

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZIKLI BİTİŞİK RIHTIM YAPILARININ DİNAMİK  
ETKİLEŞİMİNİN İNCELENMESİ**

**Nihat KARAKAŞ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Yapı Programı**

**Danışman**

**Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU**

**Şubat, 2020**

**T.C.**  
**YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KAZIKLI BİTİŞİK RIHTIM YAPILARININ DİNAMİK ETKİLEŞİMİNİN**  
**İNCELENMESİ**

Nihat KARAKAŞ tarafından hazırlanan tez çalışması çalışması 07.02.2020 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, Yapı Mühendisliği Programı **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Yıldız Teknik Üniversitesi

Danışman

**Jüri Üyeleri**

Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU, Danışman

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Murat Serdar KIRÇIL, Üye

Yıldız Teknik Üniversitesi

Doç. Dr. Hasan ÖZKAYNAK, Üye

Beykent Üniversitesi

Danışmanım Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU sorumluluğunda tarafımca hazırlanan Kazıklı Bitişik Rıhtım Yapılarının Dinamik Etkileşiminin İncelenmesi başlıklı çalışmada veri toplama ve veri kullanımında gerekli yasal izinleri aldığımı, diğer kaynaklardan aldığım bilgileri ana metin ve referanslarda eksiksiz gösterdiğimi, araştırma verilerine ve sonuçlarına ilişkin çarpıtma ve/veya sahtecilik yapmadığımı, çalışmam süresince bilimsel araştırma ve etik ilkelerine uygun davrandığımı beyan ederim. Beyanımın aksinin ispatı halinde her türlü yasal sonucu kabul ederim

Nihat KARAKAŞ

İmza

*Aileme*



## TEŞEKKÜR

---

Bu çalışmanın şekillenmesinde, gelişiminde ve olgunlaşmasında mühendislik bilgisi ve akademik bakış açısıyla katkılarını sunan danışmanım Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU' na; tasarım mühendisliğine ve ileri hesap yöntemlerine ilk adımlarımı atmamı sağlayan Dr. Göktürk Önem'e ve tüm hocalarıma teşekkürlerimi borç bilirim.

Ayrıca verdikleri tüm destek ve sevgileriyle bugünlere gelmemi sağlayan biricik aileme tüm emeklerinden dolayı çok teşekkür ederim. Bu çalışma onlara ithaf edilmiştir.

Nihat KARAKAŞ

# İÇİNDEKİLER

---

|                                                                                          |             |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>SİMGE LİSTESİ</b>                                                                     | <b>vii</b>  |
| <b>KISALTMA LİSTESİ</b>                                                                  | <b>ix</b>   |
| <b>ŞEKİL LİSTESİ</b>                                                                     | <b>x</b>    |
| <b>TABLO LİSTESİ</b>                                                                     | <b>xiii</b> |
| <b>ÖZET</b>                                                                              | <b>xiv</b>  |
| <b>ABSTRACT</b>                                                                          | <b>xvi</b>  |
| <b>1 GİRİŞ</b>                                                                           | <b>1</b>    |
| 1.1. Literatür Özeti .....                                                               | 1           |
| 1.2 Tezin Amacı .....                                                                    | 5           |
| 1.3 Hipotez .....                                                                        | 5           |
| <b>2 ANALİZ YÖNTEMLERİ</b>                                                               | <b>6</b>    |
| 2.1. Giriş.....                                                                          | 6           |
| 2.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi İle İtme Analizi ( DLH-DTY 2008)<br>[15] ..... | 7           |
| 2.2.1. Doğrusal Olmayan Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (DLH-DTY 2008)<br>[15] .....       | 8           |
| 2.2.2. Spektral Yerdeğiştirme Oranı ( $C_{R1}$ ) (DLH-DTY 2008) [15] .....               | 8           |
| 2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (DLH-DTY 2008)<br>[15] .....    | 12          |
| 2.3.1. Zorlanmış Titreşim Analizi Hareket Denklemi.....                                  | 12          |
| 2.3.2. Newmark- $\beta$ Yöntemi.....                                                     | 12          |
| <b>3 YAPILAN ÇALIŞMALAR</b>                                                              | <b>15</b>   |
| 3.1. Giriş.....                                                                          | 15          |

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2. Rıhtım Yapısının Özellikleri .....                                                        | 15        |
| 3.2.1. Modelleme Yaklaşımı ve Analiz Modeli .....                                              | 18        |
| 3.2.2. Plastik Mafsal Tanımlaması .....                                                        | 20        |
| 3.2.3. Zeminin Doğrusal Olmayan Davranışını Temsil Eden P-y Yayları .....                      | 23        |
| 3.3. Yapısal Sistemlerin Analizi .....                                                         | 27        |
| 3.3.1. Statik İtme Analizi .....                                                               | 27        |
| 3.3.2. “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” Performans Değerlendirmesi<br>Karşılaştırması ..... | 34        |
| 3.3.3. Statik İtme Analizi Sonuçlarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi.                      | 36        |
| 3.3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz .....                                      | 37        |
| 3.3.5. “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” Analizlerinin Karşılaştırması .....                 | 43        |
| 3.3.6. Zaman Tanım Alanındaki Analiz Sonuçlarının İncelenmesi ve<br>Değerlendirmesi .....      | 57        |
| <b>4 SONUÇ VE ÖNERİLER</b>                                                                     | <b>60</b> |
| <b>Kaynakça</b>                                                                                | <b>61</b> |
| <b>Tezden Üretilmiş Yayınlar</b>                                                               | <b>63</b> |

## SİMGE LİSTESİ

|                |                                                                                                                            |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_g$          | Brüt kesit alanı                                                                                                           |
| $a_{1(i)}$     | (i)' inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal ivme ( $m/s^2$ )                               |
| $a_{y1}$       | Hakim moda ait eşdeğer akma ivmesi                                                                                         |
| $c'$           | Efektif gerilme bakımından kohezyon faktörü                                                                                |
| $C_{R1}$       | Birinci moda ait spectral yerdeğiştirme oranı                                                                              |
| $d_b$          | Donatı çeliğinin çapı                                                                                                      |
| $d_{1(i)}$     | (i)' inci itme adımında birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait modal yerdeğiştirme (m)                              |
| $d_{1(p)}$     | En son (p)' inci itme adımı sonunda elde edilen birinci moda ait maksimum modal yerdeğiştirme (modal yerdeğiştirme istemi) |
| $(EI)_e$       | Çatlama kesitin eğilme rijitliği                                                                                           |
| $(EI)_g$       | Brüt kesitin eğilme rijitliği                                                                                              |
| $f_{ye}$       | Donatı çeliğinin ortalama akma gerilmesi                                                                                   |
| $f_{yk}$       | Donatı çeliğinin karakteristik akma gerilmesi                                                                              |
| $\Phi'$        | Efektif içsel sürtünme açısı                                                                                               |
| $\Theta_p$     | Plastik dönme                                                                                                              |
| $\Phi_{xT,1}$  | x deprem doğrultusunda tabliye kütle merkezinin hakim ( birinci) mod şekli genliği                                         |
| $\Gamma_{x,1}$ | x deprem doğrultusunda hakim ( birinci) moda ait katkı çarpanı                                                             |
| $\gamma_s$     | Zeminin birim hacim ağırlığı                                                                                               |
| $L_p$          | Plastik Mafsallık Boyu                                                                                                     |
| $M_c$          | Moment kapasitesi                                                                                                          |
| $M_p$          | Plastik moment kapasitesi                                                                                                  |
| $M_{x,1}$      | x deprem doğrultusunda birinci (deprem doğrultusunda hakim) moda ait etkin kütle (ton)                                     |
| $N$            | Normal Kuvvet                                                                                                              |
| $P_{ye}$       | Ortalama aksenal yük akma dayanımı                                                                                         |
| $R_X$          | X ekseninde modal dönme kütle katılım oranı                                                                                |
| $R_Y$          | Y ekseninde modal dönme kütle katılım oranı                                                                                |



|                  |                                                                                                                                    |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{y1}$         | Hakim moda ait dayanım azaltma katsayısı                                                                                           |
| $R_Z$            | Z eksenini etrafında modal dönme kütle katılım oranı                                                                               |
| $R_2$            | X eksenini etrafında plastik dönme                                                                                                 |
| $R_3$            | Y eksenini etrafında plastik dönme                                                                                                 |
| $S_{ae,1}$       | İtme analizinin ilk adımında hakim moda ait elastik spektral ivme                                                                  |
| $S_{de,1}$       | İtme analizinin ilk adımında birinci moda ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme                                              |
| $S_{di,1}$       | Birinci moda ait doğrusal elastik olmayan (nonlinear) spektral yerdeğiştirme                                                       |
| $S_u$            | Drenajsız kayma mukavemeti                                                                                                         |
| $T_s$            | Elastik ivme spektrumu köşe periyodu                                                                                               |
| $T_1^{(1)}$      | i=1' inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim titreşim moduna ait doğal titreşim periyodu                                     |
| $U_X$            | X yönünde modal kütle katılım oranı                                                                                                |
| $u_{xT,1}^{(i)}$ | (i)' inci itme adımında x deprem doğrultusunda birinci (deprem doğrultusunda hakim) modda tabliye kütle merkezinin yerdeğiştirmesi |
| $u_{xT,1}^{(p)}$ | x deprem doğrultusunda tabliye yerdeğiştirme istemi                                                                                |
| $U_Y$            | Y yönünde modal kütle katılım oranı                                                                                                |
| $U_Z$            | Z yönünde modal kütle katılım oranı                                                                                                |
| $V_{x,1}^{(i)}$  | (i)' inci itme adımında x deprem doğrultusunda hakim (birinci) modda toplam eşdeğer deprem yükü (kN)                               |
| $\omega_s$       | İvme spektrumundaki köşe periyoduna karşı gelen doğal açısal frekans                                                               |
| $\omega_1^{(1)}$ | i=1' inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim titreşim moduna ait doğal açısal frekans                                        |
| $Z$              | Plastik kesit modülü                                                                                                               |

## KISALTMA LİSTESİ

---

|         |                                                                                                           |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ASCE    | American Society of Civil Engineers                                                                       |
| B/A     | Betonarme                                                                                                 |
| BS      | Birleşik Sistem                                                                                           |
| CDF     | Kümülatif Dağılım Fonksiyonu                                                                              |
| DLH-DTY | Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği 2008 |
| FASEY   | Frekans Alanında Spektrum Eşleşme Yöntemi                                                                 |
| PGA     | Maksimum Yer İvmesi                                                                                       |
| PIANC   | Seismic Design Guidelines for Port Structures                                                             |
| PV      | Önüretimli Düşey                                                                                          |
| SEY     | Spektrum Eşleşme Yöntemi                                                                                  |
| TS      | Tekil Sistem                                                                                              |
| 3D      | 3 boyutlu                                                                                                 |

## ŞEKİL LİSTESİ

|                   |                                                                                                                                                                           |    |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 2.1</b>  | İtme eğrisi-modal kapasite diyagramı dönüşümü (DLH-DTY 2008, Bölüm 2.3.4.5) [15].....                                                                                     | 7  |
| <b>Şekil 2.2</b>  | $T_1(1) \geq T_s$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (DLH-DTY 2008) [15].....                                                            | 9  |
| <b>Şekil 2.3</b>  | $T_1(1) < T_s$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (a) (DLH-DTY 2008) [15].....                                                           | 11 |
| <b>Şekil 2.4</b>  | $T_1(1) < T_s$ olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (b) (DLH-DTY 2008) [15] .....                                                          | 11 |
| <b>Şekil 3.1</b>  | Kara tarafı (D Aksı)(solda) ve deniz tarafı (A, B, C Aksları)(sağda) kazıkları tapa kesiti donatı detayları.....                                                          | 16 |
| <b>Şekil 3.2</b>  | Tipik bir rıhtım modülünün plan görünümü.....                                                                                                                             | 17 |
| <b>Şekil 3.3</b>  | Enine yönde rıhtım kesit görüntüsü .....                                                                                                                                  | 17 |
| <b>Şekil 3.4</b>  | Bitişik rıhtım yapıları plan görünümü (kesiklikli çizgi içindeki kısım genleşme derzini göstermektedir) .....                                                             | 18 |
| <b>Şekil 3.5</b>  | Potansiyel plastik mafsallık noktaları .....                                                                                                                              | 20 |
| <b>Şekil 3.6</b>  | İki boyutlu akma yüzeyi ve plastik moment-plastik dönme ilişkisi(DLH 2008)[15] .....                                                                                      | 21 |
| <b>Şekil 3.7</b>  | D Aksı kazıkları tapa bölgesi karşılıklı etki diyagramı (34Ø32) .....                                                                                                     | 21 |
| <b>Şekil 3.8</b>  | A, B ve C Aksı kazıkları tapa bölgesi karşılıklı etki diyagramı (40Ø32) .....                                                                                             | 22 |
| <b>Şekil 3.9</b>  | Çelik boru kazıklar için hesaplanan iki boyutlu akma yüzeyi .....                                                                                                         | 23 |
| <b>Şekil 3.10</b> | Granüler Dolgu Zemin P-y ilişkileri [21] .....                                                                                                                            | 25 |
| <b>Şekil 3.11</b> | Doğal Zemin P-y ilişkileri [22] .....                                                                                                                                     | 25 |
| <b>Şekil 3.12</b> | P-y ilişkilerinin derinliğe bağlı değişimleri.....                                                                                                                        | 26 |
| <b>Şekil 3.13</b> | “Tekil Model” için sırasıyla X(boyuna) ve Y(enine) yönlerdeki hakim mod şekilleri-Serbest titreşim periyotları $T_{1X}=0.25$ s (solda) ve $T_{1Y}=0.31$ s (sağda).....    | 29 |
| <b>Şekil 3.14</b> | “Birleşik Model” için sırasıyla X(boyuna) ve Y(enine) yönlerdeki hakim mod şekilleri-Serbest titreşim periyotları $T_{1X}=0.27$ s (solda) ve $T_{1Y}=0.31$ s (sağda)..... | 29 |
| <b>Şekil 3.15</b> | “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+X) Yönü itme eğrileri .....                                                                                      | 30 |
| <b>Şekil 3.16</b> | “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+Y) Yönü itme eğrileri .....                                                                                      | 30 |
| <b>Şekil 3.17</b> | “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (-Y) Yönü itme eğrileri .....                                                                                      | 30 |

|                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.18</b> “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+X) Yönü modal kapasite diyagramları.....                                                | 32 |
| <b>Şekil 3.19</b> “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+Y) Yönü modal kapasite diyagramları.....                                                | 32 |
| <b>Şekil 3.20</b> “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (-Y) Yönü modal kapasite diyagramları.....                                                | 32 |
| <b>Şekil 3.21</b> Varsayılan Elastik Tasarım Spektrumu Diyagramı.....                                                                                              | 33 |
| <b>Şekil 3.22</b> “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için +X Yönü (Boyuna) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsallık dağılımı .....            | 34 |
| <b>Şekil 3.23</b> “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için +Y Yönü (Enine) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsallık dağılımı .....             | 34 |
| <b>Şekil 3.24</b> “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için -Y Yönü (Enine) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsallık dağılımı .....             | 35 |
| <b>Şekil 3.25</b> Orijinal ve ölçeklendirilmek üzere filtrelenmiş deprem kaydı .....                                                                               | 38 |
| <b>Şekil 3.26</b> Ölçeklendirilmiş kaydın Fourier analizi.....                                                                                                     | 39 |
| <b>Şekil 3.27</b> Spektral Yoğunluk Fonksiyonu .....                                                                                                               | 40 |
| <b>Şekil 3.28</b> Spektral ivme-frekans karşılaştırma grafiği.....                                                                                                 | 41 |
| <b>Şekil 3.29</b> Ölçeklendirilmiş kaydın ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri.....                                                             | 42 |
| <b>Şekil 3.30</b> Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği .....                                                               | 43 |
| <b>Şekil 3.31</b> Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği .....                                                                | 44 |
| <b>Şekil 3.32</b> Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği .....                                                      | 44 |
| <b>Şekil 3.33</b> Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için X (boyuna) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsallık dağılımı..... | 45 |
| <b>Şekil 3.34</b> Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği .....                                                               | 45 |
| <b>Şekil 3.35</b> Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği .....                                                                | 46 |
| <b>Şekil 3.36</b> Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği .....                                                      | 46 |
| <b>Şekil 3.37</b> Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için Y (enine) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsallık dağılımı.....  | 47 |
| <b>Şekil 3.38</b> Tekil ve birleşik sistem X+0.3Y yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği .....                                                                 | 47 |

|                                                                                                                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Şekil 3.39</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $X+0.3Y$ yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği.....                                                                   | 48 |
| <b>Şekil 3.40</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $X+0.3Y$ yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği .....                                                        | 48 |
| <b>Şekil 3.41</b> Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için $X+0.3Y$ (boyuna) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsallarda dağılımı..... | 49 |
| <b>Şekil 3.42</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $Y+0.3X$ yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği.....                                                                  | 49 |
| <b>Şekil 3.43</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $Y+0.3X$ yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği .....                                                        | 50 |
| <b>Şekil 3.44</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $Y+0.3X$ yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği.....                                                                   | 50 |
| <b>Şekil 3.45</b> Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için $Y+0.3X$ (enine) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsallarda dağılımı.....  | 51 |
| <b>Şekil 3.46</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $X$ yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi .....                                                     | 55 |
| <b>Şekil 3.47</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $Y$ yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi .....                                                     | 55 |
| <b>Şekil 3.48</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $X+0.3Y$ yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi.....                                                 | 56 |
| <b>Şekil 3.49</b> Tekil sistem ve birleşik sistem $Y+0.3X$ yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi.....                                                 | 56 |

## TABLO LİSTESİ

|                                                                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tablo 3.1</b> B/A Tapa kesitleri için plastik mafsallık uzunluğu hesabı.....                                                                                                    | 23 |
| <b>Tablo 3.2</b> Varsayılan zemin parametreleri .....                                                                                                                              | 24 |
| <b>Tablo 3.3</b> Tekil Model için modal kütle katılım oranları .....                                                                                                               | 28 |
| <b>Tablo 3.4</b> Birleşik Model için modal kütle katılım oranları.....                                                                                                             | 28 |
| <b>Tablo 3.5</b> “Tekil Model” ve “Birleşik Model” için modal parametreler .....                                                                                                   | 31 |
| <b>Tablo 3.6</b> Her iki yöndeki itme analizleri sonucu “Tekil Model” ve “Birleşik Model” için tapa kesitlerinde oluşan mafsalların maksimum plastik dönme değerleri (radyan)..... | 35 |
| <b>Tablo 3.7</b> X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları.....                         | 51 |
| <b>Tablo 3.8</b> Y yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları.....                         | 52 |
| <b>Tablo 3.9</b> X+0.3Y yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları .....                   | 52 |
| <b>Tablo 3.10</b> Y+0.3X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları .....                  | 53 |
| <b>Tablo 3.11</b> Y+0.3X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları .....                  | 54 |

### **Kazıklı Bitişik Rıhtım Yapılarının Dinamik Etkileşiminin İncelenmesi**

Nihat KARAKAŞ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Danışman: Doç. Dr. Serkan BEKİROĞLU

Bu çalışma kapsamında statik itme yöntemi analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemleri ile bitişik kazıklı rıhtım yapılarının dinamik etkileşimleri araştırılmıştır. Bu amaçla tekil sistem ve birleşik sistemin bir arada düşünüldüğü iki farklı modelleme yöntemi, üç boyutlu sonlu eleman modelleri oluşturularak Sap2000 programı vasıtasıyla gerçekleştirilmiştir.

Birleşik sistem modellerinin oluşturulmasında bilgisayar programındaki doğrusal ve doğrusal olmayan (boşluk) yay elemanlarından faydalanılmıştır. Kullanılan yay elemanlarının eksenel rijitlik değerlerinin belirlenmesi, rıhtım tabliyesinin eksenel rijitliğine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir. Yanyana olan rıhtım yapıları birleşik oluşturulmuş modellerinde, planda enine yönde kilitli, boyuna yönde 10 cm dilatasyon derzi olacak şekilde düşünülmüştür. Programdaki doğrusal yay elemanı yapıların enine doğrultudaki kilitli davranışını temsil etmektedir. Doğrusal olmayan (boşluk) yay elemanı ise yapının boyuna yöndeki salınım kabiliyetini temsil edebilecek şekilde tasarlanmıştır. İlk olarak her iki model sistemi için boyuna ve enine olmak üzere birbirine dik her iki hakim yönde, maksimum kütle katılımının dikkate alındığı mod-temelli statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Sonrasında

doğrusal olmayan zaman tanım alanında yöntemi ile analizler tekrarlanarak sonuçlar değerlendirilmiştir. Plastik mafsallı dağılımları göz önüne alındığında, rıhtım modüllerinin birarada düşünüldüğü birleşik modelleme yönteminin Y (enine) yöndeki davranışta tekil modelle daha uyumlu olduğu, X (boyuna) yönde ise tekil modelleme yönteminin görece daha olumsuz sonuçlar verdiği görülmüştür. Özellikle X (boyuna) yöndeki analizlerde, birleşik model etkisi yapının düşey eksen etrafındaki burulma davranışını sönümlemesi sebebiyle hasar oranındaki azalma daha belirgin bir şekilde görülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kazık destekli rıhtım yapıları; doğrusal olmayan yay (boşluk) elemanları; mod-temelli statik itme analizi; doğrusal olmayan zaman tanım alanında analiz





# **A Research Study on Dynamic Interaction of Deck on Pile Wharf Structures**

Nihat KARAKAŞ

Department of Civil Engineering

Master of Science Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Serkan BEKİROĞLU

In this study, the dynamic interaction of adjacent deck on pile wharf modules is investigated by using both methods of static pushover analysis and nonlinear time history analysis. For this purpose, two different wharf modules which consist of isolated and combined 3D finite element models are implemented in the structural analysis software Sap2000.

Model of the combined modules is created by using the linear link and non-linear link (gap) elements in transverse and longitudinal directions, respectively. Axial rigidity of the deck element is used to calculate the stiffness of the gap element. A gap of 10 cm in the longitudinal direction between wharf modules is considered. Linear link element is regarded for the representation of locked behavior of the modules in the transverse direction. Firstly, mode-based static pushover analyses where dominant mode having a maximum modal participating mass ratio in the corresponding direction to the mode is deemed to adopt the shape of lateral loading are performed in two orthogonal directions of the isolated and combined models. Then, nonlinear time history analysis are carried for the both orthogonal directions of the isolated and combined models and the results are compared. While the distribution of plastic hinge on pile elements are compared each other for the

isolated and combined models, it is seen that the combined system gives compatible results for Y (transverse) direction analysis with the isolated system while the isolated system is more conservative for X (longitudinal) direction analysis. Especially in X (longitudinal) direction, the combined system effect appears prominently because of the torsion effect in the vertical direction in the fundamental mode.

**Keywords:** Deck on pile wharves; non-linear link (gap) elements; mode-based static pushover analysis; non-linear time history analysis



### 1.1. Literatür Özeti

Deniz taşımacılığı, denize kıyısı olan ülkelerin ekonomisi için önemli gelir kaynaklarından birisidir. Özellikle dış ticaret için önemi büyük olan limanların varlığı, var olanların büyütülmesi, genişletilmesi denize kıyısı olan ülkelerin ekonomik bağımsızlığı bakımından stratejik bir rol oynamaktadır [1].

Depremler sebebiyle oluşan hasarların azaltılması amacıyla 20.yüzyılın başlarından itibaren çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş, çözüm yöntemleri geliştirilmiştir. Bu bağlamda geliştirilen geleneksel sismik tasarımda, tasarım deprem kuvvetine direnç göstermeyi hedefleyen Dayanıma Göre Tasarım (DGT) yöntemi esas alınmaktadır. Daha sonra 1990'lı yıllardaki depremlerden öğrenilen bilgilerle, geleneksel yöntemdeki kuvvet dengesi aşılmasından sonra yapının sergileyeceği performansın belirsizliği gibi çeşitli eksiklik ve sınırlamaların üstesinden gelmek amacıyla Performansa Dayalı Tasarım (ŞGT) yöntemi geliştirilmiştir [2].

Liman yapıları özelinde 2001 yılında yayınlanan PIANC [2] ile yapıların performans esaslı tasarımı husunda detaylı bilgiler sunulmuştur [3].

Ülkemizde ise, Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (DLH 2008) ile performans esaslı sistem esas alınarak, uygun durumlarda ise dayanıma göre tasarıma izin verilmiştir [3].

Borg ve Lai (2007) [4], dünya üzerinde bulunan bazı tipolojideki rıhtım yapılarını ekonomik önemleri ve deprem yüklemesi altındaki performansları bakımından genel olarak değerlendirmişlerdir. Çalışmalarında, Yunanistan, Türkiye, İtalya, Amerika Birleşik Devletleri, Japonya ve Çin' deki limanları dikkate almışlardır. Ekonomik önemi yüksek olan yapılarda sismik hasarın genel itibariyle daha düşük olduğunu belirtmişlerdir. Kapalı tip rıhtım yapılarının, özellikle de palplanş tipi rıhtım yapılarının diğer rıhtımlara oranla daha fazla hasara yatkın olduğu kanısına varmışlardır.

Mondal ve Rai (2008) [5], 2004 yılında gerçekleşen Sumatra Depremi sonrasında Andaman Adaları'ndaki liman yapılarının hasar durumunu incelemişlerdir. En sık rastlanan hasarların jetty yapılarındaki tabliyelerin birbirini deprem hareketi esnasında çekişmesinden ve tabliyeyi destekleyen kazıklardaki kısa kolon etkisinden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Ayrıca, zemin sıvılaşmasının ve şev eğimi stabilitesine bağlı zemin göçmelerinden kaynaklı durumların da liman yapılarında hasarlara sebep olduğunu söylemişlerdir. Kazıklardaki hasarların diğer sebepleri olarak, kesme etkisi altında tasarımlarının yetersizliğine, eksik detaylandırmalara (özellikle boyuna donatıların bindirme boylarındaki yetersizliklere) ve yetersiz ankraj uzunluklarına da değinmişlerdir.

Doran B. vd. (2011) [6] çalışmalarında, düşey ve eğik kazıklı iskele yapılarının DLH (2007) yönetmeliğine göre doğrusal olmayan statik analizlerini gerçekleştirmişler ve davranışları bakımından her iki sistemi karşılaştırmışlardır. Çalışmalarının neticesinde, eğik kazıklı iskele yapısının düşey kazıklı iskele yapısına oranla yatay yük taşıma kapasitesinin daha yüksek olduğu kanısına varmışlardır. Diğer taraftan, düşey kazıklı iskele yapısının önemli oranda yatay yer değiştirme yaptığını ve kazıklarda meydana gelecek yapısal hasarın eğik kazıklı iskele yapısına oranla daha düşük seviyelerde kaldığını da söylemişlerdir.

Boroschek vd. (2011) [7], 375 m uzunluğundaki kazıklı bir iskele yapısının zorlanmış titreşim altında deneysel olarak sönüm ve dinamik özelliklerini incelemişlerdir. Bu çalışmanın sonucunda yapısal olmayan bileşenlerin de azımsanmayacak ölçüde rijitliğe etkisi olduğunu, yapının davranışını gerçekte etkilediğini, işletme yükleri veya düşük seviyedeki sismik yükler altında çalışmalarındakine benzer yapılarda kritik sönüm oranının %3-%4 civarında kullanılabileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Chiou vd. (2011) [8], kazık destekli rıhtım yapılarının sismik kırılma eğrilerinin gelişimi üzerinde çalışmışlardır. Bu amaçla, Tayvan' da sıkça kullanılan tipik bir kazık destekli rıhtım yapısı seçmişlerdir. Sonuçta, yüksek hasar seviyeleri için, geleneksel lognormal kümülatif dağılım fonksiyonu (CDF) ile basitleştirilmiş kırılma eğrilerinin, düşük maksimum yer ivmesi (PGA) seviyelerinde kırılma ihtimalini olduğundan fazla tahmin edebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Shafieezadeh A. vd. (2013) [9] çalışmalarında, sıvılaşabilen zeminlerde uzak-alan ve impulsif yakın-alan yer hareketleri altında üç boyutlu (3D) olarak kazık destekli rıhtım yapısının doğrusal olmayan tepkisini incelemişlerdir. Üç boyutlu (3D) analizler neticesinde, dolgu set deformasyonlarının salınım bileşeninin kazık kesitlerinin ve kazık tabliye birleşim bölgelerinin maksimum tepkisinin başlıca etkeni olduğunu ve bu etkinin toprak dolgudaki kalıcı deformasyonu azalttığını belirtmişlerdir. Ayrıca üç boyutlu (3D) analizlerin tepki karakteristiklerinin önemini, yapının boyuna ve burulma tepkilerini de içermesi yönünden impulsif yakın-alan yer hareketleri sebebiyle dolgu deformasyonlarının yüksek genlikte salınımı süresince gerçekleşen yapının enine yöndeki tepkisi ile karşılaştırılabilir olması bakımından vurgulamışlardır.

Tang vd. (2015) [10], palplanş rıhtım duvarı arkasındaki betonarme kazığın sıvılaşma sebebiyle gerçekleşen yatay toprak kayması karşısındaki tepkisini araştırmak için bir sarsma-tablası deneyi gerçekleştirmişlerdir. Bu amaçla kazığın doğrusal olmayan davranışını değerlendirebilmek için elastik temel üzerindeki kirişi esas alan basitleştirilmiş bir analitik model kullanmışlardır. Deneyin sonucunda, daha büyük çapa sahip kazıkların rijitliğin sabit tutulduğu durumda daha büyük moment ve yerdeğiştirmelere sebebiyet verebileceği sonucuna ulaşmışlardır.

Ramirez-Henao vd. (2015) [11], idealleştirilmiş kazık-destekli kıyı yapılarının elastik stabilite denklemlerini parametrik bir çalışmada; taşıyıcı zeminin yatay rijitliğini, kazığın eğilme rijitliğini ve arttırılmış ağırlık yüklerini bir arada göz önünde bulundurarak uygulamışlardır. Sonuçları, mühendislere basit aritmetik hesaplar vasıtasıyla ikinci-mertebe yatay rijitliği ve her bir kazık için en düşük burkulma eksenel yükü gibi konularda tahmin sağlayabilmesi bakımından tasarım için özetlemişlerdir. Sonuçta bir hat üzerindeki rıhtım için, eksenel burkulma yükünün deniz tarafı narin kazıklarında, kara tarafı kısa kazıklarına oranla daha küçük değerlerde olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Bununla birlikte, zeminin yumuşak olması durumunda ikisi arasındaki farkın önemsizleşmeye başladığını da belirtmişlerdir. Ayrıca, uygulamada bulunan arttırılmış eksenel yükün seviyesi için, parmak iskeleleri ve rıhtımları destekleyen düşey kazıklarda, destekleyen zeminin

görece yumuşak olsa dahi yatay ötelenmesi engellenmiş olarak düşünülebileceğini belirtmişlerdir.

Su vd. (2017) [12], karşılıklı olarak rıhtım-zemin yapılarının sismik tepkilerine bağlı belirgin özelliklerini irdelemek maksadıyla çerçeve sistemi zemin ile birlikte göz önüne alarak üç boyutlu sonlu elemanlar analizi gerçekleştirmişlerdir. Çalışmanın neticesinde, rıhtımın tabliyesi boyunca rijit bir şekilde bağlı ve şevli zeminde gömülü olarak devam eden kazıkların hepsinin önemli miktarda zemin deformasyon mekanizmalarından etkilendiğini söylemişlerdir.

Xie vd. (2017) [13] çalışmalarında, derin kazıklı bir offshore rıhtım yapısının yanal yükleme altındaki davranışını araştırmak için ANSYS programında sonlu elemanlar modeli oluşturmuşlardır. Farklı yük seviyelerinde değişen eğimlerde ve kesit boyutlarında tekil kazığın çalışma davranışını kapsayan parametrik analizler gerçekleştirmişlerdir. Eğik kazıkların yatay yükler altındaki eğilme davranışını irdelemişlerdir. Tekil kazık ve derin kazıklı rıhtım için “yanal yük - yatay yerdeğiştirme” formülleri sunmuşlardır. Sonuçta, tepe yerdeğiştirmesi ve rijitlik, eğim ve yükleme arasındaki ilişkiyi tanımlayan formüllerinin eğik ve derin kazıklı rıhtım yapılarının yatay yük dayanım kapasitesini belirlemede ve de derin kazıklı rıhtımlar için gerçek zamanlı güvenlik izleme konusunda pratik uygulamada gerçekleştirilebileceğini vurgulamışlardır.

Vytiniotis vs. (2019) [14], deprem kaynaklı kalıcı zemin deformasyonları ve aşırı gevşek granüler dolgu üzerindeki kazık destekli tipik rıhtım yapılarının yapısal tepkisi konusunda çalışmışlardır. Bu amaçla, 55 referans yer hareketi için sayısal benzetimler kullanarak, kazık destekli tabliyenin arkasında kurulan önüretimli düşey (PV) drenlerin dolgudaki deformasyonlara olan etkisi vasıtasıyla yapısal hasarın azaltılması konusunu araştırmışlardır. Çalışmalarının sonucunda, PV dren yöntemiyle gerçekleştirilen hasar azaltma yönteminin, kazık-tabliye birleşim noktalarındaki potansiyel hasarı sınırlama noktasında rıhtımın yapısal olarak güçlendirilmesinde daha basit bir yöntem sunduğunu söylemişlerdir.

## 1.2 Tezin Amacı

İnşaat sektöründe proje tasarım sürecinde üretilen tasarımın, bilimsel temele uygunluğu kadar tasarımda geçen süre de önemlidir. Çoğu zaman tasarımcının, sahadaki iş ile eşzamanlı olarak tasarım hizmetini gerçekleştirmesi gerekmektedir. Bu bağlamda basitleştirilmiş sistemler mühendisler için elzem çözümler haline gelmektedir. Bu durum için, sahil kıyı hattı boyunca yüzlerce metre devam eden rıhtım yapılarının, modüllerin geometrik özelliklerine ve komşu rıhtım modüllerinin benzer zemin tabakaları içinde bulunması gibi çevresel ve yapısal koşullara göre tipikleştirilerek çözülmesi bir örnek teşkil etmektedir. Sonuçta, rıhtım tek bir tipik modüle indirgenerek çözüm, tekil olarak bu modül için gerçekleştirilir ve tüm sisteme uygulanır. Bu basitleştirmede gerçekte bitişik durumda bulunan yapıların birbiri ile etkileşimi ihmal edilmektedir.

Bu çalışmada yukarıda bahsedilen örnek irdelenmiş olup, rıhtım yapısının kapasitesinin, statik ve dinamik olarak doğrusal olmayan yöntemlerle değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda önce modal bilgilerin elde edilmesi, doğrusal olmayan statik ve dinamik cevapların belirlenmesi ve karşılaştırılmaları hedeflenmiştir.

## 1.3 Hipotez

Kuvvete dayalı yaklaşımla tek modül üzerinden tasarlanmış kazıklı bir rıhtım yapısının, tekil durum ve komşu modüllerinin birbirleriyle etkileşimi durumu dikkate alınarak yerdeğiştirmeye dayalı tasarım yöntemleriyle gerçekleştirilen statik ve dinamik analizlerin sonucunda değerlendirilmesi yapılacak, tekil durum için gerçekleştirilen tasarımın yeterli olduğu sonucuna varılacaktır.

### 2.1. Giriş

Literatürde, yapıların deprem etkisi altında yapısal analizini konu alan pek çok çözüm yöntemi bulunmaktadır. İlgili çözüm yöntemlerinin uygulanacak yapıya göre seçimi, yapının kullanım amacının getirdiği önem derecesi, yapının deprem sonrası kullanıma hazır olup olmaması, geometrik özellikleri, zemin ile etkileşimi vb. pek çok konuya bağlı olarak çeşitlilik göstermektedir.

DLH-DTY 2008 [15] kazıklı rıhtım ve iskelelerin deprem etkisi altında tasarımı kapsamında, dayanıma göre tasarım yaklaşımı için azaltılmış deprem yükleri ile doğrusal elastik analiz yöntemleri olan Eşdeğer Deprem Yüğü ve Mod Birleştirme yöntemlerini sunmuştur. Aynı yönetmelik, esas aldığı temel yöntem olan şekil değiştirme esaslı tasarım için ise, doğrusal olmayan itme analizi yöntemlerinden Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ve Artımsal Mod Birleştirme yöntemlerini, bir diğer alternatif olarak ise Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemini sunmaktadır.

Bu çalışma kapsamında DLH-DTY 2008 [15] esaslarına bağlı kalınarak, hipotetik olarak üretilmiş rıhtım modüllerinin tekil ve birleşik sistem çözümleri için, ilk etapta Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi yardımıyla performans analizi yapılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Daha sonra aynı sistemlerin değerlendirilmesi Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi ile de gerçekleştirilmiş olup, seçilen çözüm yöntemi bakımından performansın ne ölçüde etkileneceği irdelenmiştir.

Bu kısmın ilerleyen bölümlerinde çalışmada kullanılan analiz yöntemlerinin içeriklerinden kısaca bahsedilecektir.



## 2.2. Artımsal Eşdeğer Deprem Yükü Yöntemi İle İtme Analizi (DLH-DTY 2008)[15]

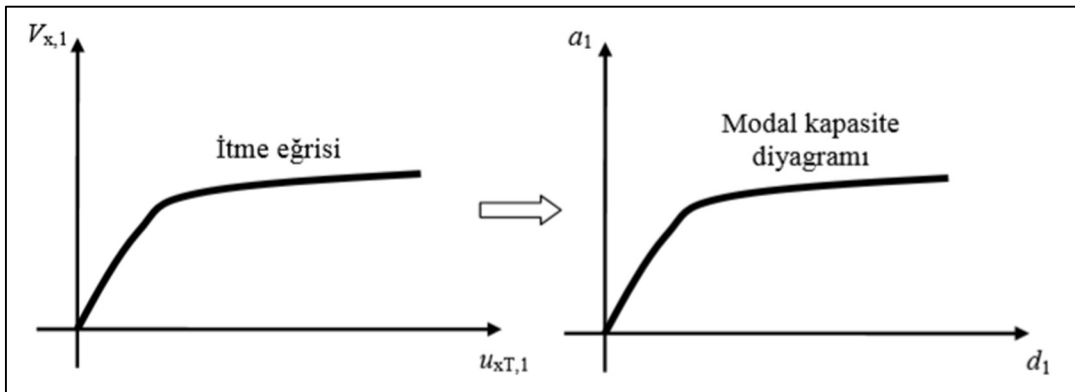
Bu yöntemde, yapının deprem analizinin yapılacağı yönde hakim olan mod şekli ile orantılı olarak, depremin yapıdan talep ettiği sınıra kadar adım adım arttırılan eşdeğer deprem yükleri vasıtasıyla doğrusal olmayan itme analizi yapılmaktadır. İtme analizinin her adımında, yapıda oluşan yerdeğiştirme, plastik şekil değiştirme ve iç kuvvet değerleri hesaplanmaktadır. İtme analizinin sonucunda, “tabliye kütle merkezi yerdeğiştirmesi ( $u_{xT,1}$ ) – toplam deprem yükü ( $V_{x,1}$ )” itme eğrisine ulaşılır. Daha sonra itme eğrisi, koordinatları “modal yerdeğiştirme-modal ivme” olan modal kapasite diyagramına dönüştürülür (Şekil 2.1). Bu dönüşüm, aşağıdaki Denklemler 2.1 ve 2.2 vasıtasıyla sağlanacaktır.

- 1) (i)' inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim olan moda ait modal ivme, ilgili moda ait toplam eşdeğer deprem yükünün etkin kütleye bölümü ile elde edilir.

$$a_1^{(i)} = \frac{V_{x,1}^{(i)}}{M_{x,1}} \quad (2.1)$$

- 2) (i)' inci itme adımında deprem doğrultusunda hakim olan moda ait modal yerdeğiştirme  $d_1^{(i)}$  aşağıdaki bağıntı vasıtasıyla elde edilir.

$$d_1^{(i)} = \frac{u_{xT,1}^{(i)}}{\Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1}} \quad (2.2)$$



**Şekil 2.1** İtme eğrisi-modal kapasite diyagramı dönüşümü (DLH-DTY 2008, Bölüm 2.3.4.5) [15]

Böylelikle, elde edilen modal kapasite diyagramı ve elastik tasarım davranış spektrumu birlikte dikkate alınarak hakim moda ait maksimum modal yerdeğiştirme (modal yerdeğiştirme istemi) değeri hesaplanır. Modal yerdeğiştirme istemi,  $d_1^{(p)}$ , tanım olarak doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirme,  $S_{di,1}$ , değerine eşittir. Doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmenin,  $S_{di,1}$ , belirlenmesinden sonra, ilgili doğrultudaki tabliye yerdeğiştirme istemi,  $u_{xT,1}^{(i)}$ , Denklem 2.3 vasıtasıyla modal yerdeğiştirme istemi,  $d_1^{(p)}$ , kullanılarak tek serbestlik dereceli sistemin çok serbestlik dereceli sisteme dönüşümüyle belirlenmektedir.

$$u_{xT,1}^{(p)} = \Phi_{xT,1} \Gamma_{x,1} d_1^{(p)} \quad (2.3)$$

### 2.2.1. Doğrusal Olmayan Yerdeğiştirmenin Belirlenmesi (DLH-DTY 2008) [15]

Doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme değeri,  $S_{di,1}$ , itme analizinin ilk adımında doğrusal elastik davranış temel alınarak hesaplanan hakim modun periyoduna,  $T_1^{(1)}$ , karşı gelen elastik spektral yerdeğiştirme değerine,  $S_{de1}$ , bağlı olarak Denklem 2.4 ile belirlenmektedir.

$$d_1^{(p)} = S_{di,1} = C_{R1} S_{de1} \quad (2.4)$$

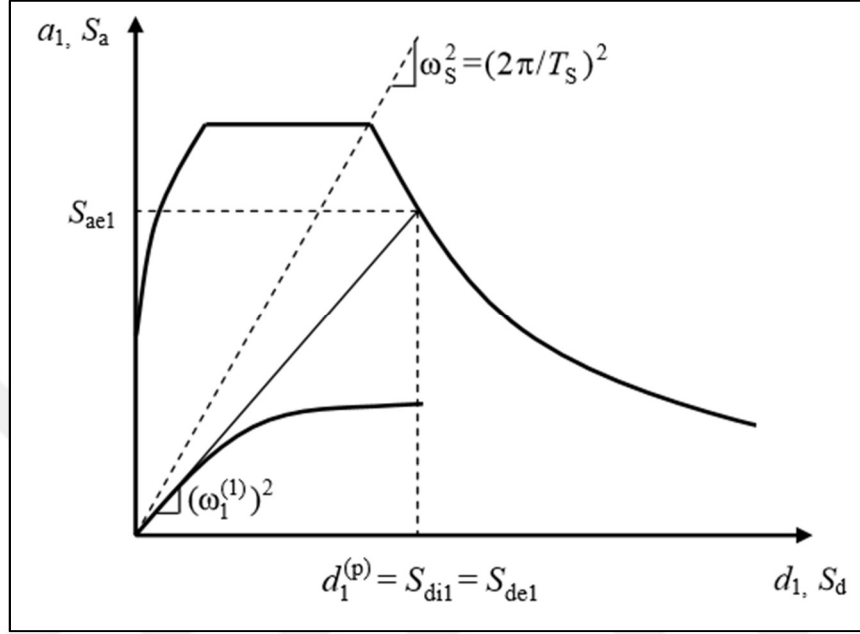
Doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme,  $S_{de1}$ , itme analizinin ilk adımındaki hakim moda ait elastik spektral ivmeye,  $S_{ae1}$ , bağlı olarak Denklem 2.5 ile hesaplanmaktadır.

$$S_{de1} = \frac{S_{ae1}}{(\omega_1^{(1)})^2} \quad (2.5)$$

### 2.2.2. Spektral Yerdeğiştirme Oranı ( $C_{R1}$ ) (DLH-DTY 2008) [15]

$T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun, elastik ivme spektrumunun köşe periyoduna,  $T_s$ , eşit veya daha uzun olması durumunda ( $T_1^{(1)} \geq T_s$ ), doğrusal elastik olmayan spektral yerdeğiştirme,  $S_{di,1}$ , eşit yerdeğiştirme kuralına göre periyodu aynı  $T_1^{(1)}$  olan eşdeğer doğrusal elastik sisteme ait doğrusal elastik spektral yerdeğiştirme  $S_{de}$

değerine eşit alınmaktadır. Bu durumda spektral yerdeğiştirme oranı 1'e eşit olmaktadır ( $C_{R1}=1$ ). Durumu daha açık hale getirebilmek için Şekil 2.2' de hakim titreşim moduna ait koordinatları "modal ivme ( $a_1$ ) – modal yerdeğiştirme ( $d_1$ )" olan modal kapasite diyagramı ile koordinatları "spektral yerdeğiştirme ( $S_d$ ) - spektral ivme ( $S_a$ )" olan elastik davranış spektrumu birlikte gösterilmiştir.



**Şekil 2.2**  $T_1^{(1)} \geq T_s$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (DLH-DTY 2008) [15]

$T_1^{(1)}$  başlangıç periyodunun, elastik ivme spektrumunun köşe periyodundan,  $T_s$ , kısa olması durumunda ( $T_1^{(1)} < T_s$ ), spektral yerdeğiştirme oranı  $C_{R1}$ , ardışık yaklaşımla aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

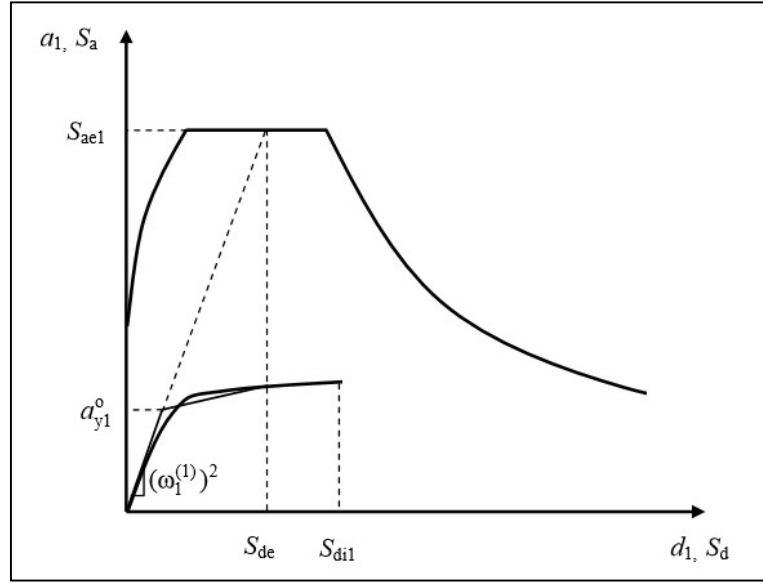
- İtme analizinden elde edilen modal kapasite diyagramı, Şekil 2.3' te görüldüğü üzere yaklaşık olarak iki doğrulu bir diyagrama dönüştürülür. Bu diyagramın başlangıç doğrusunun eğimi, itme analizinin ilk adımındaki doğrunun eğimi olan hakim moda ait özdeğere,  $(\omega_1^{(1)})^2$ , eşit alınır.
- Ardışık yaklaşımın ilk adımında  $C_{R1}=1$  kabulü yapılarak, eşit alanlar yöntemi ile eşdeğer akma noktasının koordinatları belirlenir. Şekil 2.3' te görülen,  $a_{y1}^0$  esas alınarak  $C_{R1}$  aşağıdaki Denklem 2.6 ile tanımlanır.

$$C_{R1} = \frac{1 + (R_{y1} - 1)T_s/T_1^{(1)}}{R_{y1}} \geq 1 \quad (2.6)$$

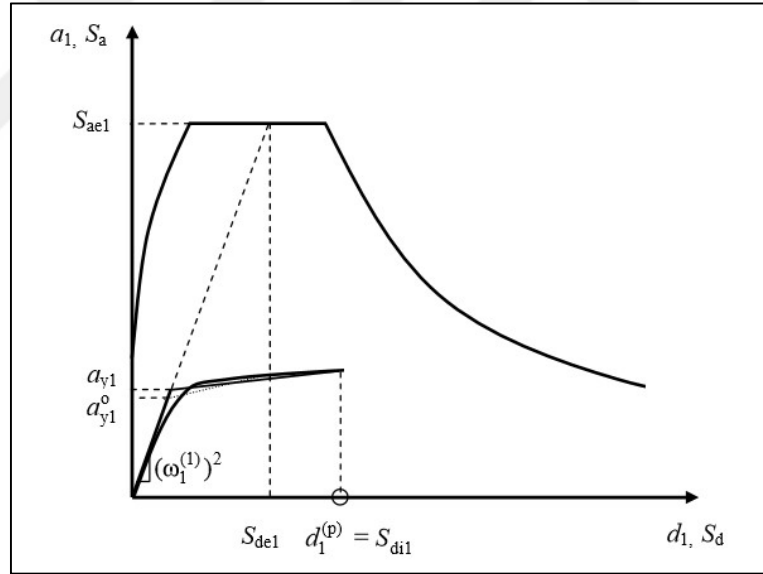
Burada,  $R_{y1}$  hakim moda ait dayanım azaltma katsayısını göstermektedir.

$$R_{y1} = \frac{S_{ae1}}{a_{y1}} \quad (2.7)$$

- c) Denklem 2.6' dan bulunan  $C_{R1}$  kullanılarak ve Denklem 2.4' ten hesaplanan  $S_{di1}$  esas alınarak eşdeğer akma noktasının koordinatları Şekil 2.4' te gösterildiği üzere, eşit alanlar kuralı ile yeniden belirlenir. Bu değerlere göre  $a_{y1}$ ,  $R_{y1}$  ve  $C_{R1}$  yeniden hesaplanır. Ardışık iki adımda elde edilen sonuçların makul ölçüde birbirine yaklaştıkları adımda ardışık yaklaşım işlemine son verilir.



**Şekil 2.3**  $T_1^{(1)} < T_s$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (a) (DLH-DTY 2008) [15]



**Şekil 2.4**  $T_1^{(1)} < T_s$  olması durumunda doğrusal olmayan spektral deplasmanın belirlenmesi (b) (DLH-DTY 2008) [15]

### 2.3. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Hesap Yöntemi (DLH-DTY 2008) [15]

Bu analiz yönteminde yapısal sistemin hareket denklemi, kaydedilmiş veya kaydedilmiş yer hareketlerinden benzeştirilerek üretilmiş ivme kayıtları altında zaman tanım alanında adım adım entegre edilerek çözülür. Sistemin doğrusal olmayan davranışının dikkate alındığı analiz yönteminin sonucunda, her bir zaman adımındaki plastik şekildeğiştirmeler ve iç kuvvet değerleri gibi analiz çıktıları ve tüm bu çıktıların, ilgili depremin yapıdan talep ettiği maksimum değerleri hesaplanır.

#### 2.3.1. Zorlanmış Titreşim Analizi Hareket Denklemi

Deprem etkisindeki bir sistemin genel itibariyle hareket denklemi, Denklem 2.8 ile aşağıda verilmiştir. Bu denklemde  $K$  rijitlik,  $C$  sönüm ve  $M$  kütle matrislerini;  $\ddot{u}$ , ivmeyi,  $\dot{u}$  hızı ve  $u$  yerdeğiştirmeyi temsil etmektedir.  $\ddot{u}_g$  ise deprem hareketi sebebiyle oluşan yer ivmesini göstermektedir. [16]

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -M\ddot{u}_g \quad (2.8)$$

Hareket denkleminin zaman tanım alanında kullanımı için pek çok yöntem geliştirilmiştir. İlgili yöntemlerden biri olan Newmark- $\beta$  yöntemi aşağıda açıklanmıştır.

#### 2.3.2. Newmark- $\beta$ Yöntemi

Bu yönteme göre, belirli bir zaman adımındaki ivme, yerdeğiştirme ve hız parametreleri bu zamandan bir önceki zaman adımında kendi değerleri ile bağlantılı olarak hesaplanabilmektedir. İlgili yöntemin genel denklemi  $A_1$ ,  $B_1$  ve  $C_1$  değerleri denklem sabitlerini,  $R$  değeri ise hatayı göstermek üzere denklem 2.9'da verilmiştir.[17]

$$u_{n+1} = \sum_{l=n-k}^n A_1 u_l + \sum_{l=n-k}^{n+1} B_1 \dot{u}_l + \sum_{l=n-k}^{n+1} C_1 \ddot{u}_l + R \quad (2.9)$$

Newmark-  $\beta$  yönteminin genel hız denklemi aşağıda Denklem 2.10' da verilmektedir.

$$\dot{u}_{n+1} = a_1 \dot{u}_n + a_2 \ddot{u}_n + a_3 \ddot{u}_{n+1} \quad (2.10)$$

Yerdeğiştirme değeri u yerine 1, t,  $t^2$  değerlerinin yazılmasıyla denklem 2.10' daki  $a_1$ ,  $a_2$  ve  $a_3$  denklem sabitleri  $a_1=1$ ,  $a_2=(1-\gamma)\Delta t$ ,  $a_3=\gamma\Delta t$  olarak bulunur. Burada  $\Delta t$  zaman adımını,  $\gamma$  ise denklem sabitini temsil etmektedir. Bu değerlerin denklem 2.10' da yerine yazılmasıyla ilgili denklem aşağıdaki 2.11 denklemine dönüşür.

$$\dot{u}_{n+1} = \dot{u}_n + (1 - \gamma)\Delta t \ddot{u}_n + \gamma\Delta t \ddot{u}_{n+1} \quad (2.11)$$

Yöntemin yerdeğiştirme ifadesi Denklem 2.12'de görülmektedir.

$$u_{n+1} = b_1 u_n + b_2 \dot{u}_n + b_3 \ddot{u}_n + b_4 \ddot{u}_{n+1} \quad (2.12)$$

Denklemde  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  ve  $b_4$  denklem sabitlerini göstermektedir. Hız teriminin belirlenmesinde izlenen yol ile  $b_1=1$ ,  $b_2=\Delta t$ ,  $b_3 = (1/2-\beta)\Delta t^2$ ,  $b_4=\beta\Delta t^2$  olarak bulunur. Burada  $\beta$  bir sayıyı göstermektedir [17]. Belirlenen  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  ve  $b_4$  değerleri, Denklem 2.12' de yazılarak yerdeğiştirme Denklemi 2.13 halini alır.

$$u_{n+1} = u_n + \Delta t \dot{u}_n + \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \ddot{u}_n + \beta \Delta t^2 \ddot{u}_{n+1} \quad (2.13)$$

Denklem 2.13' te  $\ddot{u}_{n+1}$ , ivme ifadesi yalnız bırakıldığında Denklem 2.14 elde edilir.

$$\ddot{u}_{n+1} = \frac{1}{\beta \Delta t^2} \left[ u_{n+1} - u_n - \Delta t \dot{u}_n - \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2 \ddot{u}_n \right] \quad (2.14)$$

Denklem 2.14 ile elde edilen ivme ifadesi, hızı tanımlayan Denklem 2.11' de yerine koyulur ve Denklem 2.15' e ulaşılır.

$$\dot{u}_{n+1} = \frac{\gamma}{\beta \Delta t^2} [u_{n+1} - u_n] + \left(1 - \frac{\gamma}{\beta}\right) \dot{u}_n + \left[(1 - \gamma)\Delta t - \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \left(\frac{1}{2} - \beta\right) \Delta t^2\right] \ddot{u}_n \quad (2.15)$$

Bir sonraki zaman adımı olan n+1 zaman adımındaki hareket Denklemi 2.16' da verilmiştir.

$$M\ddot{u}_{n+1} + C\dot{u}_{n+1} + Ku_{n+1} = -M(\ddot{u}_g)_{n+1} \quad (2.16)$$

Denklem 2.14 ve 2.15 ile verilen n+1' inci zaman adımındaki ivme ve hız denklemleri 2.16 ile verilen hareket denkleminde yerlerine yazılarak aşağıdaki Denklem 2.17 elde edilir [17].

$$\begin{aligned} u_{n+1} = & \left( M \frac{1}{\beta \Delta t^2} + C \frac{\gamma}{\beta \Delta t} + K \right)^{-1} \left( -M(\ddot{u}_g)_{n+1} \right. \\ & + C \left( \frac{\gamma}{\beta \Delta t} u_n - \left( 1 - \frac{\gamma}{\beta} \right) \dot{u}_n \right. \\ & - \left. \left( (1 - \gamma) \Delta t - \frac{\gamma}{\beta \Delta t} \left( \frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \right) \ddot{u}_n \right) \\ & \left. + M \frac{1}{\beta \Delta t^2} \left( u_n + \Delta t \dot{u}_n + \left( \frac{1}{2} - \beta \right) \Delta t^2 \ddot{u}_n \right) \right) \end{aligned} \quad (2.17)$$

Her zaman adımı için çözülen ivme, hız ve yerdeğiştirme denklemleri ile zaman tanım alanındaki analizler gerçekleştirilir. Çözüm metodu olarak ortalama ivme yöntemi kullanılması durumunda  $\gamma$  değeri 0.5,  $\beta$  değeri ise 0.25 olarak alınmaktadır. Doğrusal ivme yöntemi kullanıldığında ise  $\gamma$  değeri 0.5,  $\beta$  değeri 0.167 olarak alınır. Kararlı bir yöntem olması sebebiyle ortalama ivme yönteminde zaman artım aralığına ( $\Delta t$ ), periyot değeri ile bağlantılı bir koşul tanınmaması yakınsama problemlerine neden olmamaktadır [18]. Doğrusal ivme yönteminde ise bu durumu aşmak için aşağıda Denklem 2.18 ile verilen koşulun sağlanması gereklidir [17].

$$\frac{\Delta t}{T} < \frac{\sqrt{3}}{\pi} \quad (2.18)$$

Denklem 2.18' deki T değeri sistemin çözümünde dikkate alınan modların içinde en küçük periyoda sahip olan modun periyot değeridir. Zaman adımı değerinin Denklem 2.11' e göre yeterli küçüklükte olması, çok küçük periyotlara sahip olması ihtimali bulunan çok serbestlik dereceli sistemler için özellikle fazla hesap adımı doğurabilmesi sebebiyle önem arz etmektedir [16].



### 3.1. Giriş

Bu çalışmanın kapsamında ortalama bir rıhtım tasarımının statik itme ve zaman tanım alanında analiz ile değerlendirilmesi sonucu tekil düşünülerek oluşturulmuş bir rıhtım modülünün birleşik sistemin cevabına göre olumlu ve olumsuz yönlerinin değerlendirilmesi yapılmıştır.

Modal analizler sonrasında ilgili yapının geometrisi ve dikkate alınan doğrusal olmayan zemin yayları (P-y) ilişkilerinden yapının tasarlandığı spektrum tahmin edilmeye çalışılmıştır. Bu bilgilere göre belirlenen spektrum eğrisi kullanılarak statik itme analizi sonuçları değerlendirilmiş, zaman tanım alanında da bu spektruma göre elde edilmiş verilere dayanarak analizler yapılmış itme analizi ile elde edilen sonuçlarla mukayese edilmiştir.

### 3.2. Rıhtım Yapısının Özellikleri

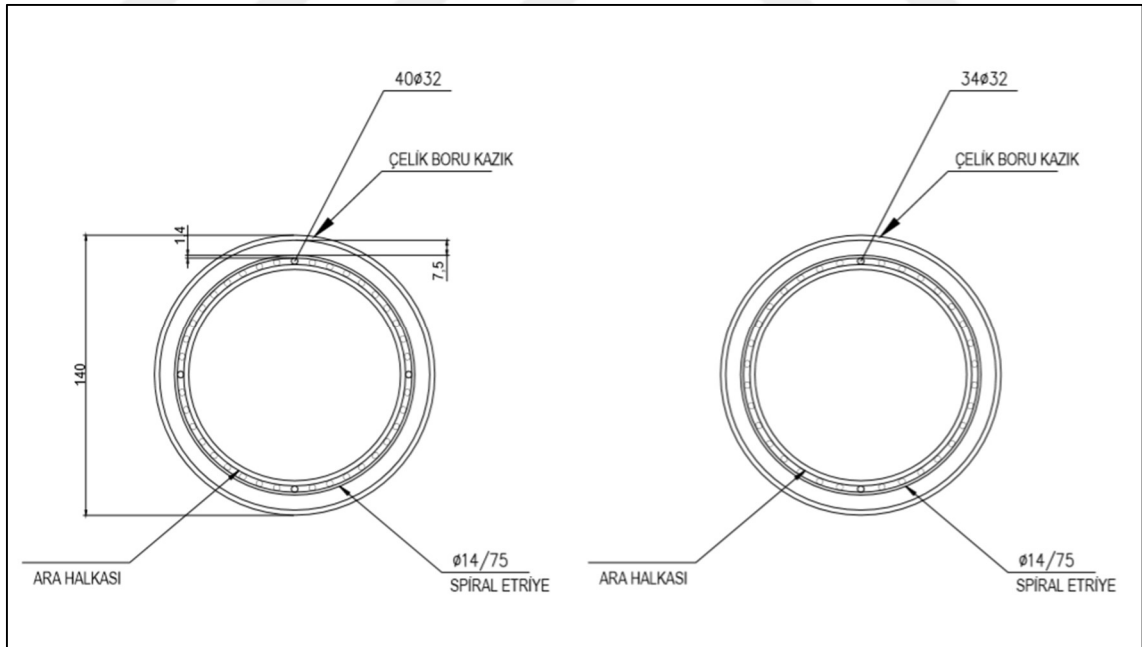
Boyutların belirlenmesinde genel olarak var olan rıhtım yapılarının ebatları dikkate alınmış ve ortalama değerler üzerinden belirlenen ölçüler öngörülmüştür.

Varsayımsal olarak 22 m genişliğinde ve 50 m uzunluğunda tipik bir rıhtım modeli dikkate alınmıştır. Kiriş sistemi için, kısa yönde 2,2 m derinliğinde 0,80 m gövde kalınlığında yerinde dökme kirişleri ve boyuna yönde ise 1,7 m derinliğinde 0,80 m gövde genişliğinde ön üretimli prekast kiriş elemanları olacak şekilde, uygulamadaki zorlukları da dikkate alan kompozit bir sistem oluşturulmuştur. İlgili sistemin birbirine dik iki yönde de çerçeve sistem oluşturmasına dikkat edilmiştir. Döşeme sistemi, düşey yüklerden kaynaklanacak kesit tesirlerine dayanım gösterebilecek bir üst yapı olarak ön üretimli ve yerinde dökme kısımlardan oluşan 0,45 m derinlikte tasarlanmıştır. Tabliye Ø1400 mm çapında 25 mm et kalınlığında çelik boru kazıklar tarafından taşınmaktadır. Tabliye ile çelik boru kazıklar arasındaki monolitik bağlantı, çelik kazığın üst uç noktasından itibaren 4 m

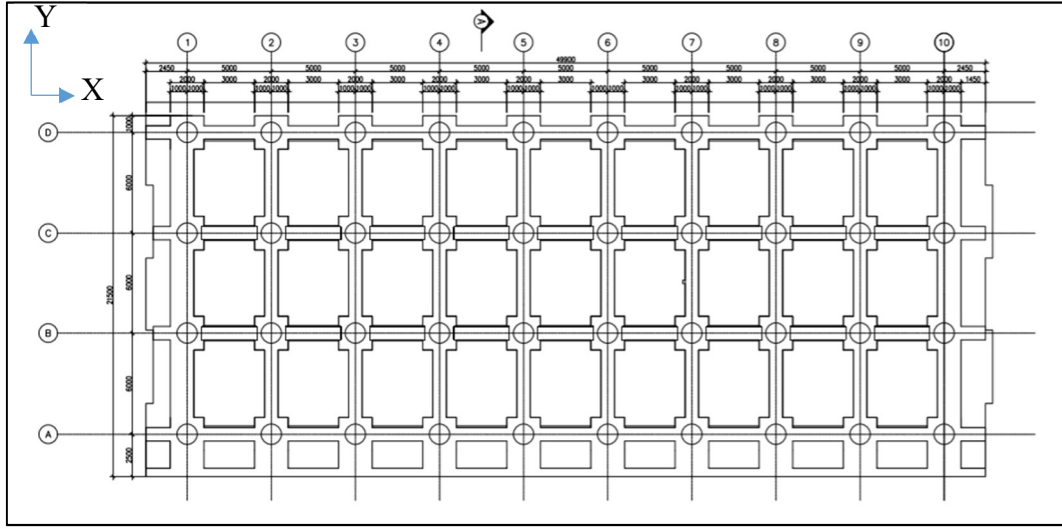
derinliğinde kazığın içinde devam eden betonarme tapa kesitiyle sağlanmıştır. Kara tarafı boyunca tüm kazıkların tapa bölgelerinde (D Aksı) 40 adet Ø32, geri kalan üç sıra kazık için ise (A, B ve C Aksları) 34 adet Ø32 donatı yerleşimi yapılmıştır. Kazık etriyeleri 10 cm aralıklarla devam eden Ø14 çaplı donatıdan oluşturulmuştur (Bakınız Şekil 3.1). Tüm betonarme elemanlar C35 beton kalitesinde, tüm donatılar B420C çeliği olarak düşünülmüştür. Çelik kazıkların malzeme sınıfı S355 olarak seçilmiştir. Beton elemanlarda paspayı 7,5 cm olarak belirlenmiştir.

Bitişik rıhtım yapılarını temsil amacıyla üretilen birleşik sistem hesaplarında, yapıların uzun yönleri boyunca baş ve uç noktalarında dilatasyon derzleri dikkate alınmıştır. İlgili dilatasyon derzi, bitişik 2 rıhtım modülünün boyuna yönde serbestçe salınabilmesine müsaade edecek, ancak enine yönde rölatif davranışı engelleyecek şekilde tasarlanmıştır. Bu amaçla, boyuna yönde 10 cm boşluk olacak, enine yönde ise yüz yüze yapışacak şekilde takoz sistemi düşünülmüştür.

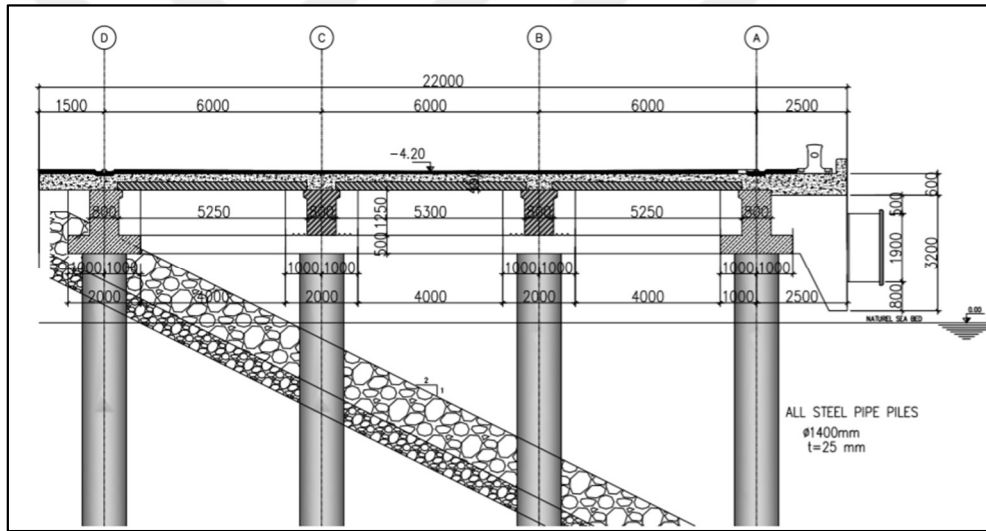
Tipik bir rıhtım modülünün plan görünümü, rıhtımın enine yöndeki kesit görüntüsü ve dilatasyon derzi vasıtasıyla birbirine bağlanmış bitişik nizam rıhtımların plan görünümü sırasıyla Şekil 3.2, Şekil 3.3 ve Şekil 3.4’ te görülmektedir.



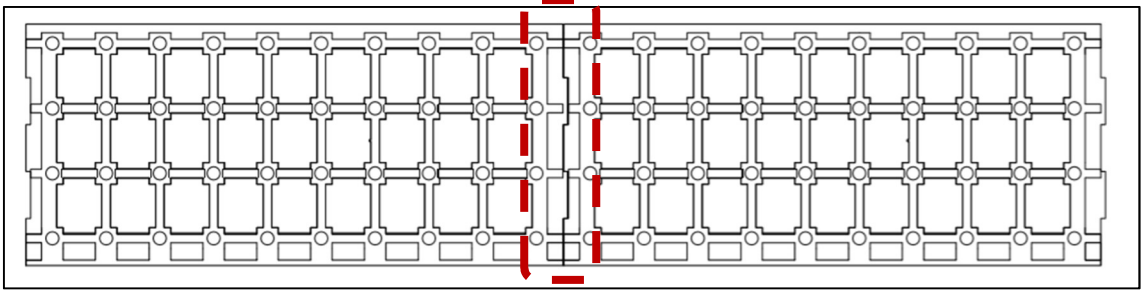
**Şekil 3.1** Kara tarafı (D Aksı)(solda) ve deniz tarafı (A, B, C Aksları)(sağda) kazıkları tapa kesiti donatı detayları



Şekil 3.2 Tipik bir rıhtım modülünün plan görünümü



Şekil 3.3 Enine yönde rıhtım kesit görüntüsü



**Şekil 3.4** Bitişik rıhtım yapıları plan görünümü (kesiklikli çizgi içindeki kısım genişleme derzini göstermektedir)

### 3.2.1. Modelleme Yaklaşımı ve Analiz Modeli

Bu çalışmada, bir tanesinde tek bir modülün yalnız başına çözüldüğü “tekil model”, diğerinde ise 2 modülün bitişik durumunun dinamik özelliklerinin dikkate alındığı “birleşik model” olmak üzere 2 adet 3 boyutlu sonlu elemanlar modeli ele alınmıştır. Analizler, yapısal analiz programı Sap2000 [19] kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Modellerde, çelik boru kazıklar ve betonarme kirişler çubuk elemanlarla, betonarme tabliye döşemesi ise kabuk elemanlar ile temsil edilmiştir. Rijitlik ve kütle dağılımının doğru bir şekilde gerçekleşebilmesi için tüm elemanlar yeterli sayıda alt parçalara bölünmüştür.

Kazık ile tabliye birleşim bölgesi kazık üst ucunda belirli bir uzunluk boyunca, çapı çelik boru kazık iç çapına eşit betonarme tapa kesiti ile oluşturulmuştur. İlgili tapa bölgesinin uzunluğu plastik mafsallık uzunluğuna karşılık gelmekte olup, Ref [15], Bölüm 2.3.2.2.3’ e göre belirlenmiştir. Tapa kesitinin çelik boru kazık içinde devam eden kısmı kompozit kesit olarak analizlerde dikkate alınmıştır.

Hacimsel olmayan modellemede tabliye ve kazıkların oluşturduğu düzlem ile tapa elemanının üst ucunun geometrik mesafesi düşünüldüğünde, ilgili elemanları birbirine bağlayabilmek için ikisi arasında birbirlerine göre bağıl hareketi engelleyen rijit bir eleman tanımı yapılması gereklidir. Bu sebeple kiriş-döşeme düzlemi ile tapa elemanı üst uç noktası arasında kalan mesafede çubuk rijit eleman modellenmiştir.

Analiz metodu olarak doğrusal olmayan analiz yöntemi esas alınmıştır. Bu sebeple, yapısal elemanların ve zeminin doğrusal olmayan davranışlarının modellemede tanımlaması ihtiyacı doğmuştur.

Yapısal elemanlarda bu davranış, yüklemeye bağlı olarak ilgili elemanlarda oluşacak kesit tesirlerinin hesabında çatlamış kesit rijitliklerinin kullanılması ve elemanlarda meydana gelecek olan elastik ötesi kuvvet-deformasyon ilişkilerini göz önüne alabilmek için ise plastik mafsallı hipotezinin kullanılması ile sağlanmaya çalışılmıştır. B/A Tabliye ve tapa elemanları için brüt kesitlerin eğilme rijitliklerine uygulanacak çatlamış kesit azaltma katsayıları ASCE 61-14, Tablo 5.2 [20] ye göre belirlenmiştir.

B/A Tapa kesiti için :  $(EI)_e = 0.42(EI)_g$

B/A Kiriş kesiti için :  $(EI)_e = 0.50(EI)_g$

B/A Döşeme kesiti için :  $(EI)_e = 0.30(EI)_g$

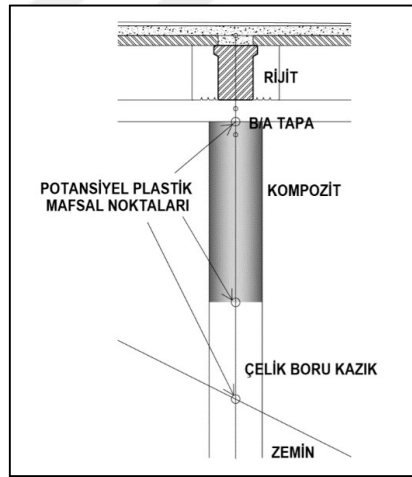
Zeminin elastik ötesi davranışı ise, rijitliğin derinlikle birlikte değiştiği doğrusal olmayan kuvvet-deformasyon ilişkilerinin göz önünde bulundurulduğu yatay yöndeki davranışı temsil eden P-y yayların tanımlanması ile değerlendirilmiştir. P-y yaylarının kuvvet-deformasyon ilişkilerinin belirlenmesinde (O' Neill ve Murchison 1983, API RP 2A-WSD), (Reese ve Welch 1975, Reese vd. 1975, Reese vd. 2006) [21], [22], [23], [24] çalışmalarından yararlanılmıştır. İlgili çalışmadaki tüm kazıklar düşey yönde olup, eğik kazık bulunmamaktadır. Bu durum sebebiyle, analizleri basitleştirmek amacıyla kazığın aksel yönündeki davranışı temsil için T-z (aksel çevre sürtünme davranışı için) ve Q-z (aksel kazık uç direnci davranışı için) yayların tanımlanmasına ihtiyaç duyulmamıştır. Bunun yerine, kazıkların oturmasının tamamlandığı düşünülüp kazığın aksel yönündeki davranışı için kazığın alt ucu basit mesnetli olarak temsil edilmiştir.

Dinamik analizlerde yapının ilgili modlardaki periyodunu doğru hesaplayabilmek için kütle tanımının gerçeğe uygun bir şekilde yapılması gereklidir. Bu sebeple kütle tanımında yapının kendi ağırlığı ve kaplama gibi kalıcı elemanların ağırlığı dikkate alınmış olup, ek olarak kazığın su içinde kalan kısımlarında ek su kütlesi de göz önünde bulundurulmuştur(DLH 2008) [15].

Yukarıda açıklanmış olan tüm durumlar tekil ve birleşik modeller için ortak olan durumlardır. Birleşik modelde tekil modele göre farklı olan kısım, rıhtım yapılarının genleşme derzi noktasında birbirleri ile olan etkileşimini tanımlanması gerekliliğidir. Bu karşılıklı etkileşim, yapının kısa yönünde kilitli davranışı temsil etmek amacıyla analiz programındaki “doğrusal bağlantı elemanı” vasıtasıyla, uzun yönündeki 10 cm lik derz boşluğunda görece serbest salınım davranışını temsil etmek için ise “doğrusal olmayan boşluklu bağlantı elemanı” kullanılarak tanımlanmıştır. İlgili bağlantı elemanlarının eksenel yöndeki rijitlikleri, tabliye elemanının eksenel rijitliği göz önüne alınarak hesaplanmıştır.

### 3.2.2. Plastik Mafsal Tanımlaması

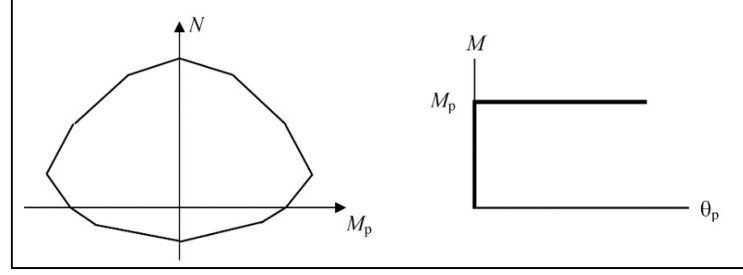
B/A Tapa kesitlerinin doğrusal olmayan davranışı uygulama kolaylığı nedeniyle temeli yığılı plastik davranış modeline dayanan iki doğrulu plastik mafsallarla idealize edilmiştir. Kontrol yaklaşımı olarak plastik mafsalların yalnızca kazıkların tabliye ile birleştiği bölge olan B/A Tapa kesitlerinde, kompozit kesitin alt uç noktasında ve kazığın zemin içinde gömülü olan kısımlarında izin verilmiştir. Şekil 3.5’ te potansiyel plastik mafsal noktaları gösterilmiştir.



**Şekil 3.5** Potansiyel plastik mafsal noktaları

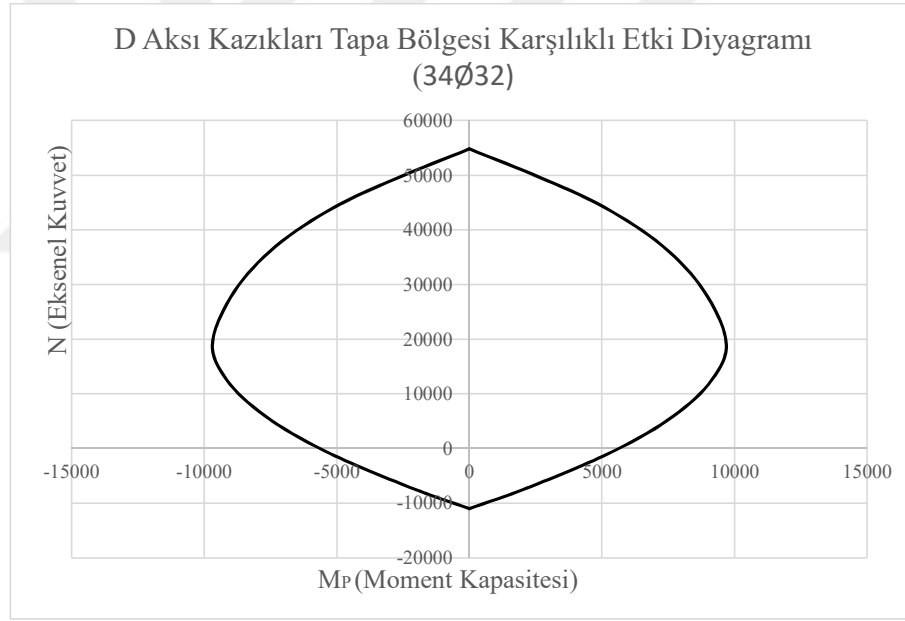
Plastik mafsal kapasiteleri, N (Normal Kuvvet) ve M (Moment) etkilerini karşılıklı olarak dikkate alacak şekilde üç boyutlu olarak dikkate alınmıştır. Her bir normal kuvvet seviyesinde plastik moment kapasite değerleri hesaplanmıştır. Akma yüzeylerinin belirlenmesinde beton için basınç birim şekil değiştirme değeri ve donatı çeliği için çekme birim şekil değiştirmesi değerleri sırasıyla 0,004 ve 0,015 olarak hesap yapılmıştır.

İki boyutlu akma yüzeyi ve plastik moment-plastik dönme ilişkisi Şekil 3.6' da verilmiştir.

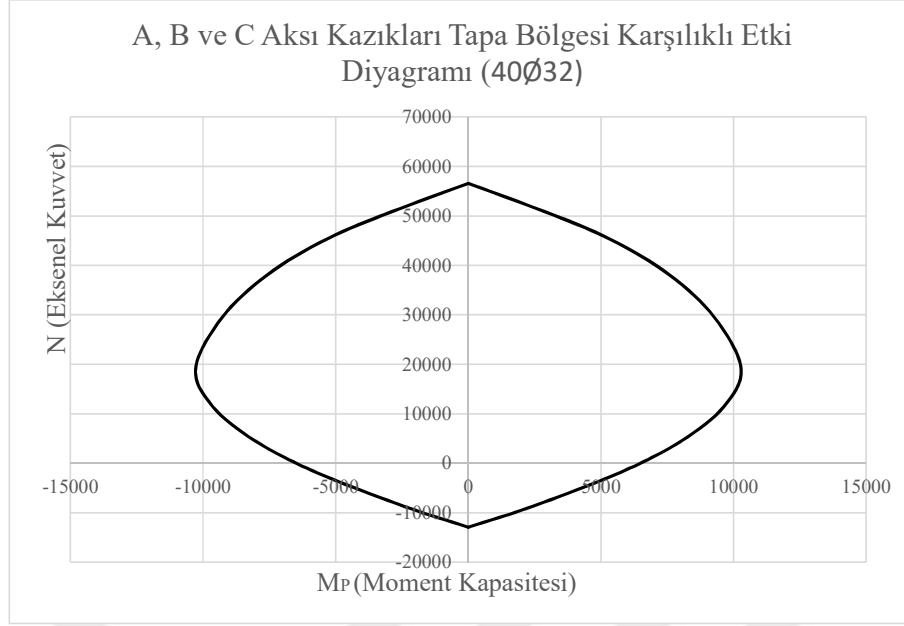


**Şekil 3.6** İki boyutlu akma yüzeyi ve plastik moment-plastik dönme ilişkisi(DLH 2008) [15]

40 adet Ø32 donatı kullanılan kara tarafı kazıkları (D Aksı) ve 34 adet Ø32 donatı kullanılan diğer kazıklar (A, B ve C Aksları) için oluşturulmuş tapa bölgesi karşılıklı etki diyagramları Şekil 3.7 ve Şekil 3.8 'de sırasıyla verilmiştir.



**Şekil 3.7** D Aksı kazıkları tapa bölgesi karşılıklı etki diyagramı (34Ø32)



**Şekil 3.8** A, B ve C Aksı kazıkları tapa bölgesi karşılıklı etki diyagramı (40Ø32)

Çelik kazıklarlar için tanımlanan plastik mafsallar ANSI/AISC (2016) [25]' e göre denklem 3.1 ve 3.2 ile belirlenmiştir.

$$M_{ye} = \frac{9}{8} M_c \left( 1 - \frac{P}{P_{ye}} \right) \quad P \geq 0.2 P_{ye} \quad (3.1)$$

$$M_{ye} = M_c \left( 1 - \frac{P}{2P_{ye}} \right) \quad P \leq 0.2 P_{ye} \quad (3.2)$$

Burada;

$M_c = F_{ye} Z$  Moment kapasitesi

$P_{ye} = F_{ye} A_g$  Ortalama eksenel yük akma dayanımı

$F_{ye} = 345 \times 1.1 = 379.5 \text{ MPa}$

$Z$  : Plastik kesit modülü

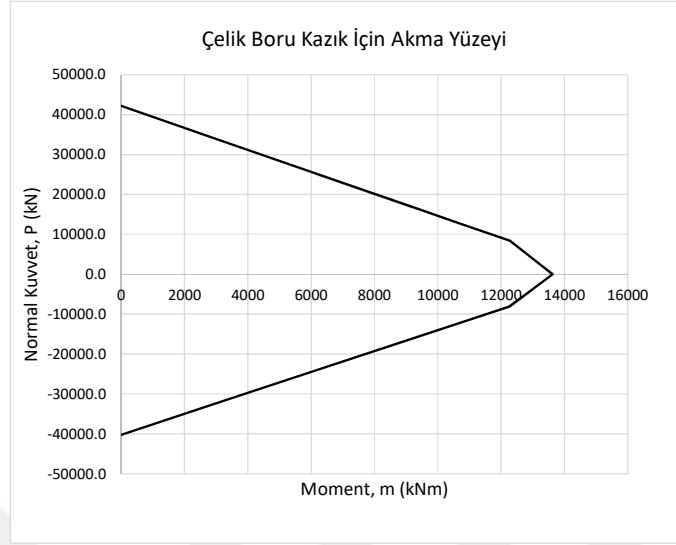
$A_g$  : Brüt kesit alanı

İfade etmektedir.

B/A Tapa kesiti için plastik mafsall boyu ( $L_p$ ) (DLH 2008 Bölüm 2.3.2.2.3) [15]' e göre Denklem 3.3 ile belirlenmiştir. Çelik boru kazıklar için plastik moment kapasitesinin



belirlenmesinde kullanılacak olan üç boyutlu akma yüzeyi 2 boyutlu akma yüzeyi temel alınarak hesaplanmıştır. İki boyutlu akma yüzeyi Şekil 3.9’ da verilmiştir.



**Şekil 3.9** Çelik boru kazıklar için hesaplanan iki boyutlu akma yüzeyi

$$L_p = 0.044 f_{yk} d_b \quad (3.3)$$

Burada;  $f_{yk}$  donatı çeliğinin karakteristik akma gerilmesini (MPa),  $d_b$  ise boyuna donatının çapını (mm) göstermektedir İlgili parametrelerin değerleri Tablo 3.1’ de gösterilmiştir.

**Tablo 3.1** B/A Tapa kesitleri için plastik mafsallık uzunluğu hesabı

| Karakteristik Akma Gerilmesi (MPa) | Boyuna Donatının Çapı (mm) | Plastik Mafsallık Uzunluğu(cm) |
|------------------------------------|----------------------------|--------------------------------|
| $420 \times 1.1 = 462$             | 32                         | 65                             |

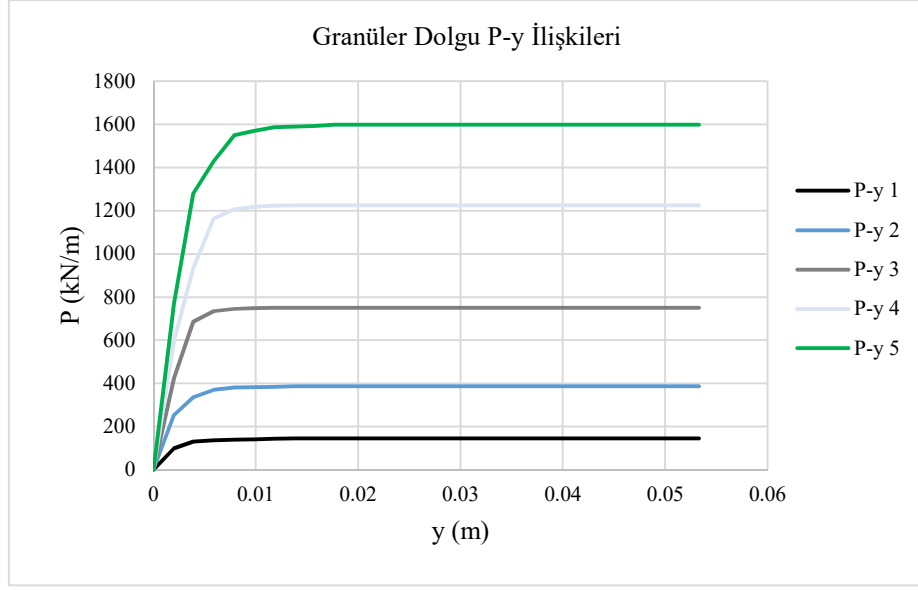
### 3.2.3. Zeminin Doğrusal Olmayan Davranışını Temsil Eden P-y Yayları

Zeminin doğrusal olmayan davranışı, kazığın gömülü olduğu boy boyunca derinliğe göre özellikleri değişen P-y yaylarının 1 metrelik eşit aralıklarla modelde tanımlanması ile sağlanmıştır. Zeminin iki farklı tabakadan oluştuğu varsayılmıştır. Rıhtımın altında, yapının kıyıya paralel olması sebebiyle, kıyı tarafındaki döşeme kotu ile deniz tarafındaki tarama kotunu birleştiren eğimi oluşturan zemin granüler dolgu, onun altındaki tabakanın ise tamamen doğal zemin tabakalarından oluştuğu düşünülmüştür. Doğal zeminin genel yapısının kilden oluştuğu varsayılmıştır.

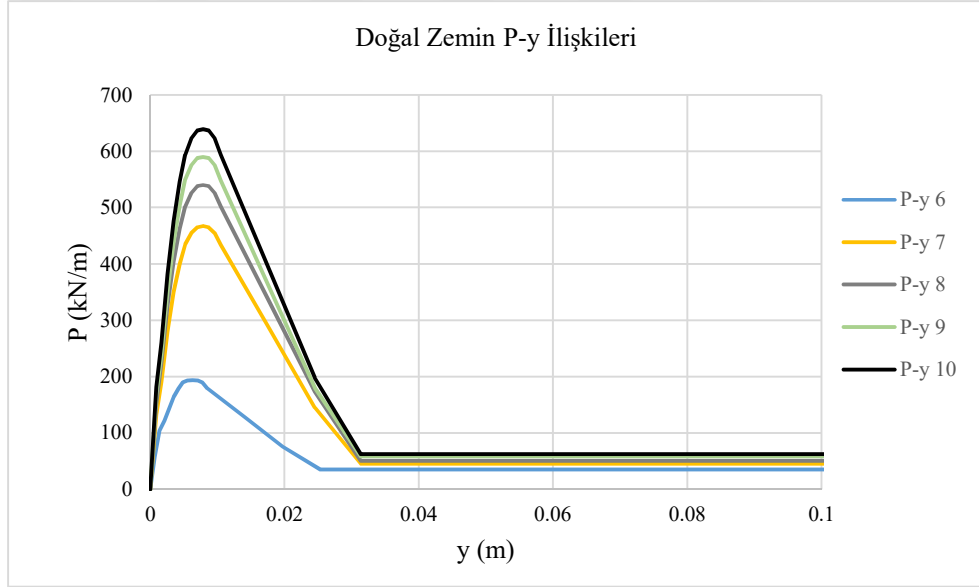
Varsayılan zemin parametreleri Tablo 3.2’ de verilmiştir. İlgili P-y ilişkileri Şekil 3.10 ve Şekil 3.11’de görülmektedir.

**Tablo 3.2** Varsayılan zemin parametreleri

| Birim             | Derinlik<br>(m) | $\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) | $S_u$ (kPa) | $\Phi'$ (derece) | $c'$ (kPa) |
|-------------------|-----------------|---------------------------------|-------------|------------------|------------|
| Granüler<br>Dolgu | 0               | 20                              | 0           | 40               | 0          |
|                   | 9               | 20                              | 0           | 40               | 0          |
| Doğal Zemin       | 9               | 19,5                            | 58          | 28               | 7          |
|                   | 15              | 19,5                            | 102         | 28               | 10         |
|                   | 25              | 19,5                            | 123         | 28               | 12,5       |
|                   | 45              | 19,5                            | 156         | 28               | 15         |

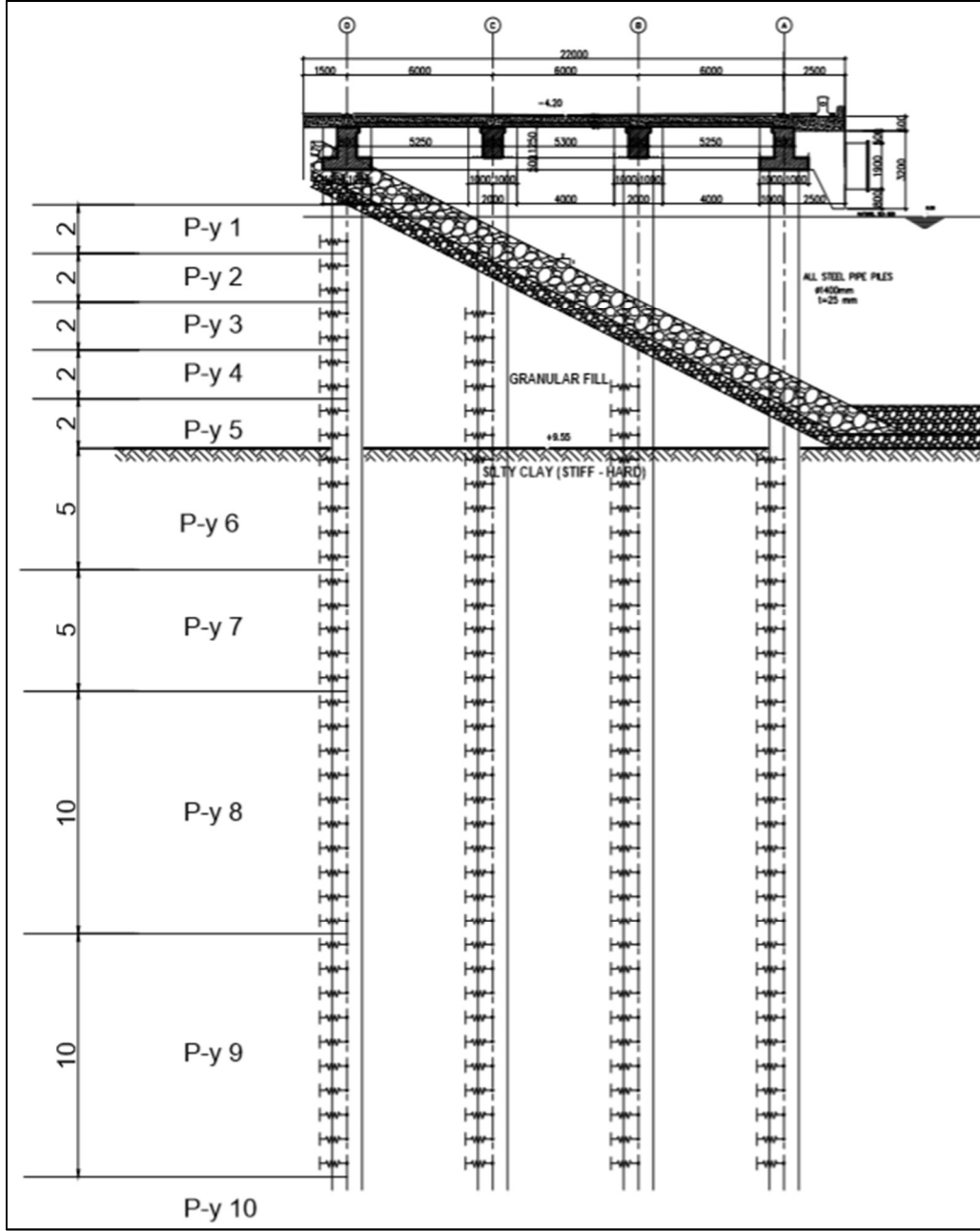


**Şekil 3.10** Granüler Dolgu Zemin P-y İlişkileri [21]



**Şekil 3.11** Doğal Zemin P-y İlişkileri [22]

P-y ilişkilerinin derinliğe bağlı olarak değişen özellikleri analiz modellerinde metre cinsinden Şekil 3.12’ de görüldüğü gibi dikkate alınmıştır.



**Şekil 3.12** P-y ilişkilerinin derinliğe bağlı değişimleri

### 3.3. Yapısal Sistemlerin Analizi

Bu çalışma kapsamında, sonuçların değerlendirilmesi ve karşılaştırılması için iki tip analiz yöntemi kullanılmıştır. Bunlardan biri, benzeri yapıların performans değerlendirilmesi hususunda sıkça tercih edilen mod-temelli statik itme yöntemi, diğeri ise görece daha uzun analiz süreleri gerektiren zaman tanım alanında hesap yöntemidir.

#### 3.3.1. Statik İtme Analizi

İtme analizi metodunda yapısal sistemler, ayrı ayrı olmak üzere her iki doğrultuda, ilgili yöndeki hakim mod ile uyumlu olarak eşdeğer deprem yükü altında yapısal sistemin kütle merkezindeki yer değiştirme değeri, öngörülen depremin yapıdan talep ettiği yer değiştirme değerine ulaşıncaya kadar itilmiştir. İtme analizi süresince elemanlardaki plastik davranışlar takip edilmiştir.

Gerçekte deprem gerçekleştiğinde yapı hali hazırda düşey yüklerin etkisi altında iken, depremin başlamasıyla birlikte düşey yüklerin etkisine yatayda depremden gelen yüklerde eklenecektir. Analiz modelinde bu durumu doğru temsil edebilmek için yatay yönde yapılacak itme analizinden önce yapısal sistemin kendi ağırlığı altında düşey yönde bir başlangıç itme analizi yapılmıştır.

(+X) ve (-X) yönlerinde analizin kendi sistemi içindeki simetriden dolayı benzer sonuçlar vermesi beklenmektedir. (+Y) ve (-Y) yönleri için ise, şevli zeminden dolayı sonuçların etkileneceği düşünülmüştür. Bu sebepten dolayı, statik itme analizleri toplam üç yönde, (+X) boyuna yön ve (+Y), (-Y) enine yön olmak üzere, depremin talep ettiği yerdeğiştirme değerlerine ulaşıncaya kadar gerçekleştirilmiştir.

Tekil Model ve Birleşik Model için modal kütle katılım oranları Tablo 3.3 ve Tablo 3.4' te ayrı ayrı verilmiştir.

**Tablo 3.3** Tekil Model için modal kütle katılım oranları

| Analiz Adımı | Adım Numarası | Periyot (Saniye) | UX (Birimsiz) | UY (Birimsiz) | UZ (Birimsiz) | RX (Birimsiz) | RY (Birimsiz) | RZ (Birimsiz) |
|--------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mod          | 1             | 0,369            | 0,465         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,002         | 0,490         |
| Mod          | 2             | 0,308            | 0,000         | 0,942         | 0,000         | 0,024         | 0,000         | 0,000         |
| Mod          | 3             | 0,249            | 0,482         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,006         | 0,457         |
| Mod          | 4             | 0,107            | 0,000         | 0,003         | 0,375         | 0,367         | 0,075         | 0,000         |
| Mod          | 5             | 0,106            | 0,000         | 0,001         | 0,070         | 0,070         | 0,417         | 0,002         |
| Mod          | 6             | 0,100            | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,018         | 0,002         | 0,000         |

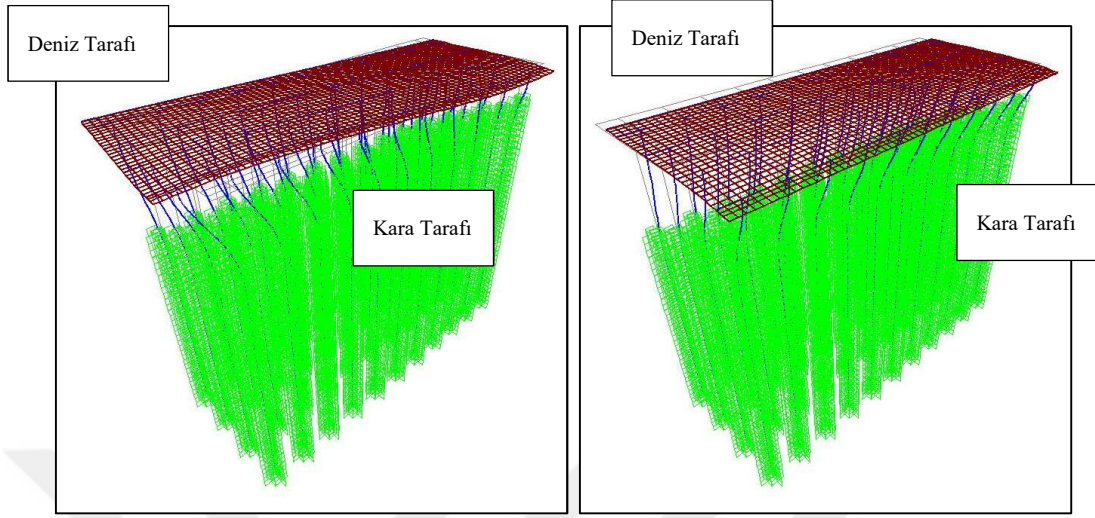
**Tablo 3.4** Birleşik Model için modal kütle katılım oranları

| Analiz Adımı | Adım Numarası | Periyot (Saniye) | UX (Birimsiz) | UY (Birimsiz) | UZ (Birimsiz) | RX (Birimsiz) | RY (Birimsiz) | RZ (Birimsiz) |
|--------------|---------------|------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| Mod          | 1             | 0,336            | 0,397         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,552         |
| Mod          | 2             | 0,308            | 0,000         | 0,942         | 0,000         | 0,024         | 0,000         | 0,000         |
| Mod          | 3             | 0,271            | 0,549         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,002         | 0,392         |
| Mod          | 4             | 0,167            | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000         | 0,000         |
| Mod          | 5             | 0,107            | 0,000         | 0,001         | 0,140         | 0,133         | 0,245         | 0,002         |
| Mod          | 6             | 0,107            | 0,000         | 0,002         | 0,243         | 0,242         | 0,035         | 0,000         |

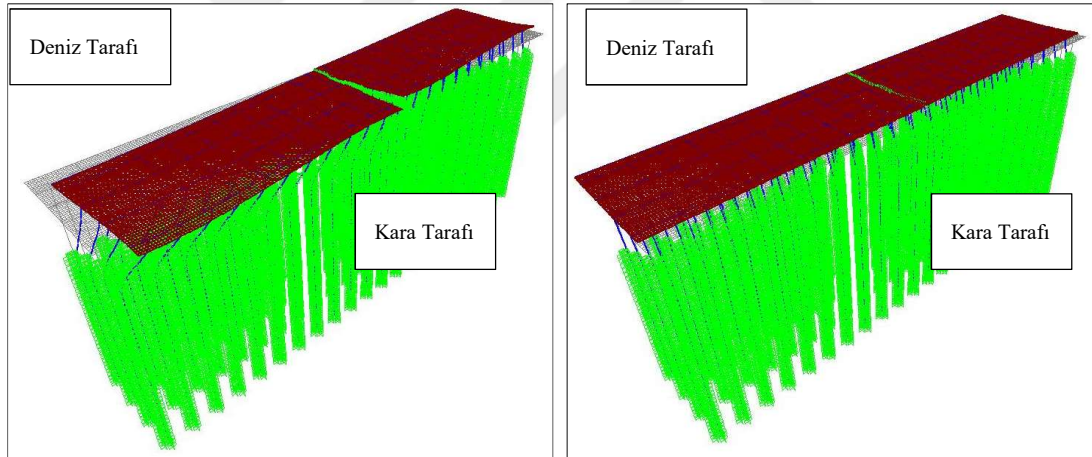
Tablolardan görüleceği üzere, Tekil Model için X (boyuna) yönünde maksimum kütle katılım oranı % 48 ile üçüncü moddan gelmekte iken, Y (enine) yönü için ise % 94 ile ikinci modda sağlanmaktadır. Bu durumdan anlaşılabacağı üzere, X (boyuna) yönü statik itme analizlerinde yükleme için üçüncü modun şekli baz alınacaktır. Aynı şekilde Y (enine) yönü analizlerinde ise ikinci modun şekli analizlerde esas alınacaktır.

Birleşik model için ise, X (boyuna) yönde maksimum kütle katılım oranı % 55 ile yine üçüncü moddan gelmekte, Y (enine) yönde maksimum kütle katılım oranı ise yine % 94 ile ikinci modda olmaktadır.

Mod bağlantılı yükleme şeklinin belirlenmesinde kullanılacak olan hakim mod şekilleri her iki yönde “Tekil Model” ve “Birleşik Model” için Şekil 3.13 ve Şekil 3.14’te görülmektedir.

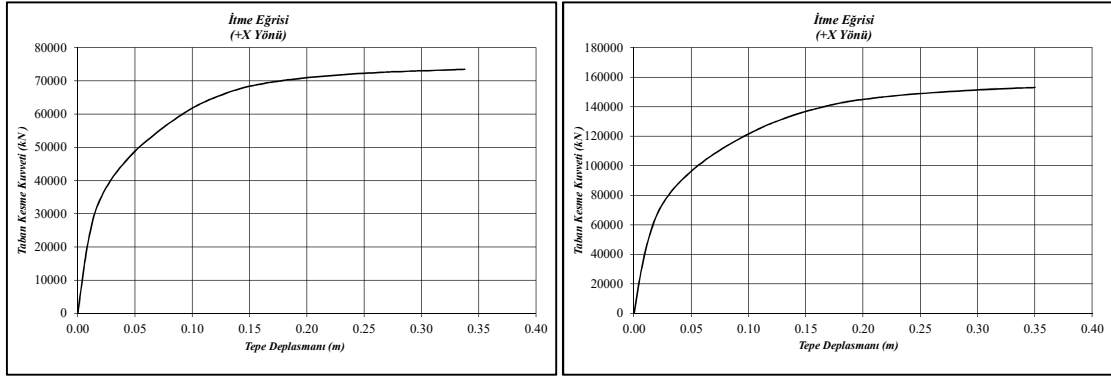


**Şekil 3.13** “Tekil Model” için sırasıyla X(boyuna) ve Y(enine) yönlerdeki hakim mod şekilleri-Serbest titreşim periyotları  $T_{1X}=0.25$  s (solda) ve  $T_{1Y}=0.31$  s (sağda)

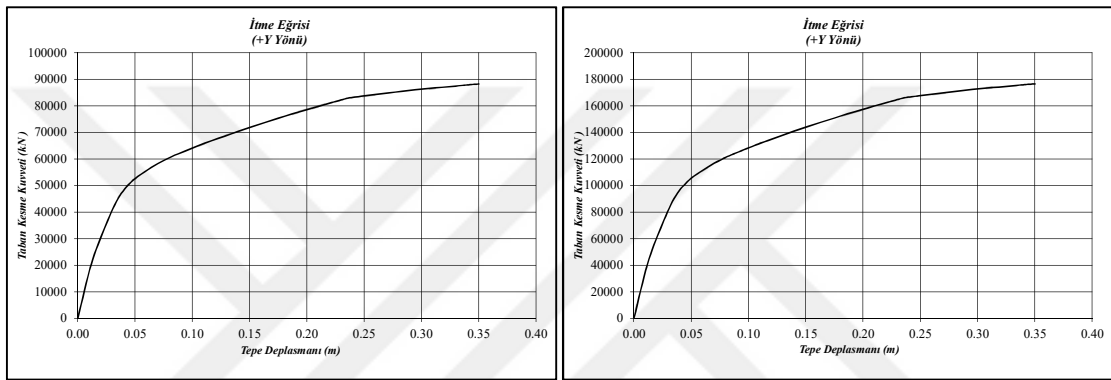


**Şekil 3.14** “Birleşik Model” için sırasıyla X(boyuna) ve Y(enine) yönlerdeki hakim mod şekilleri-Serbest titreşim periyotları  $T_{1X}=0.27$  s (solda) ve  $T_{1Y}=0.31$  s (sağda)

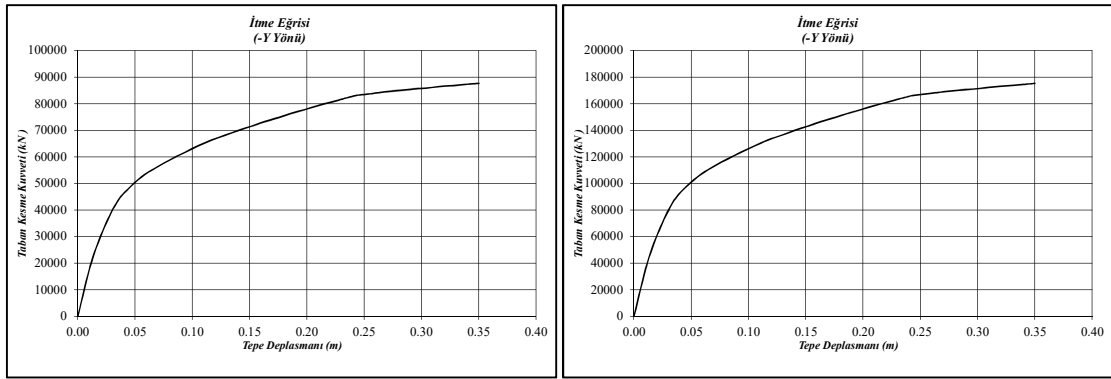
“Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” modellerinde depremin talep ettiği yerdeğiştirmenin hesaplanabilmesi için, doğrusal olmayan statik itme analizlerinden elde edilen statik itme eğrileri Şekil 3.15, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de gösterilmiştir.



**Şekil 3.15** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+X) Yönü itme eğrileri



**Şekil 3.16** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+Y) Yönü itme eğrileri



**Şekil 3.17** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (-Y) Yönü itme eğrileri



### 3.3.1.1. Depremın Talep Ettiği Yerdeğiştirme Değerinin Belirlenmesi

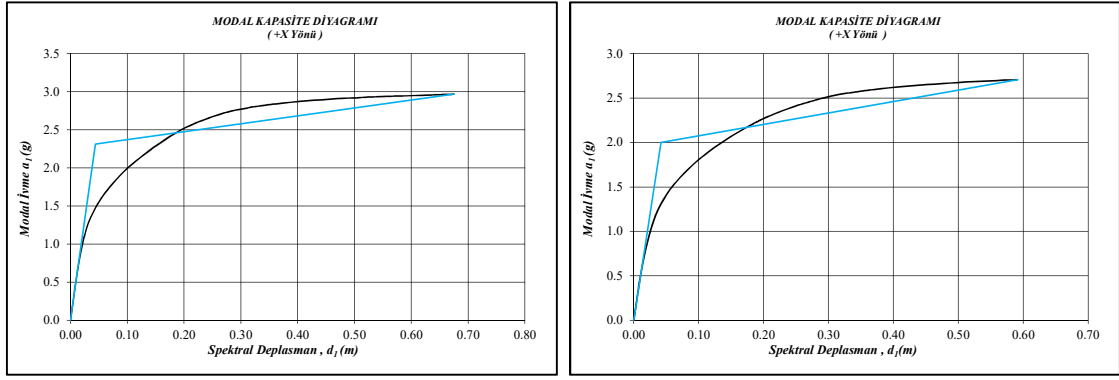
Depremın talep ettiği yerdeğiştirme değeri, DLH-DTY 2008 [15] Bölüm 2.3.4.5' te belirtildiği üzere Artımsal Eşdeğer Deprem Yüğü Yöntemi ile belirlenmiştir. Bu kapsamda, elastik olmayan spektral yerdeğiştirme talebini ( $S_{di1}$ ) hesaplayabilmek için, çok serbestlik dereceli sistemin itme eğrisi, eşdeğer tek serbestlik dereceli elastik olmayan sistemin modal kapasite diyagramına dönüştürölmüştür. Bu dönüşüm Bölüm 2.2 de anlatılan Denklem 2.4 ve 2.5 yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

“Tekil Model” ve “Birleşik Model” e ait itme eğrisinin modal kapasite diyagramına çevrilmesinde kullanılan modal parametreler Tablo 3.5' te gösterilmiştir.

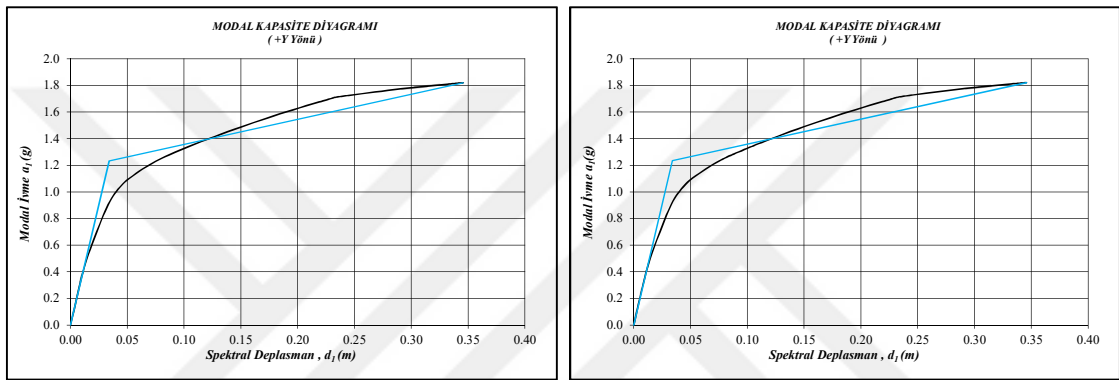
**Tablo 3.5** “Tekil Model” ve “Birleşik Model” için modal parametreler

| Modal Parametreler |                                      |                | Tekil Sistem | Birleşik Sistem |
|--------------------|--------------------------------------|----------------|--------------|-----------------|
| X Yönü             | Kütle katılım faktörü                | $\Gamma_{x,1}$ | 50.286       | 75.892          |
|                    | Kütle merkezindeki mod şekli genliği | $\Phi_{xT,1}$  | 0.010314     | 0.007802        |
|                    | Toplam kütle (kN)                    | $\Sigma M$     | 5247.3       | 10494.3         |
|                    | Kütle katılım oranı                  | $M(\%)$        | 48.19        | 54.88           |
|                    | Efektif kütle (kN)                   | $M_{x,1}$      | 2528.66      | 5759.49         |
| Y Yönü             | Kütle katılım faktörü                | $\Gamma_{y,1}$ | 70.296       | 99.413          |
|                    | Kütle merkezindeki mod şekli genliği | $\Phi_{yT,1}$  | 0.014404     | 0.010185        |
|                    | Toplam kütle (kN)                    | $\Sigma M$     | 5247.3       | 10494.3         |
|                    | Kütle katılım oranı                  | $M(\%)$        | 94.17        | 94.18           |
|                    | Efektif kütle (kN)                   | $M_{y,1}$      | 4941.52      | 9883.03         |

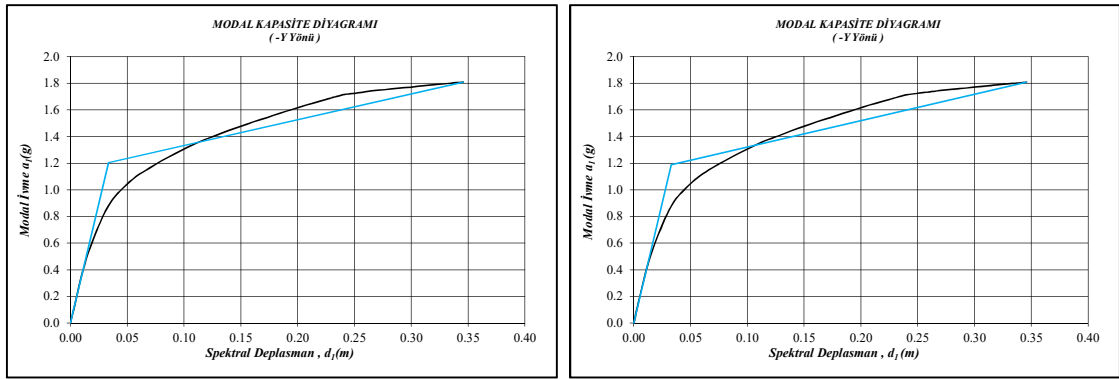
+X, +Y ve -Y yönündeki modal kapasite diyagramları tekil ve birleşik modeller için şekil 3.18, şekil 3.19 ve şekil 3.20' de gösterilmiştir.



**Şekil 3.18** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+X) Yönü modal kapasite diyagramları



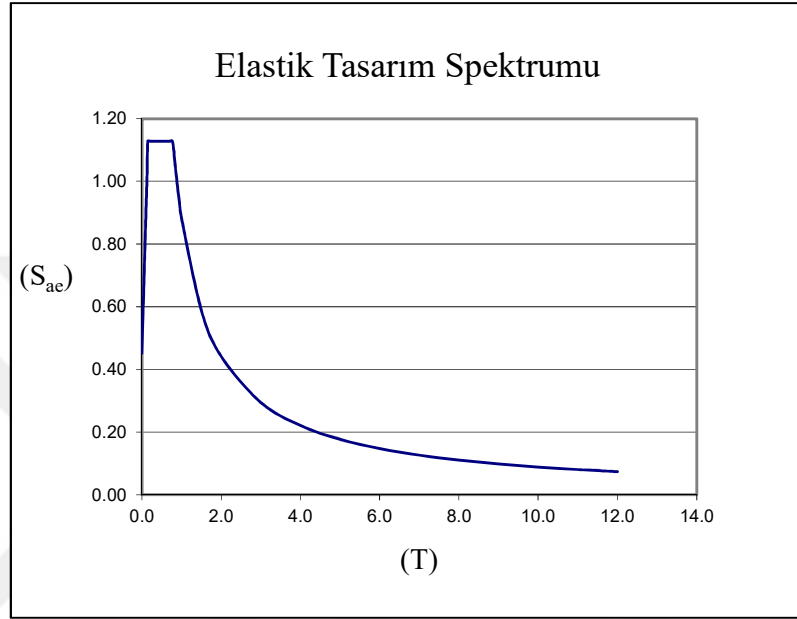
**Şekil 3.19** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (+Y) Yönü modal kapasite diyagramları



**Şekil 3.20** “Tekil Sistem”(solda) ve “Birleşik Sistem”(sağda) için (-Y) Yönü modal kapasite diyagramları

Tabliyenin kütle merkezindeki yerdeğiştirme istemlerini bulabilmek için tek serbestlik dereceli sistemlerin hesaplanan elastik olmayan spektral deplasman değerlerinden, Bölüm 2.2 ve 2.2.1’deki Denklem 2.3 ve 2.4 vasıtasıyla çok serbestlik dereceli sistemin deplasman değerlerine geçilmiştir.

Artımsal eşdeğer deprem yükü yöntemi ile itme analizine göre doğrusal olmayan spektral yerdeğiştirmenin belirlenmesi için (DLH-DTY 2008, EK-C) [15], Kocaeli Körfez bölgesi, E zemin sınıfı dikkate alınarak varsayımsal bir elastik tasarım spektrumu belirlenmiştir. İlgili spektrum Şekil 3.21’ de görölmektedir. İlgili spektrumun köşe periyot değeri  $T_A=0,157$  s,  $T_B=0,784$  s olup, en yüksek yer ivmesi değeri 0,487 g mertebesindedir.



**Şekil 3.21** Varsayılan Elastik Tasarım Spektrumu Diyagramı

İlgili elastik tasarım spektrumuna göre, “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” modelleri için ulaşılan deplasman istemi değeri aşağıda verilmiştir.

“Tekil Sistem” için  $u_{+x,1}^{(p)} = 0.0148 \text{ m}$

$$u_{+y,1}^{(p)} = 0.0518 \text{ m}$$

$$u_{-yT,1}^{(p)} = 0.0532 \text{ m}$$

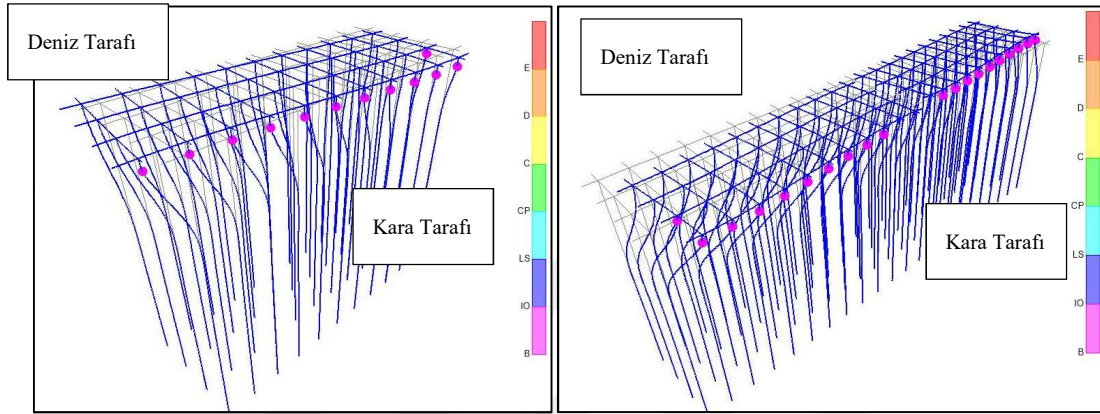
“Birleşik Sistem” için  $u_{+xT,1}^{(p)} = 0.0186 \text{ m}$

$$u_{+yT,1}^{(p)} = 0.0516 \text{ m}$$

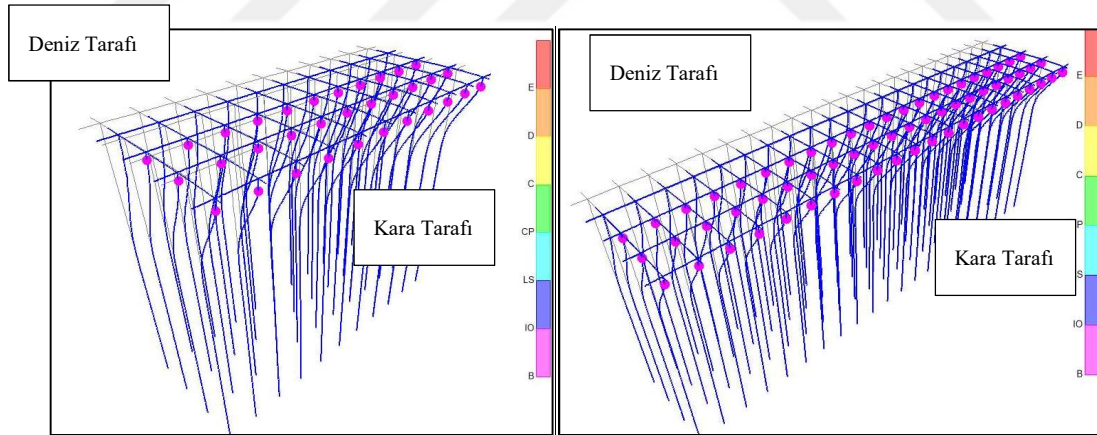
$$u_{-yT,1}^{(p)} = 0.0537 \text{ m}$$

### 3.3.2. “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” Performans Değerlendirmesi Karşılaştırması

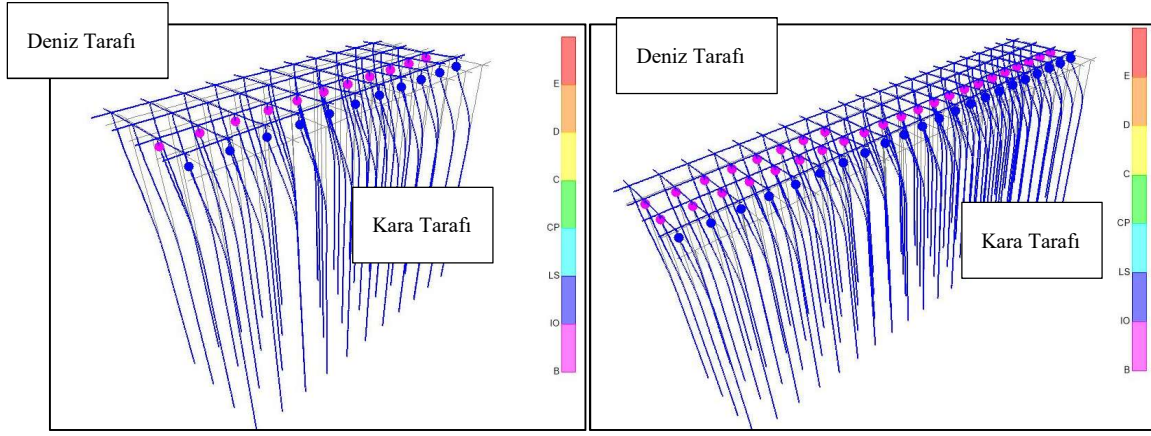
“Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” ler, birbirine dik her iki yönde ilgili yönlerde depremin yapıdan istediği yerdeğiştirme istemlerine kadar itilmiştir. İlgili yerdeğiştirme istemlerindeki yapıların deforme olmuş şekilleri Şekil 3.22, Şekil 3.23 ve Şekil 3.24’ te gösterilmiştir. İlgili şekillerden gözlemlendiği üzere plastik mafsallar yalnızca kazıkların tabliyeye birleştiği tapa kesitlerinde gelişmiştir.



**Şekil 3.22** “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için +X Yönü (Boyuna) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsal dağılımı



**Şekil 3.23** “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için +Y Yönü (Enine) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsal dağılımı



**Şekil 3.24** “Tekil Sistem” (solda) ve “Birleşik Sistem” (sağda) için -Y Yönü (Enine) Statik İtme Analizi sonucu plastik mafsal dağılımı

Her iki yöndeki tüm statik itme analizleri için tapa kesitlerinde oluşan mafsalların maksimum plastik dönme değerleri karşılaştırması Tablo 3.6’ da radyan cinsinden verilmiştir.

**Tablo 3.6** Her iki yöndeki itme analizleri sonucu “Tekil Model” ve “Birleşik Model” için tapa kesitlerinde oluşan mafsalların maksimum plastik dönme değerleri (radyan)

|                 | Tekil Sistem            |                         | Birleşik Sistem         |                         |
|-----------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Analiz Yönü     | Maks. R2 Plastik (rad.) | Maks. R3 Plastik (rad.) | Maks. R2 Plastik (rad.) | Maks. R3 Plastik (rad.) |
| İtme Analizi X+ | 0.001151                | 0.001718                | 0.000957                | 0.001179                |
| İtme Analizi Y+ | 0.002732                | 0.000252                | 0.00283                 | 0.000256                |
| İtme Analizi Y- | 0.003505                | 0.000289                | 0.003598                | 0.000291                |

### 3.3.3. Statik İtme Analizi Sonuçlarının İncelenmesi ve Değerlendirilmesi

Statik itme yöntemiyle çözülmüş tekil ve birleşik sistemlerin karşılaştırılmasına bakıldığında; serbest titreşim analizleri sonucu, modüllerin birarada düşünülerek çözüldüğü birleşik sistemde, X (boyuna) yönündeki hakim modun periyot değerinin tekil sisteme göre çözümde ulaşılan 0,24 sn değerinden 0,27 sn değerine yükseldiği görülmüştür. Benzer şekilde kütle katılım oranı da %48 değerinden %55 değerine yükselmiştir. Bu bağlamda, “Birleşik Sistem” de kütle katılım oranının yükselmiş olmasının, genel itibariyle yapının davranışı bakımından daha olumsuz bir durumu işaret ettiği söylenebilir. Bununla birlikte, ilgili yöndeki hakim mod şekilleri boyuna yönde ötelenme ve düşey eksen etrafında dönme olmak üzere hemen hemen benzer görünmektedir. +X (boyuna) yönünde yapılmış statik itme analizlerinden açıkça görülmektedir ki, plastik mafsallarda dağılımları rıhtımın kara tarafındaki kazıkların kazık tabliye birleşimlerinde tapa bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. Bu durumun sebebinin rıhtımın altındaki şevli dolgu zemin olduğu düşünülmüştür. Dolgu zemindeki eğimin yönüne bakıldığında kara tarafındaki kazıklar daha yüksek kotlardan itibaren gömülü durumdadır. Deniz tarafındaki kazıkların serbest boyu daha uzundur. Salınım hareketi göz önüne alındığında daha fazla gömülü olan kazıklar harekete katılma noktasında görece tutulu olduklarından üzerlerine daha fazla yük çekeceklerdir. Bu durum kara tarafındaki kazıkların daha çok hasar görmesine sebep olmaktadır. “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” karşılaştırılmasında plastik mafsallar dağılım yönünden hemen hemen benzerlik göstermekle birlikte, “Birleşik Sistem” de genel olarak plastik rotasyon değerlerinin azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun, modüllerin birarada çözüldüğü sistemde, karşılıklı etkileşim sonucu tabliyelerin düşey eksen etrafındaki burulmasının modüllerin birbiri tarafından görece engellenmesi sebebiyle olduğu düşünülmektedir.

Y (enine) yönü statik itme analizleri için tekil ve birleşik sistemler karşılaştırıldığında; serbest titreşim analizleri sonucu bulunan hakim modun periyodu ve ilgili modda kütle katılım oranlarının hemen hemen birbirine yakın değerlerde olduğu gözlenmektedir. İlgili periyot değeri, hakim modda her iki sistem için de 0.31 saniyedir. Yine aynı mod değeri için kütle katılım oranı değeri ise iki

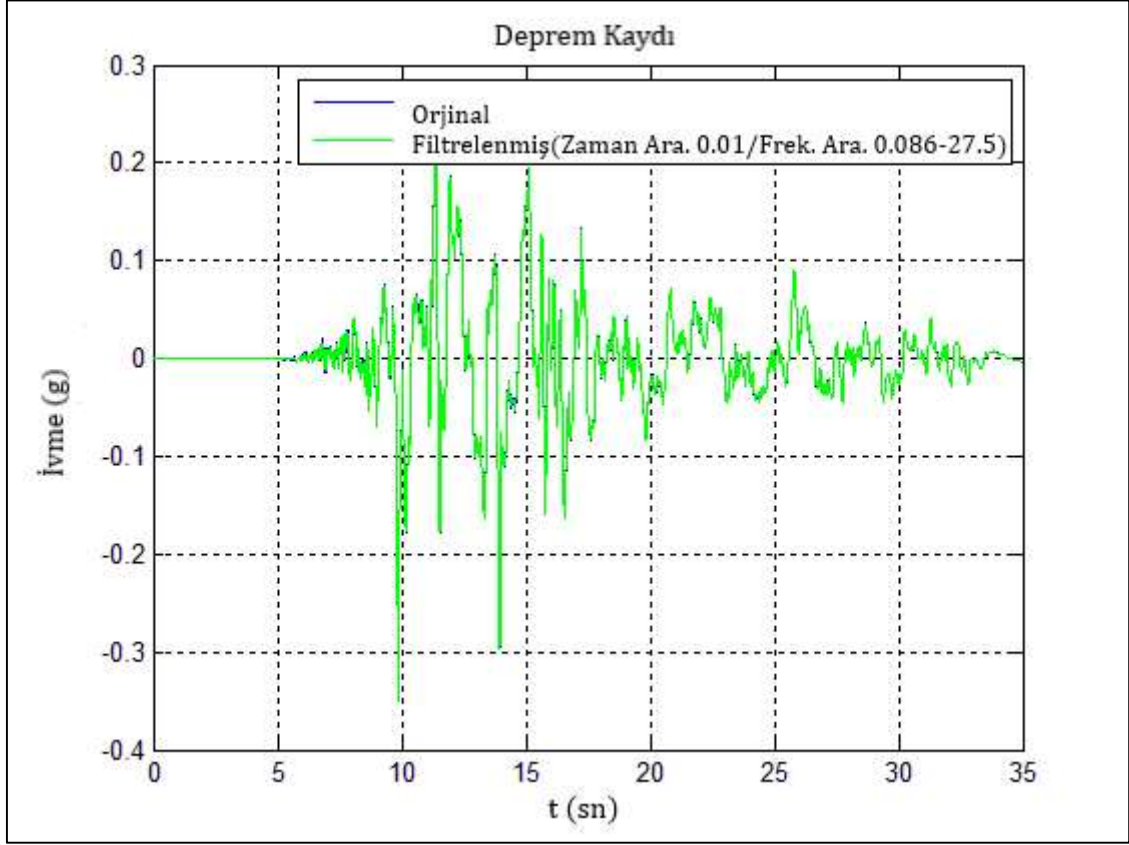
sistemde de benzer olarak %94 olarak bulunmuştur. Aynı şekilde hakim modun şekli de Y (enine) yönde ötelenme olmak üzere hem tekil hem de birleşik çözülmüş sistemler için oldukça benzer görünmektedir. Ayrıca, Y (enine) yönü analizlerinde, X (boyuna) yönü analizlerinde olduğu gibi mafsallaşma dağılımı, rıhtımın altındaki şevli zemin sebebiyle, yine kara tarafındaki kazıklarda yoğunlaşma göstermiştir. +Y (enine) yönü itme analizlerinde, tekil ve birleşik sistemler için plastik mafsallarda dağılımı her iki sistemde de karadan denize doğru üç sıra boyunca rıhtımın tüm uzunluğunda gerçekleşmiş olup, oldukça benzerdir. Ancak, plastik dönme değerleri “Birleşik Sistem” de genel itibariyle biraz artış göstermiştir. -Y (enine) yönü itme analizleri karşılaştırıldığında ise, tekil sisteme oranla plastik mafsallarda dağılımı birleşik sistemde daha olumsuz bir senaryo oluşturmuştur. Tekil sistemde karadan denize doğru iki sıra tüm uzunluk boyunca devam eden mafsallarda durumu, birleşik sistemde modüllerden birinde üçüncü sıraya kadar ilerlemiş gözükmekte ve genel itibariyle iki modül uzunluğu boyunca devam etmektedir. Ayrıca, plastik rotasyon değerleri de birleşik sistemde az da olsa artış göstermiştir.

#### **3.3.4. Zaman Tanım Alanında Doğrusal Olmayan Analiz**

Bu çalışma kapsamında, yer hareketlerinden benzeştirilerek üretilmiş yapay ivme kayıtları altında analizler gerçekleştirilmiştir. Yapay deprem üretmek amacıyla spektrum eşleşme yöntemlerinden (SEY) biri olan “Frekans Alanında Spektrum Eşleşme Yöntemi” (FASEY) kullanılmıştır. Bu yöntem ile Kocaeli Yarımca’da güçlü bileşeni benzeştirilerek dikkate alınan bölgedeki mevcut deprem yönetmeliğindeki tasarım spektrumuna ve orada belirtilen yapay deprem üretme koşullarına uygun benzeştirilmiş deprem kaydı üretilmiştir. Bu deprem kaydı en büyük ivme açısından dikkate alınan spektruma uygun olmakla kalmayıp, kaydın hız ve yerdeğiştirme grafiklerindeki en büyük hız ve en büyük yerdeğiştirme açısından da makul değerlere sahiptir. Burada ilgili hız ve yerdeğiştirme grafikleri integral alınarak oluşturulurken bilinmeyen integral sabitlerinin etkilerini gidermek için düzeltme (Baseline Correction) yapılmıştır. Tasarım spektrumuna benzeştirme yönteminden dolayı “Arias Şiddeti”, ilgili bölge için dikkate alınan deprem büyüklüklerinin “Arias Şiddeti” ne göre oldukça fazla çıkmaktadır. Bundan dolayı üretilen kaydın enerji

içeriği, DLH-DTY 2008’deki istenen şartları sağlamasına rağmen, yüksektir. Yöntem ile ilgili bilgi Fahjan ve Özdemir’ in (2008) [26] çalışmasında bulunabilir.

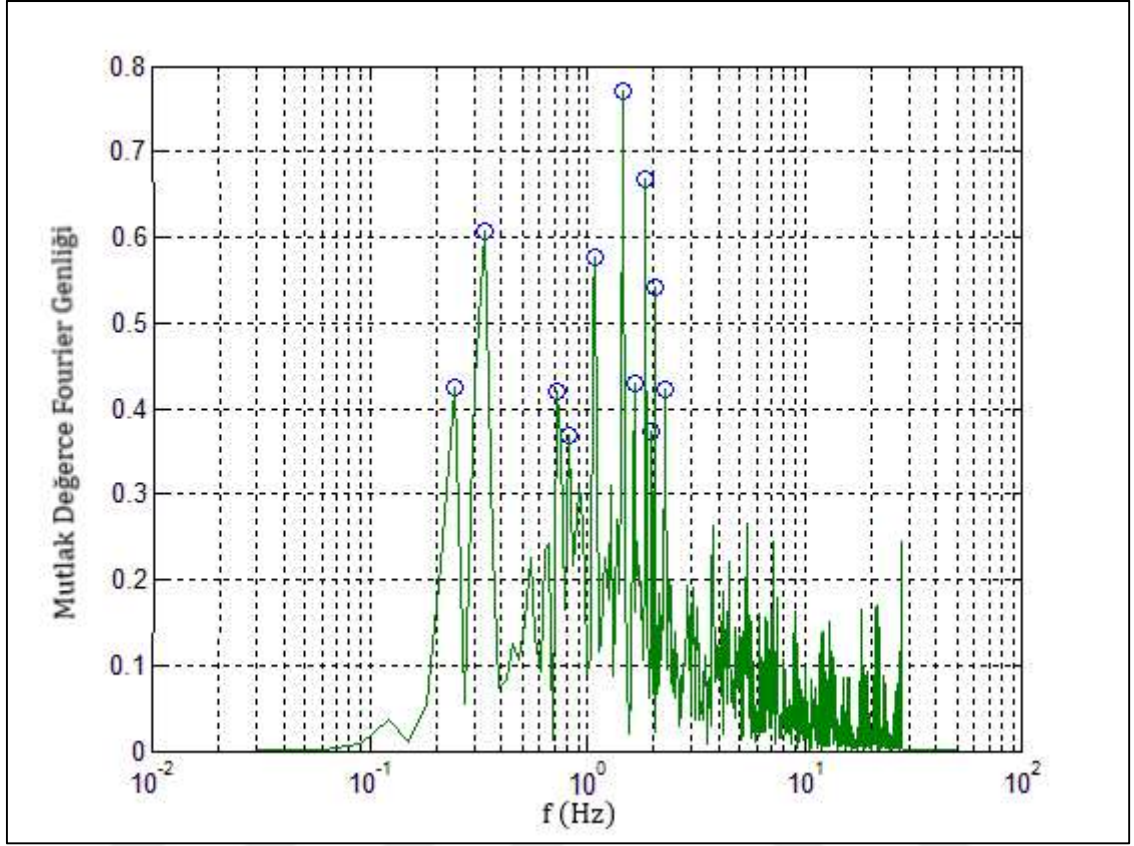
Çalışmada kullanılan orjinal ve ölçeklendirilmek üzere filtrelenmiş deprem kaydı Şekil 3.25’de görülmektedir.



**Şekil 3.25** Orijinal ve ölçeklendirilmek üzere filtrelenmiş deprem kaydı

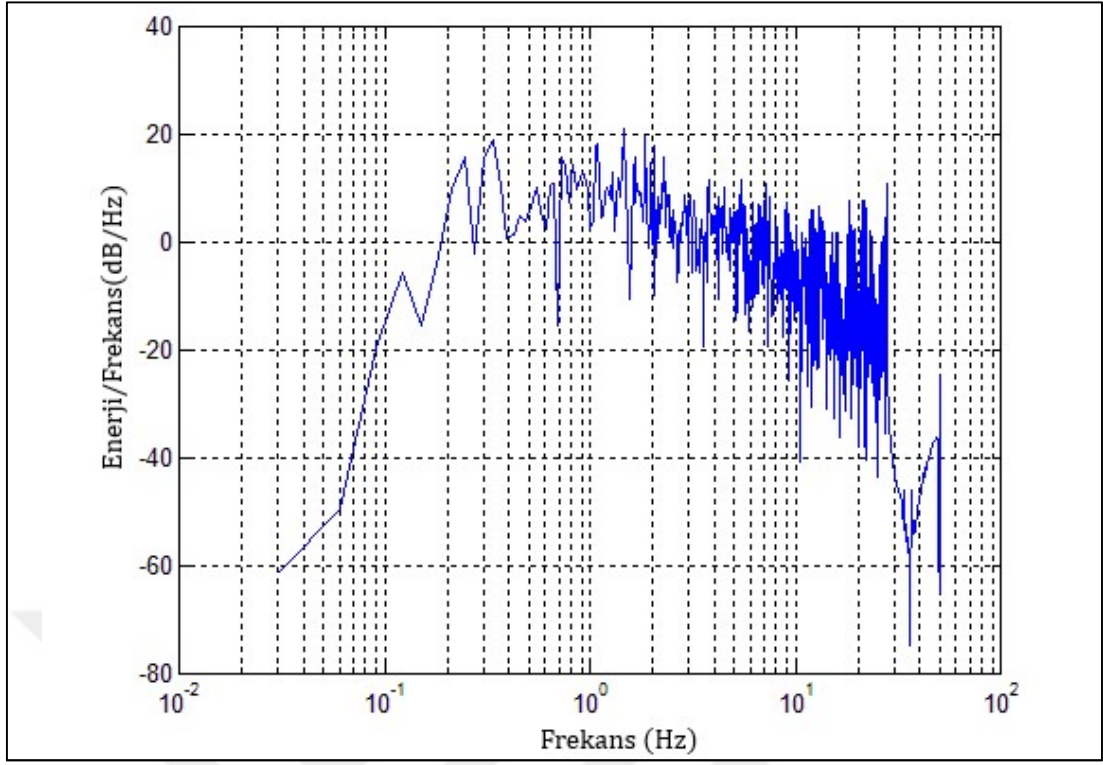


Çalışmada kullanılan ölçeklendirilmiş kayda ait Fourier analizi Şekil 3.26' da görülmektedir.



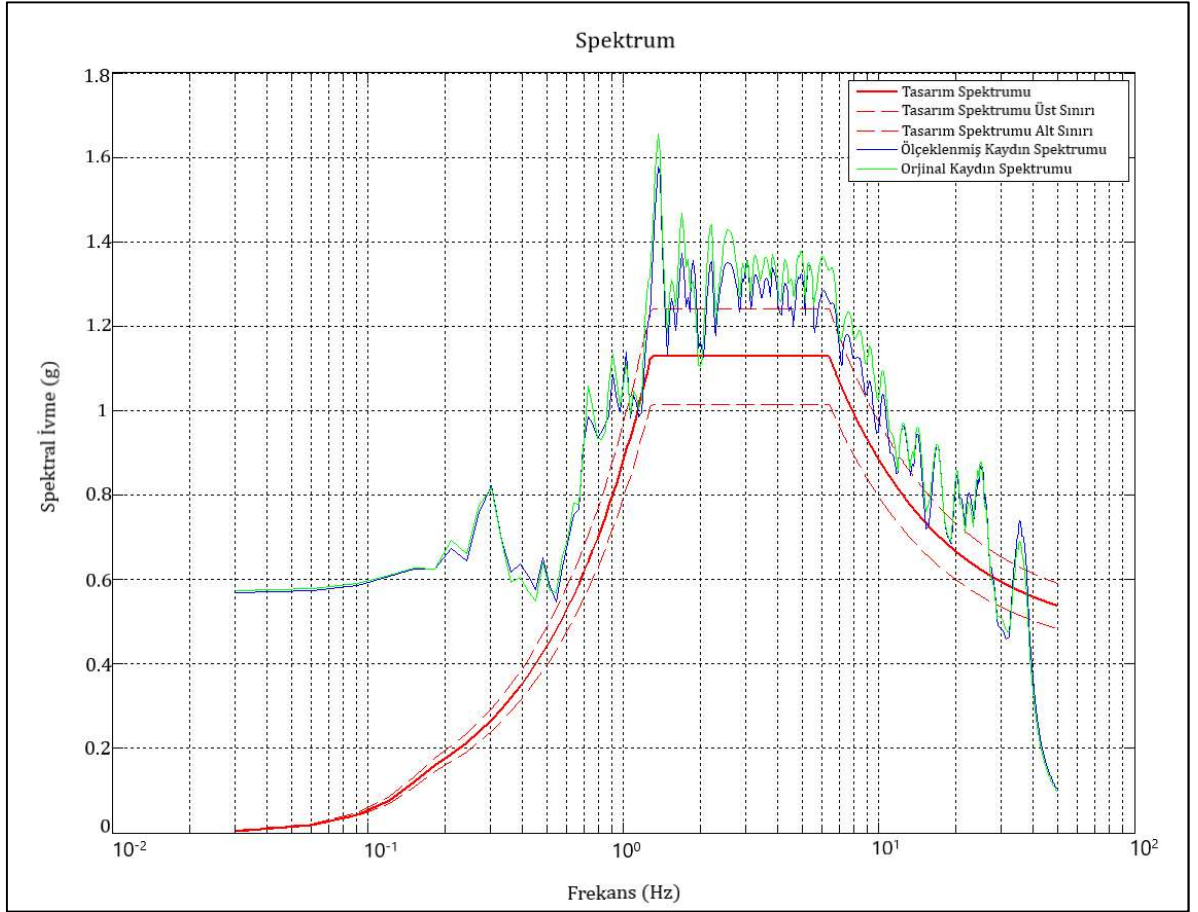
**Şekil 3.26** Ölçeklendirilmiş kaydın Fourier analizi

Depremin enerji içeriği Şekil 3.27' de verilmiştir.



**Şekil 3.27** Spektral Yoğunluk Fonksiyonu

Kayda ait ivme spektrumu karşılaştırma grafikleri Şekil 3.28’ de verilmiştir.

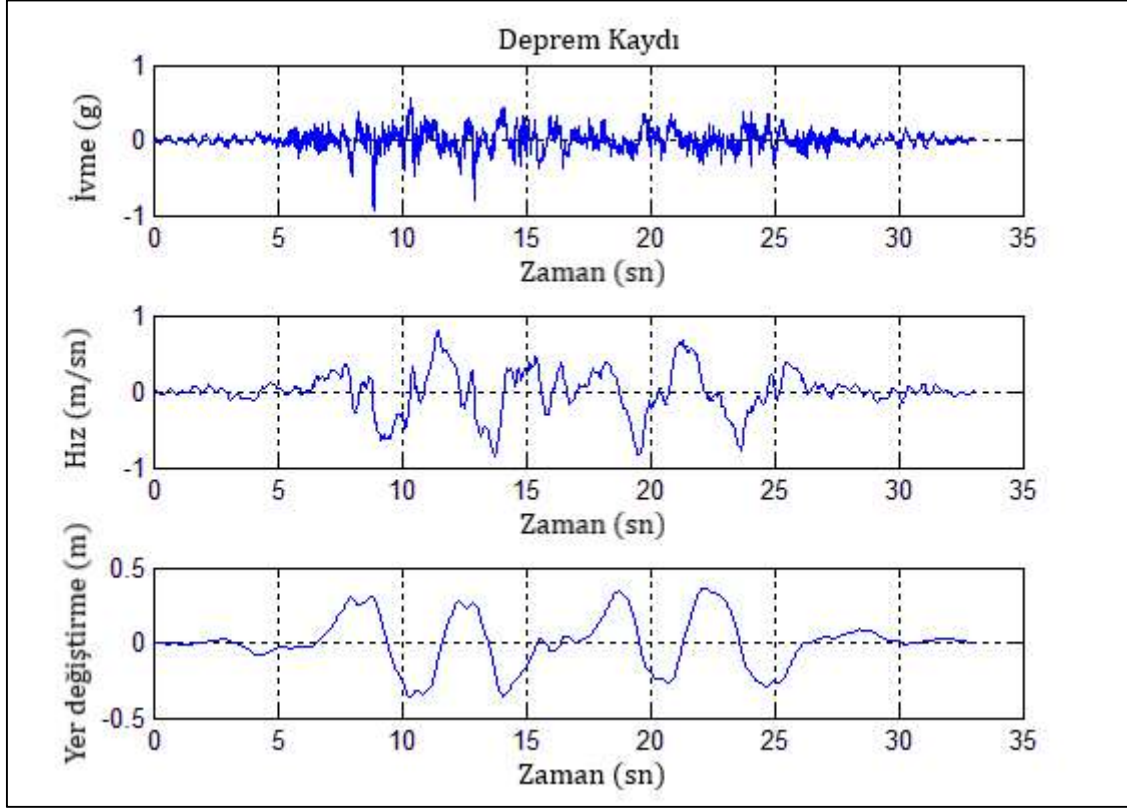


**Şekil 3.28** Spektral ivme-frekans karşılaştırma grafiği

DLH-DTY 2008 [15], zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılacak ivme kayıtlarının elastik davranış spektrumu ile uyumlu olması konusunda birtakım koşullar sunmuştur. Bu koşullara göre yer hareketleri dizisi, %5 sönümlü davranış spektrumlarının yapının incelenen doğrultudaki hakim periyodunun 0.2 ile 1.5 katı arasındaki değerlerinin ortalaması yapının bulunduğu lokasyona ait tasarım spektrumundan daha düşük olmayacak şekilde ölçeklendirilmelidir. 0 (sıfır) saniye periyodundaki spektral tepkilerin ortalaması en büyük yer ivmesinden düşük olmamalıdır. İvme kaydı kullanılarak oluşturulan %5 sönümlü elastik davranış spektrumunun her bir periyodundaki ortalama değeri, referans alınan %5 sönümlü elastik davranış spektrumunun aynı periyottaki değerinin % 90' ından daha düşük olmamalıdır. Kaydın  $\pm 0.05g$ 'yi ilk ve son olarak aştığı noktalar arasındaki süre, yapının hakim titreşim periyodunun 5 katından ve 15 saniyeden kısa olmamalıdır. Şekil 10.4'te görüldüğü üzere çalışma kapsamında ölçeklendirilmiş deprem kaydı

DLH-DTY 2008 [15]' de bahsedilen zaman tanım alanındaki analizlerde kullanılacak elastik davranış spektrumu ile uyumlu ivme kayıtları koşullarını sağlamaktadır.

Kayda ait ivme, hız ve yerdeğiştirmenin zamana karşı grafikleri sırasıyla şekil 3.29' da verilmiştir.



**şekil 3.29** Ölçeklendirilmiş kaydın ivme-zaman, hız-zaman ve yerdeğiştirme-zaman grafikleri

şekil 3.29' da görüldüğü üzere maksimum yer ivmesi değeri 0.94 g olup 8.87' inci saniyede gerçekteşmektedir. Benzer şekilde depremin maksimum hız değeri 0.84 m/sn, gerçekteştiğı zaman adımı 13.75' inci saniye ve maksimum yerdeğiştirme değeri de 0.36 m, gerçekteştiğı zaman adımı ise 10.34' üncü saniyedir. Kayıttaki zaman aralıkları 0.01 saniyedir. Dinamik analizler gerçekteştirilirken kayıtta % 5 ve yapıda % 5 sönüm dikkate alınmıştır.

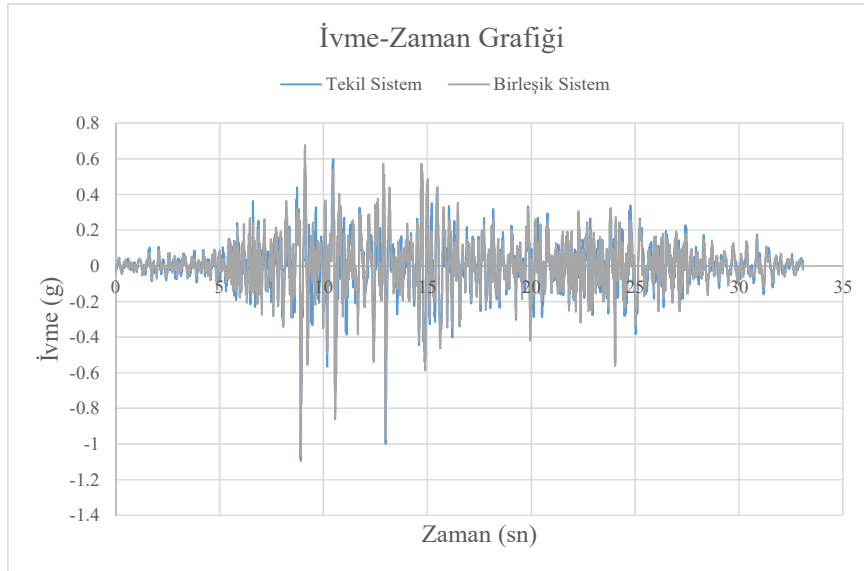
### 3.3.5. “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” Analizlerinin Karşılaştırması

Zaman tanım alanında yapılan analizler kapsamında “Tekil Sistem” ve “Birleşik Sistem” lere, birbirine dik her iki yönde yapay olarak üretilmiş ivme kayıtları etki ettirilmiş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

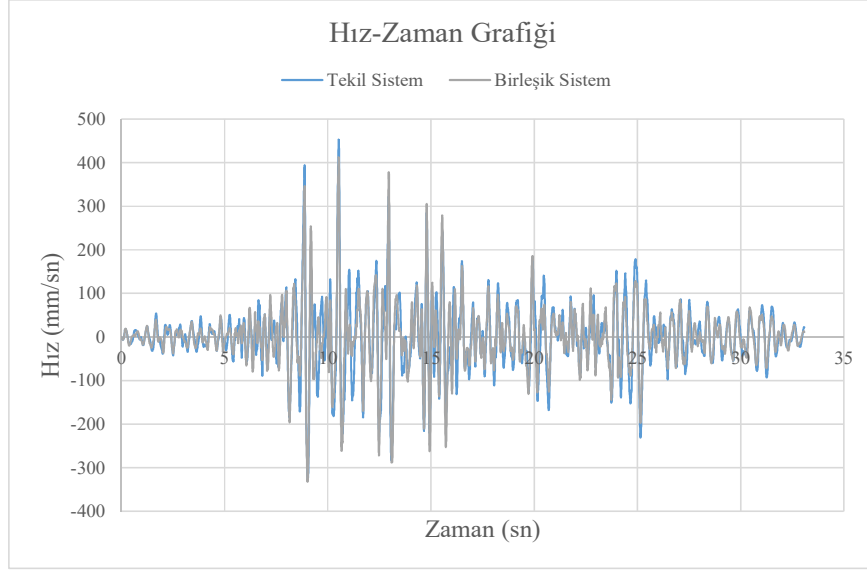
Yatay yönde yapılan analizlerde, birbirine dik her iki doğrultu için (X boyuna ve Y enine doğrultuları) X, Y,  $X+0.3Y$  ve  $Y+0.3X$  olmak üzere, hakim doğrultuya gelen tam yüklemeye ilave olarak, ona dik doğrultuda yükün %30’ unun eklendiği durumlar da göz önünde bulundurularak toplam 4 farklı yük kombinasyonu için analizler gerçekleştirilmiştir. Bölüm 3.1.1 (Modelleme Yaklaşımı ve Analiz Modeli)’ de bahsedildiği üzere düşeyde sistemin basit mesnetli olması sebebiyle analizlerde düşey deprem yüklemesi dikkate alınmamıştır. Zaman tanım alanındaki analizlerin başlamasından önce, sistemlerin ağırlıklarından kaynaklanan başlangıç durumunu simüle edebilmek için tıpkı statik itme analizinde yapıldığı gibi doğrusal olmayan düşey bir başlangıç analizi gerçekleştirilmiştir.

#### X Yüklemesi

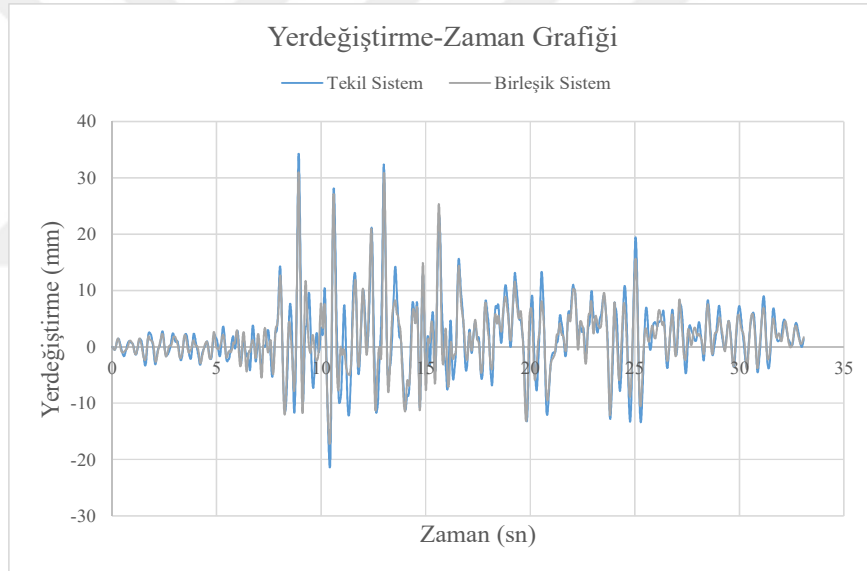
Tekil ve birleşik sistemler için X yüklemesinde, kütle merkezlerindeki ivme, hız ve yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 3.30, 3.31 ve Şekil 3.32’ te görülmektedir.



**Şekil 3.30** Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği



**Şekil 3.31** Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği

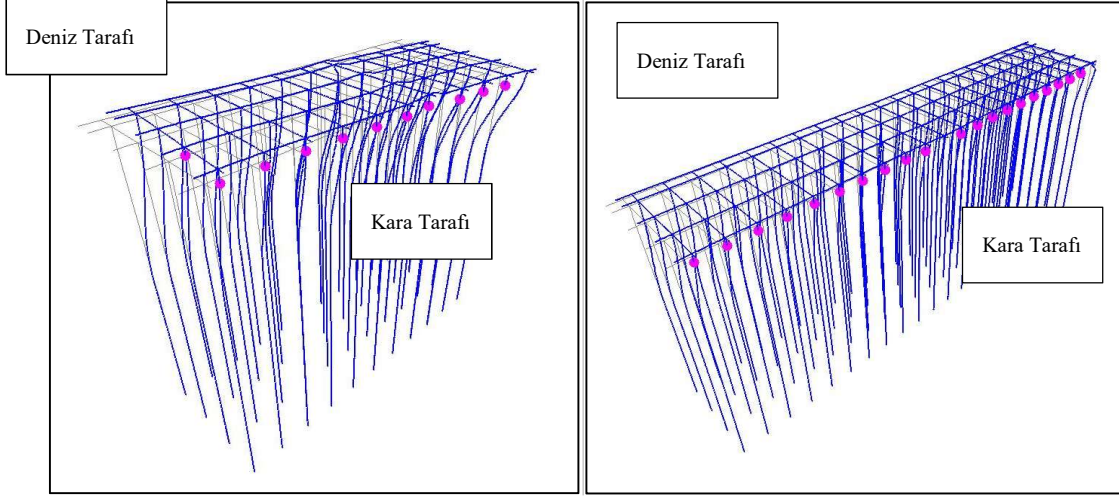


**Şekil 3.32** Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği

X yüklemesi altındaki grafiklerde görüldüğü üzere genel olarak birleşik sistemdeki ivme, hız ve görelî yerdeğiştirme değerleri boyuna yönde tekil sisteme oranla azalma eğilimindedir. Maksimum değerler ise benzer zaman aralıklarında ortaya çıkmaktadır.

Tekil ve birleşik sistemler için X yüklemesinde, yapıların deforme olmuş şekilleri Şekil 3.33' te görülmektedir.

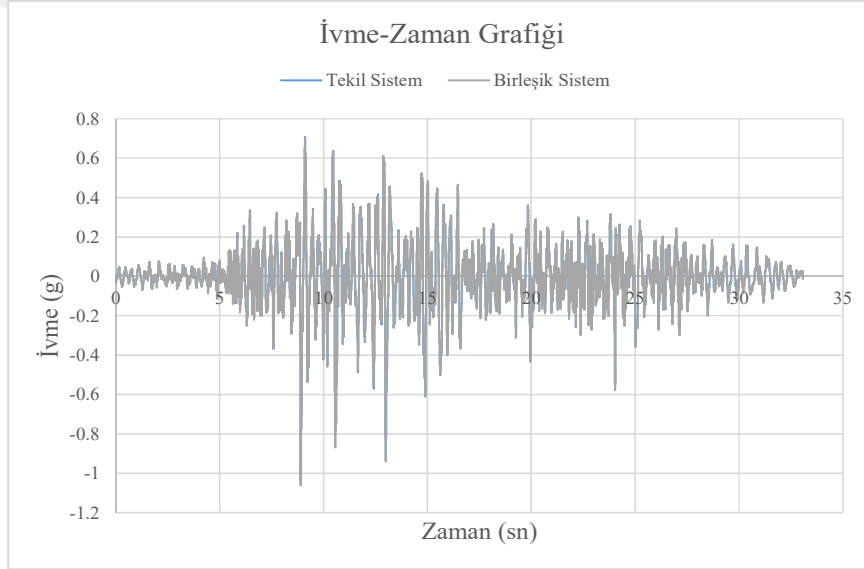




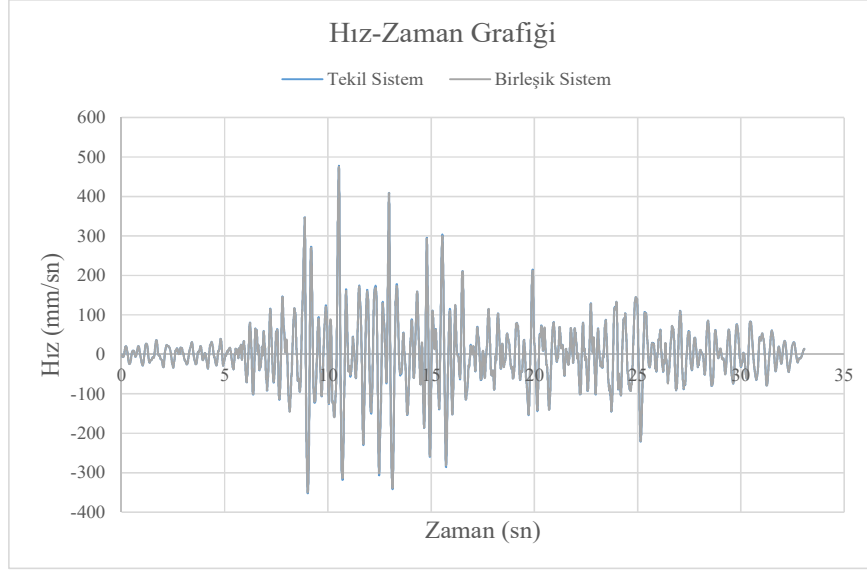
**Şekil 3.33** Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için X (boyuna) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsall dağılımı

### **Y Yüklemesi**

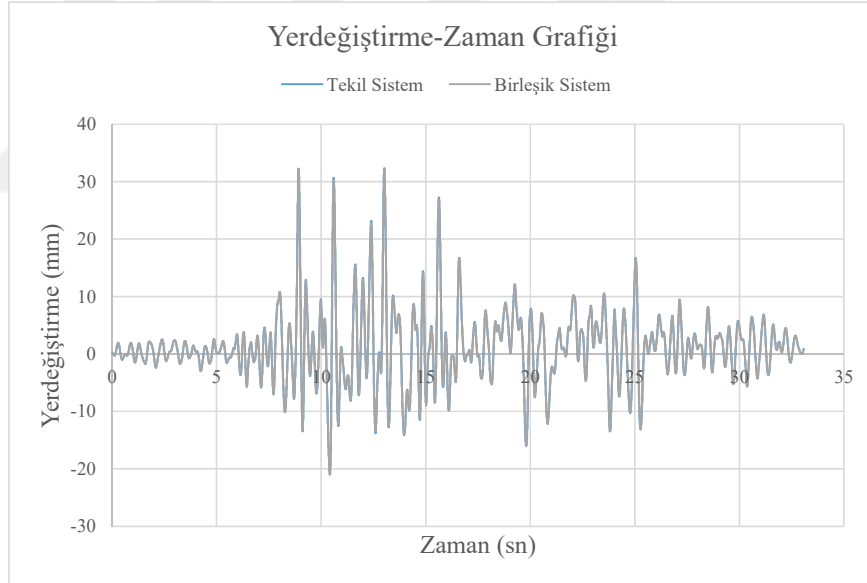
Tekil ve birleşik sistemler için Y yüklemesinde, kütle merkezlerindeki ivme, hız ve yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 3.34, Şekil 3.35 ve Şekil 3.36' da görülmektedir.



**Şekil 3.34** Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği



**Şekil 3.35** Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği

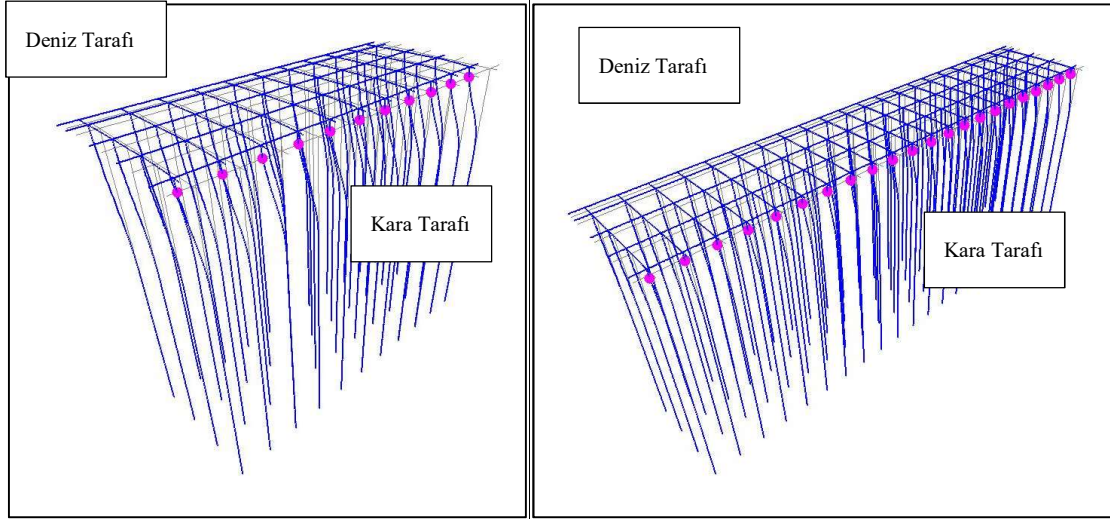


**Şekil 3.36** Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği

Y yüklemesi altındaki grafikler incelendiğinde ivme, hız ve görelî yerdeğiştirme hareketlerinin benzer zaman adımıdaki genlikleri tekil sistem ve birleşik sistemde çok yakın değer aralıklarında görünmektedir.

Tekil ve birleşik sistemler için Y yüklemesinde, yapıların deforme olmuş şekilleri Şekil 3.37' de görülmektedir.

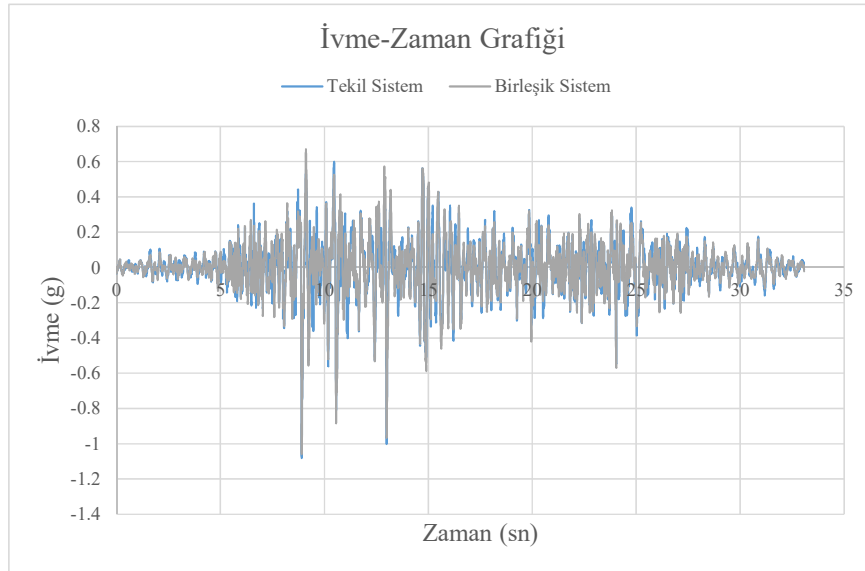




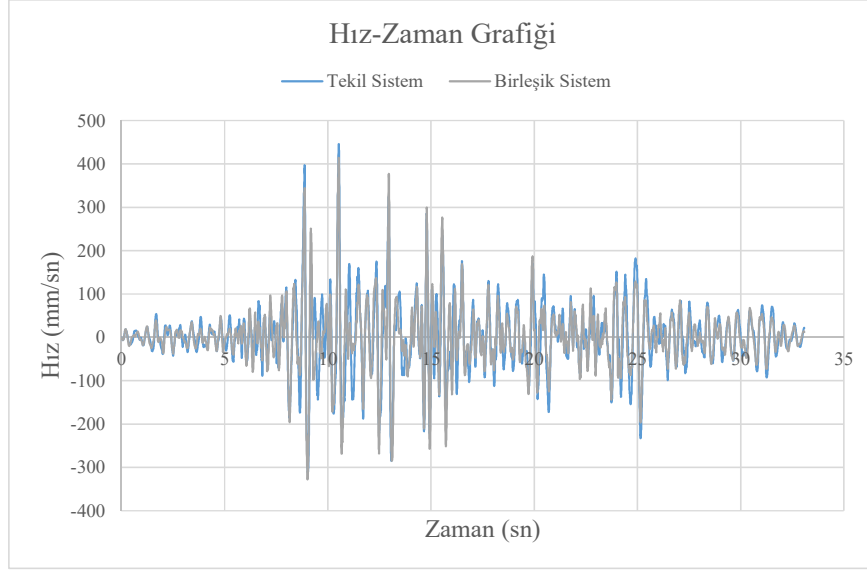
**Şekil 3.37** Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için Y (enine) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsallık dağılımı

### **X+0.3Y Yüklemesi**

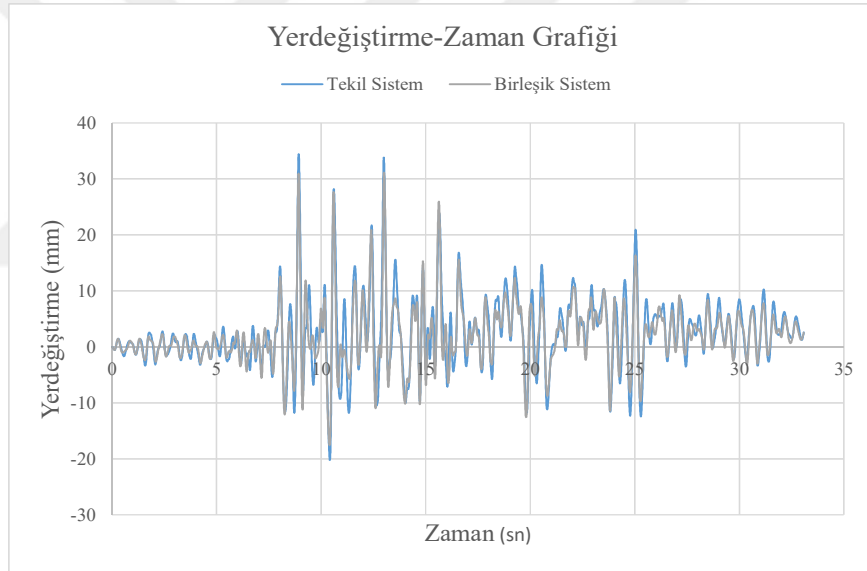
Tekil ve birleşik sistemler için X+0.3Y yüklemesinde, kütle merkezlerindeki ivme, hız ve yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 3.38, Şekil 3.39 ve Şekil 3.40' ta görülmektedir.



**Şekil 3.38** Tekil ve birleşik sistem X+0.3Y yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği

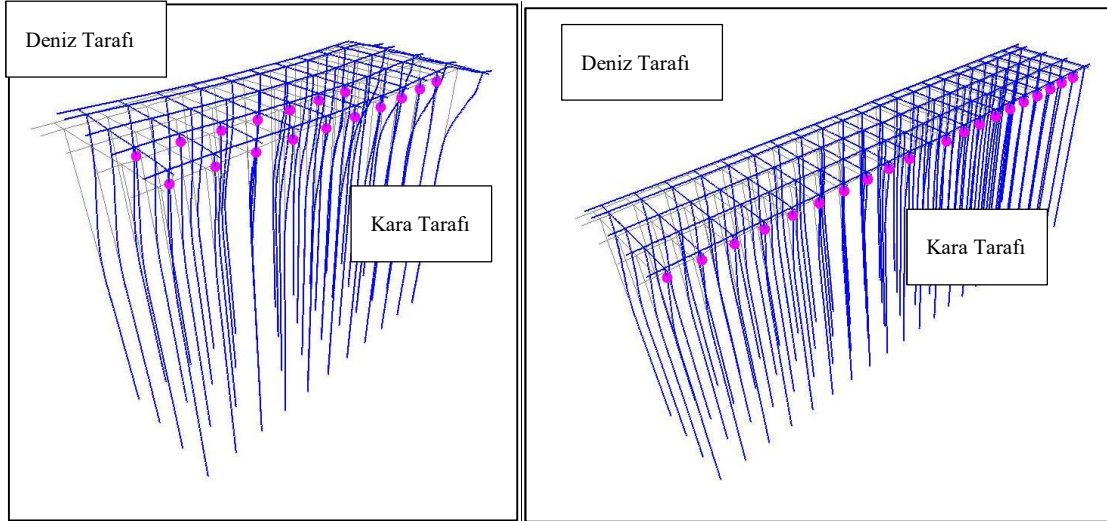


**Şekil 3.39** Tekil sistem ve birleşik sistem  $X+0.3Y$  yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği



**Şekil 3.40** Tekil sistem ve birleşik sistem  $X+0.3Y$  yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği

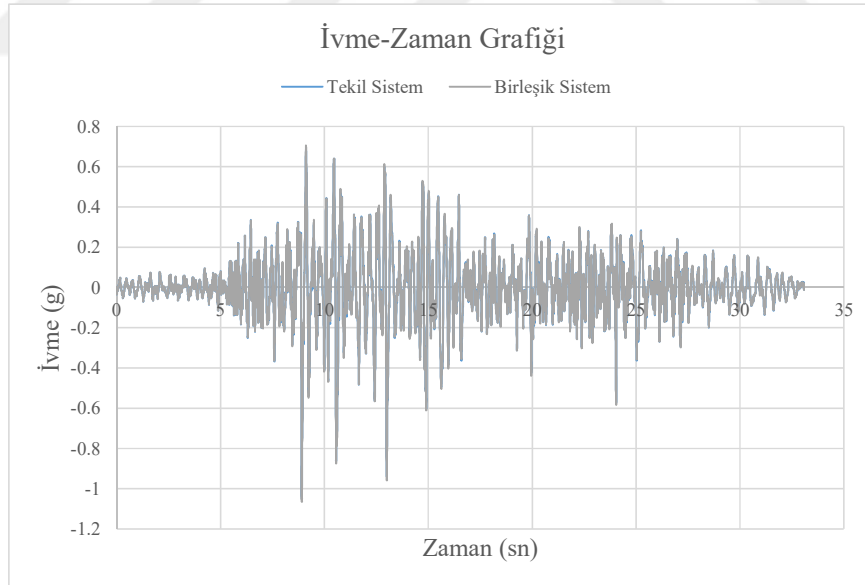
Tekil ve birleşik sistemler için  $X+0.3Y$  yüklemesinde, yapıların deforme olmuş şekilleri Şekil 3.41' de görülmektedir.



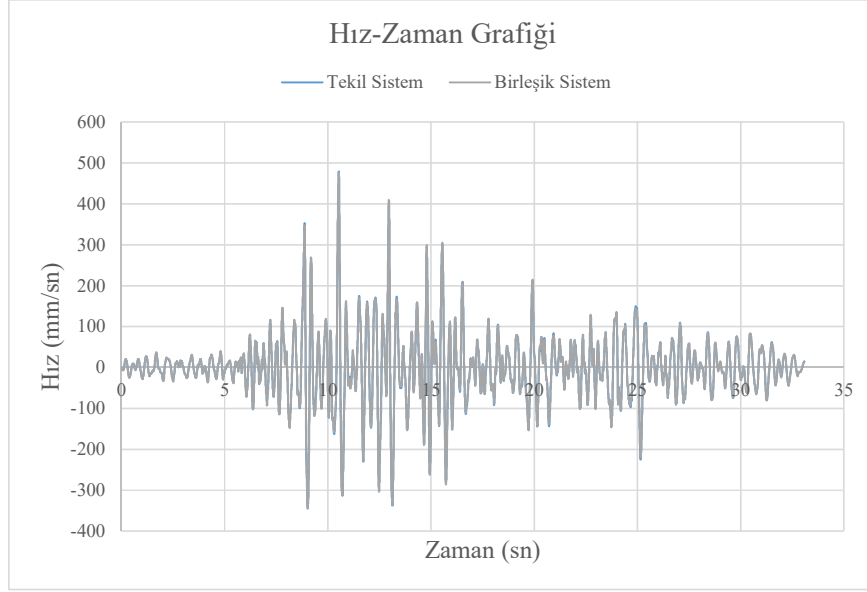
**Şekil 3.41** Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için X+0.3Y (boyuna) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsalları dağılımı

### **Y+0.3X Yüklemesi**

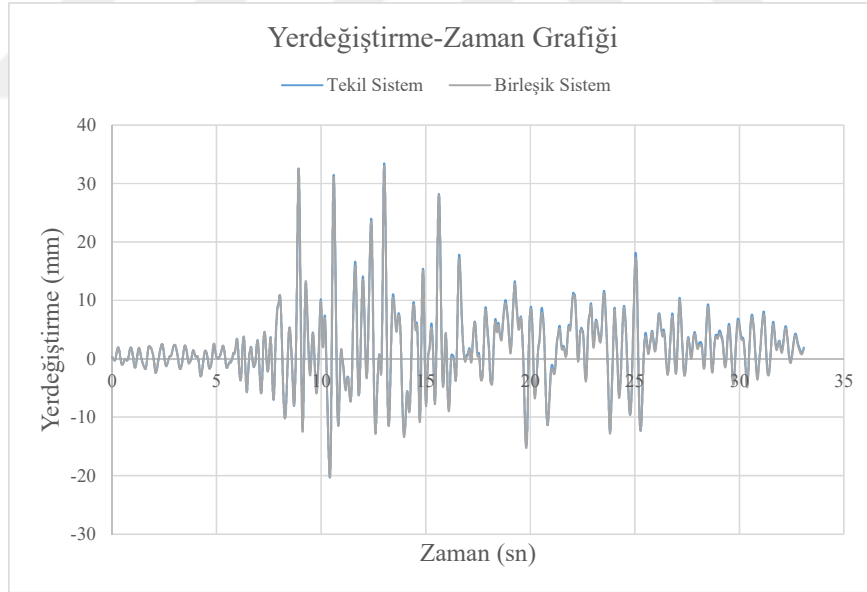
Tekil ve birleşik sistemler için Y+0.3X yüklemesinde, kütle merkezlerindeki ivme, hız ve yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 3.42, Şekil 3.43 ve Şekil 3.44' te görülmektedir.



**Şekil 3.42** Tekil sistem ve birleşik sistem Y+0.3X yüklemesi kütle merkezi ivme-zaman grafiği

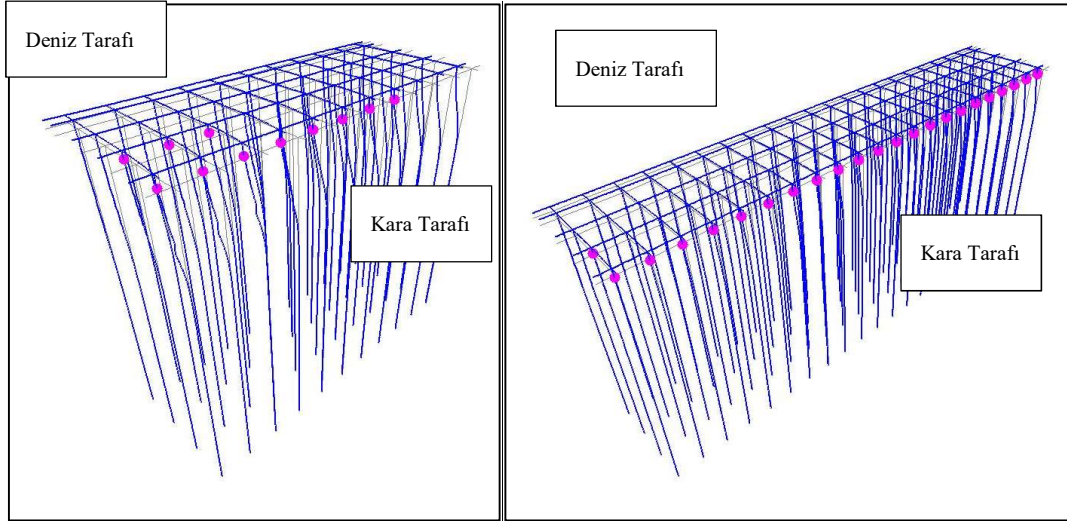


**Şekil 3.43** Tekil sistem ve birleşik sistem Y+0.3X yüklemesi kütle merkezi yerdeğiştirme-zaman grafiği



**Şekil 3.44** Tekil sistem ve birleşik sistem Y+0.3X yüklemesi kütle merkezi hız-zaman grafiği

Tekil ve birleşik sistemler için Y+0.3X yüklemesinde, yapıların deforme olmuş şekilleri Şekil 3.45' te görülmektedir.



**Şekil 3.45** Tekil sistem (solda) ve birleşik sistem (sağda) için Y+0.3X (enine) yüklemesi sonucu tüm analiz süresince en olumsuz plastik mafsalları dağılımı

Tüm yükleme durumlarına dair kütle merkezlerindeki maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştiği zaman adımı değerleri özet olarak X, Y, X+0.3Y ve Y+0.3X yüklemeleri için sırasıyla Tablo 3.7, Tablo 3.8, Tablo 3.9 ve Tablo 3.10' da verilmiştir.

**Tablo 3.7** X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları

|                |                          | Tekil Sistem | Birleşik Sistem |
|----------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| X<br>Yüklemesi | Maks. ivme (g)           | -1.094       | -1.063          |
|                | Zaman (sn)               | 8.91         | 8.91            |
|                | Maks. hız (mm/sn)        | 453.4        | 413             |
|                | Zaman (sn)               | 10.53        | 10.53           |
|                | Maks. yerdeğiştirme (mm) | 34.29        | 30.99           |
|                | Zaman (sn)               | 8.93         | 8.92            |

**Tablo 3.8** Y yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları

|                |                          | Tekil Sistem | Birleşik Sistem |
|----------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| Y<br>Yüklemesi | Maks. ivme (g)           | -1.059       | -1.060          |
|                | Zaman (sn)               | 8.91         | 8.91            |
|                | Maks. hız (mm/sn)        | 478.3        | 476             |
|                | Zaman (sn)               | 10.53        | 10.53           |
|                | Maks. yerdeğiştirme (mm) | 32.34        | 32.3            |
|                | Zaman (sn)               | 13.02        | 13.02           |

**Tablo 3.9** X+0.3Y yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları

|                     |                          | Tekil Sistem | Birleşik Sistem |
|---------------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| X+0.3Y<br>Yüklemesi | Maks. ivme (g)           | -1.082       | -1.059          |
|                     | Zaman (sn)               | 8.91         | 8.91            |
|                     | Maks. hız (mm/sn)        | 446.5        | 414.4           |
|                     | Zaman (sn)               | 10.53        | 10.53           |
|                     | Maks. yerdeğiştirme (mm) | 34.44        | 31.14           |
|                     | Zaman (sn)               | 8.93         | 13.01           |

**Tablo 3.10** Y+0.3X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları

|                     |                          | Tekil Sistem | Birleşik Sistem |
|---------------------|--------------------------|--------------|-----------------|
| Y+0.3X<br>Yüklemesi | Maks. ivme (g)           | -1.049       | -1.064          |
|                     | Zaman (sn)               | 8.91         | 8.91            |
|                     | Maks. hız (mm/sn)        | 479.5        | 476.8           |
|                     | Zaman (sn)               | 10.53        | 10.53           |
|                     | Maks. yerdeğiştirme (mm) | 33.45        | 33.02           |
|                     | Zaman (sn)               | 13.02        | 13.02           |

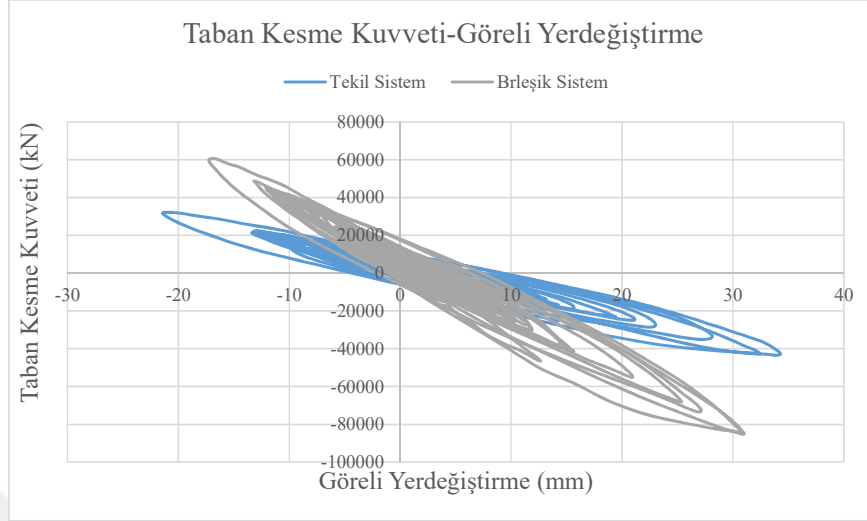
Tüm yükleme durumlarına dair tapa kesitlerinde oluşan mafsalların maksimum plastik dönme değerleri karşılaştırması Tablo 3.11’ de radyan cinsinden verilmiştir.

**Tablo 3.11** Y+0.3X yüklemesi tekil ve birleşik sistem kütle merkezi maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerleri ile gerçekleştikleri zaman adımları

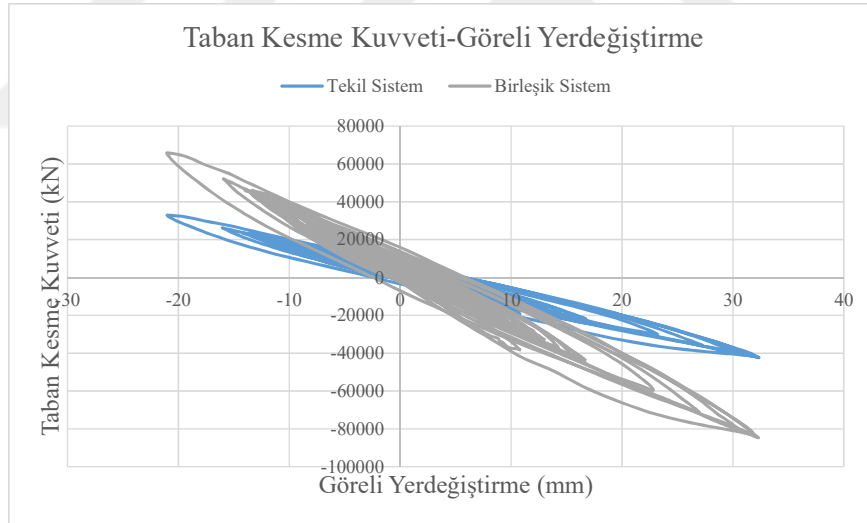
|                     | Tekil Sistem                  |                               | Birleşik Sistem               |                               |
|---------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Analiz<br>Yönü      | Maks. R2<br>Plastik<br>(rad.) | Maks. R3<br>Plastik<br>(rad.) | Maks. R2<br>Plastik<br>(rad.) | Maks. R3<br>Plastik<br>(rad.) |
| X<br>Yüklemesi      | 0.000415                      | 0.000665                      | 0.000129                      | 0.000757                      |
| Y<br>Yüklemesi      | 0.000182                      | 0.000031                      | 0.000172                      | 0.000025                      |
| X+0.3Y<br>Yüklemesi | 0.001093                      | 0.001327                      | 0.000614                      | 0.001175                      |
| Y+0.3X<br>Yüklemesi | 0.001576                      | 0.000311                      | 0.001057                      | 0.000264                      |



Tekil ve birleşik sistemler için X, Y,  $X+0.3Y$  ve  $Y+0.3X$  yükleme durumlarına dair taban kesme kuvvetinin ilgili yöndeki görelî yerdeğiştirme değeri ile ilişkisi sırasıyla şekil 3.46, şekil 3.47, şekil 3.48 ve şekil 3.49' da verilmiştir.



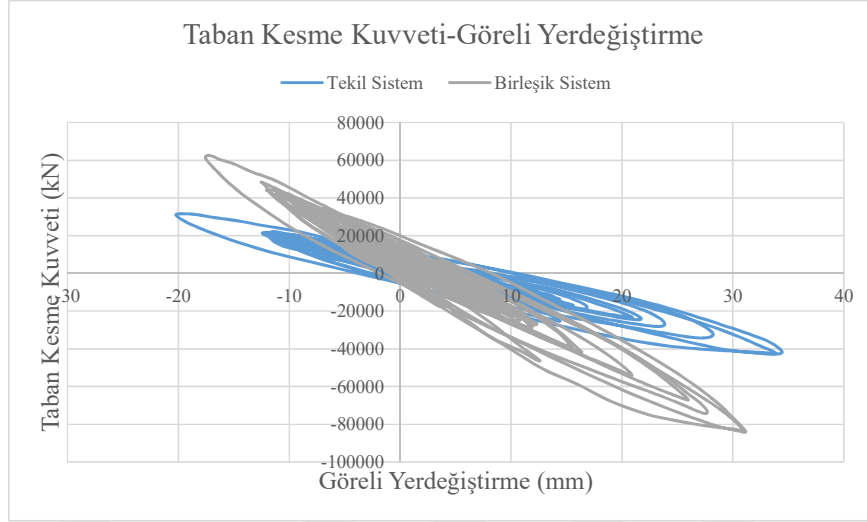
**şekil 3.46** Tekil sistem ve birleşik sistem X yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi



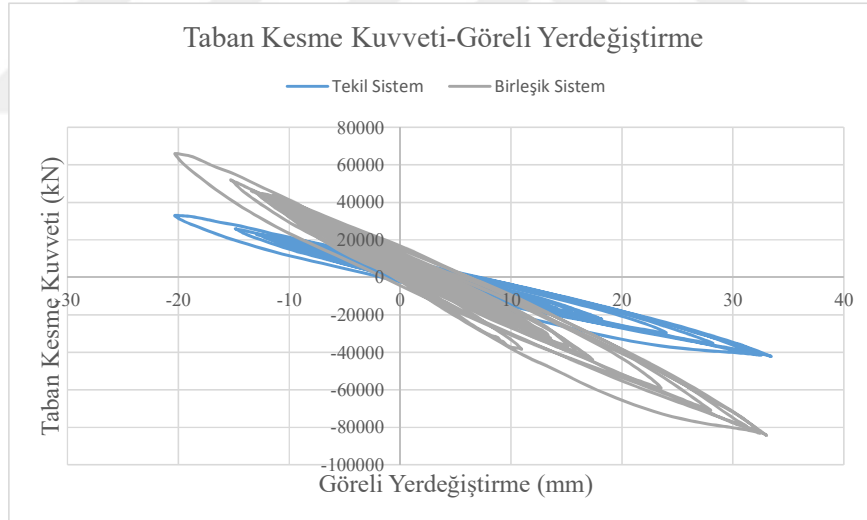
**şekil 3.47** Tekil sistem ve birleşik sistem Y yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi

X yüklemesi ve Y yüklemesi altındaki taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme grafikleri incelendiğinde, X (boyuna) yönünde birleşik sistemin yerdeğiştirme üzerindeki sönüm etkisi açık bir şekilde gözlemlenmektedir. Birleşik sistem ile tekil sistemin birim (her bir module karşı gelen) taban kesme kuvvetleri bakımından

sayısal olarak yakın değerlerdeki taban kesme kuvvetlerine karşı birleşik sistemde daha düşük seviyelerde yerdeğiştirme gerçekleşmiş görünmektedir.



**Şekil 3.48** Tekil sistem ve birleşik sistem  $X+0.3Y$  yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi



**Şekil 3.49** Tekil sistem ve birleşik sistem  $Y+0.3X$  yüklemesi taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme ilişkisi

### 3.3.6. Zaman Tanım Alanındaki Analiz Sonuçlarının İncelenmesi ve Değerlendirmesi

Zaman tanım alanında gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler neticesinde boyuna yöndeki X yüklemesi altında tekil ve birleşik sistemler karşılaştırıldığında, kütle merkezindeki ivme , hız ve yerdeğiştirmeler genel itibariyle benzer zaman adımımda gerçekleşmiş ve birleşik sistemde değerleri tekil sisteme göre azalma eğiliminde olmuştur. Maksimum ivme değerinin 1.094 g' den 1.060 g' ye düşmesi sistemin geneline gelen maksimum kuvvetin azaldığını işaret etmektedir. Bu durumla paralel bir şekilde maksimum hız değeri 453.4 mm/sn' den 413 mm/sn' ye, deplasman değeri de 34.29 mm'den 30.99 mm' ye azalmıştır. Bu duruma en temel etkenin statik itme analizinde de sonucuna ulaşıldığı gibi yapının düşey eksen etrafında burulmasının, birleşik sistemdeki komşu modullerin birbirleriyle etkileşimi sebebiyle sönümlenmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. İlgili yükleme altındaki plastik rotasyon değerleri incelendiğinde ise enine yöndeki maksimum plastik rotasyon değerlerinin birleşik sistemde azaldığı, boyuna yöndeki rotasyonun ise çok daha az bir oranla arttığı görülmektedir.

Y yüklemesi altında çözülen tekil ve birleşik sistemler karşılaştırıldığında, kütle merkezlerindeki maksimum ivme, hız ve yerdeğiştirme değerlerinin hemen hemen aynı zaman adımlarında ve çok yakın değerlerde olduğu gözlemlenmektedir. Benzer durum taban kesme kuvveti-görelî yerdeğiştirme diyagramında da görülmektedir. Y yüklemesi altındaki plastik rotasyonlar değerlendirildiğinde ise ilgili yönlerde birleşik sistemde, tekil sisteme oranla az da olsa genel bir düşüş gözlenmektedir.

Sistemler yükleme senaryoları bakımından kendi içinde karşılaştırıldığında, tekil sistemde X yüklemesinde 1.094 g olan maksimum ivme değeri, X+0.3Y yüklemesinde 1.082 g değerine düşmüştür. Y yüklemesinin % 30' undan kaynaklanan yanal etkinin, sistemin boyuna (X) yönündeki ivme değerini azalttığı görülmektedir. Benzer şekilde sistemin kütle merkezinde hız değeri de 453.4 mm/sn' den 446.5 mm/sn değerine düşmüştür. Bununla birlikte, yerdeğiştirme değeri 34.29 mm'den 34.44 mm'ye çıkarak az da olsa artış göstermiştir. Bu durumun, plastikleşme ile değişen rijitlik sonucu gerçekleştiği düşünülmüştür.

Değerleri değişmiş olsa da her iki yükleme durumunda maksimum değerler aynı zaman adımımda gerçekleşmişlerdir.  $X+0.3Y$  yüklemesindeki plastik rotasyonlar, beklendiği üzere  $X$  yüklemesine oranla artmıştır.

Birleşik sistem benzer şekilde kendi içinde  $X$  yüklemesi ve  $X+0.3Y$  yüklemesi altında karşılaştırıldığında ise, tekil sistemde olduğu gibi kütle merkezindeki maksimum ivme değeri 1.063 g değerinden 1.059 g değerine düştüğü gözlenmiştir. Tekil sistemin benzer yüklemeler altındaki karşılaştırması durumundan farklı olarak burada, artan maksimum yerdeğiştirme değeriyle birlikte maksimum hız değeri de az olmakla birlikte artış göstermiştir.  $X+0.3Y$  yüklemesinde plastik rotasyonlar artmaktadır.

Tekil sistemin  $Y$  yüklemesi ile  $Y+0.3X$  yüklemesi altındaki davranışları incelendiğinde,  $Y$  yüklemesinde 1.059 g olan ivme değerinin,  $Y+0.3X$  yüklemesinde 1.049 g değerine düştüğü gözlenmektedir. Maksimum hız değeri az bir artışla 478.3 mm/sn değerinden 479.5 mm/sn değerine yükselmiştir. Maksimum yerdeğiştirme değeri de benzer şekilde 32.34 mm'den 33.45 mm'ye yükselmiştir. Sistem her iki yükleme şeklinde de maksimum değerlerine aynı zaman adımımda ulaşmışlardır.

Birleşik sistemde  $Y$  ve  $Y+0.3X$  yüklemelerinin etkisine bakıldığında maksimum ivme değerlerinin hemen hemen aynı olup  $Y$  yüklemesi altında 1.06 g,  $Y+0.3X$  yüklemesi altında ise 1.064 g olduğu görülmektedir. Hız değerleri de neredeyse aynı değerlerde olup,  $Y$  yüklemesinde bu değer 476 mm/sn,  $Y+0.3X$  yüklemesinde ise 476.8 mm/sn değerlerindedir. Maksimum yerdeğiştirme  $Y+0.3X$  yüklemesinde bir miktar artarak 32.30 mm'den, 33.02 mm mertebesine gelmiştir.  $Y+0.3X$  yüklemesinde plastik rotasyonlar artmaktadır.

Aynı sistemde yükleme durumlarının değiştirilmesiyle gerçekleştirilen senaryolara genel olarak baktığımızda,  $X$  (boyuna) yönünde yapılan analizlerde tekil ve birleşik sistemlerin her ikisinde de, %30 yanal yükleme ile gerçekleştirilen yüklemelerde maksimum ivme değerlerinde azalma,  $Y$  (enine) yönde ise tekil sistemde azalma, birleşik sistemde artış eğilimde olduğu görülmektedir.

$X+0.3Y$  yüklemesi altında tekil ve birleşik sistemler karşılaştırıldığında birleşik sistemde oluşan plastik rotasyon değerlerinde gözle görülür bir azalma görülmektedir. Aynı durum  $Y+0.3X$  yüklemesi için de geçerlidir.

Taban kesme kuvvetleri ve görelî yerdeğıştirme şekilleri incelendiğinde  $X$  yüklemesi altında birleşik sistemde toplam taban kesme kuvvetinin arttığı, buna oranla görelî yerdeğıştirme değerinin ise azaldığı gözlenmektedir. Düşey eksen etrafında burulmanın birleşik sistemde görece engellenmesi sebebiyle yerdeğıştirme değerinin azaldığı düşünülmektedir. Benzer şekilde  $Y$  yüklemesi altında sistemler karşılaştırıldığında ise birleşik sistemde taban kesme kuvvetinin yine artmış olduğu, ancak görelî yerdeğıştirme değerinin hemen hemen iki sistemde de yakın olduğu görülmektedir. Benzer karşılaştırmalar yapıldığında  $X+0.3Y$  yüklemesinin  $X$  yüklemesi ile,  $Y+0.3X$  yüklemesinin ise  $Y$  yüklemesi ile yakın değışimler gösterdikleri gözlenmektedir. Bu durumda taban kesme kuvvetlerinin birleşik sistemlerde genel itibariyle arttığı söylenebilir. Ancak plastik mafsallaşma nispeten azalma eğiliminde veya aynı seviyelerde olmaktadır. Mafsallaşma miktarının yerdeğıştirme ile kesme kuvvetinin ise rijitlik ile orantılı olduğu düşünüldüğünde, iki modülün bir arada bulunduğu birleşik sistemlerde artan rijitlik ile beraber kesme kuvvetleri artmış görünmektedir. Taban kesme kuvveti görelî yerdeğıştirme grafiğinin altında kalan alanın sönümü ifade ettiğı düşünüldüğünde, birleşik sistemin genel itibariyle görece daha sönümlü çalıştığı söylenebilir.

Bu çalışma kapsamında bitişik kazıklı rıhtım yapılarının dinamik etkileşimlerinin incelenmesi amacıyla, mod-temelli statik itme analizi ve doğrusal olmayan zaman tanım alanında hesap yöntemleriyle rıhtım modülleri biri tekil diğeri iki modulün bir arada olduğu birleşik sistem şeklinde düşünülerek bilgisayar ortamında üç boyutlu sonlu eleman modelleri kurulmuş ve sonuçları değerlendirilmiştir.

Yapılan analizlerden görüldüğü üzere, rıhtım yapılarının altındaki şevli zemin sebebiyle boyuna yöndeki yüklemeler altında gerçekleşmesi beklenen düşey eksen etrafındaki burulma davranışının, iki modulün birarada düşünülerek oluşturulan modellerde, modüllerin birbirini görece sönümlemesi sebebiyle, kazıkların tabliye ile birleştiği tapa kesitlerinde oluşan hasarın görece azaldığı gözlenmiştir. Enine yönde ise birleşik kurulan sistem çoğu zaman daha olumsuz sonuçlar verse de daha görece tekil sistemle daha uyumlu bir davranış sergilemiştir.

Kazıklarda en fazla hasar gömülü boyu en fazla olan kara tarafındaki serbest boyu en kısa olan kazıktan başlayarak deniz tarafındaki serbest boyu uzun olan kazıklara doğru yayılmaktadır.

Daha anlamlı sonuçlara ulaşabilmek için benzeri şekilde analizler daha çok modulün birarada düşünüldüğü sistemlerle denenmeli ve özellikle köşelerde bulunan modüllerin dinamik etkileşim altındaki durumu irdelenmelidir.

- [1] Y. Yüksel ve E.Ç. Özkan, “Liman Mühendisliği”, 2010.
- [2] A.A. Belkama, “Seismic Design Guidelines for Port Structures”, Report of Working Group No.34 of the Maritime Navigation Commission, International Navigation Association, Lisse/Abingdon/Exton(PA)Tokyo, 2001.
- [3] A. Seçkin, “Yanışma Yapılarının Şekil Değiştirmeye Göre Değerlendirilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2012.
- [4] R.C. Borg ve C.G. LAI, “Seismic Performance, Analysis and Design Of Wharf Structures: A Comparison Of Worldwide Typologies” in Proceedings of the 4th International Conference On Earthquake Geotechnical Engineering, Thessaloniki—GREECE 2007, pp.1760.
- [5] G. Mondal ve D.C. Rai, “Performance of Harbour Structures in Andaman Islands During 2004 Sumatra Earthquake”, Engineering Structures, 30:174-182, 2008.
- [6] B. Doran, Y. Yüksel, C. Çakır, A. Seçkin, Ş. Korkmaz, M. Köroğlu, “Düşey/Eğik Kazıklı İskele Yapılarının Doğrusal Olmayan Statik Çözümlemesi”, 7. Kıyı Mühendisliği Sempozyumu, Trabzon-TÜRKİYE, 2011, pp.219-227.
- [7] R.L. Boroschek, H. Baesler ve C. Vega, “Experimental Evaluation of The Dynamic Properties of a Wharf Structure”, Engineering Structures, 33:344-356, 2011.
- [8] J.S. Chiou, C.H. Chiang, H.H. Yang ve S.Y. Hsu, “Developing Fragility Curves For A Pile-Supported Wharf”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 31:830-840, 2011.
- [9] A. Shafieezadeh, R. DesRoches, G.J. Rix, S.D. Werner, “Three-Dimensional Wharf Response To Far-Field and Impulsive Near-Field Ground Motions in Liquefiable Soils”, Journal Of Structural Engineering, ASCE, 139:1395-1407, 2013.
- [10] L. Tang, X. Ling, X. Zhang, L. Su, C. Liu, H. Li, “Response of a RC Pile Behind Quay Wall To Liquefaction-Induced Lateral Spreading: A Shake-Table Investigation”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 76:69-79, 2015.
- [11] A.F. Ramirez-Henao ve J.P. Smith-Pardo, “Elastic Stability Of Pile-Supported Wharves and Piers”, Engineering Structures, 97:140-151, 2015.
- [12] L. Su, J. Lu, A. Elgamal, A.K. Arulmoli, “Seismic Performance Of A Pile-Supported Wharf: Three-Dimensional Finite Element Simulation”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 95:167-179, 2017.
- [13] Y. Xie, C. Liu, S. Gao, J. Tang, Y. Chen, “Lateral Load Bearing Capacity Of Offshore High-Piled Wharf With Batter Piles”, Ocean Engineering, 142:377-387, 2017.
- [14] A. Vytiniotis, A.I. Panagiotidou ve A.J. Whittle, “Analysis Of Seismic Damage Mitigation For A Pile-Supported Wharf Structure”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 119:21-35, 2019.

- [15] “Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği”, T.C. Ulaştırma Bakanlığı, DLH-DTY 2008.
- [16] S. Bekiroğlu, “P- Yöntemine Dayalı Üç Boyutlu Sonlu Elemanlar ile Yapıların Elastostatik ve Elastodinamik Analizi”, Doktora Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon 2010.
- [17] Y. Ayvaz, “Parametric Analysis of Reinforced Concrete Slabs Subjected to Earthquake Excitation”, Ph.D. Thesis, Texas Tech University, Texas, 1992.
- [18] N. Eser, “Betonarme Yapıların Deprem Davranışına Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, 2013.
- [19] SAP2000 V20.2.0, Integrated Software For Structural Analysis and Design. Computers and Structures, INC.
- [20] “Seismic Design of Piers and Wharves”, ASCE 61-14, 2014.
- [21] M.W. O’ Neill ve J.M. Murchison, “An evaluation of p-y relationship in sands”, A report to the American Petroleum Institute, University of Houston, Texas, PRAC 82-41-1, 1983.
- [22] L.C Reese ve R.C. Welch, “Lateral Loading of deep foundation in stiff clay”, Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, 101(7), pp. 633-649, 1975.
- [23] L.C. Reese, W.R. Cox ve F.D. Koop, “Field testing and analysis of laterally loaded piles in stiff clay”, Proc. 7th Offshore Technology Conference, Paper No. OTC 2321, Houston, Texas, pp.671-690, 1975.
- [24] L.C. Reese et al. “Analysis and Design of Deep and Shallow Foundations”, 2006.
- [25] “Specification for Structural Steel Buildings”, ANSI/AISC 360-16 2016.
- [26] Y. Fahjan ve Z. Ozdemir, “Scaling of Earthquake Accelerograms For Non-Linear Dynamic Analyses to Match The Earthquake Design Spectra”, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing-CHINA, 2008.



## Tezden Üretilmiş Yayınlar

---

İletişim Bilgisi: nht.krks@gmail.com

### Konferans Bildirileri

1. N. Karakaş, S. Bekiroğlu, “ A Research Study On Dynamic Interaction Of Adjacent Deck On Pile Wharf Modules”, in Proceedings of International Civil Engineering and Architecture Conference, Nisan, Trabzon/Türkiye, 2019, pp. 2094-2108.

