

DUMLUPINAR BULVARI 06800  
ÇANKAYA ANKARA/TURKEY  
T: +90 312 210 24 01  
F: +90 312 210 54 01  
department@ce.metu.edu.tr  
web.ce.metu.edu.tr

16.11.2020

Mistral İzmir Toplu Yapı Yönetimine,

30.10.2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) açıkları  $M_w$  6,6 depremi sırasında Mistral İzmir Ofis Kulesi yapı sağlığı izleme sisteminden alınan titreşim kayıtları 2020-03-03-1-00-141 nolu DSİM projesi kapsamında değerlendirilmiş ve hazırlanan rapor ekte sunulmuştur.

27.01.2019 tarihinden itibaren sürekli olarak izlenen binanın deprem öncesi ve sonrası yapısal sistem dinamik özellikleri tespit edilmiştir. Deprem sırasında maksimum çatı kat ivmesi 0,26 g, bina taban ivmesi 0,11 g olarak ölçülmüş ve çatı kat yerdeğiştirmesi 16 cm olarak hesaplanmıştır. Bina taban hareketinden hesaplanan elastik ivme spektrumları, binanın tasarımında kullanılan ve şu an yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan tasarım deprem spektrumlarının altında kalmaktadır. Binadaki deprem yer hareketi, Deprem Yönetmeliği'ndeki sık/servis deprem yer hareketlerine karşılık gelmektedir. Binanın deprem sonrasında hakim doğal titreşim frekanslarındaki düşüş %2 ve %5 olarak tespit edilmiştir. Bu değerler, Deprem Yönetmeliği'ne göre hesaplanan %10'luk düşüşün altında kalmaktadır. Ortalama kat ötelemesi oranı %0,1'den düşük olarak gerçekleşmiştir. Titreşim mod şekillerinde değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Bu değerlendirme, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre *Deprem Tasarım Sınıfı = 1* olan Mistral İzmir Ofis Kulesi'nin *Normal Performans Hedefi* için *Servis Deprem Yer Hareketi* altında *Kesintisiz Kullanım* performans hedefini sağladığına, binanın deprem sonrası kesintisiz kullanıma devam etmesini engelleyecek yapısal bir hasar olmadığına işaret etmektedir.

Saygılarımla,



Doç. Dr. Ozan Cem Çelik  
İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

Ek:

Mistral İzmir Ofis Kulesi Yapı Sağlığı İzleme Sistemi İzmir Depremi Kayıtlarının  
Değerlendirmesi

# MİSTRAL İZMİR OFİS KULESİ YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMİ İZMİR DEPREMİ KAYITLARININ DEĞERLENDİRMESİ



Doç. Dr. Ozan Cem Çelik

İnşaat Mühendisliği Bölümü  
Orta Doğu Teknik Üniversitesi

16.11.2020

Bu rapor Mistral İzmir Toplu Yapı Yönetimine 2020-03-03-1-00-141 nolu DSİM projesi kapsamında hazırlanmıştır.

## İÇİNDEKİLER

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| İÇİNDEKİLER.....                                           | ii |
| 1 GİRİŞ.....                                               | 1  |
| 2 MİSTRAL İZMİR OFİS KULESİ .....                          | 1  |
| 3 YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMİ.....                         | 3  |
| 4 İZMİR DEPREMİ BİNA KAYITLARININ DEĞERLENDİRMESİ .....    | 4  |
| 4.1 Kat İvmeleri.....                                      | 4  |
| 4.2 Yönetmelik Deprem Yer Hareketi Spektrumları.....       | 4  |
| 4.3 Kat Yerdeğiştirmeleri .....                            | 5  |
| 4.4 Bina Doğal Titreşim Frekansları ve Mod şekilleri ..... | 6  |
| 4.5 Binanın Sonlu Eleman Modeli .....                      | 8  |
| 5 SONUÇ.....                                               | 10 |
| REFERANSLAR .....                                          | 10 |

## 1 GİRİŞ

Mistral İzmir Toplu Yapı Yönetimi, 30.10.2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) açıkları  $M_w$  6,6 depremi sırasında Mistral İzmir Ofis Kulesi yapı sağlığı izleme sisteminden alınan titreşim kayıtlarının değerlendirilmesini istemiştir. Bu raporda, Mistral İzmir Toplu Yapı Yönetimi ile yapılan sözleşme gereği bu kapsamda yapılan çalışmalar sunulmaktadır.

## 2 MİSTRAL İZMİR OFİS KULESİ

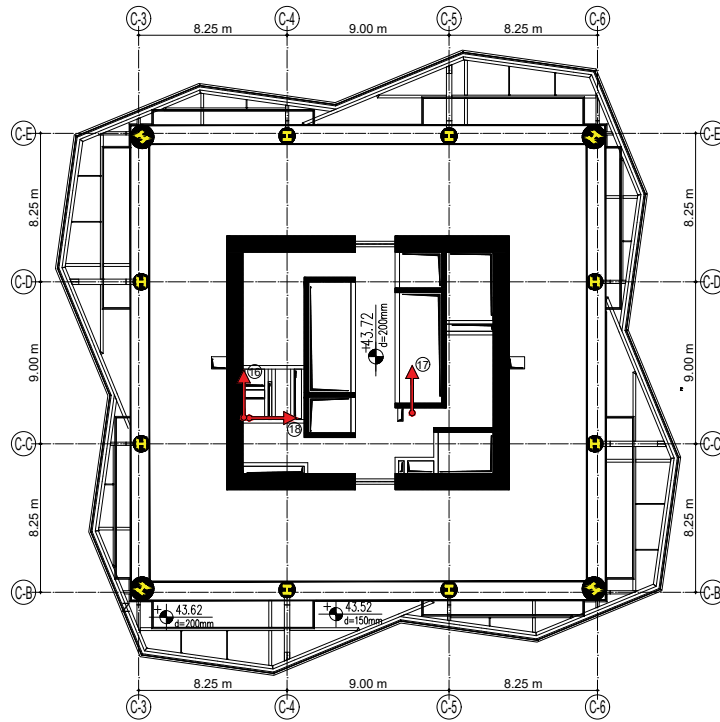
Mistral İzmir Ofis Kulesi (bk. Şekil 1) İzmir Konak'ta ( $38.4480^\circ$  K,  $27.1794^\circ$  D; bk. Şekil 2) bulunan 2017 Aralık ayında kullanıma açılmış 216 m yüksekliğinde 48 (+2 bodrum) katlı kompozit bir binadır. İki bodrum kat ve iki katlı baza üstünde yükselen kule bölümünde tipik kat yüksekliği 4,0 m'dir ve tipik kat planı dış akslar arası 25,5 m olan bir karedir (bk. Şekil 3). Yatay taşıyıcı sistem çekirdekte betonarme perdelerden ve çepeçevre düzenlenmiş moment aktaran kompozit kolon ve betonarme kirişlerden oluşan çerçevelerden oluşmaktadır. Perde kalınlıkları bodrum katlarda 1,10 m'den başlayıp üst katlarda 0,90 m, 0,75 m, 0,65 m ve 0,50 m'ye azalmaktadır. Kompozit kolon çapları ise bodrum katlarda 1,40 m'den başlayıp üst katlarda 1,30 m, 1,20 m, 0,90 m, 0,80 m ve 0,60 m'ye azalmaktadır. U kesitli perdeler çelik bağ kirişleri ile birbirine bağlanmıştır. 19. ve 39. katlarda burkulması önlenmiş çelik çaprazlarla köşe kolonlar çekirdek perdelerine bağlanmıştır. Düşey taşıyıcı sistem tipik kalınlığı 0,20 m olan plak döşemelerden oluşmaktadır. İlk iki katta 0,15 m kalınlığında mantar döşemeler de



Şekil 1 Mistral İzmir Ofis Kulesi

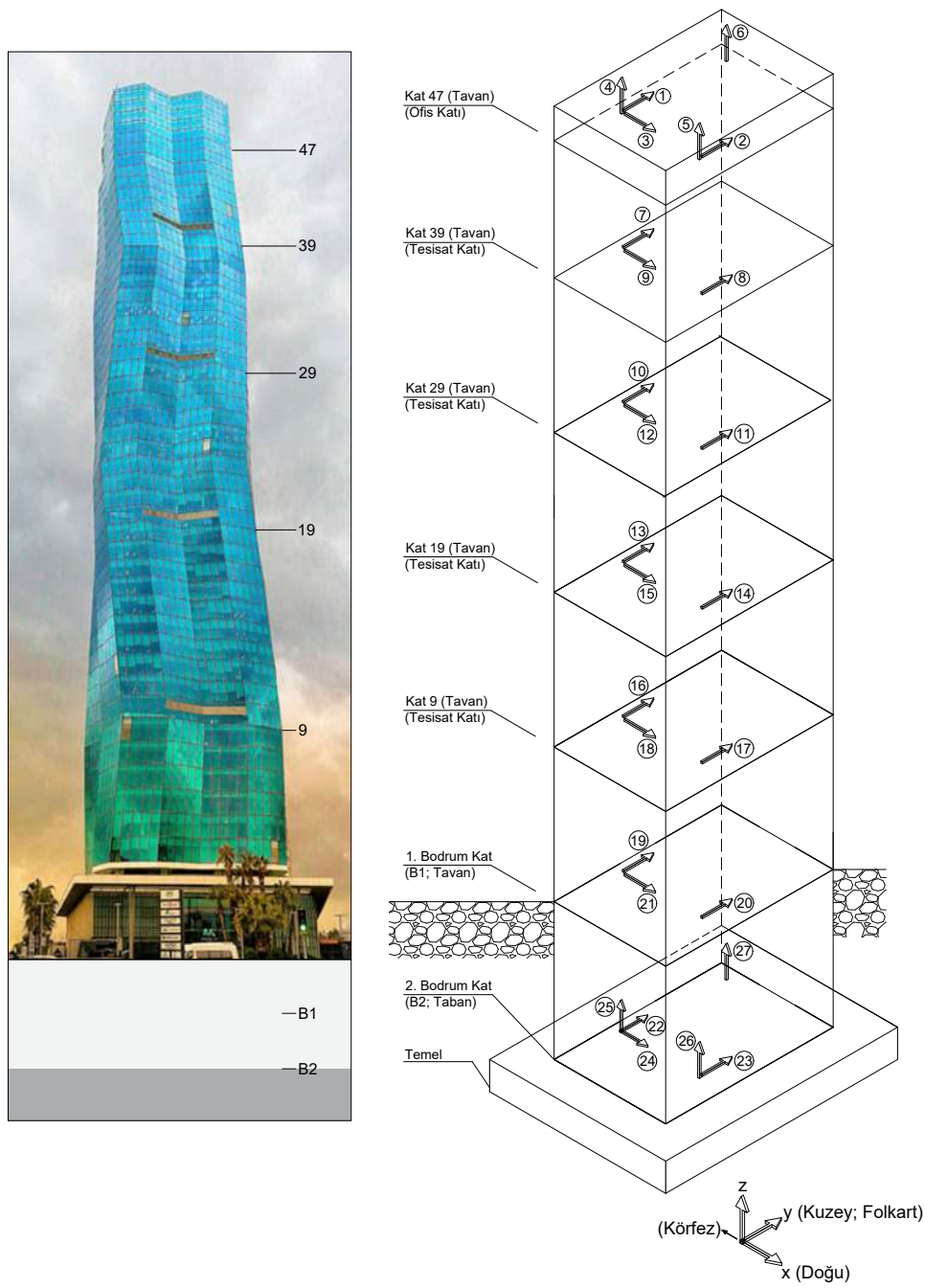


**Şekil 2 Bina konumu**



**Şekil 3 Tipik kat planı**

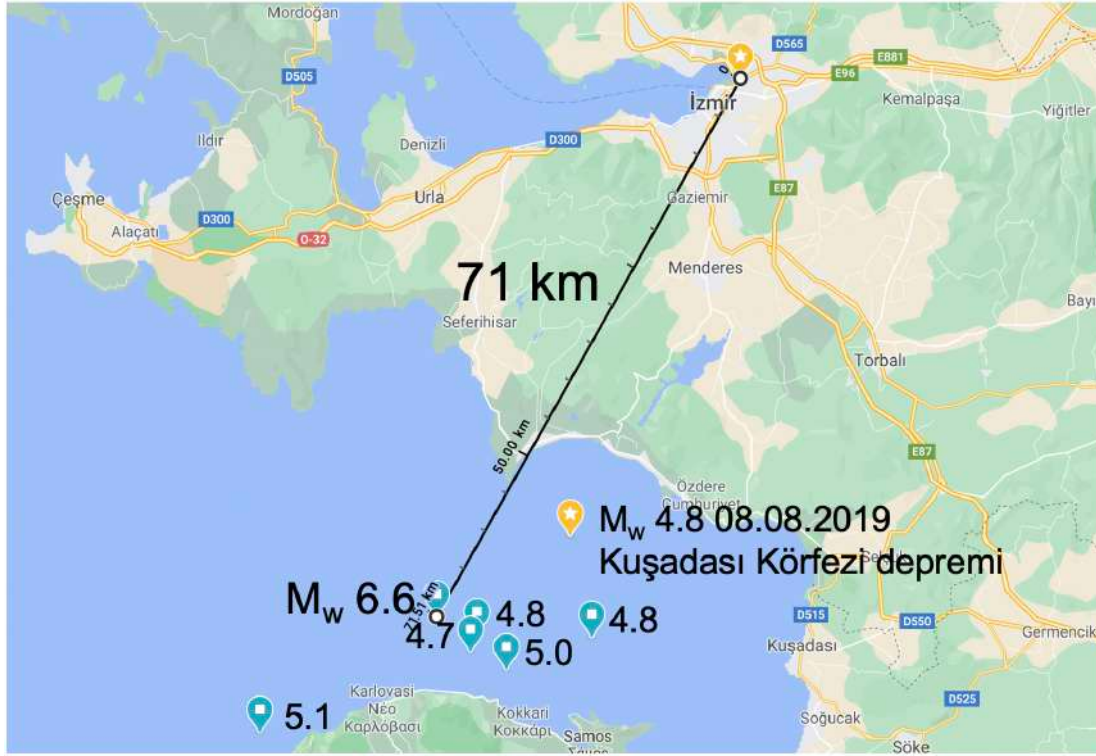
kullanılmıştır. Kule bölümünde konsollarda kompozit döşeme kullanılmıştır. Bina baret kazıklı 3,7 m kalınlığında radye temel üzerine oturmaktadır. 2007 yılı Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne (Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007) göre zemin grubu D, yerel zemin sınıfı Z4'tür. Binada C50, temelde C40 beton, S420 beton çeliği ile kullanılmıştır. Kompozit kolon ve bağ kirişlerinde S460, konsol kirişlerde S275 yapısal çelik kullanılmıştır.



**Şekil 4** İvmeölçer yerleşim planı

### 3 YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMİ

Mistral İzmir Ofis Kulesi'nde 27.01.2019 tarihinden itibaren kurulu olan 27 kanallı yapı sağlığı izleme sisteminde binanın yedi farklı katına yerleştirilmiş ivmeölçerler bulunmaktadır (bk. Şekil 4). Bu yerleşim planı, titreşim kayıtlarının alındığı 48., 40., 30., 20., 10. normal kat, zemin kat ve 2. bodrum kat seviyelerinde her iki ana eksen yönündeki öteleme hareketlerini, kat burulma hareketlerini ve binanın her iki yöndeki düşey dönme hareketlerini elde etmeye imkan vermektedir.



Şekil 5 30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi ve  $M_w > 4,5$  artçı depremleri

#### 4 İZMİR DEPREMİ BİNA KAYITLARININ DEĞERLENDİRMESİ

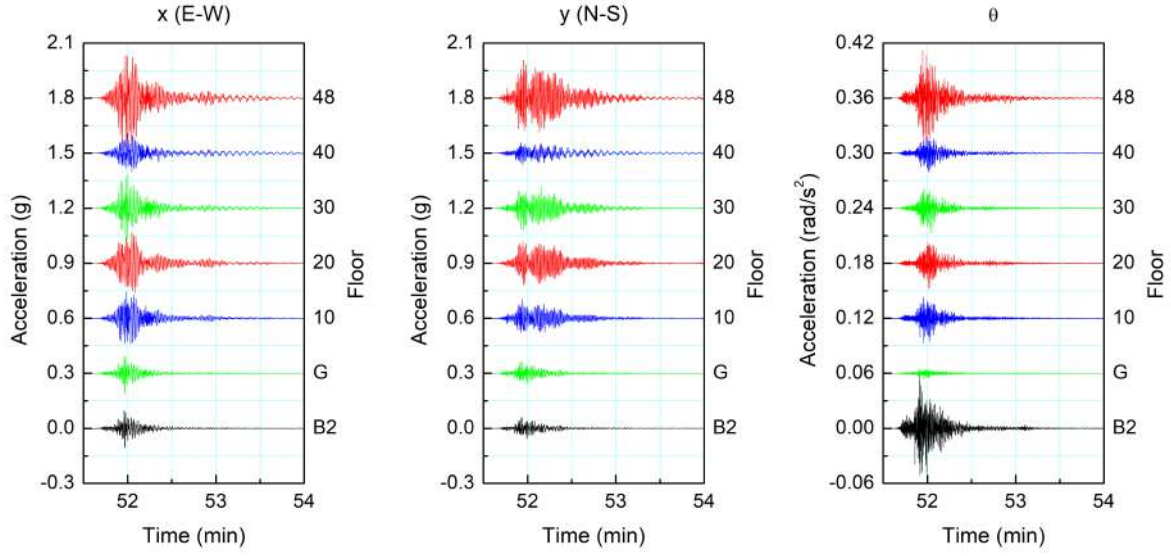
30.10.2020 tarihinde Türkiye saati ile 14:51:24'te merkez üssü binadan 71 km uzaklıkta Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) açıkları ( $37.8881^\circ$  K,  $26.7770^\circ$  D) olan  $M_w$  6,6 büyüklüğünde bir deprem (bk. Şekil 5) meydana gelmiştir (AFAD, 2020). Bu deprem sırasında binadan alınan ivme kayıtları, deprem öncesi ve sonrası alınan ivme kayıtları da göz önüne alınarak bu bölümde değerlendirilmektedir.

##### 4.1 Kat İvmeleri

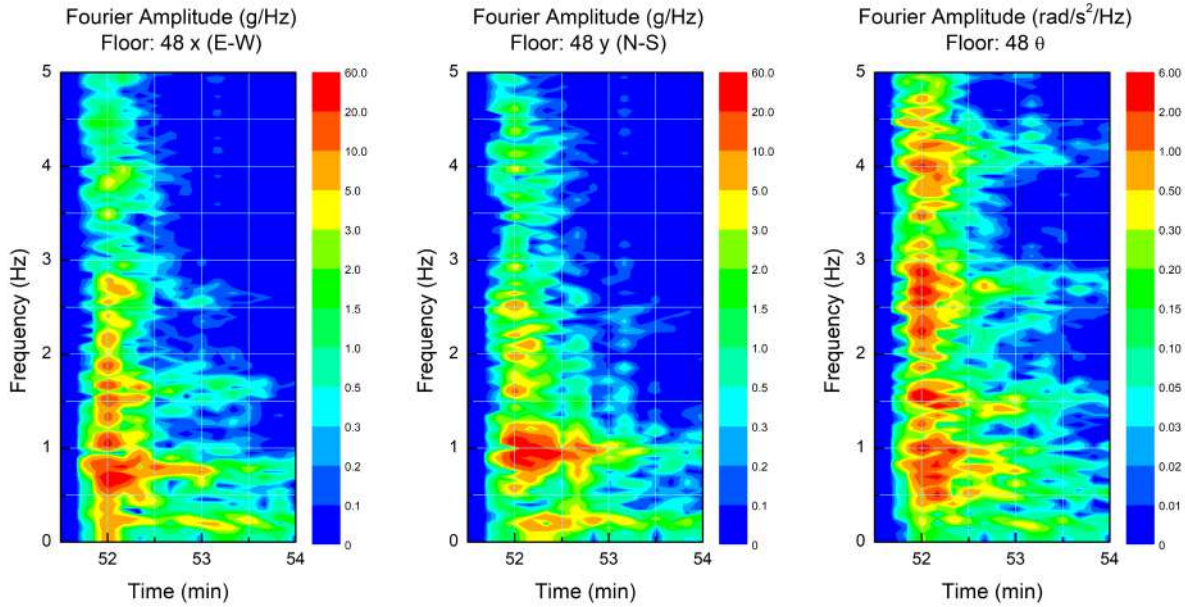
30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi sırasında binadan alınan titreşim kayıtlarından rijit diyafram kabulüyle kat geometrik merkezlerinde hesaplanan kat ivmeleri (D-B, x; K-G, y; ve düşey eksen etrafında dönme,  $\theta$ ) Şekil 6'da verilmektedir. Maksimum çatı kat ivmesi 0,26 g ve bina taban ivmesi 0,11 g olarak gerçekleşmiştir. Şekil 7'de verilen 48. kat ivmelerinin kısa süreli Fourier dönüşümleri incelendiğinde deprem sırasında binanın yüksek modlarının etkili olduğu gözlemlenmiştir.

##### 4.2 Yönetmelik Deprem Yer Hareketi Spektrumları

Bina taban hareketinin %5 sönüm oranı için hesaplanan elastik ivme spektrumları, binanın tasarımında kullanılan (Tok, 2016) Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği (DLH; Ulaştırma Bakanlığı, 2008), binanın tasarımı sırasında geçerli olan Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY; Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, 2007) ve şu an yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY; AFAD 2019) deprem yer hareketi spektrumları ile Şekil 8'de



Şekil 6 Kat ivmeleri: 30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi

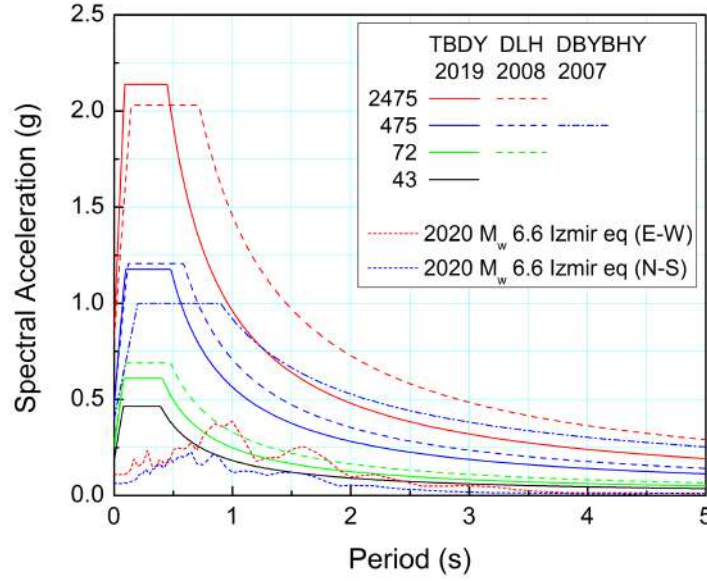


Şekil 7 Kısa süreli Fourier dönüşümleri: 30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi

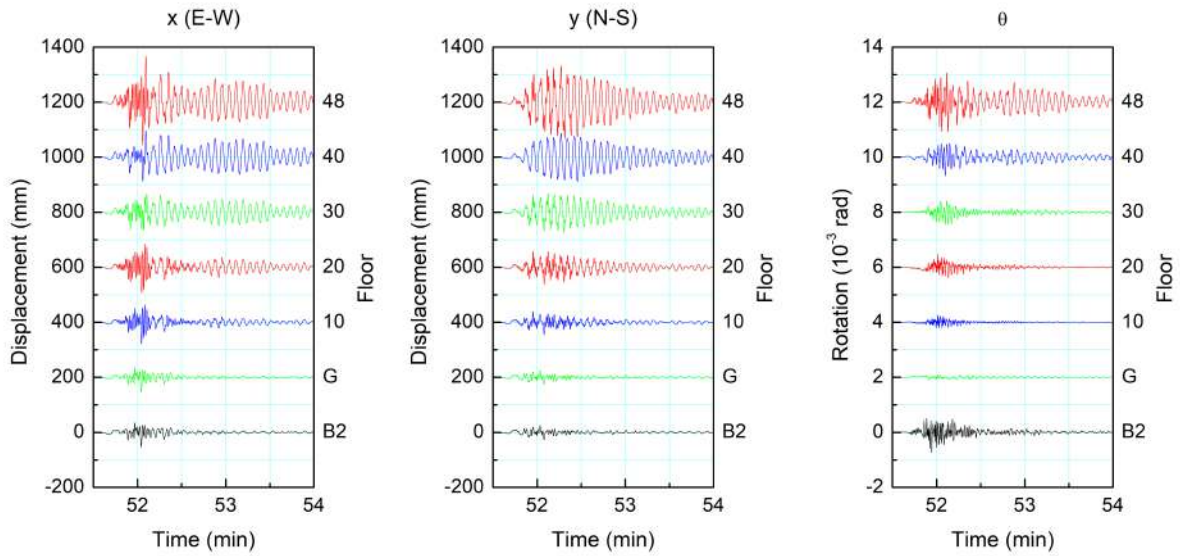
karşılaştırılmaktadır. Bina taban hareketinin yönetmeliklerde yer alan standart tasarım deprem yer hareketinin (50 yılda aşılma olasılığı %10; tekrarlanma periyodu 475 yıl) altında kaldığı görülmektedir. Bina taban hareketi yönetmeliklerde yer alan sık ve servis deprem yer hareketlerine (50 yılda aşılma olasılığı %50 ve %68; tekrarlanma periyodu 72 ve 43 yıl) karşılık gelmektedir.

### 4.3 Kat Yerdeğiştirmeleri

30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi sırasında binadan alınan titreşim kayıtlarından hesaplanan kat yerdeğiştirmeleri Şekil 9'da verilmektedir. Maksimum çatı kat yer değiştirmesi 16 cm olarak gerçekleşmiştir. Ortalama kat ötelemesi oranı %0,1'in altında kalmaktadır. Bu durum, binada yapısal bir hasar rapor edilmemesine uygunluk göstermektedir.



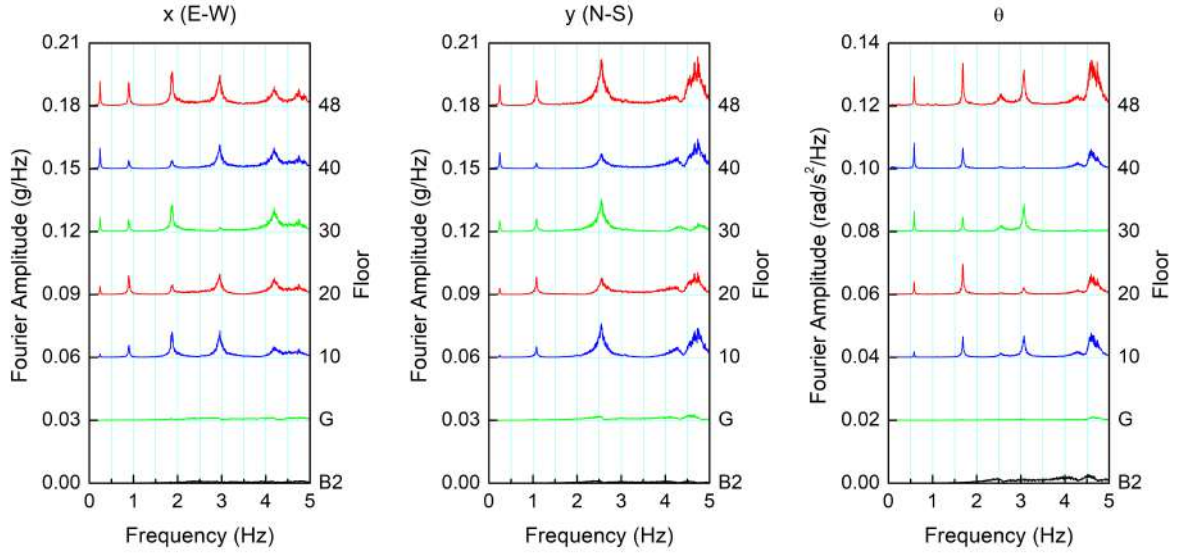
**Şekil 8** Bina taban hareketi ve yönetmelik deprem yer hareketi elastik ivme spektrumları



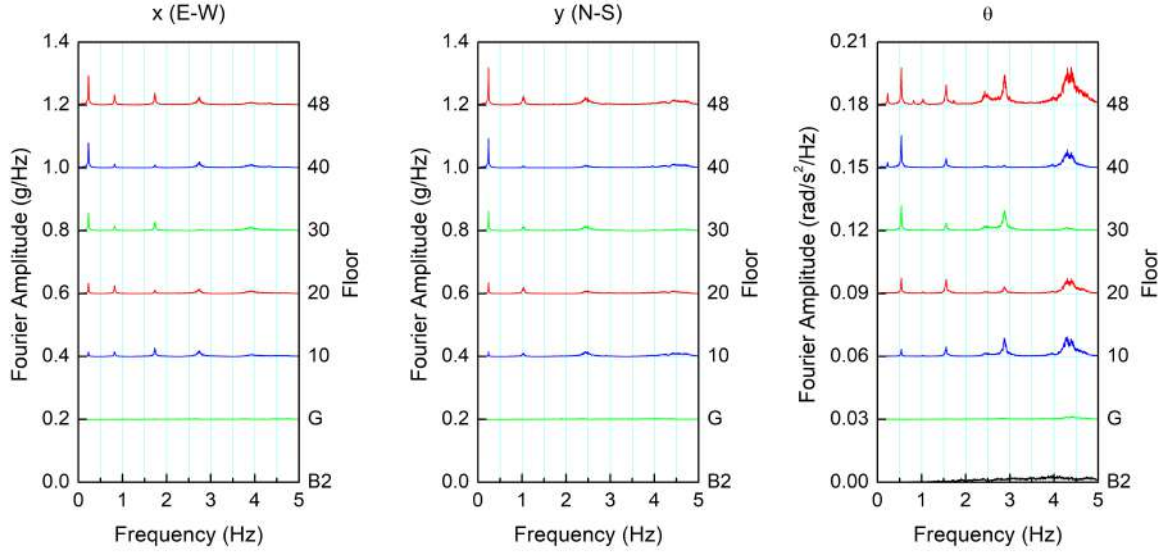
**Şekil 9** Kat yerdeğiştirmeleri: 30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi

#### 4.4 Bina Doğal Titreşim Frekansları ve Mod Şekilleri

Binanın deprem öncesi ve sonrasındaki doğal titreşim frekansları ve mod şekilleri bu bölümde karşılaştırılmaktadır. Kat ivmelerinin Fourier spektrumları deprem öncesi ve sonrası durum için Şekil 10'da verilmektedir. Binanın D-B ve K-G eksenleri doğrultularındaki ilk dört öteleme modlarına ve binanın ilk dört burulma modlarına ait tespit edilen doğal titreşim frekansları Tablo 1'de karşılaştırılmaktadır. Binanın deprem sonrasında hakim doğal titreşim frekanslarındaki düşüş D-B eksenli doğrultusunda %5 ve K-G eksenli doğrultusunda %2 olarak tespit edilmiştir. Diğer titreşim mod frekanslarındaki değişim %8'i geçmemektedir. Bu değişim yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği kapsamında Bölüm 4.5'te irdelenmektedir. Binanın titreşim mod şekilleri Şekil 11'de karşılaştırılmaktadır. Mod şekillerinde değişiklik



(a) Deprem öncesi: 29.10.2020 14:00:00



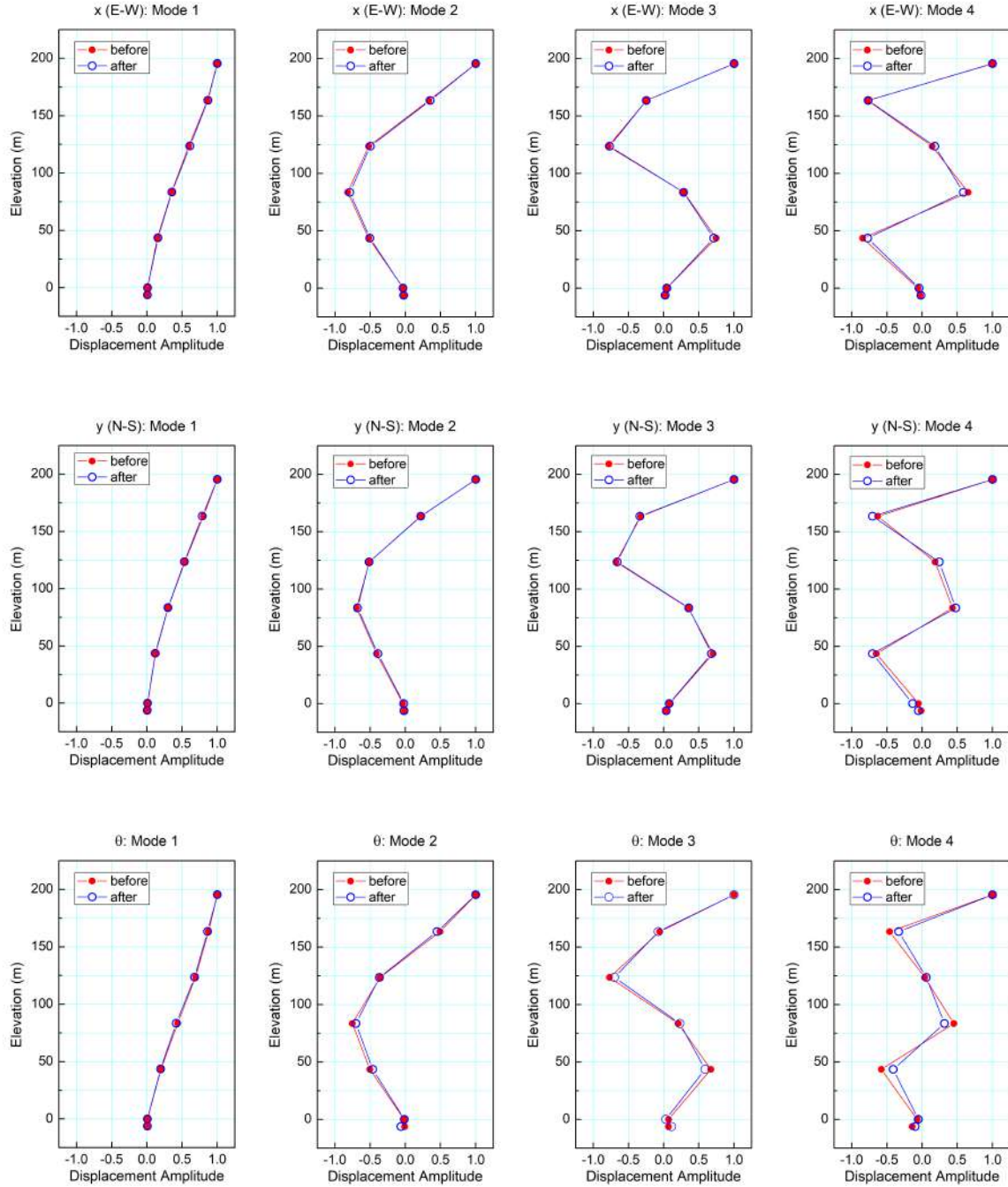
(b) Deprem sonrası: 31.10.2020 14:00:00

Şekil 10 Fourier spektrumları

Tablo 1 Tespit edilen doğal titreşim frekansları (Hz)

| Mod | x (D-B) |       |      | y (K-G) |       |      | θ    |       |      |
|-----|---------|-------|------|---------|-------|------|------|-------|------|
|     | Önce    | Sonra | Fark | Önce    | Sonra | Fark | Önce | Sonra | Fark |
| 1   | 0,24    | 0,23  | 5%   | 0,24    | 0,24  | 2%   | 0,58 | 0,54  | 6%   |
| 2   | 0,89    | 0,82  | 8%   | 1,08    | 1,03  | 4%   | 1,69 | 1,56  | 8%   |
| 3   | 1,87    | 1,73  | 8%   | 2,55    | 2,44  | 4%   | 3,07 | 2,88  | 6%   |
| 4   | 2,96    | 2,75  | 7%   | 4,73    | 4,45  | 6%   | 4,60 | 4,39  | 5%   |

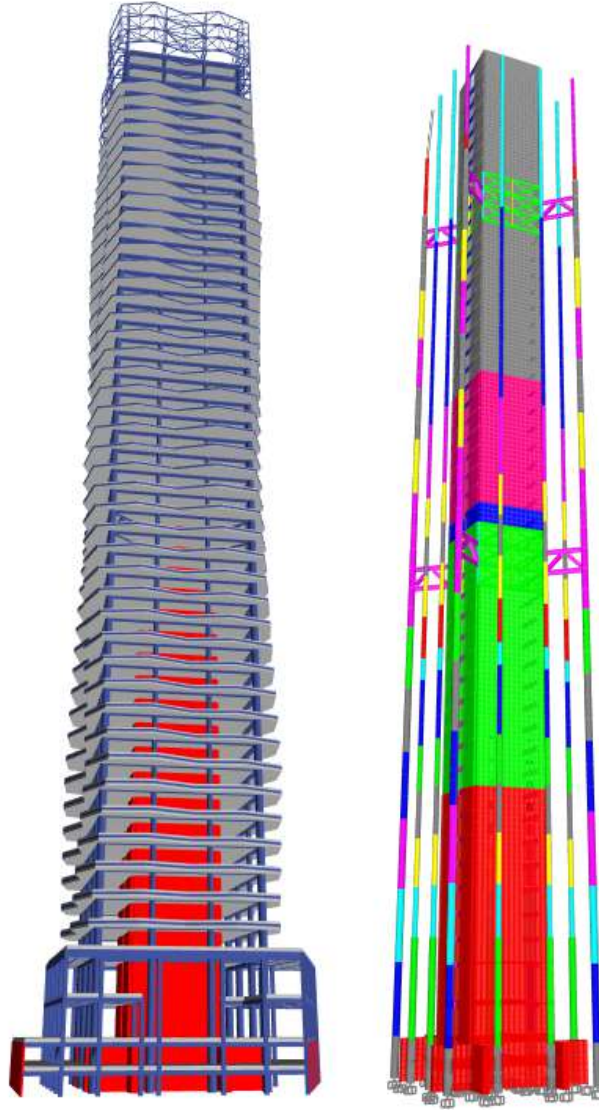
olmadığı belirlenmiştir. Bu durum, binada yapısal bir hasar rapor edilmemesine uygunluk göstermektedir.



Şekil 11 Titreşim mod şekilleri

#### 4.5 Binanın Sonlu Eleman Modeli

Binanın üç boyutlu doğrusal elastik sonlu eleman yapısal modeli ETABS programı (Computers and Structures, Inc., 2019) ile oluşturulmuştur (Şekil 12). Perde ve döşemeler kabuk elemanları, kiriş ve kolonlar ise çubuk elemanları ile modellenmiştir. Tüm (çatlamamış) kesit eylemsizlik momentlerinin kullanıldığı modelden elde edilen doğal titreşim frekansları (bk. Tablo 2) binanın deprem öncesi tespit edilen titreşim frekansları (bk. Tablo 1) ile uyumludur. 30.10.2020  $M_w$  6,6 İzmir depremi sırasındaki bina taban hareketi yönetmeliklerde yer alan sık ve servis deprem yer hareketlerine karşılık gelmektedir (bk. Bölüm 4.2). Yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, bu deprem yer hareketleri altında yüksek bina taşıyıcı sistem elemanları



Şekil 12 Binanın sonlu eleman yapısal modeli

Tablo 2 Hesaplanan doğal titreşim frekansları (Hz)

| Mod | x (D-B) |       |      | y (K-G) |       |      | $\theta$ |       |      |
|-----|---------|-------|------|---------|-------|------|----------|-------|------|
|     | Önce    | Sonra | Fark | Önce    | Sonra | Fark | Önce     | Sonra | Fark |
| 1   | 0,24    | 0,22  | 10%  | 0,24    | 0,22  | 10%  | 0,58     | 0,55  | 7%   |
| 2   | 0,89    | 0,80  | 10%  | 1,08    | 0,96  | 12%  | 1,70     | 1,59  | 7%   |
| 3   | 1,92    | 1,73  | 10%  | 2,57    | 2,29  | 11%  | 3,05     | 2,88  | 6%   |
| 4   | 2,95    | 2,67  | 9%   | 4,45    | 4,09  | 8%   | 4,56     | 4,30  | 6%   |

için etkin kesit rijitliği çarpanları tanımlamaktadır. Bu rijitliklerin kullanıldığı modelden elde edilen doğal titreşim frekansları, tüm kesit rijitliklerinin kullanıldığı modelden elde edilen değerlerle Tablo 2’de karşılaştırılmaktadır; binanın D-B ve K-G eksenleri doğrultularındaki hakim doğal titreşim frekansları %10 düşüktür. Binanın deprem sonrası tespit edilen hakim titreşim frekansları (bk. Tablo 1) deprem öncesi frekanslarından %5 (D-B) ve %2 (K-G) kadar düşüktür. Diğer titreşim mod frekanslarındaki değişim %8’i geçmemektedir. Bu değerler, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’ne göre hesaplanan %10’luk düşüşün altında kalmaktadır.

## 5 SONUÇ

İzmir Konak'ta bulunan 216 m yüksekliğindeki 48 (+2 bodrum) katlı Mistral İzmir Ofis Kulesi'nde 27.01.2019 tarihinden itibaren kurulu olan yapı sağlığı izleme sistemi, 30.10.2020 tarihinde Türkiye saati ile 14:51:24'te merkez üssü binadan 71 km uzaklıkta Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) açıklarında meydana gelen  $M_w$  6,6 büyüklüğündeki deprem sırasında bina titreşimlerini kaydetmiştir. Maksimum çatı kat ivmesi 0,26 g ve bina taban ivmesi 0,11 g olarak ölçülmüştür. Bina taban hareketinden hesaplanan elastik ivme spektrumları, binanın tasarımında kullanılan ve şu an yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde tanımlanan tasarım deprem spektrumlarının (50 yılda aşılma olasılığı %10; tekrarlanma periyodu 475 yıl) altında kalmaktadır. Binadaki deprem yer hareketi, Deprem Yönetmeliği'ndeki sık ve servis deprem yer hareketlerine (50 yılda aşılma olasılığı %50 ve %68; tekrarlanma periyodu 72 ve 43 yıl) karşılık gelmektedir. Binanın deprem sonrasında hakim doğal titreşim frekanslarındaki %2 ve %5'lik düşüşler Deprem Yönetmeliği'ne göre hesaplanan %10'luk düşüşün altında kalmaktadır. Deprem sırasında maksimum çatı kat yerdeğiştirmesi 16 cm olarak gerçekleşmiştir. Ortalama kat ötelemesi oranı %0,1'den düşüktür. Titreşim mod şekillerinde değişiklik olmadığı belirlenmiştir.

Bu değerlendirme, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'ne göre *Deprem Tasarım Sınıfı = 1* olan Mistral İzmir Ofis Kulesi'nin *Normal Performans Hedefi* için *Servis Deprem Yer Hareketi* altında *Kesintisiz Kullanım* performans hedefini sağladığına, binanın deprem sonrası kesintisiz kullanıma devam etmesini engelleyecek yapısal bir hasar olmadığına işaret etmektedir.

## REFERANSLAR

AFAD (2019) Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Ankara.

AFAD (2020) 30 Ekim 2020 Ege Denizi, Seferihisar (İzmir) açıkları (17,26 km)  $M_w$  6.6 depremine ilişkin ön değerlendirme raporu, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.

Bayındırlık ve İskan Bakanlığı (2007) Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, Ankara.

Computers and Structures, Inc. (2019) ETABS, Berkeley, California, USA.

Tok A (2016) Mistral Ofis Bloğu Hesap Raporu, İzmir.

Ulaştırma Bakanlığı (2008) Kıyı ve Liman Yapıları, Demiryolları, Hava Meydanları İnşaatlarına İlişkin Deprem Teknik Yönetmeliği, Ankara.