



# HARRAN ÜNİVERSİTESİ MÜHENDİSLİK DERGİSİ

*HARRAN UNIVERSITY JOURNAL of ENGINEERING*

e-ISSN: 2528-8733 (ONLINE)

URL: <http://dergipark.org.tr/humder>

## Farklı Sonlu Elemanlar Yaklaşımları Kullanılarak Radye Temel Parametrelerinin Temel Oturması Üzerine Etkisinin Araştırılması

*Investigating the Effect of Raft Foundation Parameters on Foundation Settlement Using Different Finite Element Approaches*

*Yazar(lar) (Author(s)):* Arda Burak EKME<sup>1</sup>, Muhammet Fethi GÜLLÜ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID ID: 0000-0002-9703-2185

<sup>2</sup> ORCID ID: 0000-0002-6064-4719

Bu makaleye şu şekilde atıfta bulunabilirsiniz (To cite to this article): Ekmen A.B., Güllü M.F., “Farklı Sonlu Elemanlar Yaklaşımları Kullanılarak Radye Temel Parametrelerinin Temel Oturması Üzerine Etkisinin Araştırılması”, *Harran Üniversitesi Mühendislik Dergisi*, 7(3): 193-203, (2022).

Erişim linki (To link to this article): <http://dergipark.org.tr/humder/archive>



## Farklı Sonlu Elemanlar Yaklaşımları Kullanılarak Radye Temel Parametrelerinin Temel Oturması Üzerine Etkisinin Araştırılması

Arda Burak EKMEN<sup>1,\*</sup>, Muhammet Fethi GÜLLÜ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 63290, Haliliye/ŞANLIURFA

### Öz

Bu çalışma kapsamında farklı sonlu elemanlar yaklaşımları kullanılarak on katlı betonarme bir binanın radye temel kalınlıkları ve temel beton sınıfları değişiminin oturma üzerine etkisi araştırılmıştır. İlk yaklaşımda yapı düşey yükleri, radye temel sistemi üzerine alan yükü olarak etkilmiştir. İkinci yaklaşımda ise yapı ve zemin birlikte modellenerek üst yapı yükleri zemine doğrudan aktarılmıştır. İki farklı yaklaşımla elde edilen modellerde 80-100-120 cm'lik üç farklı temel kalınlığı ve altı farklı radye temel beton sınıfı (C25-C30-C35-C40-C45-C50) kullanılarak toplam 36 farklı üç boyutlu sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Birleşik model yaklaşımında temel kalınlığı ve beton sınıfının doğal titreşim periyotları üzerine etkisi de araştırılmıştır. Modellenen radye temel sistemlerinin merkez ve köşe noktalarındaki oturmalar hesaplanmıştır. Radye temel kalınlığı ve elastisite modülünün oturma üzerine etkisi iki yaklaşım için de değerlendirilmiştir. Farklı yaklaşımlarla elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanarak temel oturma farklılıkları incelenmiştir. Her iki yaklaşım için temel merkez oturmalarında benzer grafiksel eğilimlere rastlanırken temel köşe oturmalarında farklılıklar tespit edilmiştir.

### Makale Bilgisi

Başvuru: 23/10/2022  
Yayın: 30/12/2022

### Anahtar Kelimeler

Zemin-yapı etkileşimi  
Sonlu elemanlar  
modellemesi  
Radye temel oturması  
Doğal titreşim periyodu

### Keywords

Soil-structure interaction  
Finite element modeling  
Raft foundation settlement  
Natural vibration period

## Investigating the Effect of Raft Foundation Parameters on Foundation Settlement Using Different Finite Element Approaches

### Abstract

The impact of altering the raft foundation thicknesses and foundation concrete classes of a ten-story reinforced concrete building on the settlement was investigated using several finite element approaches within the scope of this study. In the first approach, the vertical loads of the structure were applied to the raft foundation system as an area load. In the second approach, the structure and the soil were modeled together, and the superstructure loads were directly transferred to the soil. In the models obtained with two different approaches, a total of 36 different three-dimensional finite element analyzes were conducted using three different foundation thicknesses of 80-100-120 cm and six different raft foundation concrete classes (C25-C30-C35-C40-C45-C50). In the combined model approach, the effects of foundation thickness and concrete class on natural vibration periods were also investigated. The settlements at the center and corner points of the modeled raft foundation systems were determined. The effects of raft foundation thickness and modulus of elasticity on settlement were evaluated for both approaches. The results obtained with different approaches were compared with each other and the basic settlement differences were scrutinized. The raft foundation center settlements for both systems demonstrated comparable graphical trends, whereas the raft foundation corner settlements showed variances.

## 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Bilgisayar sistemlerinin gelişmesiyle yapı ve zemin analizleri genellikle sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmektedir. Sonlu elemanlar analizlerinde yapının zemin ve temel ile etkileşimi konusu genel olarak ihmal edilmektedir. Teorik ve nümerik yöntemler sıklıkla temellerde oluşabilecek oturmaların belirlenmesi ve betonarme hesapların yapılması için kullanılmaktadır. Birçok genel yaklaşımda zemin, düşey yatak katsayısı ile temsil edilip temel altına sadece düşey yönde çalışan yaylar tanımlanarak modellemeler yapılmaktadır. Radye temellerin projelendirilmesi esnasında oturma değerlerinin

\*İletişim yazarı, e-mail: ardaburakekmen@harran.edu.tr

belirlenmesi temel tasarımı açısından oldukça önemli bir parametre olmasına rağmen yapı mühendisliği uygulamalarında zemin, yaylarla temsil edilmektedir. Bu durum, yapı açısından betonarme temelde oluşan gerilme analizlerinde görece kabul edilebilir olsa da temel oturma hesaplarında tutarlı sonuçlar vermemektedir. Bu kapsamda yapıdan ayrı olarak oturma analizleri gelen yükün radye temel alanına eşit dağıldığı kabulüyle gerçekleştirilmektedir. Ancak bu yaklaşım, temele bağlanan düşey taşıyıcı elemanların oturma analizlerinde rijitlik etkisinin ihmal edilmesine neden olabilmektedir. Ayrıca yapının temel yerine zemine ankastre bağlı olarak modellenmesi yapı doğal titreşim periyodunu doğrudan etkilemektedir.

Birçok araştırmacı (örneğin; [1-7]) sonlu elemanlar yöntemi kullanarak radye temel sistemlerini analiz etmiştir. Keskin ve Cengizhan [8] temel oturma yöntemleri için geleneksel yöntem ve sonlu elemanlar yöntemini karşılaştırmış olup birbirine yakın sonuçlar bulmuştur. Çimen ve ark. [9] az katlı bir yapıda farklı oturma problemlerine ait vaka analizi gerçekleştirmiştir. İlgili çalışmada yapı ve zemin ayrı modellenmiş olup statik analiz sonucu elde edilen yükler temel sistemine iki boyutlu olarak aktarılmış ve analizler yürütülmüştür. Korkmaz ve Demir [10] yapı zemin etkileşiminin dinamik etkiler altında irdelemişlerdir. Farklı zeminler için basitleştirilmiş yaylar tanımlayıp temel sistemini ihmal ederek temel seviyesinde ankastre bağlantı tasarlayıp analizler yapmış ve elde edilen sonuçları birbirleriyle karşılaştırmışlardır. Livaoğlu ve Doğançün [11] dinamik etkilerin olduğu durumlarda yapı-zemin etkileşiminin önemini farklı yönetmelikleri dikkate alarak vurgulamışlardır. Dhadse ve ark. [12] zemin yapı etkileşimi kapsamında oluşturulan sonlu elemanlar modellerinin analizleriyle ilgili derleme bir çalışma yayınlamışlardır. Kullanılan yöntemlerin avantaj ve dezavantajlarını değerlendirmişlerdir. Torabi ve Rayhani [13] sismik yükler altında doğrusal olmayan temel-zemin tepkisini yakalamak için doğrusal elastik tek serbestlik dereceli yapıyı ve zemin davranışı için doğrusal olmayan elasto-plastik yapısal modeli kullanan yeni bir üç boyutlu sonlu eleman modelini tanıtmışlardır. Yapı-temel rijitliği ve en-boy oranları gibi esnek temelli yapılarda birleştirilmiş temel-yapı performansını kontrol eden önemli parametrelere değinmişlerdir.

Bu çalışmada üniform gerilme ve birleşik model yaklaşımı kullanılarak on katlı betonarme bir yapının radye temel parametreleri değişiminin oturma üzerine etkisi araştırılmıştır. İki yaklaşım için tasarlanan modellerde 80-100-120 cm'lik üç farklı temel kalınlığı ve altı farklı radye temel beton sınıfı (C25-C30-C35-C40-C45-C50) kullanılarak toplamda 36 farklı üç boyutlu sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir. Analizler sonucunda radye temel merkezi ve köşe noktalarındaki oturmalar belirlenmiştir. Radye temel kalınlığı ve beton sınıfına bağlı olarak değişen radye temel elastisite modülünün oturma üzerine etkisi değerlendirilerek farklı yaklaşımlarla elde edilen sonuçlar birbirleriyle kıyaslanmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca farklı radye temel parametreleri kullanılarak birleşik model analizleri sonucunda elde edilen yapı doğal titreşim periyotları değerlendirilmiştir.

## 2. ÜÇ-BOYUTLU SONLU ELEMANLAR MODELLEMESİ (THREE-DIMENSIONAL FINITE ELEMENT MODELLING)

Bu çalışmada radye temel kalınlığının ve elastisite modülünün temel oturması üzerine etkisini araştırmak amacıyla 18m genişliğinde ve 38m uzunluğunda bir alana sahip siltli kum zemin tabakası üzerine inşa edilmiş on katlı bir yapıya ait olan radye temel ve zemin profili için iki farklı yaklaşım kullanılarak üç boyutlu sonlu elemanlar modeli oluşturulmuş ve analizler gerçekleştirilmiştir. Tablo 1'de radye temelin altında yer alan zemin tabakasının özellikleri verilmiştir.

**Tablo 1.** Üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde kullanılan zeminin özellikleri

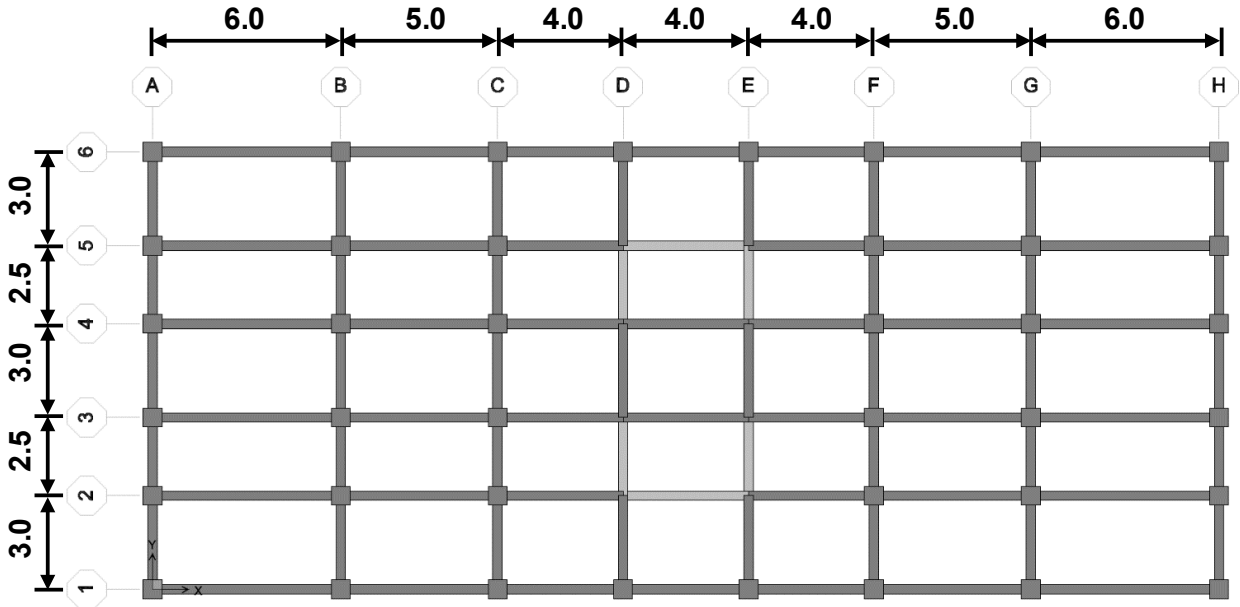
Birim hacim ağırlık ( $\gamma$ )	17 kN/m <sup>3</sup>
Elastisite Modülü (E)	30 MPa
Poison Oranı ( $\nu$ )	0.3
Kohezyon (c)	10 kPa
İçsel Sürtünme Açısı ( $\phi$ )	30°
Dilatasyon Açısı ( $\psi$ )	0°
Malzeme Modeli	Mohr-Coulomb

Radye temelin mühendislik özelliklerindeki değişimin oturma üzerine etkisini belirlemek için 80-100-120 cm'lik üç farklı temel kalınlığı ve altı farklı radye temel beton sınıfı (C25-C30-C35-C40-C45-C50) kullanılarak parametrik üç boyutlu sonlu elemanlar modelleri oluşturulmuştur. Tablo 2'de radye temelin özellikleri ve değişen parametreler sunulmuştur. Tablo 2'de radye temelin özellikleri ile birlikte değişen parametreler gösterilmiştir ve beton sınıflarına bağlı olarak sunulan elastisite modülleri Betonarme yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları (TS500-2000) [14] dikkate alınarak belirlenmiştir.

**Tablo 2.** Üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde kullanılan radye temelin özellikleri

Birim hacim ağırlık ( $\gamma$ )	25 kN/m <sup>3</sup>
Elastisite Modülü (E)	30000-32000-33000-34000-36000-37000 MPa
Poison Oranı ( $\nu$ )	0.2
Radye temel kalınlığı (d)	80-100-120 cm
Model	Lineer Elastik

Zemin, radye temel ve betonarme bina birlikte modellenerek hazırlanan yaklaşımda kullanılan on katlı betonarme bina yükleri üniform olarak elde edilmiş ve zemin ile radye temelin üst yapıdan bağımsız olarak modellendiği yaklaşımda aynı şekilde kullanılmıştır. Betonarme bina kat yükseklikleri 3.0 m olarak verilmiştir. Betonarme binanın plan görünümü Şekil 1'de verildiği gibi (gösterilen mesafeler metre birimindedir) farklı açıklıklara sahip olacak şekilde simetrik olarak tasarlanmıştır. Yapı merkezinde D-E ile 2-3 ve 4-5 aksları arasına 30 cm kalınlığında betonarme perde yerleştirilmiştir. Yapı kiriş ve kolon boyutları sırasıyla 30/60 cm ve 60/60 cm olacak şekilde tasarlanmış ve tüm katlarda sabit tutulmuştur. Tüm katlarda ve açıklıklarda döşeme kalınlıkları 18 cm olarak belirlenmiştir. Betonarme döşeme ile perde duvarlar kabuk eleman olarak modellenirken, betonarme kolon ve kirişler çubuk elemanlar olarak modellenmiştir. Üniform yük yaklaşımında betonarme yapı analizlere dâhil edilmediği için yapı temelinde değiştirilen beton sınıfı betonarme binada C25 olarak sabit tutulmuştur. Betonarme bina yükü hesaplanırken taşıyıcı sistem yüküne ek olarak tüm katlarda 2.0 kN/m<sup>2</sup> ölü ağırlık ve 3.5 kN/m<sup>2</sup> hareketli yük tanımlanmıştır.

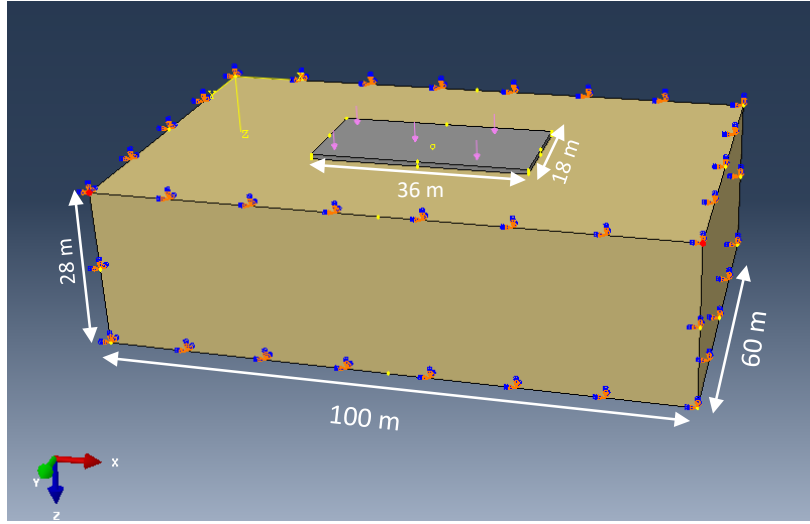


**Şekil 1.** Yapı plan görünümü

## 2.1. Üniform Gerilme Yaklaşımı

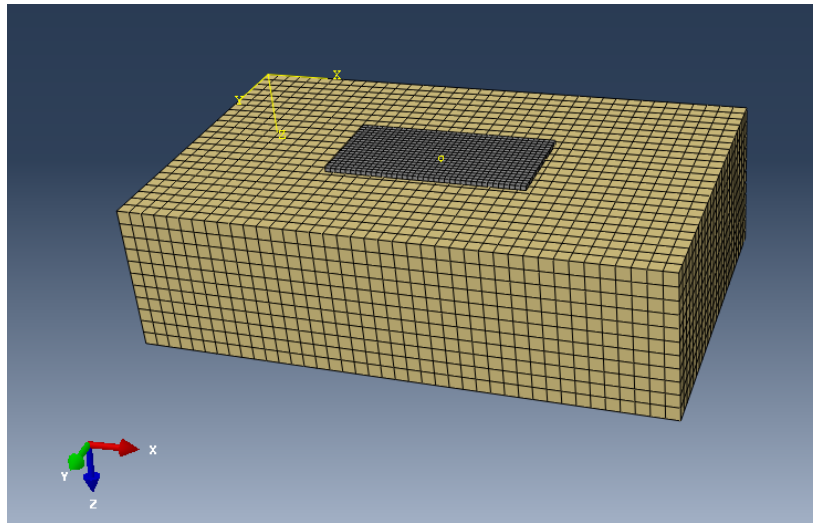
Bu yaklaşımda üst yapıdan aktarılan düşey yükler, radye temel sistemine üniform gerilme olarak aktarılmıştır. Tasarlanan on katlı üst yapıdan radye temele aktarılan 106596 kN yük, üniform gerilme olarak

temele etkilmiştir. Üç boyutlu sonlu elemanlar modeli herhangi bir ölçeklendirme yapılmadan gerçek boyutlarıyla Abaqus [15] yazılımı kullanılarak tasarlanmıştır. Tasarlanan modelin boyutları, ağ eleman sayısı, sınır şartları gibi parametrelerin uygun seçimi için bir yakınsama çalışması yürütülmüştür. Radye temel ile zemin arasındaki bağlantı yüzeyden yüzeye olacak şekilde 0.7 arayüz sürtünme katsayısı kullanılarak sağlanmıştır. Malzeme özellikleri, zeminin doğrusal olmayan parametreleri dikkate alınarak tanımlanmıştır. Modelin geometrisi gözetilerek hem malzeme açısından hem de geometrik olarak nonlineer analizler gerçekleştirilmiştir. Üniform gerilme yaklaşımı için oluşturulan üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Şekil 2’de gösterilmiştir.



**Şekil 2.** Oluşturulan üç boyutlu sonlu elemanlar modeli

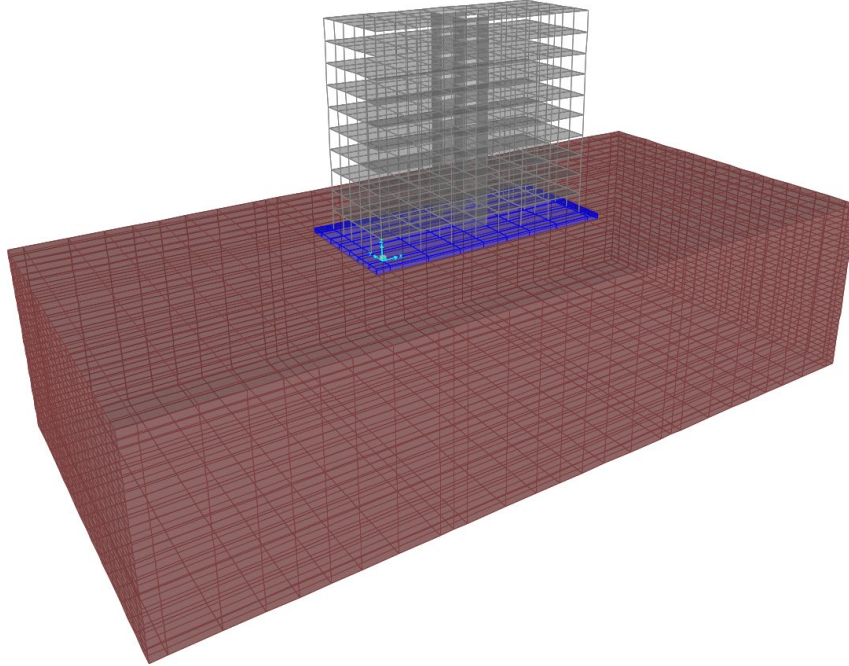
Şekil 2’de görüldüğü üzere radye temel boyutları dikkate alınarak tasarlanan model 60 x 100 m boyutlarında kalınlığı 28 metre olan siltli kum zemin tabakasının üzerinde oluşturulmuştur. Üç boyutlu sonlu elemanlar modelinde, modelin alt kısmı ve yan yüzeylerde sınır şartları kullanılarak düşey ve yatay yöndeki deformasyonlar kısıtlandırılmıştır. Şekil 2’de üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin sınır şartları görülmektedir. Gerçekleştirilen yakınsama çalışması ile tutarlı çözüm süresi ve güvenli analizin bir arada sağlandığı optimum durum belirlenerek model ağ elemanlarına bölünmüştür. Şekil 3’te ağ elemanlarına bölünmüş üç boyutlu sonlu elemanlar modeli sunulmuştur. Gerçekleştirilen parametrik çalışmalarda üniform gerilme yaklaşımının kullanıldığı tüm üç boyutlu sonlu elemanlar analizlerinde Şekil 2’de sunulan model kullanılmıştır.



**Şekil 3.** Ağ elemanlarına bölünmüş üç boyutlu sonlu elemanlar modeli

## 2.2. Birleşik Model Yaklaşımı

Bu çalışma kapsamında ilk aşamada üniform gerilme yaklaşımı ile temsil edilen sistem, birleşik model yaklaşımında yapı-temel-zemin etkileşimi dikkate alınarak modellenmiştir. Üç boyutlu model gerçek boyutlar kullanılarak zemin ve temel özellikleri Bölüm 2.1’de verildiği şekliyle SAP2000 [16] bilgisayar programında tasarlanmıştır. Modelleme sırasında ağ boyutları 1.0 m’den daha küçük olacak şekilde tasarlanmıştır. Zemin ve temel üç boyutlu katı eleman olarak birbirleriyle rijit bağlı bir şekilde tanımlanmıştır. Yapılan analizlerde sadece düşey yükler dikkate alındığı için temelin kayma durumunu ihmal etmek kabul edilebilir bir basitleştirme yaklaşımı olarak düşünülmektedir. Şekil 4.’te tasarlanan üç boyutlu bilgisayar modelinin görseli sunulmuştur. Bu görselde kahverengi kısım zemini, mavi kısım temeli ve gri kısımlar üst yapıyı temsil etmektedir. Bir önceki bölümde anlatılan yaklaşım ile burada anlatılan yaklaşım arasındaki en büyük fark, zemin temel ve yapının bir arada tasarlanmış olması ve böylelikle üst yapı düşey taşıyıcı elemanlarının temel ile bağlantı noktalarındaki rijitlik katkılarının dikkate alınmış olmasıdır. Ayrıca üniform bir gerilme yerine üst yapıdan gelen yük, kolon veya perde duvarların bulunduğu noktalardan direk temele aktarılmaktadır. Böylelikle zemin-yapı etkileşimi analizlerde dikkate alınmaktadır. Birleşik model yaklaşımında elde edilen temel oturmalarını üniform gerilme yaklaşımı ile karşılaştırmanın yanı sıra bu yaklaşımda modal analizler gerçekleştirilmiştir. Temel kalınlığı ve temel beton sınıfı değişiminin yapı doğal titreşim periyoduna iki ana doğrultudaki etkisi irdelenmiştir.

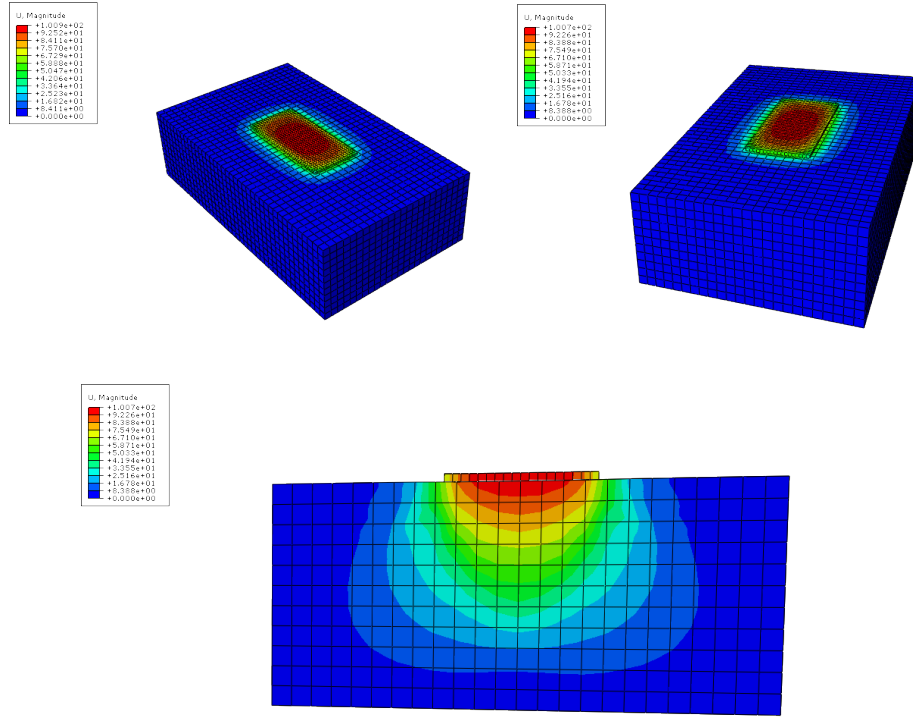


*Şekil 4. Yapı ile birlikte oluşturulan üç boyutlu sonlu elemanlar modeli*

## 3. BULGULAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

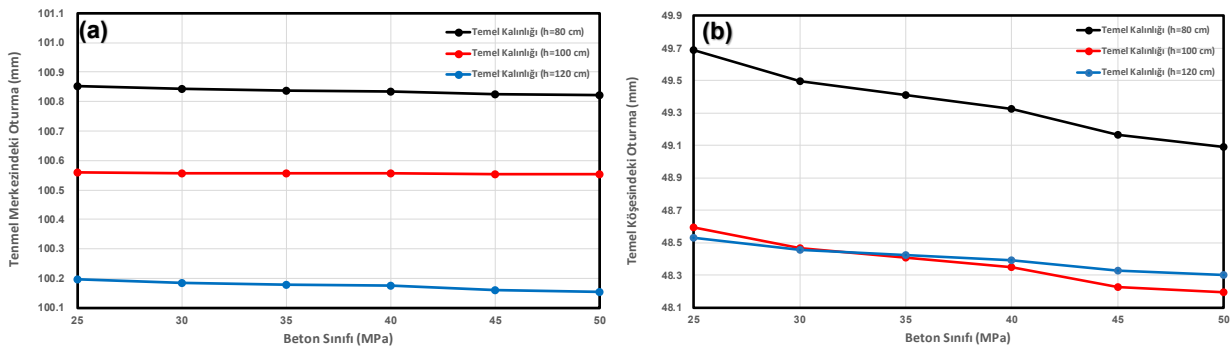
Üniform gerilme yaklaşımı ile oluşturulan 18 farklı üç boyutlu sonlu elemanlar modeli Tablo 1 ve 2’de belirtilen parametreler dikkate alınarak analizlere tabi tutulmuştur. Şekil 5’te üniform gerilme yaklaşımı ile elde edilmiş üç boyutlu zemin-radye temel sisteminde oluşan deformasyon biçimleri sunulmuştur. Şekil 5’te görüleceği üzere oturma değerleri radye temel sisteminin merkezinde maksimum düzeyde iken köşe noktalara doğru gidildikçe azalmaktadır. Ayrıca 28 metre kalınlığındaki zemin derinliği boyunca oluşan oturmalar gözlemlendiğinde yaklaşık 23 metre boyunca zeminde oturmaların gerçekleştiği belirlenmiştir. Radye temel kalınlığı ve kullanılan beton sınıfının değişimiyle üniform gerilme yaklaşımı kapsamında

oluşturulan 18 farklı üç boyutlu sonlu elemanlar modelinin temel merkezi ve köşesi altındaki oturma değerleri sırasıyla Şekil 6'da gösterilmiştir.



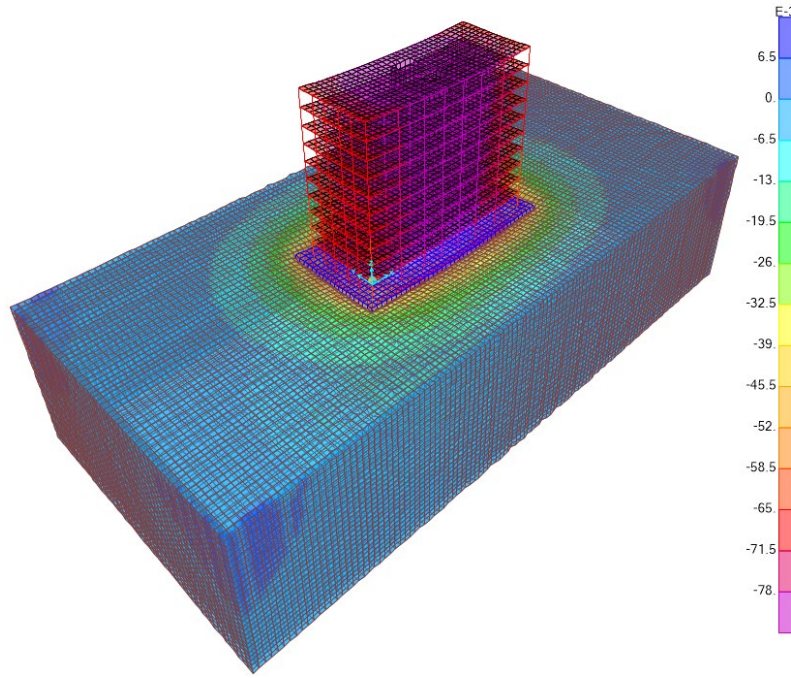
**Şekil 5.** Üniform gerilme yaklaşımı ile elde edilmiş üç boyutlu zemin-radye temel sisteminde oluşan deformasyonlar

Şekil 6-a'da görüldüğü üzere temel kalınlığının 80 cm'den 120 cm'ye kadar artırılması temel merkezi altındaki oturma değerlerini azaltmıştır. Ayrıca temelde kullanılan beton sınıfının artması da oturma değerlerinin azalmasını sağlamış ancak radye temel kalınlığının oturma üzerine yaptığı etki kadar ciddi bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum kullanılan tüm beton sınıflarında yeterli rijitliğin sağlanmasından dolayı temel aracılığıyla üst yapıdan zemine aktarılan gerilmenin anlamlı oranda değişmemesinden kaynaklanmaktadır. Radye temel köşesi altındaki oturmalar incelendiğinde, Şekil 6-b'de temel kalınlığı 80 cm olan analiz kombinasyonunun en yüksek oturma değerine sahip olduğu, 100 ve 120 cm kalınlığındaki temellerin bulunduğu analizlerde ise C25 ve C30 beton sınıfları için 120 cm kalınlığındaki radye temel en düşük oturma değerlerine sahip olduğu belirlenmiştir. C35-C50 aralığındaki beton sınıflarında ise radye temel kalınlığı 100 cm olan modelin en düşük oturmaya uğradığı görülmüştür. İlgili temel kalınlıkları için bu durum kritik eşikte beton sınıfına bağlı olarak rijitliğin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte 100 ve 120 cm kalınlığındaki temellerin köşe noktalarındaki oturma değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir.

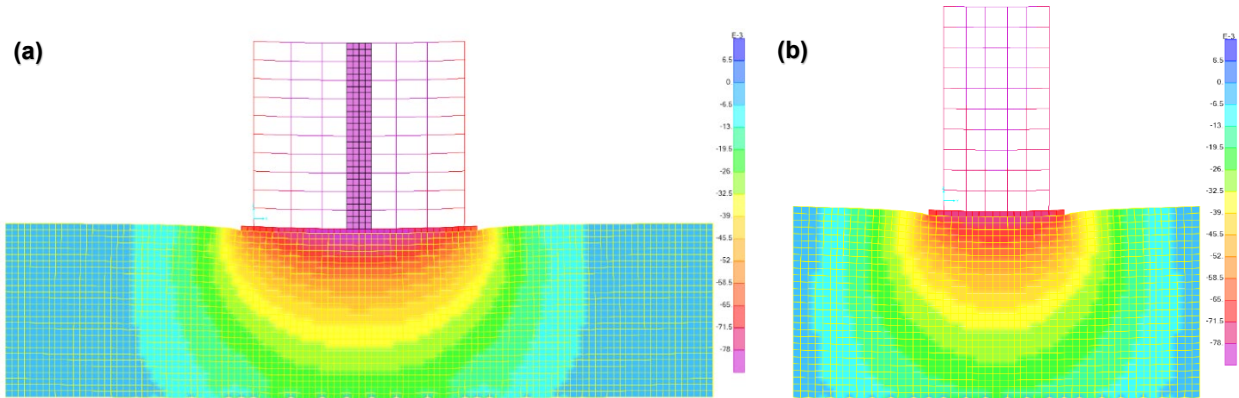


**Şekil 6.** Üniform gerilme yaklaşımı ile elde edilen oturma sonuçları: (a) Temel merkezinde oturma, (b) Temel köşesinde oturma

Birleşik model kullanılarak düşey yükler altında gerçekleştirilen analizler sonucunda elde edilen yapı deforme olma biçimleri Şekil 7 ve Şekil 8’de sunulmuştur. Şekillerdeki görseller örnek temel kalınlığı ve beton sınıfı için verilen oturma sonuçlarını temsil etmektedir. Şekil 7’de yapı, temel ve zemin deforme olmuş şekli üç boyutlu olarak gösterilmiştir. Görselden de anlaşıldığı üzere zeminin sınır şartlarına yakın noktalarında neredeyse hiç deformasyon olmadığı tespit edilmiştir. Bu durum seçilen zemin boyutlarının analiz sonuçlarını doğru bir şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Şekil 8’de ise aynı yapı için boy kesit ve en kesit görselleri sunulmuştur. Zeminde oturmaların yapının bulunduğu bölgeye toplandığı görülmektedir. Zemin-temel-yapı sisteminin birlikte modellenerek analizlerin yapılması üst yapıda zemin oturmalarından doğacak zorlanmaların da hesaplara dâhil edilmesi anlamına gelmektedir. İç akslardaki kolonlarda oturma daha çok olduğu için bu kolonların aşağı yönlü hareketi kaçınılmaz olacak ve yapıda ilave iç kuvvetlere yol açılacaktır. Bu gibi durumların tespitini en iyi şekilde yapabilmek için zemin, yapı ve temelin birlikte modellenmesi önem arz etmektedir (örneğin; [17-20]).



Şekil 7. Birleşik model yaklaşımı ile elde edilmiş üç boyutlu deforme olmuş zemin-yapı görseli

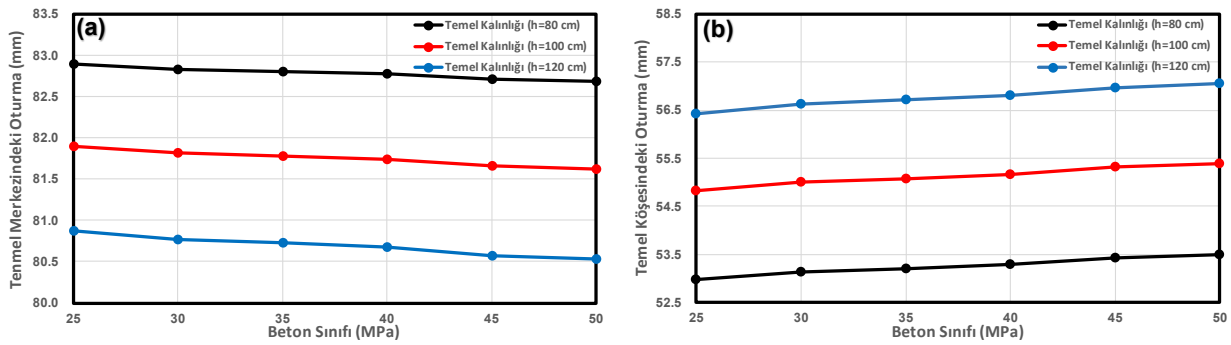


Şekil 8. Birleşik model yaklaşımı ile elde edilmiş deforme olmuş zemin-yapı görseline ait; (a) boy kesit, (b) en kesit

Birleşik model yaklaşımında, Şekil 7 ve Şekil 8’de temsili olarak gösterilen temel oturma görselleri farklı beton sınıfları (C25-C30-C35-C40-C45-C50) ve temel kalınlıkları (80-100-120 cm) kullanılarak yapılan bütün analizler için elde edilmiştir. Şekil 9’da elde edilen bu görsellerden çıkarılan sonuçlar temel orta noktası ve köşe noktası için grafiksel olarak gösterilmiştir. Farklı temel kalınlıkları için üçer farklı eğri



şeklinde gösterilen sonuçlarda beton sınıfındaki farklılıklar farklı temel kalınlıklarında benzer eğilim göstermişlerdir. Temel kalınlığı arttıkça temel ortasında ölçülen oturma değerleri azalmaktadır. Ancak temel köşe noktasında ölçülen oturma değerleri temel kalınlığının artmasına paralel olarak artış eğilimi göstermektedir. Bu durum kullanılan temel kalınlığının artması ile üst yapıdan gelen yükün daha üniform olarak zemine aktarıldığı şeklinde yorumlanabilir. Temel kalınlığı arttıkça temel orta noktasında ölçülen maksimum oturma değerinin azalması ve köşe noktalarındaki oturma değerlerinin artması, radye temelin kalınlığının artmasının yapıda oluşabilecek farklı oturma durumlarını daha aza indirdiğini göstermektedir. Farklı temel kalınlıklarında benzer trend gösteren beton sınıfı değişimlerinin temel oturmasına etkisi incelendiğinde, beton sınıfının artmasının temel kalınlığının artmasına benzer sonuçlar ortaya çıkardığı görülmektedir (Şekil 9). Beton sınıfı değişiminin etkisi temel kalınlığındaki değişim kadar oturma sonuçlarını etkilememektedir. Sonuç olarak, temel rijitliği beton sınıfı veya temel kalınlığı sebebiyle artarsa temel orta noktasındaki oturmalar azalmakta ancak köşe noktalarındaki oturmalar artmaktadır. Bu durum temel rijitliği arttıkça temelin köşe ve orta noktalarında oluşacak düşey yer değiştirme farklarının az olacağını göstermektedir.

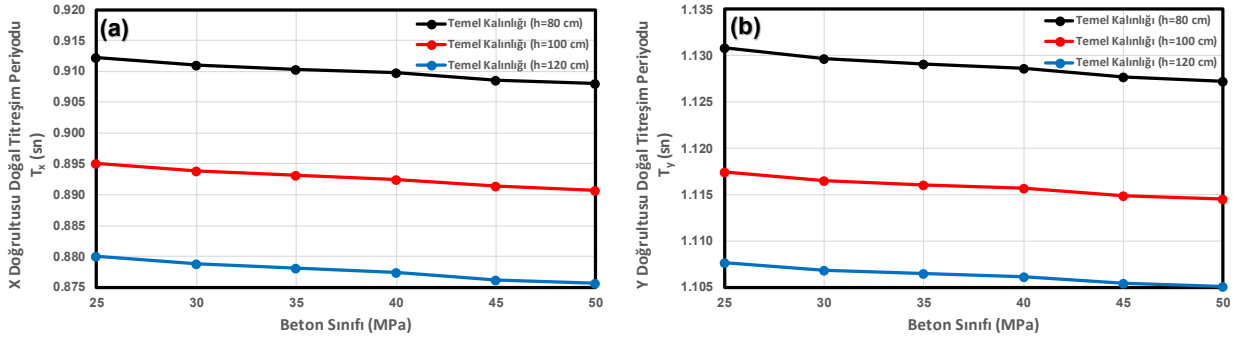


Şekil 9. Birleşik model yaklaşımı ile elde edilen oturma sonuçları: (a) Temel merkezinde oturma, (b) Temel köşesinde oturma

Üniform gerilme ile birleşik model yaklaşımlarından elde edilen sonuçlar değerlendirildiğinde, betonarme temel merkezinde oluşan oturma değerleri için benzer trende sahip eğriler elde edilmiştir. Her iki yaklaşımda da temel kalınlığı ve temel beton sınıfı (dolaylı olarak beton elastisite modülü) arttıkça oturma değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Üniform gerilme yaklaşımında oturmaların temel kalınlığı ve beton sınıfı değişiminden etkilenmesinin birleşik model yaklaşımına göre daha az olduğu tespit edilmiştir. Betonarme temel köşelerinde analiz sonucunda elde edilen oturmalar incelendiğinde çalışmada söz edilen iki yaklaşımın farklılık gösterdiği gözlemlenmiştir. Üniform gerilme yaklaşımında temel kalınlığı 80 cm olan modelin en yüksek oturma değerine sahip olduğu belirlenmiştir. Temel kalınlıkları 100 ve 120 cm olan modellerde minimum ve maksimum beton sınıflarında oturma farklılıklarının olduğu, ancak aradaki beton sınıflarında oturma değerlerinin her iki radye temel kalınlığı için benzer sonuçlar verdiği belirlenmiştir. Öte yandan, birleşik modelde köşe oturmaları incelendiğinde farklı temel ve beton sınıflarındaki değişimlerle elde edilen sonuçlar radye temel merkezindeki oturmalarla göre farklılık göstermiştir. Temel kalınlığının ve beton sınıfının artması temel düzlem dışı rijitliğini arttırdığı için temel köşe noktalarındaki oturmalar artış göstermekte ve temel merkezinde azalan oturma değerlerine yaklaşmaktadır. Bu iki yaklaşımda özellikle köşe noktalarındaki oturma değerlerinin farklı olması, birleşik model yaklaşımında üniform gerilme yaklaşımından farklı olarak üst yapının zeminle modellenerek tasarlanması ve birleşik modelde radye temel ile zeminin rijit bağlanma kabulü yerine üniform gerilme modelinde radye temel ile zemin arasında ara yüz sürtünme katsayısının tanımlanmasıyla açıklanabilir.

Çalışma kapsamında birleşik model kullanılarak yapılan analizlerde ayrıca yapı doğal titreşim periyotları her iki ana doğrultu için elde edilmiş olup Şekil 10'da farklı beton sınıfları ve temel kalınlıkları için grafiksel olarak sunulmuştur. Böylece zemin-yapı etkileşiminin yapı doğal titreşim periyoduna etkisi vurgulanmıştır. Temel kalınlığının ve beton sınıfının artması yapı doğal titreşim periyotlarını X ve Y doğrultularında azaltmaktadır. X doğrultusunda temel kalınlığının 80 cm'den 100 cm'ye çıkarılmasıyla elde edilen periyot farkı neredeyse temel kalınlığının 100 cm'den 120 cm'ye çıkarıldığında elde edilen

farla ayındır. Y doğrultusundaki durum, X doğrultusu ile benzer davranış sergilememektedir. Temel kalınlığının 80 cm'den 100 cm'ye çıkarken yapı doğal titreşim periyotlarındaki oluşturduğu farklılık, temel kalınlığının 100 cm'den 120 cm'ye çıkarken oluşturduğu farklılıktan daha fazladır. X ile Y doğrultuları için doğal titreşim periyotlarının temel kalınlığına bağlı olarak periyot azalışlarında farklılık göstermesinin sebebi, X ve Y doğrultularının farklı açıklık sayılarına (X doğrultusunda 7 açıklık varken Y doğrultusunda 5 açıklık bulunmaktadır) ve farklı plan uzunluklarına (X doğrultusundaki uzunluğu 34.0 m iken Y doğrultusundaki uzunluğu 14.0 m'dir) sahip olmasıdır. Ayrıca temel ve zemin sistemi kaldırılarak kolonları tabana ankastre mesnetlenen sadece betonarme üst yapı için analizler yapılmış olup, yapı doğal titreşim periyotları X doğrultusunda 0.502 ve Y doğrultusunda ise 0.530 sn olarak elde edilmiştir. Temel ve zeminin kaldırıldığı analizlerde, üst yapı beton sınıfı sabit tutulup sadece temel beton sınıfı değiştirildiğinden X-Y doğrultularında beton sınıfına bağlı periyot değişimi beklenmemektedir. Ankastre mesnetli olarak gerçekleştirilen analizlerdeki doğal titreşim periyodu sonuçları, yapı ve zemin dikkate alınarak tasarlanan birleşik modelden çıkarılan sonuçlara göre çok daha küçük olarak elde edilmektedir. Bu durum, betonarme yapılarda özellikle deprem etkisinin gerçek duruma göre çok daha fazla olarak hesaplarda dikkate alınması anlamına gelmektedir. Zemin etkileri düşünülmeden yüksek deprem kuvveti alınarak elde edilen sonuçlar her ne kadar güvenli tarafta görünse de ekonomik bir tasarımdan çok uzak olacaktır.



**Şekil 10.** Birleşik model yaklaşımı ile elde edilen yapı doğal titreşim periyotları sonuçları: (a) X Doğrultusu ( $T_x$ ), (b) Y Doğrultusu ( $T_y$ )

## 5. SONUÇ (CONCLUSION)

On katlı betonarme bir yapı için radye temel kalınlıkları ve temel beton sınıfları değişiminin üniform gerilme ve birleşik model yaklaşımları kullanılarak oturma üzerine etkisi bu çalışma kapsamında araştırılmıştır. Üniform gerilme yaklaşımında betonarme binanın yükü gerilme olarak temele etkilenirken birleşik model yaklaşımında yapı, temel ve zemin birlikte tasarlanmıştır. Tasarlanan modellerde üç farklı temel kalınlığı (80-100-120 cm) ve altı farklı radye temel beton sınıfı (C25-C30-C35-C40-C45-C50) kombinasyonu kullanılarak her iki yaklaşım için de 18 kombinasyonlu üç boyutlu sonlu elemanlar analizi gerçekleştirilmiştir.

Üniform gerilme yaklaşımında temel kalınlığının 80 cm'den 120 cm'ye kadar artırılması temel merkezinde oturma değerlerini azaltmıştır. Temelde kullanılan beton sınıfının artması da radye temel kalınlığının oturma üzerine yaptığı etki kadar ciddi olmasa da oturma değerlerinin azalmasını sağlamıştır. Kullanılan tüm beton sınıflarının yeterli rijitliği sağlamasından dolayı temel aracılığıyla üst yapıdan zemine aktarılan gerilmenin ciddi anlamda değişmemesi bu durumun oluşumunu açıklamaktadır. Radye temelin köşesindeki oturmalar incelendiğinde, 80 cm temel kalınlığındaki modelin tüm radye temel kalınlık kombinasyonları içerisinde en yüksek oturmaya sahip olduğu belirlenmiştir. Bu durum temel merkezindeki oturma sonuçları ile uyusmaktadır. 100 ve 120 cm kalınlığındaki temellerin bulunduğu analizlerde beton sınıfına bağlı olarak oturma durumları farklılık göstermiş olup temellerin köşe noktalarındaki oturma değerlerinin birbirlerine oldukça yakın olduğu gözlemlenmiştir. Belirtilen temel kalınlıkları için kritik noktada beton sınıfına bağlı olarak rijitliğin değişmesi nedeniyle bu durumun oluştuğu tespit edilmiştir. Birleşik model kullanılarak elde edilen sonuçlarda betonarme temelin rijitliğinin temel kalınlığı veya beton sınıfı nedeni ile artması durumunda temel merkezindeki oturma azalırken köşe noktadaki oturma artmaktadır. Bu durum temelin

rijitliğinin artmasının, temel bir bölgesindeki oturmanın diğer bölgesindeki oturmadan çok farklı olmasını limitlediğini göstermektedir. Ayrıca yapının herhangi bir doğrultuda narinliği arttığı takdirde, yapı doğal titreşim periyotlarının temel kalınlığından daha çok etkilendiği tespit edilmiştir. Yapının zemin ile modellenmemesi durumunda (ankastre bağlantı) doğal titreşim periyotlarının çok düşük çıktığı görülmüş ve analizlerde deprem açısından olması gerektiğinden çok daha fazla etkinin dikkate alındığı tespit edilmiştir.

Üniform gerilme ve birleşik model yaklaşımları karşılaştırıldığında, temel merkezinde oluşan tüm oturma değerlerinin benzer eğilimlerde olduğu gözlemlenmiştir. Temel beton sınıfı ve kalınlığının artması her iki yaklaşımda da temel merkezinde oturma değerlerini azaltmıştır. Temel köşe oturumları incelendiğinde beton sınıfı ve temel kalınlığının artması birleşik model yaklaşımında oturma değerlerinin artmasına sebep olurken üniform gerilme yaklaşımında ise temel kalınlığı ve beton sınıfını artırması oturma değerlerinin azalmasını sağlamıştır. Birleşik model yaklaşımında oturumların temel kalınlığı ve beton sınıfı değişiminden üniform gerilme yaklaşıma göre daha fazla etkilendiği belirlenmiştir. Analizler sonucunda elde edilen temel köşelerindeki oturumlar incelendiğinde ise temel merkezindeki durumdan ayrı olarak temel köşe oturumlarında farklı grafiksel eğilimler tespit edilmiştir. Bu çalışma kapsamında esas alınan yaklaşımlarda oturma eğilimlerinin farklılık göstermesi, radye temel sistemlerinin üniform gerilme yaklaşımında birleşik model yaklaşımından farklı olarak ara yüz sürtünme katsayısı ile zemine bağlanması ve üniform gerilme yaklaşımında üst yapının temel sistemine sadece gerilme olarak etkilmesi ile açıklanabilir.

#### **ÇIKAR ÇATIŞMASI (CONFLICT OF INTEREST)**

Makale yazarları aralarında herhangi bir çıkar çatışması olmadığını beyan ederler.

#### **KAYNAKLAR (REFERENCES)**

- [1] E. Y. N. Oh, M. Huang, C. Surarak, R. Adamec, A. S. Balasurbamania, Finite element modeling for piled raft foundation in sand. In Eleventh East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering & Construction (EASEC-11) "Building a Sustainable Environment", Taipei, Taiwan (Vol. 8), 2008
- [2] A. Bhaduri, D. Choudhury, Serviceability-based finite-element approach on analyzing combined pile-raft foundation. *International Journal of Geomechanics*, 20(2), 04019178, 2020.
- [3] A. Eslami, S. S. Malekshah, Analysis of non-connected piled raft foundations (NCPRF) with cushion by finite element method. *Computational Methods in Civil Engineering*, 2(2), 2011.
- [4] P. S. Wulandari, D. Tjandra, Analysis of piled raft foundation on soft soil using PLAXIS 2D. *Procedia Engineering*, 125, 363-367, 2015.
- [5] A. Sinha, A. M. Hanna, 3D numerical model for piled raft foundation. *International Journal of Geomechanics*, 17(2), 04016055, 2017.
- [6] A. Vu, D. Pham, T. Nguyen, Y. He, 3D finite element analysis on behaviour of piled raft foundations. In *Applied Mechanics and Materials* (Vol. 580, pp. 3-8). Trans Tech Publications Ltd, 2014.
- [7] E. Bourgeois, G. Hassen, P. Buhar, Finite element simulations of the behavior of piled-raft foundations using a multiphase model. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, 37(9), 1122-1139, 2013.
- [8] S. N. Keskin, A. Cengizhan, Temel oturma hesaplarında geleneksel yöntem ve sonlu elemanlar yönteminin karşılaştırılması. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 7(1), 136-144, 2019.
- [9] Ö. Çimen, M. Türkmen, & A. Urhan, Az Katlı Bir Yapıdaki Farklı Oturma Problemine Ait Vaka Analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 15(1), 1-10, 2015.
- [10] K. A. Korkmaz, F. Demir, Yapı-zemin etkileşiminin yapıların deprem davranışına etkileri. *Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 3(1), 12-17, 2012.

- [11] R. Livaoglu, A. Dogangun, D. Yontemleri, Yapi-zemin etkileşiminde değiştirme yöntemleri, Deprem Sempozyumu, 23-25 Mart, 2005.
- [12] G. D. Dhadse, G. D. Ramtekkar, G. Bhatt, Finite element modeling of soil structure interaction system with interface: a review. Archives of Computational Methods in Engineering, 28(5), 3415-3432, 2021.
- [13] H. Torabi, M. T. Rayhani, Three dimensional finite element modeling of seismic soil–structure interaction in soft soil. Computers and Geotechnics, 60, 9-19, 2014.
- [14] TS500 Betonarme Yapıların Tasarım ve Yapım Kuralları, 2000.
- [15] Abaqus, version 6.14, Dassault Systèmes, USA, 2014.
- [16] Computers and Structures Inc., SAP2000 Software, Version 23.1.0., Berkeley.
- [17] F. Avcil, I. Ercan, A. Büyüksaraç, The effect of local soil conditions on structure target displacements in different seismic zones. Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(4), 1000-1011, 2022.
- [18] R. Scarfone, M. Morigi, R. Conti, Assessment of dynamic soil-structure interaction effects for tall buildings: A 3D numerical approach. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 128, 105864, 2020.
- [19] E. Işık, A. Büyüksaraç, Y. Ekinci, M. Aydın, E. Harirchian, The Effect of Site-Specific Design Spectrum on Earthquake-Building Parameters: A Case Study from the Marmara Region (NW Turkey). Applied Sciences-Basel, 10(20), 2020.
- [20] R. Kant, W. Al Agha, W. A. Almorad, M. S. Thakur, N. Umamaheswari, Study on seismic performance of reinforced concrete multi-storey building considering soil-structure interaction effect. Materials Today: Proceedings, 56, 2158-2166, 2022.