Zemin Mekaniği ve Geoteknik Mühendisliği
20. Ulusal Konferansı
15-16 Ekim 2026
Sakarya Üniversitesi

# TBDY 2018 YÖNTEM II KAPSAMINDA SAP2000 VE PLAXIS 2D KARŞILAŞTIRMASI

# COMPARISON OF SAP2000 AND PLAXIS 2D WITHIN THE SCOPE OF TBEC 2018 METHOD II

**Doğukan ALATAŞ[1], Emre ERBEK[2], Kadir Emir GÜNGÖR[3], Ozan BİLAL[4]**

## ÖZET

Bu çalışmada, kazıklı temellerin dinamik yük etkisi altındaki davranışı iki farklı sayısal analiz yaklaşımı kullanılarak incelenmiştir. İlk yaklaşımda, TBDY 2018 kapsamında tanımlanan Yöntem II esas alınarak yapı-zemin etkileşimi SAP2000 yazılımında $p-y$, $t-z$ ve $Q-z$ yayları yardımıyla modellenmiştir. İkinci yaklaşımda ise aynı temel sistemi, PLAXIS 2D yazılımında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak zaman tanım alanında (time history) analiz edilmiştir. Mevcut TBDY 2018'de yapı-zemin etkileşiminin sonlu eleman tabanlı iki boyutlu analiz yazılımları ile modellenmesine yönelik açık bir yöntem tanımlanmamış olup, bu durum farklı analiz yaklaşımlarının karşılaştırılmasını önemli hale getirmektedir. Bu kapsamda, her iki analiz yaklaşımından elde edilen kazık iç kuvvetleri karşılaştırılarak yöntemlerin uyumu, farklılıkları ve kullanılabilirlikleri değerlendirilmiştir.

***Anahtar Kelimeler:*** *TBDY 2018 Yöntem II, Zemin-Yapı Etkileşimi, Ayrılma (Gaping), PLAXIS 2D, SAP2000.*

## ABSTRACT

In this study, the seismic behavior of pile foundations is investigated using two different numerical analysis approaches. In the first approach, the soil–structure interaction is modeled in SAP2000 using $p-y$, $t-z$, and $Q-z$ springs in accordance with Method II of the Turkish Building Earthquake Code (TBEC 2018). In the second approach, the same foundation system is analyzed in PLAXIS 2D using the finite element method under time-history analysis. Although TBEC 2018 provides guidance for the analysis of soil–structure interaction, it does not explicitly define a methodology for modeling such systems using two-dimensional finite element software. Within this scope, the lateral displacements and internal forces of the piles obtained from both analysis approaches are compared to evaluate their consistency, differences, and applicability in engineering practice.

***Keywords:*** *TBEC 2018 Method II, Soil-Structure Interaction, Separation (Gaping), PLAXIS 2D, SAP2000*

[1] Geoproje Mühendislik Danışmanlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti, dogukanalatas@geoproje.com.tr

[2] Geoproje Mühendislik Danışmanlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti, emreerbek@geoproje.com.tr

[3] Sakarya Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, kadiremirgungor7@gmail.com (sorumlu yazar)

[4] Geoproje Mühendislik Danışmanlık İnşaat San. ve Tic. Ltd. Şti, ozanbilal@geoproje.com.tr

# 1. GİRİŞ

Yüzeye yakın zemin tabakalarının yetersiz dayanıma sahip olduğu veya oturma kriterlerinin sağlanamadığı durumlarda yapı yüklerinin görece sağlam tabakalara aktarılması için kazıklı temeller yaygın olarak kullanılmaktadır (Fındık vd., 2021). Sismik yükler altında kazıklı temeller; hem zemin hareketinden kaynaklanan kinematik etkileşime hem de üst yapı atalet kuvvetlerinden doğan dinamik etkileşime maruz kalmaktadır (Bilal ve Fahjan, 2024).

Yöntem II kapsamında kazık-zemin etkileşimi; yanal zemin tepkisini temsil eden $p-y$, şaft sürtünmesini temsil eden $t-z$ ve uç taşıma direncini tanımlayan $Q-z$ doğrusal olmayan zemin yayları ile modellenmektedir. Bu yaklaşım; yay parametreleri üzerinden zeminin doğrusal olmayan davranışının, tabakalanmasının ve histeretik sönümünün modele yansıtılmasını sağlar (Sen vd., 1985; Yiğit vd., 2022). Kazıklı radye sistemlerinde radye plağının zeminle teması ise yükün radye ve kazıklar arasında paylaşılmasına katkı sağlamaktadır (Fındık vd., 2021).

Kazık-zemin etkileşimi formülasyonlarındaki kabuller ve sistemin ayrıklaştırılması, kazık iç kuvvet dağılımlarında farklılıklara yol açabilmektedir. Bu çalışmada, TBDY 2018 Yöntem II (SAP2000 yay modeli) ile tam sürekli ortam modeli (PLAXIS 2D) zaman tanım alanında 11 deprem kaydı altında karşılaştırılmış; oluşan iç kuvvetler irdelenmiştir.

# 2. MATERYAL VE YÖNTEM

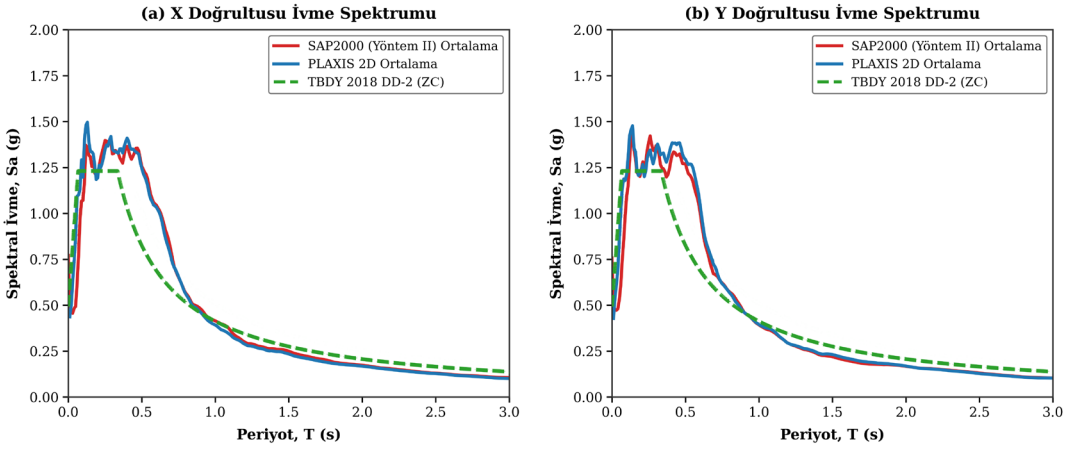
Çalışmada öncelikle seçilen 11 deprem kaydı için PLAXIS 2D serbest alan zemin modelinden düğüm noktası deplasman-zaman geçmişleri elde edilmiştir. Bu deplasmanlar SAP2000 Yöntem II modelinde $p-y$, $t-z$ ve $Q-z$ yaylarına sınır koşulu olarak tanımlanmıştır. Son aşamada aynı zemin ve kazık geometrisi PLAXIS 2D kazıklı modelinde çözümlenmiş ve her iki yaklaşımın kazık iç kuvvet sonuçları karşılaştırılmıştır.

## 2.1. Deprem Kayıtlarının Seçimi

Dinamik analizlerde kullanılacak 11 deprem kaydı SelectEQ yazılımı (SelectEQ, 2026) ile seçilmiştir. Seçilen 11 adet kayıt, GMPS yazılımına ait platformda (GMPS, 2026) hedef tasarım spektrumuyla uyum sağlayacak şekilde ZC hedef spektrumuna göre ölçeklendirilmiştir. Harita katsayıları $S_S = 1.025$ ve $S_1 = 0.275$, zemin etki katsayıları $F_S = 1.2$ ve $F_1 = 1.5$ alınarak $S_{DS} = 1.230$ ve $S_{D1} = 0.413$ elde edilmiştir. Kayıt bilgileri ve katsayıları Tablo 1'de; mevcut ortalama elastik ivme spektrumları ile ZC hedef eğrisi Şekil 1'de sunulmuştur.

**Tablo 1.** Dinamik analizlerde kullanılan deprem kayıtları ve ölçek katsayıları

| Kayıt No | Deprem Adı | İstasyon | $M_w$ | Fay Mek. | En Kısa Mesafe (km) | $V_{s30}$ (m/s) | $\text{Freq}_{\text{LU}}$ (Hz) | Ölçek Katsayısı (DD-2) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 825 | Cape Mendocino | Cape Mendocino | 7.01 | 2 | 6.96 | 567.78 | 0.07 | 0.46 |
| 1549 | Chi-Chi, Taiwan | TCU129 | 7.62 | 3 | 1.83 | 511.18 | 0.04 | 0.61 |
| 1148 | Kocaeli, Turkey | Arcelik | 7.51 | 0 | 13.49 | 523 | 0.09 | 2.66 |
| 20030501 002708 | Bingöl Depremi | 1201 | 6.3 | 0 | 5.8 | 528 | 0.01 | 1.04 |
| 20200124 175511 | Elazığ 2020 | 4404 | 6.8 | 0 | 18.6 | 1382 | 0.01 | 1.87 |
| 20201030 115124 | Samos 2020 | 3536 | 6.6 | 1 | 45.76 | 1141 | 0.01 | 3 |
| 357 | Coalinga-01 | Parkfield-Stone Corral 3E | 6.36 | 2 | 34 | 565.08 | 0.15 | 3.25 |
| 6949 | Darfield, New Zealand | PEEC | 7 | 0 | 53.75 | 551.3 | 0.17 | 3.19 |
| 4096 | Parkfield-02, CA | Bear Valley Ranch, Parkfield, CA, USA | 6 | 0 | 4.32 | 527.95 | 0.13 | 3 |
| 4016 | San Simeon, CA | San Luis Obispo | 6.52 | 2 | 31.39 | 493.5 | 0.01 | 3.01 |
| 291 | Irpinia, Italy-01 | Rionero In Vulture | 6.9 | 1 | 30.07 | 574.88 | 0.38 | 3.03 |




*Şekil 1. Seçilen deprem kayıtlarına ait ortalama ivme spektrumları ve TBDY 2018 DD-2 (ZC) hedef tasarım spektrumu karşılaştırması: (a) X doğrultusu, (b) Y doğrultusu*

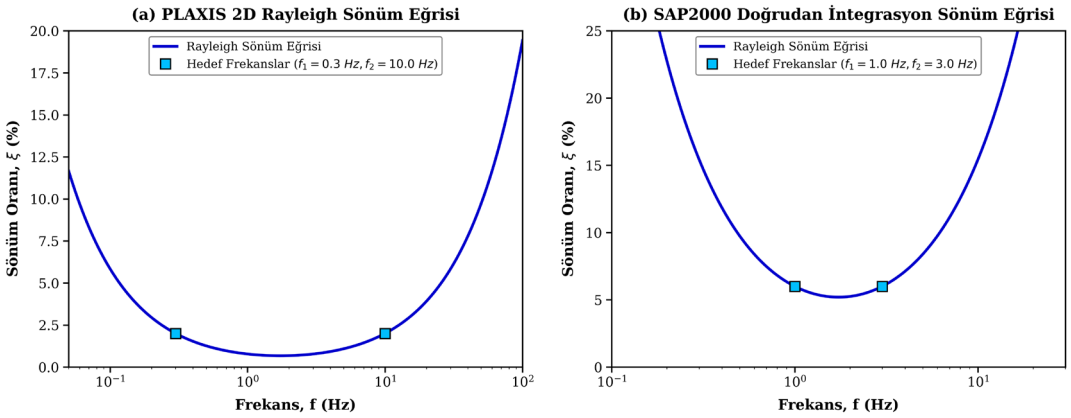
Sınır etkilerini azaltmak amacıyla 120 m genişliğinde ve 31 m derinliğinde zemin profili modellenmiştir.

PLAXIS geometrisinde 1. Katman $0.0 - 15.0$ m aralığında killi zemin, 2. Katman $15.0 - 30.0$ m aralığında sıkı kum/silt ve tabandaki 3. Katman $30.0 - 31.0$ m aralığında 1.0 m kalınlığında rijit, lineer-elastik tabakadır. Üçüncü katman Compliant Base sınır koşulunun uygulandığı mühendislik anakayasını temsil etmektedir. Kazıklı temel sistemi $18\text{ m} \times 18\text{ m}$ rijit radye temel ile 0.80 m çapında, 16 m uzunluğunda 25 kazıktan oluşmaktadır. Zemin parametreleri Tablo 2'de sunulmuştur.

**Tablo 2.** PLAXIS 2D modelinde kullanılan zemin katman parametreleri

| **Parametreler** | **1. Katman** | **2. Katman** | **3. Katman (Taban)** |
|---|---|---|---|
| Derinlik Aralığı (m) | 0.0 – 15.0 | 15.0 – 30.0 | 30.0 – 31.0 |
| Zemin Modeli | HS Small | HS Small | Lineer Elastik |
| $\gamma$ (kN/m$^3$) | 18 | 18 | 23 |
| $E_{\text{ref}}$ (kPa) | 15000 | 110000 | 3250000 |
| $c'$ (kPa) | 5 | 50 | - |
| $\phi'$ (°) | 30 | 25 | - |
| $G_{\text{ref}}$ (kPa) | 72000 | 648000 | - |
| $\gamma_{0.7}$ | 0.2938e-3 | 0.1121e-3 | - |

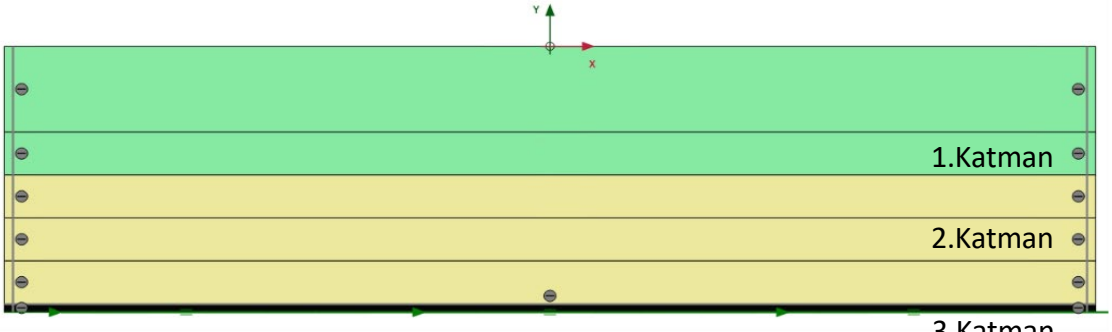
Dinamik analizlerde PLAXIS 2D için zemin katmanlarında 1%, anakayada 2% Rayleigh sönümü ($f_1 = 0.3$ Hz, $f_2 = 10.0$ Hz) uygulanmıştır. SAP2000 modelinde ise doğrudan integrasyon sönüm oranı 6% ($f_1 = 1$ Hz, $f_2 = 3$ Hz) olarak dikkate alınmıştır. Sönüm eğrileri Şekil 2'de gösterilmiştir.




*Şekil 2. PLAXIS 2D ve SAP2000 modellerine ait sönüm eğrileri: (a) PLAXIS 2D Rayleigh sönümü, (b) SAP2000 doğrudan integrasyon sönümü*

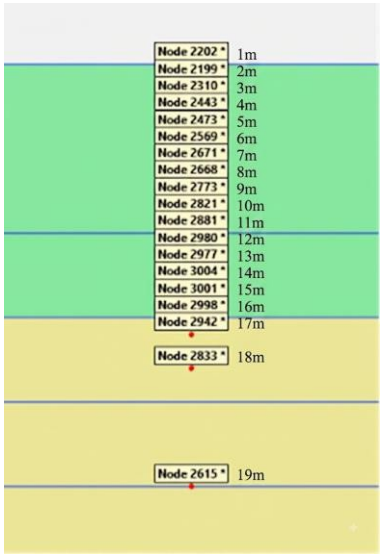
## 2.2. PLAXIS 2D ile Zemin Davranış Analizi ve Sınır Koşulları

PLAXIS 2D ağı, en düşük kayma dalgası hızı $V_s = 200$ m/s ve etkin üst frekans $f_{max} = 10$ Hz için Kuhlmeyer ve Lysmer (1973) ölçütü $\ell_{max} \leq \frac{V_s}{8 \cdot f_{max}}$ esas alınarak değerlendirilmiştir; teorik üst eleman boyutu $\ell_{max} \leq \frac{200}{8 \times 10} = 2.50$ m'dir. Şekil 3'teki tam genişlikli yatay çizgiler $-15$ m ve $-30$ m tabaka sınırları ile $-31$ m model tabanını; iç çizgiler ise eleman boyutu ve geometri/ağ bölgelerini sağlamak amacıyla eklenen çizgilerdir.




Şekil 3. PLAXIS 2D serbest alan zemin modeli ve sınır koşulları

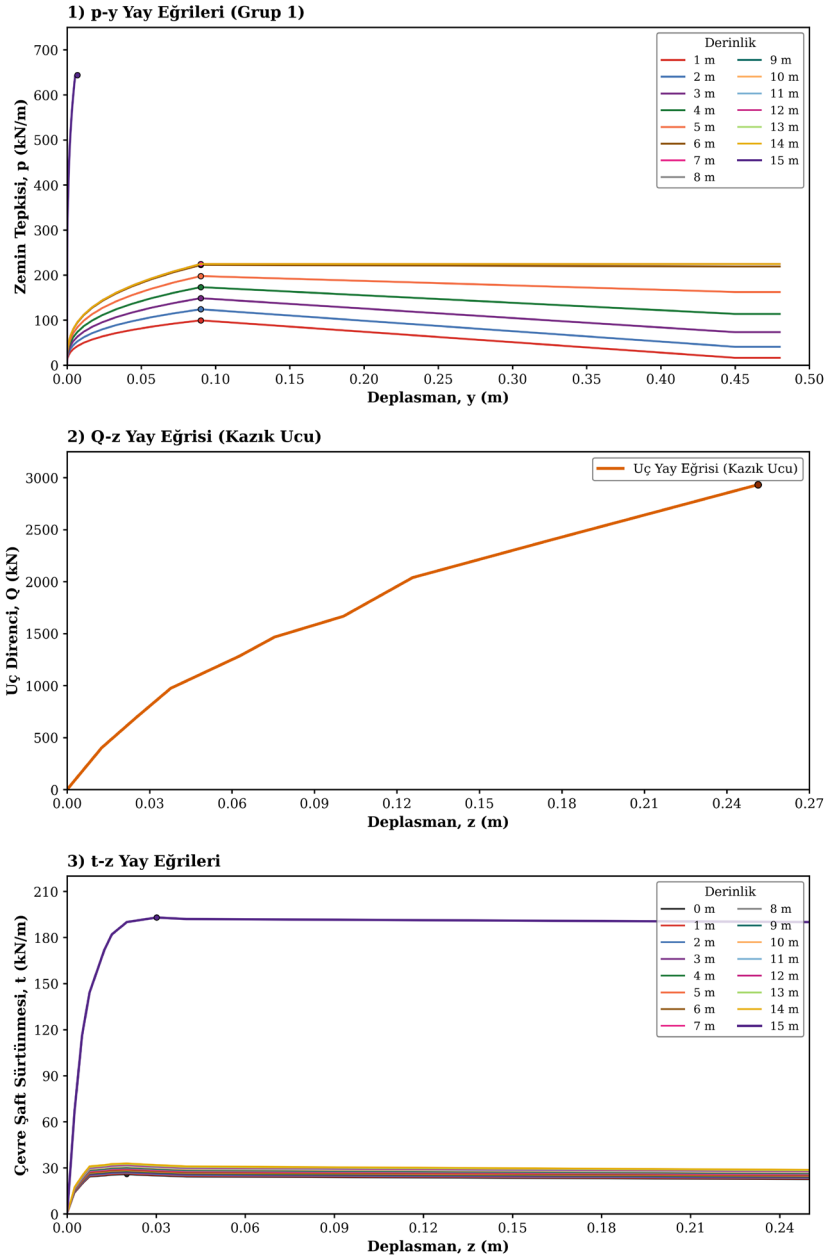
SAP2000 ortamında gerçekleştirilecek kinematik etkileşim analizlerine girdi oluşturmak amacıyla, temel alt kotundan başlayarak 1 m aralıklarla toplam 16 adet düğüm noktası tanımlanmıştır. Seçilen deprem kayıtları için gerçekleştirilen dinamik analizler sonucunda bu noktalara ait deplasman-zaman geçmişleri elde edilmiş ve SAP2000 modelinde kullanılan zemin yaylarının sınır koşullarını oluşturacak şekilde değerlendirilmiştir. Seçilen noktaların konumlarına ait görsel Şekil 4'te gösterilmiştir.




Şekil 4. Zemin profili boyunca deplasman kayıtlarının alındığı düğüm noktaları

## 2.3. SAP2000 ile Yöntem II Kapsamında Kazık-Zemin Etkileşimi Analizi

SAP2000 modelinde temele 180 kN/m$^2$ yayılı yük uygulanmıştır. Kazıklar lineer çubuk elemanlarla, kazık-zemin etkileşimi ise OmniPile (Omnipile, 2026) yazılımı ile türetilen doğrusal olmayan $p-y$, $t-z$ ve $Q-z$ multilineer plastik link elemanları ile modellenmiştir (Şekil 5).

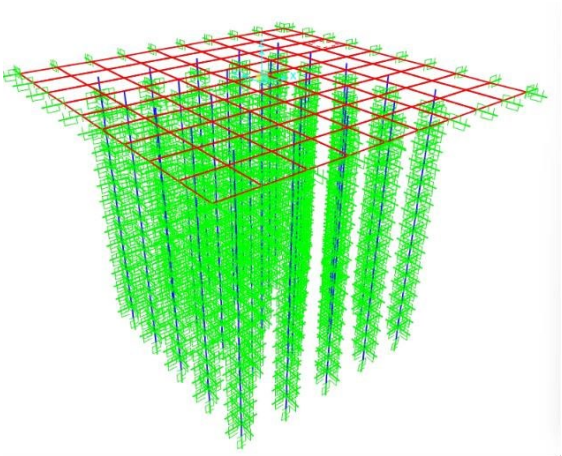



Şekil 5. Doğrusal olmayan $\mathrm{p}-\mathrm{y}$, $\mathrm{t}-\mathrm{z}$ ve $\mathrm{Q}-\mathrm{z}$ zemin yay eğrileri: (1) $\mathrm{p}-\mathrm{y}$ yay eğrileri (Grup 1), (2) $\mathrm{Q}-\mathrm{z}$ kazık ucu yay eğrisi, (3) $\mathrm{t}-\mathrm{z}$ yay eğrileri

TBDY 2018 Ek 16C uyarınca kazık gruplarında grup etkisini yansıtmak amacıyla $p-y$ eğrilerine grup azaltma katsayısı ($\beta_G$) uygulanmıştır. Bu katsayı Denklem 1 ile hesaplanmaktadır:

$$\beta_G = 0.2[(1-\beta_{G1})s - (1-6\beta_{G1})] \quad (1)$$

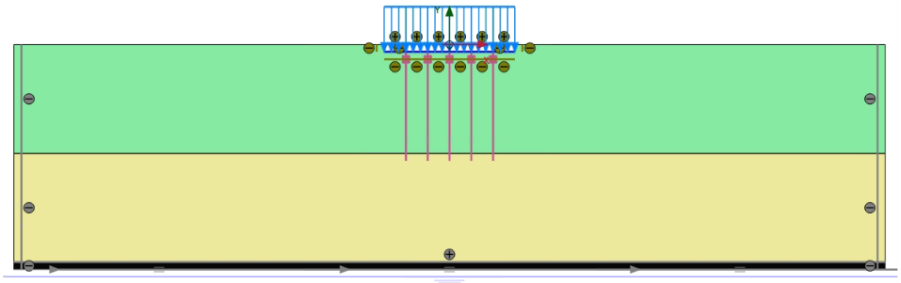
Burada s aks aralığının kazık çapına oranıdır ($s = 3.75$). Kazıklar dıştan içe doğru üç grup halinde değerlendirilmiş; $\beta_{G1} = 0.865$, $\beta_{G2} = 0.75$ ve $\beta_{G3} = 0.68$ katsayıları kullanılmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. SAP2000 kazıklı temel ve zemin yayı analiz modeli

### 2.4. PLAXIS 2D ile Kazık-Zemin Etkileşimi Analizi

SAP2000 ortamında gerçekleştirilen analizlerden elde edilen sonuçların değerlendirilebilmesi amacıyla PLAXIS 2D ortamında kazık-zemin etkileşim modeli oluşturulmuştur. Oluşturulan modele deprem kayıtları tabandan uygulanmış ve zaman tanım alanında dinamik analizler gerçekleştirilmiş, kazıklarda oluşan eğilme momenti, kesme kuvveti değerleri elde edilmiştir. Oluşturulan modele ait görüntü Şekil 7'de verilmiştir.



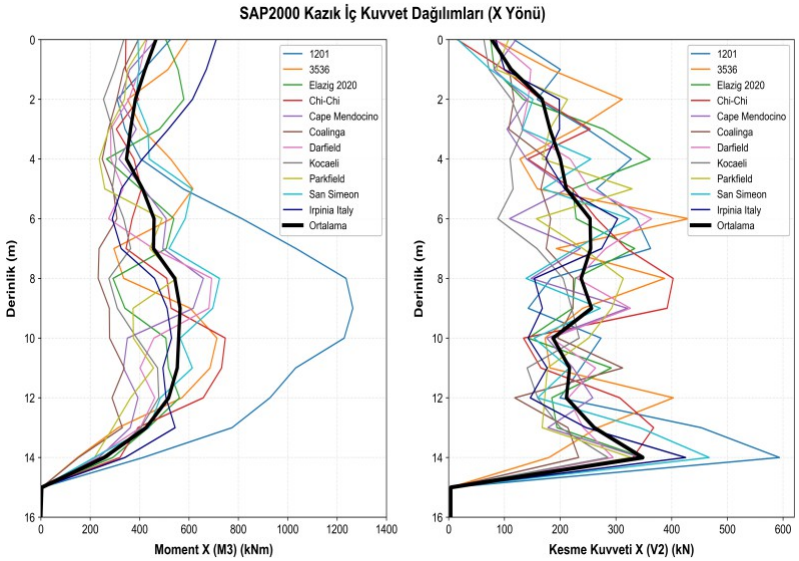
Şekil 7. PLAXIS 2D model görüntüsü.

## 3. BULGULAR

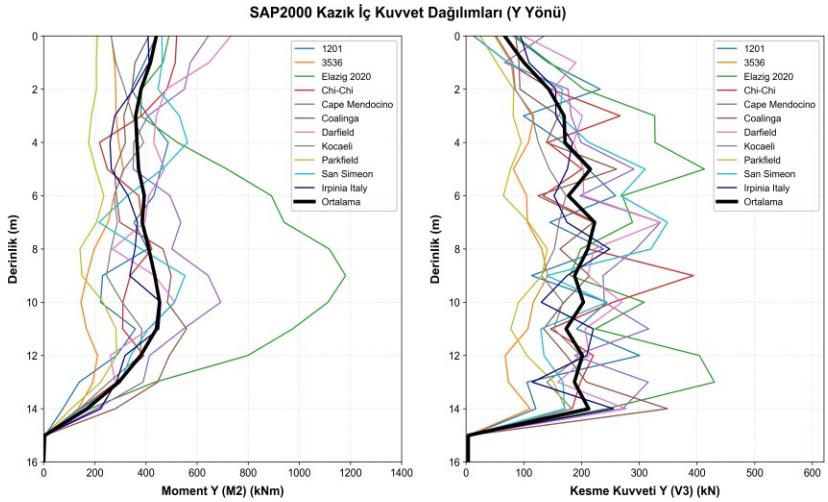
Bu bölümde zaman tanım alanında elde edilen kazık iç kuvvetleri değerlendirilmiş; TBDY 2018 Yöntem II ile sürekli ortam analiz sonuçları karşılaştırılmıştır.

### 3.1. SAP2000 Analiz Bulguları

SAP2000 zaman tanım alanı analizlerinde, kazık grubunda ortalama eğilme momenti 9.0 m derinlikte maksimum $\approx 560\ \text{kN}\cdot\text{m}$ değerine (kazık başında $\approx 450\ \text{kN}\cdot\text{m}$) ulaşmıştır. Kesme kuvveti ise kazık başında $\approx 97$ kN iken alt uca doğru artarak 14.0 m civarında maksimum $\approx 345-350$ kN seviyesine ulaşmıştır (Şekil 8 ve Şekil 9).



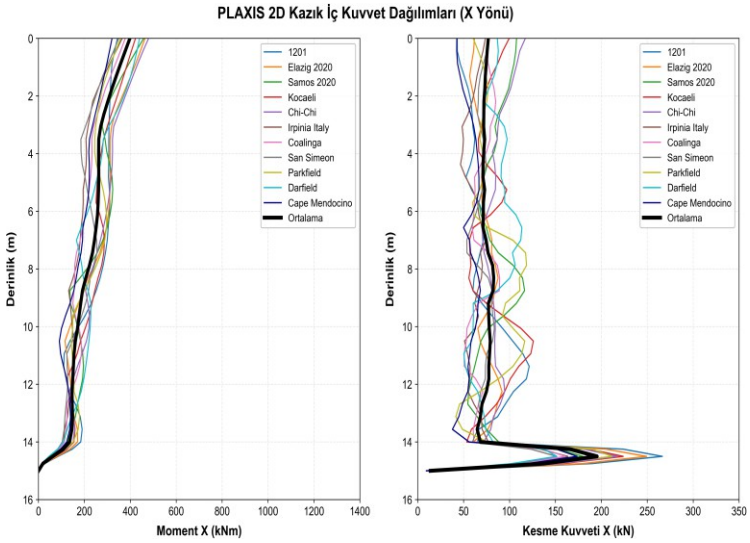

Şekil 8. SAP2000 kazık boyunca iç kuvvet dağılımları (X yönü)



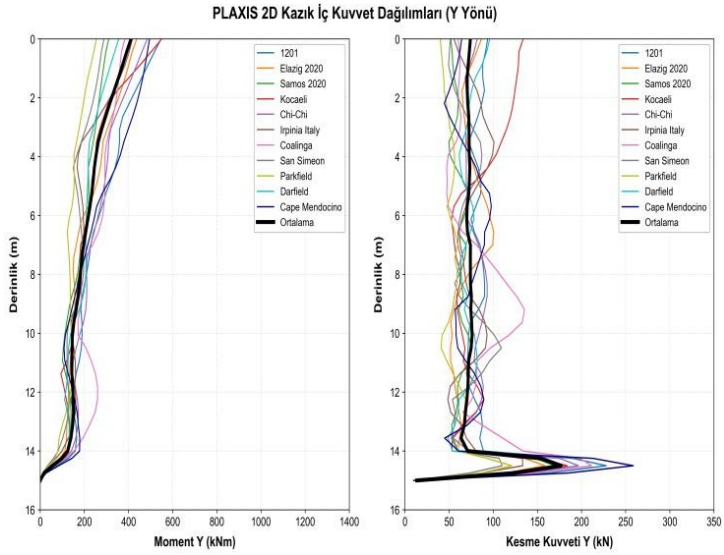

Şekil 9. SAP2000 kazık boyunca iç kuvvet dağılımları (Y yönü)

## 3.2. PLAXIS 2D Analiz Bulguları

PLAXIS 2D analizlerinde maksimum ortalama eğilme momenti kazık başlığında $\approx 535\ \text{kN} \cdot \text{m}$ olarak tespit edilmiş ve derinlikle azalmıştır. Kesme kuvveti ise kazık başında $\approx 107$ kN, gövde boyunca $90 - 110$ kN ve kazık ucuna yakın derinlikte (14.5 m) zemin rijitlik değişimine bağlı olarak maksimum $\approx 255$ kN seviyesine ulaşmıştır (Şekil 10 ve Şekil 11).




Şekil 10. PLAXIS 2D kazık boyunca iç kuvvet dağılımları (X yönü)




Şekil 11. PLAXIS 2D kazık boyunca iç kuvvet dağılımları (Y yönü)

### 3.3. SAP2000 ve PLAXIS 2D Sonuçlarının Karşılaştırılması

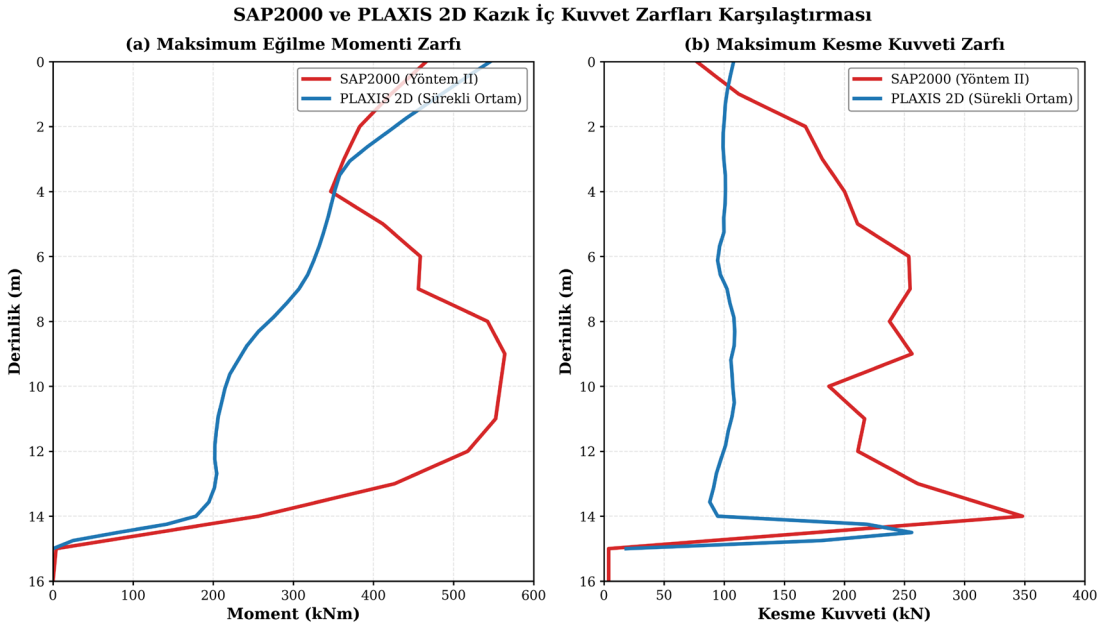
PLAXIS 2D sonuçları TBDY 2018 uyarınca $E_x \pm 0.3E_y$ kuralıyla birleştirilmiştir. SAP2000 (Yöntem II) modeli maksimum momenti ($\approx$ 565 kN · m, 9.0 m) ve kesme kuvveti ($\approx$ 350 kN, 14.0 m), PLAXIS 2D modeline (başta $\approx$ 545 kN · m moment, $\approx$ 107 kN kesme; 14.5 m'de $\approx$ 255 kN kesme) kıyasla orta ve alt derinliklerde daha muhafazakâr kalmıştır. PLAXIS 2D'de ise maksimum moment zemin yüzeyinde yoğunlaşmaktadır (Şekil 12).

İki sayısal model arasında gözlenen davranışsal farklılıklar, temel olarak 2B düzlem deformasyon ve 3B ayrık eleman kabullerinin zemin-kazık etkileşimini temsil etme biçimlerinden kaynaklanmaktadır.

PLAXIS 2D modeli düzlem deformasyon (plane strain) varsayımıyla çözülmüş; 3B kazık grubu, $s = 3.0\,\mathrm{m}$ aks aralığına göre $1\,\mathrm{m}$ genişliğinde eşdeğer sürekli şerit/plakalarla temsil edilmiştir. Düzlem dışı yönde sonsuzluk kabulü, gerçek 3B dalga yayılımına bağlı mekânsal radyasyon (geometrik) sönümü sınırlar. Kazık-zemin arayüzündeki ayrılma (gaping) ve plastisite etkileri sürekli bant oluşturduğundan gerilme yığılması kazık başında belirginleşmiş ve en büyük moment burada yaklaşık $535 - 545\,\mathrm{kN \cdot m}$ olmuştur.

SAP2000 Yöntem II modeli kazıkları köşe, kenar ve iç konumlarını koruyan 3B uzay çerçeve elemanlarıyla temsil etmiş; grup etkisini $\beta_{G1} = 0.865$, $\beta_{G2} = 0.75$ ve $\beta_{G3} = 0.68$ azaltma katsayılarıyla yaylara yansıtmıştır. Bağımsız Winkler yayları tabakalar arası kayma aktarımını ve zemin sürekliliğini doğrudan modellemediğinden, $14 - 15\,\mathrm{m}$ geçişindeki bağıl yer değiştirme kazık gövdesinde yoğunlaşmıştır; bu kesitte yaklaşık $350\,\mathrm{kN}$ kesme kuvveti ve $9.0\,\mathrm{m}$ derinlikte yaklaşık $565\,\mathrm{kN \cdot m}$ moment elde edilmiştir.

Dolayısıyla, 2B sürekli ortam modelinin kazık başı moment taleplerini ve zemin ayrılmalarını; 3B Yöntem II yay modelinin ise tabaka geçişlerindeki kinematik zorlanmaları ve kazık gövdesi iç kuvvetlerini güvenli tarafta kalarak temsil ettiği ve bu iki yaklaşımın birbirini tamamlayıcı bir mühendislik emniyeti sağladığı görülmektedir.




*Şekil 12. Maksimum eğilme momenti ve kesme kuvveti zarfları (SAP2000 – PLAXIS 2D karşılaştırması): (a) Maksimum eğilme momenti zarfı, (b) Maksimum kesme kuvveti zarfı*

## 4. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Bu çalışmada, kazıklı temellerin sismik davranışı TBDY 2018 Yöntem II (SAP2000 $p - y$, $t - z$, $Q - z$ doğrusal olmayan yay modeli) ve iki boyutlu sonlu elemanlar yöntemi (PLAXIS 2D sürekli ortam modeli) kapsamında 11 deprem kaydı altında karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Analiz sonuçları genel eğilim açısından uyumlu olmakla birlikte; PLAXIS 2D modelinde maksimum eğilme kazık başı bölgesinde ($\approx 545\,\mathrm{kN \cdot m}$) yoğunlaşırken, SAP2000 yazılımı kullanılarak oluşturulan Yöntem II modelinde orta

derinliklerde ($\approx$ 9.0 m'de $\approx$ 565 kN $\cdot$ m) daha muhafazakâr bir moment zarfı elde edilmiştir.

Her iki analizde de 14. metre civarındaki anakaya geçişinde belirgin kesme kuvveti artışları gözlenmiş; tabaka sınırındaki bu zorlanma SAP2000'de $\approx$ 350 kN, PLAXIS 2D'de ise $\approx$ 255 kN olarak hesaplanmıştır. Elde edilen bulgular, 2B sonlu elemanlar modellemesinin kazık başı moment konsantrasyonu ve zemin-kazık ayrılmasını (gaping) belirlemede etkin olduğunu; 3B doğrusal olmayan yay modelinin (TBDY 2018 Yöntem II) ise zemin tabaka sınırlarında oluşan kinematik kesme kuvveti ve moment piklerini güvenli tarafta kalarak başarılı şekilde temsil ettiğini göstermektedir. Bu bağlamda TBDY 2018 Yöntem II yaklaşımının hem pratik bir hesaplama kolaylığı sunduğu hem de kazık iç kuvvetlerini güvenli tarafta kalarak modellediği; özel ve karmaşık zemin koşullarında ise sürekli ortam sonlu eleman analizleriyle doğrulama yapılmasının tamamlayıcı bir mühendislik yaklaşımı olacağı değerlendirilmektedir.

# KAYNAKLAR


Fındık, M., Çelik, D., Uzundurukan, S., Başar, E. E., Barlas, A. (2021), "Kazıklı Radye Temel Sisteminde Temel-Zemin Etkileşiminin Yapısal Davranış Üzerine Etkisi" Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, Vol 26, 573-588.

Bentley Systems (2026), "PLAXIS 2D Reference Manual", Bentley Systems Inc.

SelectEQ (2026), "SelectEQ – Deprem Kaydı Seçim ve Ölçeklendirme Yazılımı", Geoproje, https://selecteq.geoproje.com.tr

GMPS (2026), "GMPS – Deprem Kayıt İşleme ve Yer Hareketi Parametreleri Yazılımı", Geoproje, https://gmps.geoproje.com.tr

Omnipile (2026), "OmniPile Kazık Analiz Yazılımı", Geoproje, https://omnipile.geoproje.com.tr

Bilal, O. (2021), "Kazık Temelli Yapıların Deprem Etkisi Altında Yapı-Kazık-Zemin Etkileşiminin İncelenmesi", Doktora Tezi, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul.

Bilal, O., Fahjan, Y. (2024), "Dinamik Yapı-Kazık-Zemin Etkileşimi Bağlamında Temel Gömme Derinliğinin Spektral Tepki Üzerindeki Etkisi", Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, Vol 30, 44-52.

TBDY (2018), "Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği", Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.

Yiğit, M. A., Onur, M. İ., Balaban, E. (2022), "Kazıklı Temellerde Zemin Kazık Etkileşimi Parametrelerinin İncelenmesi", Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, Vol 37, 625-640.

Kuhlmeyer, R. L. ve Lysmer, J. (1973), "Finite Element Method Accuracy for Wave Propagation Problems", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, Vol 99 (SM5), 421-427.

Derdiman, M. (2025), "Zemin-Yapı Etkileşiminde Risk Yönetim Stratejileri: TBDY 2018 ile NIST ve FEMA Kılavuzlarının Eleştirel Karşılaştırması", Uluslararası Sürdürülebilir Mühendislik ve Teknoloji Dergisi, Vol 9, 251-264.

Dobry, R., Gazetas, G. (1988), "Simple Method for Dynamic Stiffness and Damping of Floating Pile Groups", *Géotechnique*, Vol 38 (4), 557-574.

Kaynia, A. M., Kausel, E. (1982), "Dynamic Stiffness and Seismic Response of Pile Groups", *Research Report R82-03*, Massachusetts Institute of Technology, Department of Civil Engineering, Cambridge, MA.

Sen, R., Kausel, E., Banerjee, P. K. (1985), "Dynamic Analysis of Piles and Pile Groups Embedded in Non-Homogeneous Soils", *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*, Vol 9, 507-524.

# SEMBOL LİSTESİ

| Sembol | Açıklama | Sembol | Açıklama |
|---|---|---|---|
| $V_{s30}$ | Üst $30$ m ortalama kayma dalgası hızı ($\mathrm{m/s}$) | $EI$ | Kazık eğilme rijitliği ($\mathrm{kN \cdot m^2}$) |
| $V_{s760}$ | Mühendislik anakayası kayma dalgası hızı ($\mathrm{m/s}$) | $EA$ | Kazık / radye temel eksenel rijitliği ($\mathrm{kN}$) |
| $M_w$ | Moment büyüklüğü (Moment magnitude) | $q_{\text{yayılı}}$ | Radye temele uygulanan yayılı yük ($\mathrm{kN/m^2}$) |
| $\mathrm{Freq_{LU}}$ | Filtreleme üst sınır frekansı (Lowest Upper Freq.) ($\mathrm{Hz}$) | $\xi$ | Sönüm oranı ($\%$) |
| DD-2 | Deprem Düzeyi 2 ($10\%$/50 yıl aşılma olasılığı) | $f_1, f_2$ | Sönüm hesabı birinci ve ikinci mod frekansları ($\mathrm{Hz}$) |
| DTS | Deprem Tasarım Sınıfı | $\alpha, \beta$ | Rayleigh sönüm katsayıları |
| BYS | Bina Yükseklik Sınıfı | $p - y$ | Yanal zemin tepkisi - deplasman yay eğrisi ($p$: $\mathrm{kN/m}$, $y$: $\mathrm{m}$) |
| $E_x, E_y$ | X ve Y yatay doğrultularındaki deprem etkileri | $t - z$ | Çevre şaft sürtünmesi - deplasman yay eğrisi ($t$: $\mathrm{kN/m}$, $z$: $\mathrm{m}$) |
| $\gamma$ | Zemin birim hacim ağırlığı ($\mathrm{kN/m^3}$) | $Q - z$ | Kazık ucu taşıma direnci - deplasman yay eğrisi ($Q$: $\mathrm{kN}$, $z$: $\mathrm{m}$) |
| $c'$ | Zemin efektif kohezyonu ($\mathrm{kPa}$) | $\beta_G$ | Kazık grubu p-azaltma katsayısı |
| $\phi'$ | Zemin efektif içsel sürtünme açısı ($^\circ$) | $\beta_{G1}, \beta_{G2}, \beta_{G3}$ | 1., 2. ve 3. sıra kazıklar için grup azaltma katsayıları |
| $E_{\text{ref}}$ | Zemin referans elastisite modülü ($\mathrm{kPa}$) | $M_3$ | SAP2000 3-ekseni etrafındaki eğilme momenti (X yönü) ($\mathrm{kN \cdot m}$) |
| $G_{\text{ref}}$ | Zemin referans kayma modülü ($\mathrm{kPa}$) | $M_2$ | SAP2000 2-ekseni etrafındaki eğilme momenti (Y yönü) ($\mathrm{kN \cdot m}$) |
| $\gamma_{0.7}$ | $70\%$ kayma modülü azalmasına karşılık gelen kayma deformasyonu | $V_2$ | SAP2000 2-yönündeki kesme kuvveti (X yönü) ($\mathrm{kN}$) |
| $\nu$ | Poisson oranı | $V_3$ | SAP2000 3-yönündeki kesme kuvveti (Y yönü) ($\mathrm{kN}$) |
| $D$ | Kazık çapı ($\mathrm{m}$) | $Q$ | PLAXIS 2D kazık gövdesi kesme kuvveti ($\mathrm{kN}$) |
| $L$ | Kazık boyu ($\mathrm{m}$) | $M$ | Kazık gövdesinde oluşan eğilme momenti ($\mathrm{kN \cdot m}$) |
| $S$ | Kazık aks aralığı ($\mathrm{m}$) | $V$ | Kazık gövdesinde oluşan kesme kuvveti ($\mathrm{kN}$) |
| $s$ | Aks aralığının kazık çapına oranı ($s = S/D$) | $N$ | Kazık gövdesinde oluşan eksenel kuvvet ($\mathrm{kN}$) |