye temellerde incelenen geometrik durumu aynı olduğundan tüm durumlar için iki u değer arasında (11,200 ve 80,000) ortalama olarak %18 mertebesindedir. Sürekli temel ise zemin yatak katsayısına daha hassas durumdadır ve ilgili değişim yönetmeliğe uyulmayan temel durumu için %50 değerine yaklaŐabilmektedir. Yönetmeliğe uygun sürekli temelde ise bu değer ortalama %23 seviyesindedir.
- Doğrusal elastik olmayan artımsal itme analizi sonuçlarına göre yapıların yatay dayanım kapasitesi ankastre temel kabulünden daha az etkilenmektedir. Çoğu durumda değişim %2.0 mertebesinden daha aŐađıdadır. Ancak yönetmelik Őartlarının altında sürekli temel kullanılması durumunda ve zemin yatak katsayısının da 25,000 kN/m seviyesinin altında olması durumunda %5.0’e varan kayıplar oluŐabilmektedir. Yatak katsayısı 11,200 kN/m olan zeminlerde kayıplar %7.0’ye ulaŐabilmektedir.

- Hasar durumları değerlendirildiğinde genel olarak (YZE’de) aynı deplasman düzeyi tanımı için ankastre temel durumuna göre ağır hasarlı eleman sayısında (GÖ ilerisinde) artış meydana gelmiştir. Çoğu durumda dikkate alınan sürekli ve radye temellere sahip modellerde ağır hasarlı eleman sayısı ankastre duruma göre %10’a varan oranda artmıştır. Bunun tek istisnası yönetmelik seviyesinin de üzerinde radye temele sahip modeldir. Bu modelde artış oranı en kötü zemin durumu için bile %3.0’ın altındadır.
- İlginç şekilde aynı temel durumu için genel olarak zemin rijitliği arttıkça ağır hasarlı eleman oranında artış olmaktadır. Bu duruma yüksek zemin rijitliği sebebiyle modellerde oluşan daha az esnek davranış sebep olmuş olabilir.

6. Yazar katkı beyanı

Çalışma Nuray Yaşar’ın yüksek lisans tezi kapsamında Dr. Hayri Baytan Özmen danışmanlığında yapılmıştır. Modellerin hazırlanması Dr. Hayri Baytan Özmen’in yönlendirmesi doğrultusunda Nuray Yaşar ve Dr. Barış Tanrıverdi tarafından gerçekleştirilmiştir. Sonuçların değerlendirmesi ve makale yazımı Nuray Yaşar ve Dr. Hayri Baytan Özmen tarafından yapılmıştır.

7. Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Makale için etik kurul izni alınmasına gerek yoktur. Makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

8. Kaynaklar

- [1] Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. 26511 sayılı Resmi Gazete, 2017 (30.10.2020).
- [2] Gülkan P. *Influence of Different Soil Modeling Criteria in SSI Analysis*. Editörler: Gülkan P., Clough R.W. *Developments in Dynamic Soil-Structure Interaction*, 179-217, Dordrecht, Springer, 1993.
- [3] Aydınoglu MN. Üstyapı-Zemin Ortak Sisteminin Deprem Hesabı, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 1977.
- [4] Korkmaz KA, Demir F. “Yapı-Zemin Etkileşiminin Yapıların Deprem Davranışına Etkileri”. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 12-17, 2012.
- [5] Kılıçer S. Yapı Zemin Etkileşiminin Betonarme Yapıların Tasarımına Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, 2016.
- [6] Çetinkaya MY, Çelebi E, Kırtel O. “Yapı-Temel-Zemin Sismik Etkileşim Probleminin Adapazarı Bölgesi İçin Empedans Fonksiyonları Yardımıyla Analizi”. *Politeknik Dergisi*, 20(2), 325-332, 2017.
- [7] Anand V, Kumar SRS. “Seismic soil-structure interaction: A state-of-art review”. *Structures*, 16, 317-326, 2018.
- [8] Tomeo R, Pitilakis D, Bilotta A, Nigro E. “SSI effects on seismic demand of reinforced concrete moment resisting frames”. *Engineering Structures*, 173, 559-572, 2018.
- [9] Ethemoglu H. Zemin Yapı Etkileşiminin Hasar Olasılığına Etkisi, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2020.
- [10] Çaycı BT, İnel M, Kamal M. “Zemin Rijitliğindeki Değişimin Yapıların Sismik Davranışı Üzerindeki Etkileri”. Konferans: 4. *Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*. Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim 2017.
- [11] Cayci, BT, Inel M, Ozer E. “Effect of Soil-Structure Interaction on Seismic Behavior of Mid-and Low-Rise Buildings”. *International Journal of Geomechanics*, 21(3), 04021009, 2021.
- [12] Avcioglu O. İki parametrelili zemine oturan betonarme yapıların doğrusal olmayan hesabı ve görsel tabanlı bir bilgisayar yazılımı, Doktora tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2015.
- [13] Inel M, Ozmen HB, Şenel ŞM, Kayhan AH. “Mevcut Betonarme Binaların Yapısal Özelliklerinin Belirlenmesi”, *Uluslararası Sakarya Sempozyumu*, Sakarya, Türkiye, 1-2 Ekim 2009.
- [14] TBDY 2018. *Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği*, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara, Türkiye, 2018.
- [15] TS 500. *Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları*, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara Türkiye, 2000.
- [16] TS 498. Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, 1987.
- [17] FEMA 356. *Prestandard And Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. ASCE for Federal Emergency, Washington D.C. 2000.
- [18] Asteris PG. “Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames”. *J Struct Eng*, 129(8), 1071-1079, 2003.
- [19] Bowles JE. “Foundation Analysis and Design: McGraw-Hill Companies”, Inc., New York, USA, 1996.
- [20] Yasar N. Farklı temel ve zemin özelliklerinin bina taşıyıcı sistem davranışlarına etkisi, Yüksek lisans tezi, Uşak Üniversitesi Lisanssütü Eğitim Enstitüsü, Uşak, Türkiye, (Basım aşamasında).
- [21] İnel M, Bilgin H, Ozmen HB. “Mevcut kamu yapılarının performans değerlendirmesi”. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 444-445, 4-5, 2006.
- [22] SAP2000, Structural Analysis Program, Computer and Structures 2004.