**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**
**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

# YAPILARIN ZAMAN-FREKANS ORTAMINDA HASAR ANALİZLERİ

**ÖMER FATİH SAK**

**KOCAELİ 2019**

**KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ**

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

# YAPILARIN ZAMAN-FREKANS ORTAMINDA HASAR ANALİZLERİ

**ÖMER FATİH SAK**

**Prof. Dr. Kemal BEYEN**
**Danışman, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Doç. Dr. Fuad OKAY**
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Prof. Dr. Erdal ŞAFAK**
**Jüri Üyesi, Boğaziçi Üniversitesi** .....

**Dr. Öğr. Üyesi Hakan ERDOĞAN**
**Jüri Üyesi, Kocaeli Üniversitesi** .....

**Dr. Öğr. Üyesi Abdullah Can ZÜLFİKAR**
**Jüri Üyesi, Gebze Teknik Üniversitesi** .....

**Tezin Savunulduğu Tarih: 17.07.2019**

## ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

Bu doktora öğrenimim süresince hiçbir emeğini ve fikrini esirgemeyen tez danışmanım sayın Prof. Dr. Kemal BEYEN hocama, sayın Doç. Dr. Fuad OKAY ve Prof. Dr. Erdal ŞAFAK hocalarıma, her zaman arkamda olan anne ve babama, zor zamanlarımda beni yürekten destekleyen ve hep yanımda olan kıymetli, fedakâr eşim Tuğba'ya, canım kızlarım Reyyan'ıma ve Firdevs'ime teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Haziran-2019 Ömer Fatih SAK

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... i
İÇİNDEKİLER ..... ii
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... iii
TABLOLAR DİZİNİ ..... vii
SİMGELER DİZİNİ VE KISALTMALAR ..... viii
ÖZET ..... ix
ABSTRACT ..... x
GİRİŞ ..... 1
1. GENEL BİLGİLER ..... 3
    1.1. Amaç ..... 5
    1.2. Geçmiş Çalışmalar ..... 5
2. YAPILARIN DAVRANIŞI VE DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİYLE HASAR TANILAMA ..... 12
3. ANALİTİK MODELİ YAPI KLONLAMA METODUYLA OLUŞTURMA ..... 57
4. MEVCUT HASAR RÖLÖVESİ ..... 68
5. ZAMAN-FREKANS ALANINDA HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI ..... 70
6. HASAR TESPİTİNDE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER ..... 75
7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER ..... 83
KAYNAKLAR ..... 84
EKLER ..... 90
KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER ..... 142
ÖZGEÇMİŞ ..... 143

## ŞEKİLLER DİZİNİ


Şekil 2.1. Kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü ile dalgacık dönüşümünün zaman frekans alanındaki mukayesesi ..... 13
Şekil 2.2. (a) Daubechies, (b) Mexican hat, (c) Gaussian ve (d) Morlet ana dalgacık fonksiyonlarının gösterimi ..... 14
Şekil 2.3. WMRA ve WPT tekniklerinin karşılaştırılması ..... 15
Şekil 2.4. Girdi sinyali (üstte), minimum ve maksimumların zarfı (altta ..... 17
Şekil 2.5. Ampirik mod ayrışımının öteleme işlemleri: (i) rasgele girdi; (ii) girdiye bindirilmiş maksimum ve minimumlar; (iii) üst ve alt zarflar; (iv) IMF'nin ilk örneği; (v) işlenmiş IMF'nin üst ve alt zarfları ve ortalaması; (vi) girdiden IMF çıkarıldıktan sonra kalan sinyal ..... 19
Şekil 2.6. İki boyutlu çerçeve görünümü ..... 21
Şekil 2.7. Sinüs kuvvet fonksiyonu ..... 22
Şekil 2.8. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu betonarme tasarımı ..... 22
Şekil 2.9. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu mafsallaşma grafiği ..... 23
Şekil 2.10. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği ..... 24
Şekil 2.11. 7 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 24
Şekil 2.12. 8 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 25
Şekil 2.13. 9 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 25
Şekil 2.14. 10 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 26
Şekil 2.15. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği ..... 26
Şekil 2.16. 17 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 27
Şekil 2.17. 18 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 27
Şekil 2.18. 19 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 28
Şekil 2.19. Güçlü sarsıcı kuvveti sonrası yapının hasar seviyeleri ..... 28
Şekil 2.20. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği ..... 29
Şekil 2.21. 17 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 29
Şekil 2.22. 18 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 30
Şekil 2.23. 19 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi ..... 30
Şekil 2.24. 17 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile analizi ..... 31

Şekil 2.25. 18 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile analizi ..... 31
Şekil 2.26. 17 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile dalgacık paket dönüşümü ..... 32
Şekil 2.27. 18 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile dalgacık paket dönüşümü ..... 32
Şekil 2.28. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği ..... 33
Şekil 2.29. 17 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 33
Şekil 2.30. 18 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 34
Şekil 2.31. 19 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 34
Şekil 2.32. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği ..... 34
Şekil 2.33. 17 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 35
Şekil 2.34. 18 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 35
Şekil 2.35. 19 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 35
Şekil 2.36. Yapı 3 boyutlu görünümü ..... 36
Şekil 2.37. 17 Ağustos 1999 Kocaeli merkez meteoroloji istasyon müdürlüğü deprem kaydı ..... 37
Şekil 2.38. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu betonarme tasarımı ..... 37
Şekil 2.39. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu mafsallaşma grafiği ..... 38
Şekil 2.40. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği ..... 39
Şekil 2.41. 2 Numaralı hasarsız noktanın Db4 ve Mexh ile analizi ..... 39
Şekil 2.42. 42 Numaralı hasarsız noktanın Db4 ve Mexh ile analizi ..... 39
Şekil 2.43. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği ..... 40
Şekil 2.44. 2 Numaralı hasarlı noktanın Db4 ve Mexh ile analizi ..... 40
Şekil 2.45. 42 Numaralı hasarlı noktanın Db4 ve Mexh ile analizi ..... 40
Şekil 2.46. Hasarsız elemanların deplasman zaman grafiği ..... 41
Şekil 2.47. 2 Numaralı hasarsız noktanın Morlet ve Mexh ile analizi ..... 41
Şekil 2.48. 42 Numaralı hasarsız noktanın Morlet ve Mexh ile analizi ..... 42
Şekil 2.49. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği ..... 42
Şekil 2.50. 2 Numaralı hasarlı noktanın Morlet ve Mexh ile analizi ..... 43
Şekil 2.51. 42 Numaralı hasarlı noktanın Morlet ve Mexh ile analizi ..... 43
Şekil 2.52. 2 ve 42 Numaralı hasarlı noktaların Morlet ile analizi ve yerel üst çizgileri ..... 44
Şekil 2.53. 42 Numaralı noktanın hasarsız ve hasarlı dalgacık paket dönüşümü ..... 44
Şekil 2.54. 42 Numaralı hasarsız noktanın kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü ..... 45
Şekil 2.55. 42 Numarlı hasarlı noktanın kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü ..... 45
Şekil 2.56. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği ..... 46

Şekil 2.57. 2 Numaralı hasarsız noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 46
Şekil 2.58. 42 Numaralı hasarsız noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 46
Şekil 2.59. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği ..... 47
Şekil 2.60. 2 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 47
Şekil 2.61. 42 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu ..... 47
Şekil 2.62. Perform 3D analitik modeli ve hasar alan elemanlar ..... 48
Şekil 2.63. Analitik modelin enerji tüketim parametreleri ..... 48
Şekil 2.64. Analitik modelin enerji parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri ..... 49
Şekil 2.65. Analitik modelin mutlak ivme parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri ..... 50
Şekil 2.66. Analitik modelin relatif ivme parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri ..... 50
Şekil 2.67. Analitik modelin relatif hız parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri ..... 51
Şekil 2.68. Analitik modelin relatif deplasman parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri ..... 51
Şekil 2.69. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların kinetik ve kinematik parametreleri ..... 52
Şekil 2.70. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların mutlak ivmelerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları ..... 52
Şekil 2.71. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif ivmelerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları ..... 53
Şekil 2.72. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif hızlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumları ..... 54
Şekil 2.73. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif deplasmanlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumları ..... 54
Şekil 2.74. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların enerjilerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları ..... 55
Şekil 3.1. Test yapılan binaların Marmara Denizi İzmit Körfezi'ndeki konumu ..... 57
Şekil 3.2. Test yapılan binaların yerleşim planı görünümleri ..... 58
Şekil 3.3. Tipik kat planı ..... 58
Şekil 3.4. Bir ve iki katlı betonarme yapıların 3 boyutlu modelleri ..... 59
Şekil 3.5. Bir katlı betonarme yapının mod şekilleri ..... 59
Şekil 3.6. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü FAS değerleri ..... 60
Şekil 3.7. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü FAS değerleri ..... 60
Şekil 3.8. Tek Katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü dalgacık zaman frekans değerleri ..... 61
Şekil 3.9. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü dalgacık zaman frekans değerleri ..... 61
Şekil 3.10. İki katlı betonarme yapının mod şekilleri ..... 62
Şekil 3.11. İki katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü FAS değerleri ..... 63
Şekil 3.12. İki katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü FAS değerleri ..... 63

Şekil 3.13. İki katlı analitik yapının çevrel titreşim kaydının Fourier dönüşümleri ..... 64
Şekil 3.14. İki katlı analitik yapının çevrel titreşim kaydının STFT dönüşümleri ..... 64
Şekil 3.15. Tek ve iki katlı yapının kocaeli depremi altında mafsallaşma grafikleri ..... 65
Şekil 3.16. Altı katlı yapı analiz modeli ..... 65
Şekil 3.17. Çevrel titreşim ölçümlerinden elde edilen istasyon kayıtlarının Fourier dönüşümlerinin X (üst) ve Y (alt) yönleri için genlik-frekans içeriği ..... 66
Şekil 3.18. Altı katlı analitik yapının deprem hasar dağılımı ..... 67
Şekil 4.1. Bina genel görünümü ..... 68
Şekil 4.2. Zemin kat kolonda mafsallaşma-1 ..... 69
Şekil 4.3. Zemin kat kolonda mafsallaşma-2 ..... 69
Şekil 4.4. Zemin kat kolonda mafsallaşma-3 ..... 69
Şekil 5.1. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapının X yönlü Fourier dönüşümleri ..... 70
Şekil 5.2. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapının Y yönlü Fourier dönüşümleri ..... 70
Şekil 5.3. Hasarsız yapının katlar arası koveryans grafikleri ..... 71
Şekil 5.4. Hasarlı yapının katlar arası koveryans grafikleri ..... 71
Şekil 5.5. Hasarlı (altta) ve hasarsız (üstte) yapıların dalgacık dönüşümleri ..... 72
Şekil 5.6. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların dalgacık paket dönüşümleri ..... 72
Şekil 5.7. Hasarlı (solda) ve hasarsız (sağda) yapıların hilbert huang dönüşümleri ..... 73
Şekil 5.8. Hasarlı (altta) ve hasarsız (üstte) yapıların STFT dönüşümleri ..... 73
Şekil 5.9. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların Wilson dönüşümleri ..... 74
Şekil 5.10. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların ayrık Gabor dönüşümleri ..... 74
Şekil 6.1. İvme kayıtları hasarlı ve hasarsız katlar arası otokorelasyon ..... 76
Şekil 6.2. İvme kayıtları hasarlı ve hasarsız katlar arası çapraz korelasyon ..... 76
Şekil 6.3. Dalgacık uygulanmış hasarlı ve hasarsız katlar arası dağılım dilimleri ..... 77
Şekil 6.4. Hasarsız, hasarlı ve dalgacık dağılım dilimi grafikleri ..... 77
Şekil 6.5. Hasarsız yapıda katlar arası dalgacık koheryans grafikleri ..... 78
Şekil 6.6. Hasarlı yapıda katlar arası dalgacık koheryans grafikleri ..... 78
Şekil 6.7. Hasarlı ve hasarsız katlar arası dalgacık koheryans grafikleri ..... 79
Şekil 6.8. Dalgacık katsayıları üzerinden korelasyon ve otomasyon grafikleri ..... 79
Şekil 6.9. İvme kayıtları üzerinden katlar arası güç spektral yoğunluk tahmini ..... 80
Şekil 6.10. İvme kayıtlarının Fourierleri üzerinden güç spektral yoğunluk tahmini ..... 80
Şekil 6.11. İvme kayıtları üzerinden katlar arası PMusic metodu kullanımı ..... 81
Şekil 6.12. İvme kayıtlarının Fourierleri üzerinden PMusic metodu kullanımı ..... 81
Şekil 6.13. Hilbert Huang dönüşümü IMF'lere Fourier uygulaması üzerinden korelasyon ve otomasyon grafikleri ..... 82

## TABLOLAR DİZİNİ

Tablo 2.1. Hasarsız yapı periyodunun sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmesi ..... 21
Tablo 2.2. Hasarsız (Modal) ve hasarlı (Modal-NL) yapı periyodunun sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmesi ..... 36
Tablo 2.3. Hilbert dönüşümünü diğer dönüşümlerle karşılaştırma ..... 56
Tablo 3.1. Tek katlı yapının modal parametreleri ..... 59
Tablo 3.2. İki katlı yapının modal parametreleri ..... 62
Tablo 3.3. Altı katlı yapının modal parametreleri ..... 66

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

$\psi$ : Dalgacık fonksiyonu
a : Ölçek
$\tau$ : Yerdeğiştirme
j : Ölçek
k : Öteleme
i : Modülasyon
$h_l$ : Ön IMF
r : Sinyalden arta kalan kısım
t : Zaman (sn)
a(t) : Anlık genlik
$\theta(t)$ : Anlık faz
$\omega$ : Anlık frekans
m : Ortalama zarf

### Kısaltmalar

AE : Anlık Enerji
CWT : Continious Wavelet Transform (Sürekli Dalgacık Dönüşümü)
DB : Daubechies
DMA : Deneysel Modal Analiz
DWT : Discrete Wavelet Transform (Ayrık Dalgacık Dönüşümü)
EASC : Envelope Area of Strain-time Curvature (Uzama-Zaman Eğrisinin Zarf Alanı)
EMD : Ampirical Mode Decomposition (Ampirik Mod Ayrışımı)
FAS : Fourier Amplitute Spectra (Fourier Şiddet Spektrumu)
HHD : Hilbert Huang Dönüşümü
Hz : Hertz
IMF : Intrinsic Mode Function (Özgün Alt Fonksiyon)
MAD : Mean Absolute Deviation (Ortalama Mutlak Sapma)
MWPER : Modified Wavelet Packet Energy Rate (Güncellenmiş Dalgacık Paket Enerji
PGA : Peak Ground Acceleration (Tepe Yer İvmesi)
PGV : Peak Ground Velocity (Tepe Yer Hızı)
PMUSIC : Pseudospectrum using Multiple Signal Classification (Çoklu Sinyal Sınıflandırma Algoritması Kullanan Sözde Spektrum)
SAP : Structural Analysis Program (Yapısal Analiz Programı)
STFT : Short Time Fourier Transform (Kısa Zaman Pencereli Fourier Dönüşümü)
TBDY : Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
WMRA : Wavelet Multi Resolution Analysis (Dalgacık Çoklu Çözünürlük Analizi)
WPER : Wavelet Packet Energy Rate (Dalgacık Paket Enerji Derecesi) Derecesi)
WPT : Wavelet Packet Transform (Dalgacık Paket Dönüşümü)

## YAPILARIN ZAMAN-FREKANS ORTAMINDA HASAR ANALİZLERİ


## ÖZET

Binaların zamanla yapısal koşullarında ve işletme yüklerinde önemli değişiklikler gözlenmektedir. Yapısal sağlığın en büyük tehlike gösterdiği şartlar deprem gibi şiddetli dinamik kuvvetlerin etkisiyle gerçekleşir. Oluşan hasarların fark edilmesi veya erken tanı konulmasıyla yapıya uygulanacak onarım ve güçlendirme yapının geri kazanımı açısından çok önemlidir. Bu çalışmada gerçek yapı üzerinden klonlama tekniğiyle üretilen analitik model üzerinde yürütülecek testlerle yapı sağlığı olarak ifade edilebilecek durum tespiti ve hasar tanılama çalışması yürütülmüştür. Yapının dinamik özellikleri elastik doğrusal tasarım çerçevesine uygun olarak zayıf titreşim girdi kuvvetleri altında yapısal titreşim metotlarından biriyle çalışılarak belirlenmiştir. Hasarlı yapı parametreleri üzernden durum tespitinin belirleyici faktörleri dalgacık, Hilbert Huang ve benzeri dönüşümlerle zaman-frekans alanında çalışılmıştır. Fourier ve Huang için ayrıştırma teknikleri, avantajları ve dezavantajlarıyla birlikte tartışılmıştır. Yönetmelik değerlerinin tutarlılığının sınanması ve hasar tespit metotlarının hasarı belirleme gücü elde edilen sonuçların ışığında istatistiksel olarak tartışılmıştır. Makine karar algoritması erken aşamada küçük çaplı hasar tespiti için geliştirilmiştir. Son bölümde, tam otomatik hasar algılama ve tanılama örnekleri için bir yaklaşım ele alınmıştır.



**Anahtar Kelimeler:** Dalgacık Dönüşümleri, Hasar Tanılama, Hilbert Huang Dönüşümü, Yapı Sağlığı İzleme, Zaman-Frekans Analizi.

## DAMAGE ANALYSIS OF THE STRUCTURES IN TIME-FREQUENCY DOMAIN


## ABSTRACT

Significant changes are observed in structural conditions and operational loads of buildings over time. The conditions in which structural health shows the greatest danger are realized by the effects of strong dynamic forces such as earthquakes. The repair and retrofitting of the building is very important for the recovery of the building due to the damage being detected or early diagnosis. In this study, due diligence and damage diagnosis studies that can be expressed as structure health were carried out with tests to be done on the analytical model of the actual structure produced by cloning technique. The dynamic properties of the structure were determined in accordance with the elastic linear design framework by working with one of the structural vibration methods under the weak vibration input forces. Determinants of due diligence on damaged structure parameters were studied in the time-frequency domain with wavelet, Hilbert Huang and other similar transformations. Decomposition techniques with advantages and disadvantages are also discussed for Fourier and Huang. The consistency of the regulation values and the sensitivity levels of the damage detection algorithms were discussed statistically in light of the results obtained for the real field data. Machine decision algorithm is developed for minor damage identification in early stage. In the final part, an approach for fully automatic detection and recognition examples are discussed.



**Keywords:** Wavelet Transforms, Damage Identification, Hilbert Huang Transform, Structural Health Monitoring, Time-Frequency Analysis.

# GİRİŞ

Günümüzde akıllı binalar olarak tanımlanan, hareket sensörleriyle yapı sağlığının anlık olarak izlendiği ve olası deprem karşısında hasarın hangi bölgede ve mertebede olduğunu tespit edebilen sistemler mevcuttur. Bu sistemlerde hasarı tanılamak için faydalanılan temel prensip yapısal elemanlarda oluşabilecek hasarların yapının frekans, mod şekli gibi parametrelerini değiştirmesidir. Tespit edilmek istenen modal parametreler gürültü, ortam kaydı ya da deprem kaydıyla belirlenebilmektedir. Deprem etkisiyle hasar almış ya da almakta olan yapılardan elde edilen sinyallerde durağan ve doğrusal olmayan özellikler mevcuttur. Bu tür sinyalleri çözümlemede Fourier dönüşümlerinin durağan ve doğrusal yapısı dolayısıyla yeterli ve gerçekçi sonuçlar elde edilememektedir. Fourier spektral analizi sadece durağan sinyaller için bir anlam taşımaktadır ve deprem hareketi durağan olmadığından bu tür sinyallerin Fourier spektral analizi zaman ve frekans üzerindeki enerji dağılımını yakalamada başarısız olmaktadır (Zhang ve diğ. 2003). Fourier dönüşümleri sinyalleri sinüs fonksiyonuyla alt sinyallere ayırmaktadır, bu fonksiyonun yapısal olarak sonsuza gitmesi ve frekansı değişken karakterdeki sinyalleri ayrıştırmada yetersiz kalması dolayısıyla yeni analiz araçlarına ihtiyaç duyulmuştur. Bu analiz araçlarından olan ve zaman-frekans ortamında kullanılan yöntemlerden başlıcaları dalgacık ve Hilbert Huang dönüşümleridir. Dalgacık sınırlı süreli olan; ortalaması, başlangıç ve bitiş değeri sıfır olan dalga formlarına denilmektedir. Yapı sağlığında ve hasar tanılama çalışmalarında kullanılan dönüşümler ele alındığında zamana bağlı sinyallerde sabit frekansa sahip basit dalgalar için Fourier transformasyonları yeterli olmasına karşın gerçek ortamdaki frekans içeriği zamana bağlı olarak değişebilmekte ya da belirli bir an için titreşim, anomali ya da başka bir olay gerçekleşebilmektedir. Hilbert Huang dönüşümü (HHD) ise ilk olarak 1998 yılında Norden E. Huang tarafından geliştirilmiştir. Bu dönüşüm herhangi bir alt sinyal kullanılmaksızın analiz edilen veriye uyarlanan ve her veride farklı alt fonksiyonlar üretilen adaptif bir yöntem olarak kullanılmaktadır. Herhangi bir matematiksel denklemle ifade edilemediğinden teorik altyapısı henüz tamamlanamamıştır.

HHD, önümüzdeki birkaç yıl içinde yapıların yerinde izlenmesi için en çok kullanılan akıllı sinyal işleme sistemi haline gelebilir. Dalgacık dönüşümü günümüzde bazı araştırmacılar tarafından kullanılmaktadır ancak HHD, durağan olmayan ve doğrusal olmayan verilerin analiz edilmesi için büyük bir potansiyel sunmaktadır.

Tahribatsız hasar tanılama metotları yerel ve global olarak iki kısımda değerlendirilmektedir. Yerel hasar tanılama teknikleri olarak kullanılan ultrasonik ve x-ışını gibi metotlar genelde hasar konumuna yakın bir önbilgi ve test için kolaylıkla ulaşılabilir durumda olmasını gerektirdiğinden inşaat mühendisliği yapılarında yeterli çözümü sunamamaktadır. Bu zorlukların üstesinden gelebilmek için global hasar tanılama teknikleri geliştirilmiştir. Global hasar tanılama teknikleri, algoritmaları ve metotları çok geniş bir yelpazede farklı büyüklükteki yapılar üzerinde çalışılmıştır. Bunlar kiriş ve döşeme gibi temel yapısal elemanlardan köprüler ve yüksek yapılara kadar uzanan büyük yapılar üzerinde test edilmiştir. Doebling ve diğ. (1996) 1996 yılına kadar yapılagelen çalışmalar hakkında geniş bir araştırma sunmuştur. Sohn ve diğ. (2001) daha sonra bu araştırmanın 2001 yılına kadar yapılan araştırmaları kapsayan güncellenmiş versiyonunu sundular. Her iki makale de tanılama için çıkarılan özellikler hasar tespiti yöntemlerini sınıflandırmak için kabul edilmiştir. Bu sınıflandırmayı takiben Carden ve Fanning (2004), 1996 ve 2003 yılları arasında yayınlanan makaleler üzerinde literatür taraması yapmıştır.

Son yıllarda sensörler maliyetlerin düşmesi ve teknolojinin gelişmesiyle birlikte yaygın olarak uygulanabilir hale gelmiştir. Bundan otuz sene öncesinde bir yapı üzerinde sadece üç adet ivmeölçer kullanılmakta ve yeterli görülmekteydi. Şimdi ise maliyetlerinin düşmesiyle birlikte tek bir yapı üzerinde yüzlerce sensör yerleştirilebilmektedir.

# 1. GENEL BİLGİLER

Yapılarda hasar tespiti ilk olarak gözle muayene şeklinde başlamıştır. Deprem sonrası durum tespiti yapılan binalarda hasarın oluşumu ve türü ile ilgili yorumlar yapılmıştır. Yapıda oluşan çatlakların sebepleri ve kırılma çeşitleri bu metotla sahada belirlenebilmektedir. Ancak bu tespit metotları yapıda oluşabilecek hasarlar hakkında deprem öncesinde tahminde bulunmada yetersiz kalmaktadır. Günümüzde binaların yerel ve global davranışlarını modelleyebilmek için bir çok analiz programı mevcuttur. Ancak bu analiz programlarındaki modeller sahada inşa edilmiş olan yapıdan oldukça farklı bir şekilde hasar görebilmektedir. Özellikle analiz sonucundan elde edilen deplasmanlar, kuvvetler ve kırılma mekanizmaları deprem sonrası sahadan ölçülen verilerle örtüşmemektedir. Nitekim 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde projelendirilmiş olan yapılarda öngörülen hasar senaryolarıyla sahada gözlemlen hasarlar birbirinden oldukça farklı çıkmıştır. Bu sebeple yapıların inşa edildikten sonra modelle olan uyumsuzlukları gidermek ve doğru hasar senaryolarını tespit edebilmek için yapı tanılama teknikleri geliştirilmiştir. Yapı tanılama tekniği fiziksel tabanlı yapıdan elde edilen statik ve dinamik verilerle oluşturulan ve yapının sağlığı ve performansıyla ilgili karar vermede kullanılan sonlu elemanlar modelini elde etmek için yapılan işlemlerdir. Yapıya konumlandırılacak olan ivme ölçerlerden elde edilen modal parametrelerle analitik modelden elde edilen parametreler mukayese edildikten sonra model verilerinin saha ile uygun olacak şekilde kalibre edilmesiyle işlemler tamamlanmış olacaktır. Kalibrasyon işlemleri için yapının kütlesi ve rijitliği gibi değerleri kullanılabilmektedir.

Yapıların, analitik modelleriyle olan davranış farklılıkları birçok etkene bağlıdır. Bunlar malzemenin heterojen yapısı, zeminin basınca ve neme bağlı olarak zamanla değişik özellikler sergilemesi, sıcaklığa bağlı olarak artan gerilme kuvvetleri, yapıda bulunan ve zamana bağlı olarak değişen yani sabit olmayan işletme yükleri, büyük çatlama ve akma gibi doğrusal olmayan mertebeye ulaşmış olan eleman hasarlarıdır. Sahada oluşabilecek bu farklılıkların dışında modellemeyle ilgili hatalar da söz konusu olabilmektedir. Bunlar perde elemanların çubuk ya da kabuk olarak girilmesi,

geometrik hatalar, mesnet koşullarının kabulü gibi seçenekler olabilir. Ayrıca birebir aynı model kurulmasına rağmen farklı analiz programları birbirinden ayrı sonuçlar da verebilmektedir. Burada seçilecek olan programının akademik olarak da uluslararası kabul görmüş olması önemlidir.

Amerikan İnşaat Mühendisleri Birliği yapı tanılamayı altı adımlı bir işlem olarak tespit etmişlerdir. Bu adımların üzerinde durulacak olursa ilk olarak yapının kullanım amacı belirlenmelidir. Yapının hangi yükler altında hizmet vereceği, rüzgar ve deprem etkisi altındaki davranış kabulleri, titreşim ve çatlama gibi durumların tespiti, yapı güçlendirmesi ve yaşlanma gibi şartların belirlenmesi sayılabilir. İkinci adımda ölçümleme, görselleştirme ve ilk modelleme yapılır. Yapı projesinden kat planları iki boyutlu olarak elde edildikten sonra saha ölçümleriyle doğrulanarak ve kat yükseklikleri de belirlenerek üç boyutlu olarak modellenir. Bu modellemede perde gibi elemanların eşdeğer olarak sonlu elemanlar yöntemiyle girilmesi işlemleri kolaylaştıracaktır. Yapı temeli modellenirken de taşıyıcı elemanların mesnet koşulları tespit edilecektir. Radye temeller ankastre mesnet olarak tanımlanabilirken, tekil temeller sabit mesnet olarak tanımlanmaktadır. Temeller ayrıca kabuk eleman olarak modellenip mesnet koşulları alansal mesnet olarak da tanımlanabilmektedir. Üçüncü adımda kontrollü deneyler yapılarak sahadan ölçümler alınır. Bu ölçümler çevrel titreşimlerden elde edilebileceği gibi, sarsıcı mekanizmalarla zorlama kuvvetler altında da alınabilir. Dördüncü adımda verilerin işlenmesi ve yorumlanması yapılır. Bu adımda yapıdan elde edilen ham veriler çeşitli filtrelerden geçirilir ve matematiksel modellerle ifade edilir. Yapıyı temsil eden parametreler Fourier, dalgacık gibi matematiksel olarak ifade edilebilen dönüşüm modelleriyle elde edilebilir. Beşinci aşamada fiziksel tabanlı oluşturulan modelin seçimi ve kalibrasyonu yapılır. Sahada elde edilen ölçümlerdeki yapısal parametrelerin analitik model ile örtüşmesi amacıyla rijitlik ve kütle gibi özellikleri güncellenir. Altıncı adımda ise karar verme modellerinin kullanımı yer almaktadır. Bu modelde yapının performansının iyileştirilmesi ve inşa edilmiş olan yapının gelecekte alabileceği dinamik yükler altındaki davranışı tahmin edilerek gerekli kararların alınması sağlanmış olur.

Analitik olarak oluşturulan modele değinilecek olursa yapının sınıfına göre karmaşık ya da basit modelleme teknikleri kullanılabilmektedir.

Bu tez çalışmasında ele alınan yapı Kocaeli ilinde, Gölcük ilçesinde yer alan altı katlı betonarme bir bina, site içerisinde yer alan benzer yapılar arasından seçildi. 17 Ağustos 1999 tarihinde gerçekleşen Kocaeli depreminde bu yapıda oluşan hasarlar saha ölçümleriyle tespit edildi, bitişiğindeki bir ve iki katlı hasarsız yapılar ise ayrıca incelenerek hasarlı yapının ilk halini tahmin etmek için kullanıldı. Bu safhadaki yapı klonlama çalışmalarında modal parametreler referans alındı. Sonrasında elde edilen analitik model üzerinden zaman-frekans alanında hasar tespit çalışmaları istatistiksel olarak çalışıldı.

### 1.1. Amaç

Yapısal hasar analizinde kullanılan zaman-frekans bazlı dönüşüm metotlarının gerçek yapıyı birebir yansıtan analitik model üzerinde kullanılması ve istatistiksel yöntemlerin hasar tespitindeki tartışılması bu tez çalışmasının amacı olmuştur.

### 1.2. Geçmiş Çalışmalar

Araştırmacıların bir çoğu yapı sağlığı izleme sistemlerini anomali tespiti bağlamında tanımlamışlardır. Bunlar zaman-frekans çözünürlüklerindeki tepe noktaları, ani sivriltiler, skalogramdaki düzensizlikler, enerji katsayılarındaki farklılıklar ve eşikleme parametreleri olabilmektedir.

Liew ve Wang (1998) yapısal sistemlerdeki yayılmayan çatlak tespiti için dalgacık dönüşümünün özdeğer analizinden daha etki olduğunu göstermişlerdir. Deng ve Wang (1998) kirişlerde hasarın oluşumu ve konumunu belirleme oranını uzamsal dalgacık dönüşümünü kullanarak araştırmıştır. Sabit yükler altında basit mesnetli kirişi ve dinamik darbe yükü altında konsol kirişi Haar dalgacık dönüşümünü kullanarak tepki sinyalini analiz etmişlerdir. Huang ve diğ. (1998) durağan olmayan ve doğrusal olmayan verilerin analizi için yeni bir yöntem önermiştir. Bu yöntem ampirik mod ayrışımının Hilbert spektral analizi ile birleşmesinden oluşmaktadır. Mallat (1999) tarafından dalgacık dönüşümlerinde kullanılmak üzere iki tür dalgacık fonksiyonu tarif edilmiştir. Bunlar gerçek ve analitik dalgacıklardır. Gerçek dalgacıklar sert sinyal geçişlerini algılamak için, analitik dalgacıklar ise anlık frekans değişimini tanımlamak için kullanılmaktadır. Bir dalgacığın tüm negatif frekansları için Fourier dönüşümü sıfıra eşit ise analitik dalgacık olarak adlandırılmaktadır. Çevrimiçi hasar tespitinde

ani rijitlik kaybı dalgacık yaklaşımı metodu ile çalışılarak sinir ağı ve ampirik mod ayrıştırma metotlarıyla mukayese edilmiştir. (Demetriou ve Hou 1999; Hou ve Noori 1999; Vincent ve diğ. 1999). Vincent ve ark. (1999) HHD'yi, basit bir 3B sistemi olarak modellenen, üç katlı bir çerçeve yapıda hasar tespiti için bir dalgacık analizi ile karşılaştırmıştır. HHD yönteminin hasar seviyesinin belirlenmesinde daha uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Bernal ve diğ. (2000) EMD tarafından sağlanan sinyalin özgün alt fonksiyonların (IMF - Intrinsic Mode Function) anlık frekansını bir hasar tespit aracı olarak incelemiştir. Park ve diğ. (2001) laboratuvar ortamında modellenen ve 300 eleman ve 91 düğüm noktasından oluşan uzay kafes sistemi modal uzama enerjisi metoduyla analiz etmiştir. Bu metotla frekans kaydırma yöntemlerinin aksine şiddetli hasar senaryoları zayıf hasar senaryolarına nazaran daha iyi tanımlanmıştır. Bu durumun deneysel verilerdeki gürültünün maskeleme etkisine bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Patsias ve Staszewski (2002) dalgacık dönüşümlerinin kullanarak optik olarak gözlenen mod şekillerinden hasar tespiti yapılabildiğini göstermişlerdir. Mod şekillerinin dalgacık dönüşümlerinden yardımcı bilgi üretilmiş ve mod şekil deplasmanları yaklaşım sinyallerinden elde edilmiştir. Detay sinyallerinden ise hasar konumu hakkında bilgiye ulaşılmıştır.

Douka ve diğ. (2003) temel titreşim modunun sürekli dalgacık dönüşümünü kullanarak kiriş üzerindeki çatlağın konumu ve büyüklüğünü belirlemiştir. Benzer bir çalışma Gentile ve Messina (2003) tarafından yapılmıştır. Sürekli dalgacık dönüşümünün çatlak konumu ve büyüklüğünün gürültülü ve temiz veri üzerinden tespit edebildiğini göstermişlerdir. Quek ve diğ. (2003) bir çatlaklı bir alüminyum kiriş, iç delaminasyona sahip bir sandviç alüminyum kiriş, farklı hasar derecelerine sahip bir betonarme döşeme gibi hasar tespit problemlerine karşı HHD'nin uygunluğunu göstermiştir. Homojen kirişlerde çatlak ve delaminasyon doğru bir şekilde bulunmuş ve betonarme levhalardaki hasar ilk çatlaktan daha önce yüklenmesi durumunda tespit edilebilmiştir. Zhang ve diğ. (2003) sismoloji ve mühendislik çalışmalarındaki dinamik ve deprem kayıtlarını analiz etmek için Hilbert Huang dönüşümünün rasyonalitesini incelemiştir. Bu çalışmayla HHD tabanlı Hilbert spektrumlarının hareket kayıtları için zamansal-frekans enerji dağılımını hassas ve net bir şekilde ortaya koyabildiğini gösterilmiştir. Ayrıca bu çalışmada tepe yer hızının (PGV - Peak Ground Velocity) depremlerin

yapısal sistemler üzerindeki etkisi açısından tepe yer ivmesine (PGA - Peak Ground Acceleration) göre daha iyi bir ölçü olduğu belirtilmiştir. Bunun sebebi hızın düşük frekanslı hareketin piki ve kare hıza orantılı olan enerjiyle daha doğrudan ilişkili olmasıdır. Yang ve diğ. (2003) ölçülen serbest titreşim zaman hikayesi ile çok serbestlik dereceli doğrusal sistemleri tanımlamak için HHD tabanlı bir yöntem önermişlerdir.

Worden ve Dulei-Barton (2004) tarafından tanımlanan yapısal sağlık izleme sistemlerinin yapıları dalgacık dönüşümlerinin özellikleri sayesinde sinyalin zaman ve frekans çözünürlüklerini iyi bir şekilde sağlamaktadır. Böylece yeniden düzenlenen izleme yapısı araştırmacıları dalgacık dönüşümlerini hasar tespiti ile ilgili özellikleri teşhis etmek için motive etmiştir. Yan ve Yam (2004) enerji spektrumu ve dalgacık paket analizi metodunu bir indis vektörü ile kullanarak küçük yapısal hasarları tespit etmiştir. Belirli bir dalgacık ayrıştırma seviyesinde indis vektörünün en büyük değeri hasarlı moda bağlı olarak hasarı göstermektedir. Son olarak hasarın konumu ve derecesi kompozit bir yapıda tanımlanmıştır. Xu ve diğ. (2004) üç katlı bir bina modeli üzerinden yapısal rijitliğin ani değişiminden kaynaklanan hasarın tespiti için ampirik mod ayrışımının (EMD - Empirical Mode Decomposition) uygulanabilirliğini deneysel olarak test etmiştir. Tua ve diğ. (2004) çatlamanın yönünü tahmin etmek için çatlaktan yansıyan dalgalara karşılık gelen Hilbert spektrumundaki enerji tepeciklerini kullanmıştır. Yang ve diğ. (2004) HHD'yi temel alan iki hasar tespit tekniği önermiştir. EMD'ye dayanan ilk yöntem, ani bir değişiklik nedeniyle hasar sivri uçlarını çıkarırken, ikinci yöntem EMD ve Hilbert dönüşümüne dayanarak hasar anlarını, hasar öncesi ve sonrasındaki doğal frekansları ve sönüm oranlarını belirlemiştir. Chang ve Chen (2004) çok çatlaklı kirişte hasar tespiti için uzaysal Gabor dalgacık tabanlı tekniği sunmuştur. Doğal frekanslar ve çatlak pozisyonları göz önüne alındığında, çatlak derinlikleri geleneksel karakteristikte denklemlere dayanan bir optimizasyon işlemiyle çözülmüştür. Analiz ve karşılaştırmalar bu metodun çatlak pozisyonunu ve derinliğini tespit edebildiğini ve tutarlılığının da iyi seviyede olduğunu göstermiştir. Chang ve Chen (2005) bu tekniği dikdörtgen biçiminde bir plakaya da uygulamışlardır.

Zaman tanım alanındaki titreşimlerden hasar tanılamaları yapan, mod şekli ve frekans gibi modal parametrelerin elde edildiği akıllı binalarda (Xu ve diğ., 2005) deprem sonrası durum tespiti amaçlanmaktadır. Lin ve diğ. (2005) Hilbert Huang

dönüşümünün bir karşılaştırma binasındaki yapısal parametreleri tanımlamada kullanılabileceğini göstermiştir. Ayrıca HHD'nin yapısal hasarların konumu ve mertebesinin tespitinde tutarlı olduğu sonucuna ulaşmıştır. Jha ve diğ. (2005) HHD'yi çok katlı bir yapı için araştırmış ve IMF'lerindeki süreksizliğin bir yapıdaki hasarlı bir olayın varlığını ve konumunu sürekli olarak izlediğini göstermişlerdir. Yu ve diğ. (2005) HHD'ye dayalı makaralı rulmanların arıza teşhisi için bir yöntem önermiştir. Yerel Hilbert marjinal spektrumu bir rulman yatağındaki arızaları teşhis etmek ve arıza modellerini belirlemek için kullanılmıştır. Zhang ve diğ. (2005) HHD'yi durağan olmayan titreşim kayıtlarından inşaat mühendisliği yapılarını etkileyen yapısal hasarları tanımlamak için kullanmışlardır. Peng ve diğ. (2005) rulmanların arıza teşhisi için sürekli dalgacık dönüşümü (CWT - Continuous Wavelet Transform) ve HHD kullanmanın performanslarını karşılaştırmış ve geliştirilmiş bir HHD önerilmiştir. Dalgacık paketi dönüşümü, orijinal sinyali dar bant sinyalleri grubuna dönüştürmek için bir ön işlemci olarak kullanılmış ve daha sonra IMF'leri elde etmek için EMD kullanılmıştır. Sonuç olarak geliştirilmiş HHD'nin CWT'den daha iyi çözünürlük ve verimliliğe sahip olduğu bulunmuştur.

Kim ve diğ. (2006) kiriş benzeri yapılar için dalgacık dönüşümü kullanarak mod şekli eğriliğine dayalı hasar tanılama metodu önermiştir. Bu çalışmada küçük bir hasar varsayımı ve Haar dalgacık dönüşümü kullanarak bir dizi doğrusal cebrik denklemler hasar mekanizmasına bağlı olarak verilmiştir. Salvino ve Pines (2006) ampirik mod ayrışımının faz bilgilerini süreksiz sinyallerden çıkarabilme yeteneğini göstermiş ve sonuçları bir yapıdaki hasarı tespit etmek için kullanmıştır. Pines ve Salvino (2006) EMD ve Hilbert fazı ile yenilikçi bir sinyal işleme aracı geliştirmiştir. Poudel ve diğ. (2007) kiriş tipi yapılarda mod şekli farklılığının kompleks Gaussian dalgacık dönüşümüne dayalı olan bir hasar tespit metodu önermiştir. Gaussian dalgacığı, kompleks Gaussian dalgacığı ve Morlet dalgacığı olmak üzere üç farklı dalgacık dönüşümleri bu çalışmada karşılaştırılmıştır. Kareem ve diğ. (2007) doğrusal olmayan sinyal karakterizasyonunun sürekli dalgacık dönüşümü ve ampirik mod ayrışımıyla Hilbert dönüşümünü incelemiştir. Kareem ve diğ. (2007) bir başka çalışmasında sürekli dalgacık dönüşümü ile Hilbert Huang dönüşümünün gürültü altındaki anlık frekans tahminlerinin performanslarını değerlendirmiştir. Sonuç olarak gürültü seviyesi arttıkça HHD'nin ampirik temellerden sinyal çıkarma ve yeniden

yapılandırma süreçlerinin problemli olduğu ve dalgacık dönüşümünün bu tür analizler için daha güvenilir bir alternatif sağladığı belirtilmiştir.

Dalgacık paket dönüşümü (WPT - Wavelet Packet Transform) hasar tanılama metodu olarak inşaat, uzay ve makine mühendisliği gibi birçok alanda çalışılmıştır. Sami ve diğ. (2008) dalgacık paket enerji bileşenlerini sinirsel ağlar modeline bir girdi olarak tanımlayarak hasar tespitinde kullanmışlardır ve bu metodun hasar tanılamada kullanışlı olduğu sonucuna ulaşmışlardır. Rezaei and Taheri (2009) EMD'ye dayalı yapısal hasar tespiti için bir yöntem sunmuş ve bunu çelik sanayi boruları üzerinde yapılan bir dizi deney aracılığıyla doğrulamıştır. Bao ve diğ. (2009) zamanla değişen sistem tanımlaması için EMD'ye girdi olarak otomatik korelasyon fonksiyonlarını kullanmış ve gelişmiş bir HHD algoritması önermiştir. Bu geliştirilmiş yöntemin, çeşitli hasar senaryolarıyla ölçeklenmiş bir kompozit kirişin modal tanımlanmasına uygulanması küçük titreşim parametresi değişikliklerine karşı çok hassas olduğunu göstermiştir. Zhong ve Oyadiji (2011) sürekli dalgacık dönüşümüne yeni bir yaklaşım önermiştir. Çatlamış basit mesnetli bir kirişin mod şekillerinin iki data seti üzerinden çalışma yapmışlardır. Sonuç olarak orijinal mod şekil verisinin sürekli dalgacık dönüşüm sonuçlarından daha iyi bir çatlak göstergesi elde etmişlerdir. Analitik ve deneysel sonuçlar önerilen yöntemin çatlak tespiti için çatlak olmayan kirişin modal parametrelerini gerektiren çatlak tespit metotlarına göre üstünlüğünü göstermiştir. Kunwar ve diğ. (2013) geçici titreşim verilerinin Hilbert Huang dönüşümünü kullanarak deneysel bir köprü modelinin sağlık takibini göstermişlerdir. Bu çalışmada Hilbert spektrumu, marjinal Hilbert spektrumu ve geçici titreşim ölçümlerinin anlık faz incelemesi, yöntemin hasarı başarıyla algılayabileceğini ve bulabileceğini göstermiştir.

Beata ve diğ. (2015) yapı üzerinde ilerleyen dalgalar üzerinden hasar tanılama çalışması yapmıştır. Yansıyan dalgaların enerjilerinin düşük olmasından hasarı tanımlamanın güçleşmesi neticesinde dalgacık analizleri kullanılmıştır. Hasar sonrasında oluşan yansıma dalgaları üzerinden tanılamayı gerçekleştirmek için Morlet dalgacıklarına dayalı sürekli dalgacık dönüşümü skalogramlarına bakılmıştır. Li ve diğ. (2015) bileşik köprülerde kesme konektörlerinin hasarını tespit etmek için yeni geliştirilen göreceli yer değiştirme sensörlerinden göreceli yer değiştirme ölçümlerini araştırmıştır. Sürekli Dalgacık dönüşümü ve Hilbert Huang dönüşümü, ölçülen

dinamik tepkileri analiz etmek ve hareketli yükler altında bileşik köprü modelinde kesme konektörlerinin hasarını tespit etmek için kullanılmıştır. Nümerik ve deneysel çalışmalar, bağıl yer değiştirme ve ivme ölçümlerinin, köprü hareket halindeki yükler altında kesme konektörlerinde hasar oluşumunun zamanını ve konumunu belirleyebildiğini göstermiştir. Sonuçlar göreceli yer değiştirmenin bileşik köprülerin yapısal sağlık takibi için daha iyi bir tepki niceliği olduğunu göstermektedir. Ghazi ve diğ. (2015) hasar endeksi ve HHD kullanarak yeni bir hasar tespit algoritması önermiştir. Bu algoritmanın önemli yönleri, hasarın doğrusal ve doğrusal olmayan etkilerini ortaya çıkarmak ve hasar tespit olasılığını azaltmak için birkaç hasar endeksini birleştirmek için enerji tabanlı bir yöntem kullanmaktır. Yapısal tepkinin ham sinyalleri algoritmanın tek girdisidir ve geometri, yapılandırma ve yapının malzemesi hakkında hiçbir bilgiye ihtiyaç duyulmamıştır. Laboratuvar modeli yapısı üzerindeki deneyler, yapısal tepkide hasara bağlı doğrusal olmayan niteliklerin enerji tabanlı yöntemle etkili bir şekilde yakalandığını göstermiştir. Hilbert Huang dönüşümü, Fourier analizine kıyasla doğrusal olmayan şeyleri çıkarmada daha verimli ancak bununla birlikte hesaplama açısından yoğun bir işlem olarak görülmüştür. Beyen (2015a) 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar gören altı katlı betonarme yapıdan elde edilen verilerle frekans tanım alanı, zaman tanım alanı ve zaman-frekans tanım alanında olmak üzere üç ayrı yöntemle hasar tanılama çalışması yapmıştır. Bu araştırmada hareket noktasını oluşturan dalgacık güç spektrumu özellikleri, istatistiki tutarlılık ve çapraz korelasyon uygulamalarının yapı sağlığı çalışmalarında elde edilecek sonuçları güçlendirdiğini gösterilmiştir. Beyen (2015b) yapı analizinde sonsuz rijit diyafram plak davranış kabulünün hasarlı yapıda değişmekte ve farklı davranarak hasarlılığın ipuçlarını zaman-frekans alanında HHD analiziyle güçlü olarak verebildiğini göstermiştir. Döşemelerin düzlemlerinde ve düzleme dik yönde yapının hakim modlarıyla çok güçlü etkileşim içinde bulundukları anlaşılmıştır.

Wang ve diğ. (2016) dalgacık paket bileşenlerinin enerjileri üzerinden hasar tespiti ve konumunu belirlemek için modifiye dalgacık paket enerji derecesini (MWPER - Modified Wavelet Packet Energy Rate) geliştirmişlerdir. Bir deneysel çalışma üzerinden dalgacık paket enerji derecesi (WPER - Wavelet Packet Energy Rate), MWPER ve uzama zaman eğrisinin zarf alanı (EASC - Envelope Area of Strain-time Curvature) metotlarını kıyaslamışlardır. Sonuç olarak küçük hasarlarda

MWPER metodunun diğer iki metoda göre daha duyarlı olduğunu göstermişlerdir. Kaloop ve diğ. (2016) analitik bir model üzerinden Daubhecies (Db10) dalgacığını kullanarak sürekli dalgacığın toplam enerjisi ve ayrık dalgacığın dağılımları üzerinden mukayeseli olarak hasar tanılama çalışması yapmıştır. Sonuç olarak ayrık metodun sürekli olana göre daha belirgin olduğu ve hasar tespiti için daha uygun olduğu sonucuna ulaşmıştır. Sonuçların saha ölçümlerinden elde edilen veriler üzerinden deneysel olarak da çalışılması gerektiği belirtilmiştir. Beyen (2017) analitik ve deneysel sonuçları birebir ilişki içinde frekans ortamında transfer fonksiyonlarıyla değerlendirmiş ve gözlenen hata dağılımına katlar arası veya veri imkanı varsa kat içinde bakarak taşıyıcı duvar, duvar yükleri, basitleştirilmiş alansal yayılı yükler ve hasarlı eleman rijitliği için kullanılan plastik mafsal kabullerinin düzeltilebileceğini belirtmiştir. Bu çalışmayla son teknolojik gelişmelerin ışığında izleme, saklama ve veri işlemede algoritmaların yüksek işlem hızında bilgisayarlarla uygulanabilirliği artarken uçak ve uzay araçlarında standart olarak uygulanan deneysel modal analiz (DMA) inşaat mühendisliği yapılarında da uygulanmaya başlandığı vurgulanmıştır.

# 2. YAPILARIN DAVRANIŞI VE DALGACIK DÖNÜŞÜMLERİYLE HASAR TANILAMA

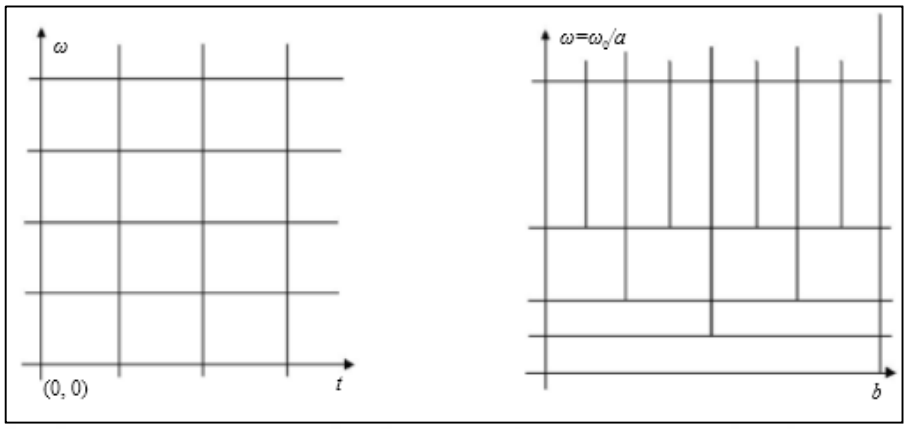
Yapıların tasarımında ve inşaat sonrası yapı izleme metotlarında temel alınan en önemli faktörlerden birisi yapının deprem karşısındaki davranışı ve hasar görebilirlik mertebesidir. Farklı amaçlarla kullanılacak yapılarda hasar mertebeleri sınırlandırılmaktadır ve yapıların tamamının can güvenliğini sağlayacağı öngörülmektedir.

Doğada kendini tekrarlayan fonksiyonlar birbirine dik iki farklı ve tekrarlı fonksiyonun artan frekanslardaki toplamı şeklinde gösterilebilmektedir. Fransız matematikçi Joseph Fourier 19. yüzyılda bu kabul üzerine sinyallerin sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının değişken genlikleriyle ifade edilebileceklerini savunmuştur. Fourier dönüşümünde sinyalin altlıklarını oluşturan sinüs ve kosinüs fonksiyonlarının yapısı gereği ayrıştırma işlemlerini durağan ve doğrusal kılmaktadır. İvme kaydı x(t) olan bir fonksiyonun sonsuz bir tekrar içinde kabul edilirse zaman alanından frekans alanına geçiş için Fourier dönüşümü uygulanılmaktadır.

$$X(\omega) = F[x(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)\, e^{-i\omega t} dt \qquad (2.1)$$

Hasar anomalisini tespit edebilmek için zaman-frekans çözünürlüğünde yaygın olarak dalgacık dönüşümleri kullanılmaktadır. Dalgacık sınırılı süreli olan; ortalaması, başlangıç ve bitiş değeri sıfır olan dalga formlarına denilmektedir. Dalgacık dönüşümleri kısa zaman pencereli Fourier dönüşümlerine (STFT - Short Time Fourier Transform) göre bir takım farklara ve avantajlara sahiptir. Bilindiği gibi kısa zaman pencereli Fourier dönüşümleri de zaman frekans çözünürlüğü vermektedir ancak dalgacık dönüşümlerinden elde edilen çözünürlüklerde sabit bir şekil bulunmamaktadır. Düşük frekanslarda daha iyi frekans çözünürlüğü, yüksek frekanslarda ise daha iyi zaman çözünürlüğü vermektedir. Bu değişken çözünürlük bazı belirli sinyallerde düşük ve yüksek frekansların aynı anda zaman-frekans alanında birleştirilerek görülmesinde avantaj sağlamaktadır.

Dalgacıklar düzensiz, sınırlı süreli ve asimetrik olduğundan anomali, titreşim ve sinyal içindeki olayları iyi tanımlamaktadırlar.




Şekil 2.1. Kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü ile dalgacık dönüşümünün zaman frekans alanındaki mukayesesi

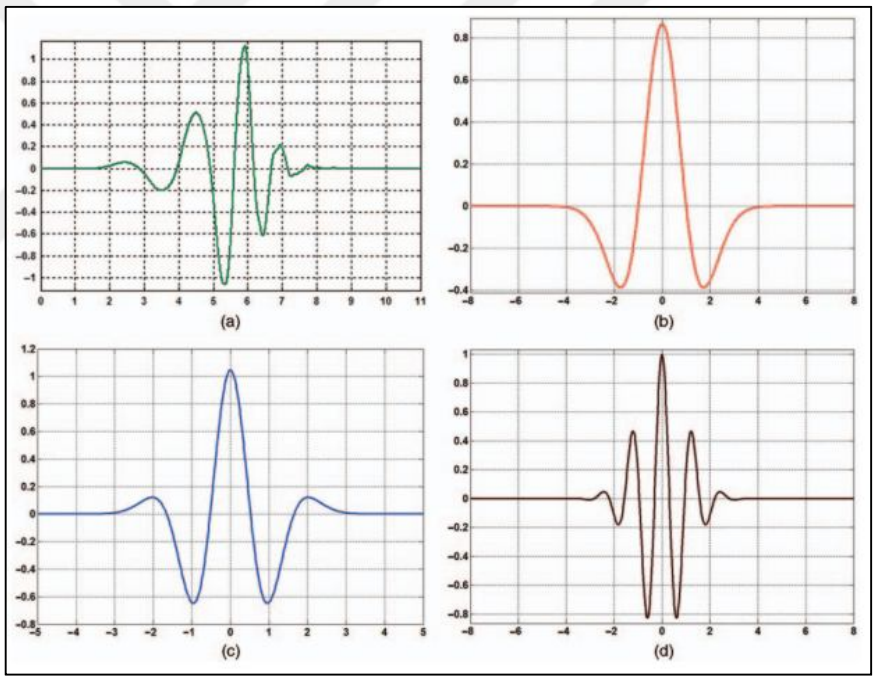
Dalgacık analizine dayalı hasar tespit teknikleri iki farklı yaklaşıma dayanmaktadır. Bunlardan birincisi ayrık dalgacık dönüşümleridir. Bunlar sinyaldeki yaklaşım ve detay seviyelerindeki ani değişimleri tespit ederler. Detay ayrışımındaki ani sıçramalar yapısal hasarla ilişkili olabilmektedir. İkinci yaklaşım olarak sürekli dalgacık dönüşümleri tepki sinyalinin zaman frekans haritasını oluşturarak yapının doğal frekansındaki değişimleri tespit etmektedir. Genel olarak sürekli dalgacık dönüşümleri zaman-frekans analizleri için daha iyi olmakla birlikte ayrık dalgacıklar ayrıştırma, sıkıştırma ve özellik belirlemek için daha uygundur. Ancak dalgacık seçimi her zaman açık değildir. Grossman ve Morlet dalgacıkları en iyi bilinen sürekli dalgacıklardır. Daubechies dalgacıkları bilinen en iyi ortogonal dalgacıklardır. Biortogonal dalgacıklar (örn. Dual B-Dalgacıkları) ayrık dalgacıkların özel durumlarında kullanılır ve iki dalgacık setinden oluşur. Bunlardan birisi ayrıştırma diğeri yeniden inşa etme için kullanılmaktadır. Dalgacık filtrelerinde ayrık (discrete) ve sürekli (continuous) dalgacık dönüşümlerine ilave olarak dalgacık çoklu çözünürlük (multi-resolution) analizi (WMRA) ve dalgacık paket transformasyonu (WPT) olarak da kullanılmaktadır. Zaman alanında x(t) sinyalinin sürekli dalgacık dönüşümü (CWT) şöyle tanımlanmaktadır:

$$\mathrm{CWT}(a,\tau) = \frac{1}{\sqrt{a}}\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right)dt \qquad (2.2)$$

Burada a ve τ değerleri sırasıyla wavelet fonksiyonunun ψ(t) ölçek ve yerdeğiştirme parametreleridir. Zaman alanındaki sinyal dalgacık dönüşümünün ölçeklenmiş ve yer değiştirmiş olan versiyonları 'a' ölçeğinde ve 'τ' ötelemesine göre çoğaltılmaktadır. Ayrık dalgacık dönüşümü (DWT – Discrete Wavelet Transform) ayrık bir zaman diliminde verilen x(n) için şöyle tanımlanmaktadır:

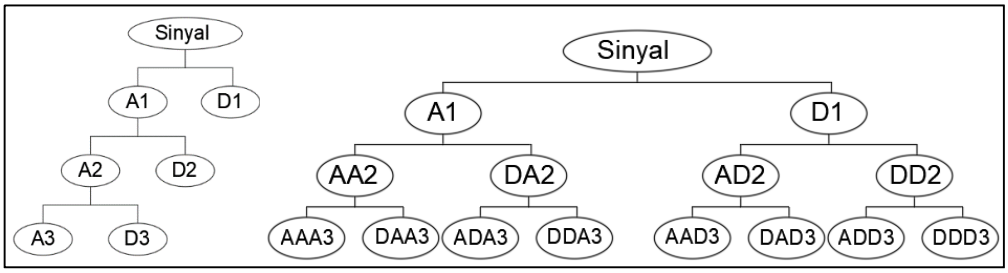
$$C_{j,k} = 2^{(-j/2)} \sum_{n} x(n)\psi(2^{-j}n - k) \tag{2.3}$$

Bu denklemde ψ(n) dalgacık fonksiyonunu, $2^{(-j/2)}$ ve $\psi(2^{-j}n-k)$ ise ψ(n) fonksiyonunun 'j' kadar ölçeklenmiş ve 'k' kadar ötelenmiş versiyonlarını göstermektedir. Dalgacık fonksiyonu olarak kullanılan ana dalgacıklardan bazıları Şekil 2.2'de görüldüğü gibi (a) Daubechies, (b) Mexican hat, (c) Gaussian ve (d) Morlet olarak tanımlanmaktadır.




Şekil 2.2. (a) Daubechies, (b) Mexican hat, (c) Gaussian ve (d) Morlet ana dalgacık fonksiyonlarının gösterimi

Dalgacık çoklu çözünürlük analizi (WMRA), ayrık dalgacık dönüşümünü filtrelerle uygulamak için kullanılan bir tekniktir. Çeşitli çözünürlük ölçeklerinde sinyallerin ayrışmasını sağlamaktadır. İlk olarak Mallat tarafından iki boyutlu görüntü analizleri yapabilmek ve bu işlemleri hızlandırabilmek amacıyla çalışılmıştır.




Şekil 2.3. WMRA ve WPT tekniklerinin karşılaştırılması

Dalgacık paket dönüşümü (WPT), dalgacık çoklu çözünürlük analizine benzer şekilde sinyali ardışık olarak düşük ve yüksek frekans bileşenlerine tekrarlı olarak ayrıştıran bir tekniktir. Ancak WMRA'dan farklı olarak belirli bir seviyede sadece yaklaşım sinyallerini değil detay sinyallerini de ayrıştırmaya devam etmektedir. Dalgacık paketi ölçekleme fonksiyonlarıyla dalgacık fonksiyonlarının ayrışım ve dönüşümlerin ikili dallarını oluşturan bir ailedir. Böylece dalgacık paketleri sinyal özelliklerinin ortonormalitesi ve bunlara karşılık gelen dalgacık fonksiyonlarından elde edilen zaman-frekans konumlarını barındırmaktadır. Bir dalgacık paketi $\Psi_{(j,k)}^{i}$ (t) ile ifade edilen ve üç indisten oluşan bir fonksiyon ile ifade edilebilir. Burada i, j ve k indisleri sırasıyla modülasyon, ölçek ve çeviri parametreleridir. Denklem şu şekilde ifade edilebilir;

$$\Psi_{j,k}^{i}(t) = 2^{j/2}\Psi^{i}\left(2^{j}t - k\right), \quad i = 1,2,3 \ldots \tag{2.4}$$

Bu denklemde i=0 için $\Psi^{0}(t)=\phi(t)$ ve i=1 için $\Psi^{1}(t)=\Psi(t)$ değerini almaktadır. Bu denklemde $\phi(t)$ ölçekleme fonksiyonu ve $\Psi(t)$ ana dalgacık fonksiyonunu ifade etmektedir. i>1 olması durumunda $\Psi i$ ana dalgacık fonksiyonu aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Psi^{2i} = \sqrt{2}\sum_{k} h(k)\,\Psi^{i}(2t - k) \tag{2.5}$$

$$\Psi^{2i+1} = \sqrt{2}\sum_{k} g(k)\,\Psi^{i}(2t - k) \tag{2.6}$$

Burada h(k) ve g(k) ana dalgacık fonksiyonu ile ilişkili dördün ayna filtreleri ve ölçekleme fonksiyonlarıdır.

Hilbert Huang dönüşümü (HHD), özellikle doğrusal olmayan ve durağan olmayan verileri analiz etmek için tasarlanmıştır. Fourier ve dalgacık dönüşümlerine göre anlık frekansları ve genlikleri daha yerel olarak tanımlayabilmek için HHD tercih edilmektedir. Verilerin analizi için kullanılan HHD tekniği, ampirik mod ayrıştırma (EMD) olarak adlandırılan bir ayrıştırma algoritması ve Hilbert spektral analizi adı verilen bir spektral analiz aracı olmak üzere iki bileşenden oluşur. HHD, bir sinyalin salınan bileşenlerini, durağan olmayan veya doğrusal olmayan olsun, yerel olarak tanımlayabilir. İlk önce, EMD sinyali özgün alt fonksiyonlarına (IMF) dönüştürür ve sinyalde yer alan ölçek özelliklerini çıkarır. İkinci bölümde Hilbert dönüşümü IMF'ye uygulanır ve her IMF için bir zaman-frekans gösterimi (Hilbert spektrumu) elde edilir.

Bir IMF, iki şartı sağlayan bir işlevdir:

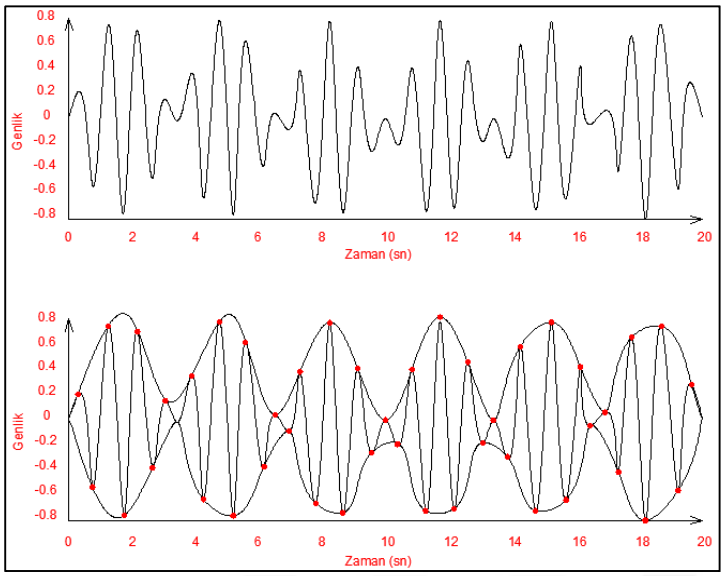
i) Tüm veri setinde, ekstremum sayısı ve sıfır geçiş sayısına eşit olmalıdır ya da farkı en fazla bir olmalıdır.

ii) Her noktada, yerel maksimum ile tanımlanan zarf ile yerel minima tarafından tanımlanan zarfın ortalaması sıfırdır.

Maalesef, çoğu zaman serisi bu ölçütleri karşılamamaktadır. Herhangi bir zamanda, veriler birden fazla salınım modundan geçebilir. Basit Hilbert dönüşümü, genel verinin frekans içeriğinin tam açıklamasını sağlayamamasının nedeni budur. Bu nedenle, aşağıdaki basamakları içeren bir algoritma ile uygulanan EMD prosedürü aracılığıyla verilerden IMF salınım modlarının çıkarılması gereklidir:

a) x(t)'nin tüm ekstremumları belirlenir,

b) Üst zarf $x_U(t)$'yi elde etmek için minimumlar arasında, alt zarf $x_L(t)$'yi elde etmek için maksimumlar arasında Şekil 2.4'teki gösterildiği gibi enterpolasyon yapılır,




Şekil 2.4. Girdi sinyali (üstte), minimum ve maksimumların zarfı (altta)

c) Ortalama zarf m(t) hesaplanır,

$$m(t) = \frac{x_U(t)+x_L(t)}{2}(t + dt) \tag{2.7}$$

d) İçsel salınım modu d(t) çıkarılır,

$$d(t) = x(t) - m(t) \tag{2.8}$$

e) Artık olarak kalan m(t) tekrarlanır.

Pratikte, yukarıdaki prosedür detay sinyali d(t) üzerine, bir kaç durdurma kriterine göre sıfır ortalamalı bir sinyal elde edilene kadar yineleme adımları a) ila d) tekrarlanmalıdır. IMF'nin bileşenlerini elde ettikten sonra ani frekans elde etmek için her bileşene Hilbert dönüşümü uygulamak mümkündür.

Gerçek sinyalin Hilbert dönüşümü değeri x (t) olarak tanımlanır.

$$H[x(t)] = x^* \frac{1}{\pi t} = y \tag{2.9}$$

ya da konvolüsyon tanımı kullanılırsa,

$$y(t) = \frac{1}{\pi} P \int_{-\infty}^{\infty} \frac{x(\tau)}{t-\tau} d\tau \tag{2.10}$$

Bu fonksiyonda P Cauchy ana değerini göstermektedir. Fonksiyon y(t)'den analitik sinyal z(t)=x(t)+iy(t) ya da, in polar formda, z(t) = a(t)eiθ(t) denklemlerini tanımlamak mümkündür.

$$a(t) = \sqrt{x^2(t) + y^2(t)}\ ,\ \theta(t) = \arctan\left(\frac{y(t)}{x(t)}\right) \tag{2.11}$$

Burada a(t) anlık genlik ve θ(t) anlık faz fonksiyonudur. Anlık frekans ω(t) fazın anlık dönüşümünün türevi olarak tanımlanmıştır.

$$\omega = \frac{d\theta(t)}{dt} \tag{2.12}$$

H(ω,t), hem genlik hem de frekansın bir fonksiyonu olduğunda, zaman ve frekans fonksiyonu ile genliği (veya enerjiyi, genlik karesini) ifade edebilir. Marjinal spektrum daha sonra şöyle tanımlanabilir:

$$h(\omega) = \int_0^T H(\omega, t)dt \tag{2.13}$$

Burada (0, T) verinin tanımlandığı alandır. Marjinal spektrum, olasılıksal anlamda tüm veri yayılımı boyunca biriken genliği (enerji) temsil eder ve verilerin bir spektrum ifadesi olarak geleneksel Fourier spektrumuna alternatif bir tanım getirir.

x(t) sinyali şu şekilde yazılabilir,

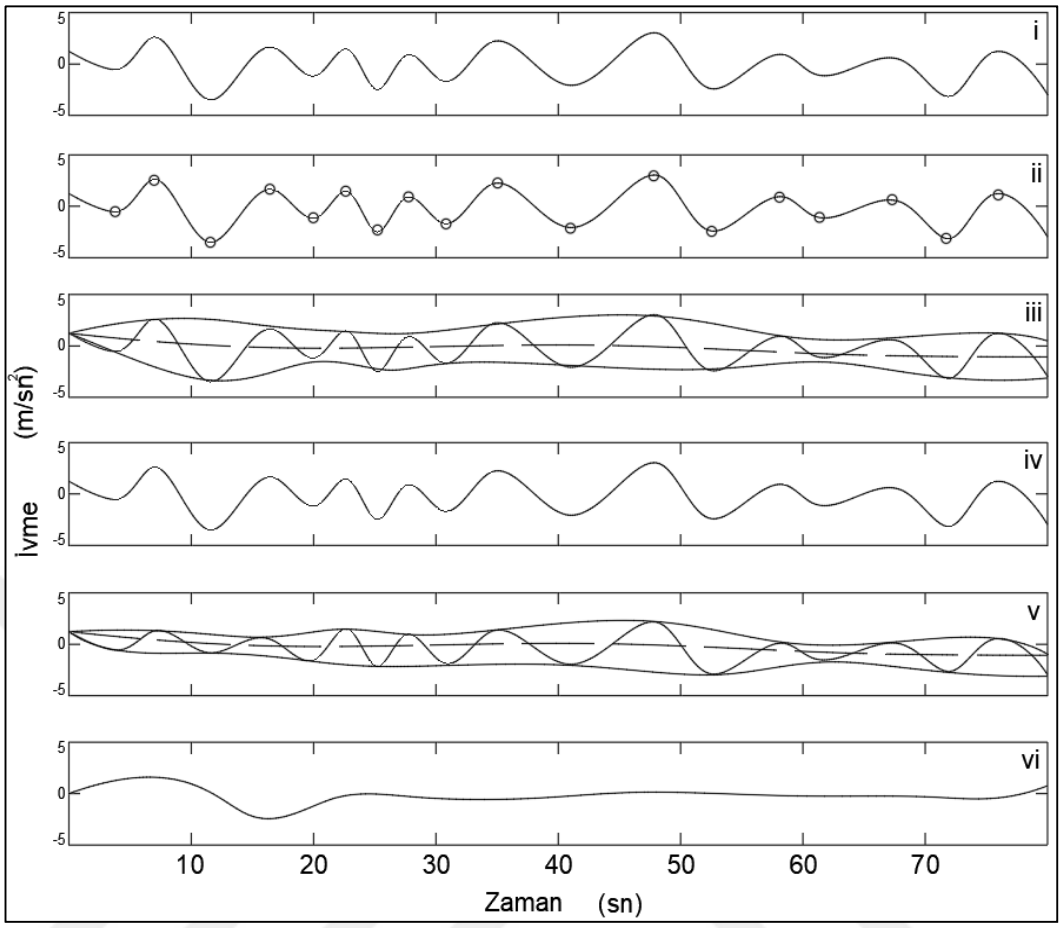
$$x(t) = \mathrm{Re}\left[\sum_{j=1}^{n} a_j(t)e^{i\int \omega_j(t)dt}\right] \tag{2.14}$$

Benzer şekilde, zamanla ilgili olarak sinyal enerjisinin bir ölçüsünü elde etmek mümkündür, eğer Anlık Enerji (AE) hesaplarsak,

$$AE(t) = \int H^2(\omega, t)d\omega \tag{2.15}$$

Girdi sinyali ve $m_l$ arasındaki fark, Şekil 2.5'te gösterilen birinci ön mod $h_l$'dir,

$$h_1 = x(t) - m_1 \tag{2.16}$$




Şekil 2.5. Ampirik mod ayrışımının öteleme işlemleri: (i) rasgele girdi; (ii) girdiye bindirilmiş maksimum ve minimumlar; (iii) üst ve alt zarflar; (iv) IMF'nin ilk örneği; (v) işlenmiş IMF'nin üst ve alt zarfları ve ortalaması; (vi) girdiden IMF çıkarıldıktan sonra kalan sinyal

$h_1$ yalnızca bir ön-IMF olarak ele alınabilir, bir sonraki iterasyonda veri olarak değerlendirilir:

$$h_1 - m_{11} = h_{11} \tag{2.17}$$

işlemler $k$ defa tekrarlandıktan sonra,

$$h_{1(k-1)} - m_{1k} = h_{1k} \tag{2 18}$$

Yaklaşık yerel zarf simetri şartı sağlanır ve $h_{1k}$, IMF $c_1$ olur, başka bir ifadeyle,

$$c_1 = h_{1k} \tag{2.19}$$

Bu ifadedeki $c_1$ Şekil 2.5'te de gösterilen ilk IMF bileşenidir.

Bu ilk IMF, sinyaldeki en iyi ölçeği veya en kısa dönemli salınımı içermelidir;

$$x(t) - c_1 = r_1 \tag{2.20}$$

Geri kalan kısım $r_1$ Şekil 2d'de gösterildiği gibi, hala daha uzun süreli varyasyonlar içerebilir. Bu durumda $r_1$ yeni veri olarak ele alınır ve daha düşük frekanslı bir IMF elde etmek için yukarıda tarif edilenle aynı eleme işlemine tabi tutulur. İşlem, tüm sonraki rj'ye tekrar tekrar uygulanabilir,

$$r_1 - c_2 = r_2 \tag{2.21}$$

...

$$r_{n-1} - c_n = r_n \tag{2.22}$$

Ayrıştırma süreci kalan kısım $r_n$'in monoton bir fonksiyondan veya tek bir ekstremumla, daha fazla IMF'nin çıkarılamayacağı bir fonksiyon haline geldiğinde durur.

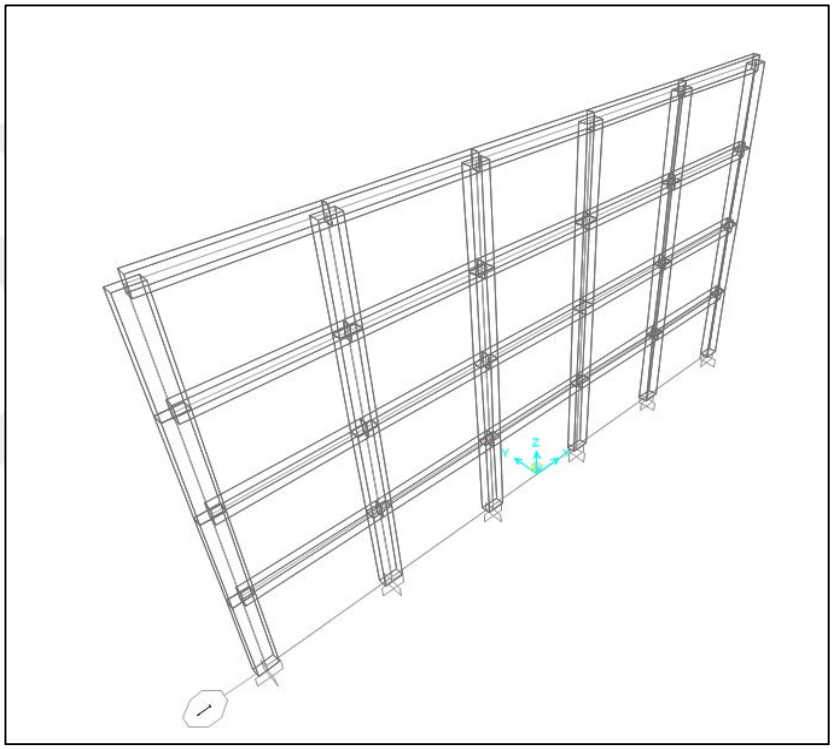
$$x(t) = \sum_{j=1}^{n} c_j + r_n \tag{2.23}$$

Böylece, ilk veriler n tane IMF'ye ayrıştırılır ve kalan kısım olan ve adaptif eğilimli ya da sabit olabilen $r_n$ elde edilir.

Teorik kısma ilave olarak dalgacık ve Hilbert dönüşümleriyle ilgili basit betonarme çerçeve yapılarda örnek çözümlemeler yapılmıştır, Sak ve Beyen (2019). Türk Standartları (TS) 500 ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY) 2018'e uygun olarak tasarlanan dört katlı analitik çerçevede kolonlar 30x60, kirişler 25x50 olarak seçilmiştir. X yönlü açıklıklar 4m, kat yüksekliği 3m'dir. Toplamda 24 kolon ve bunları birbirine bağlayan kirişlerle çerçeve oluşturulacak sinüs girdi kuvveti ile hasar verilerek modal parametreler tespit edilmiştir. İkinci örnekte benzer yapı simetrik üç boyutlu çerçeve olarak modellenerek deprem kuvvetleri uygulanarak dalgacık dönüşümü ile hasar anomalisinin yapısal performansa bağlı olarak nasıl değiştiği tespit edilmeye çalışılmıştır. Üçüncü örnekte simetrik olmayan bir yapı Perform 3D programıyla analiz edilerek sürekli ve dalgacık paket dönüşümü üzerinden relatif

ivme, hız ve deplasman parametreleri ile mutlak ivme kayıtlarına bakılarak çalışılmıştır.

İki boyutlu çerçeve eşdeğer deprem yükü, spektral yükleme ve zaman tanım alanında deprem kaydı ile analiz edilmiştir. Yapı periyodu, yumuşak kat, zayıf kat, burulma düzensizliği durumu, göreli kat ötelemesi ve 2. mertebe gösterge değeri kontrolleri TBDY 2018'e göre uygun aralıklarda çıkmıştır. Yapının modal parametreleri sonlu elemanlar metodu ile belirlenmiştir.



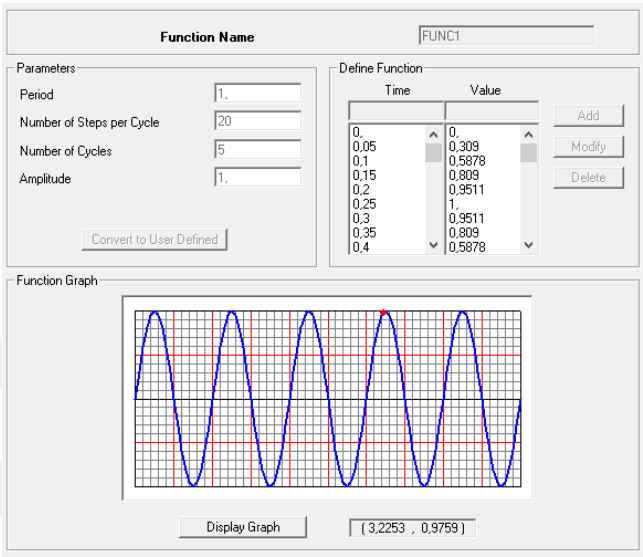
Şekil 2.6. İki boyutlu çerçeve görünümü

Tablo 2.1. Hasarsız yapı periyodunun sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmesi

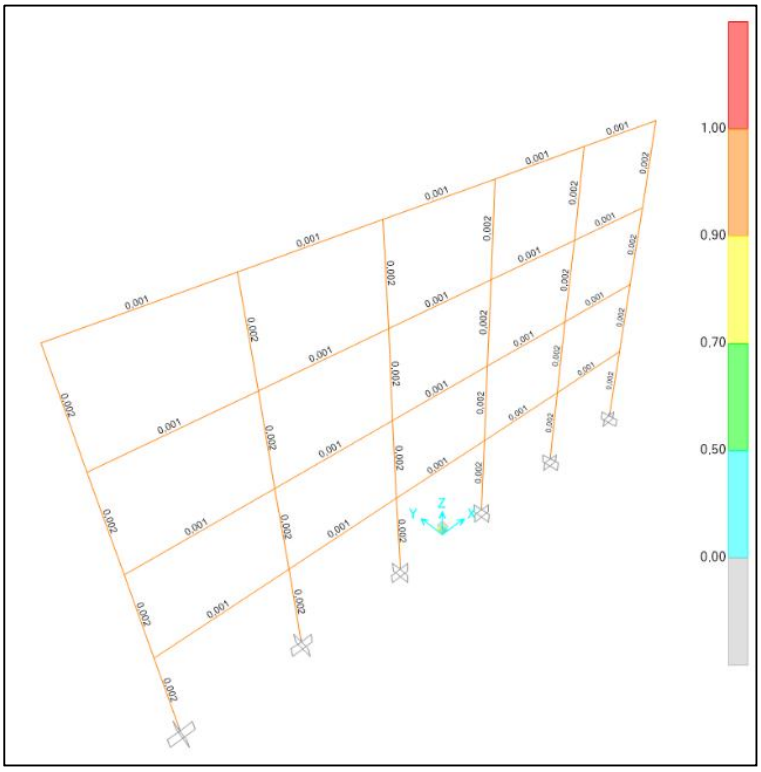
| **Modal Periyotlar ve Frekanslar** | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durum** | **Tip** | **Numara** | **Periyot** | **UX** | **UY** | **SumUX** |
| Metin | Metin | Birimsiz | Sn | Birimsiz | Birimsiz | Birimsiz |
| MODAL | Mod | 1 | 0,195 | 0,829 | 0 | 0,829 |
| MODAL | Mod | 2 | 0,060 | 0,113 | 0 | 0,943 |
| MODAL | Mod | 3 | 0,033 | 0,043 | 0 | 0,986 |
| MODAL | Mod | 4 | 0,023 | 0,013 | 0 | 0,999 |

X yönü için periyot modelimizde 0,195 sn çıkmıştır. Yapı periyot değerleri TBDY 2018'de tanımlanan üst sınırı aşmadığından modal parametreler uygun aralıkta kalmaktadır.

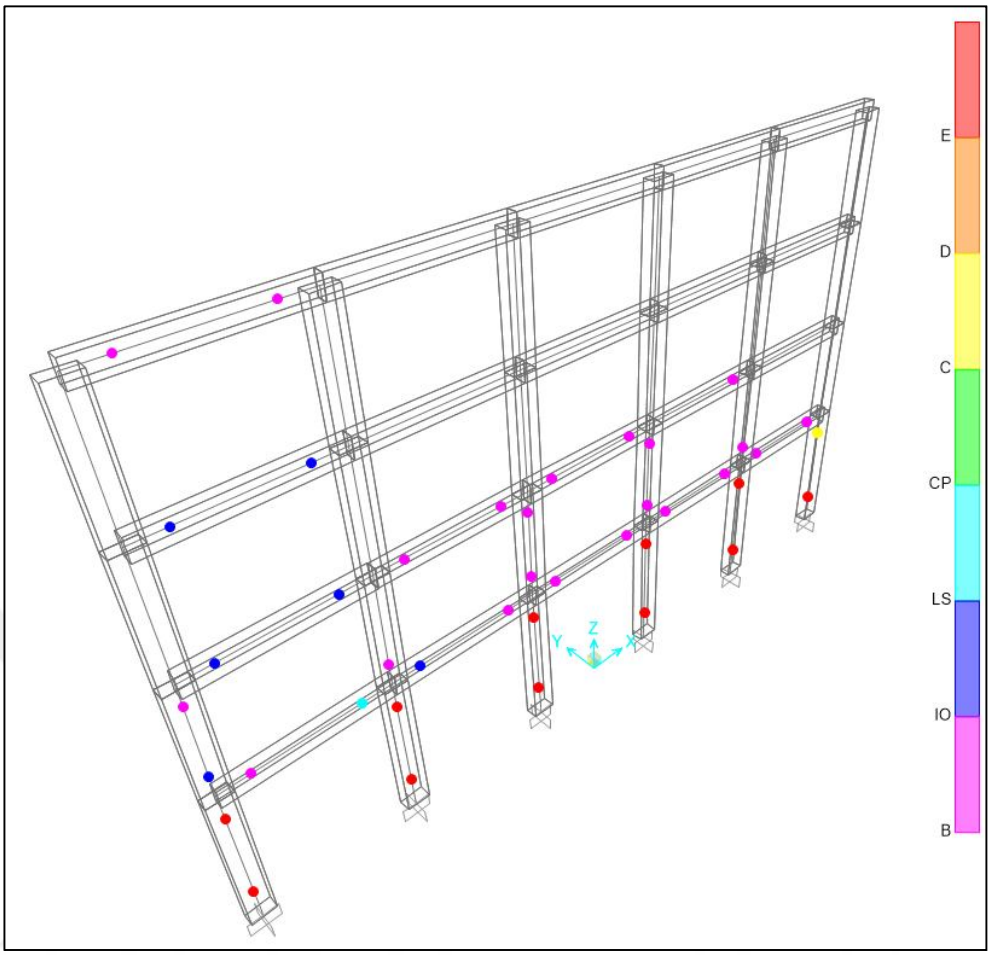
Yapının modal parametreleri dışmerkezli kütle sarsıcı kuvveti ile zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz ile SAP2000 programıyla incelendiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır. Burada dışmerkezli kütle sarsıcı kuvveti, sinüs fonksiyonu olarak Şekil 2.7'de görüleceği üzere tanımlanmış ve 40 çarpanı ile arttırılarak X yönlü ivme olarak betonarme çerçeveye etkitilmiştir.




Şekil 2.7. Sinüs kuvvet fonksiyonu




Şekil 2.8. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu betonarme tasarımı

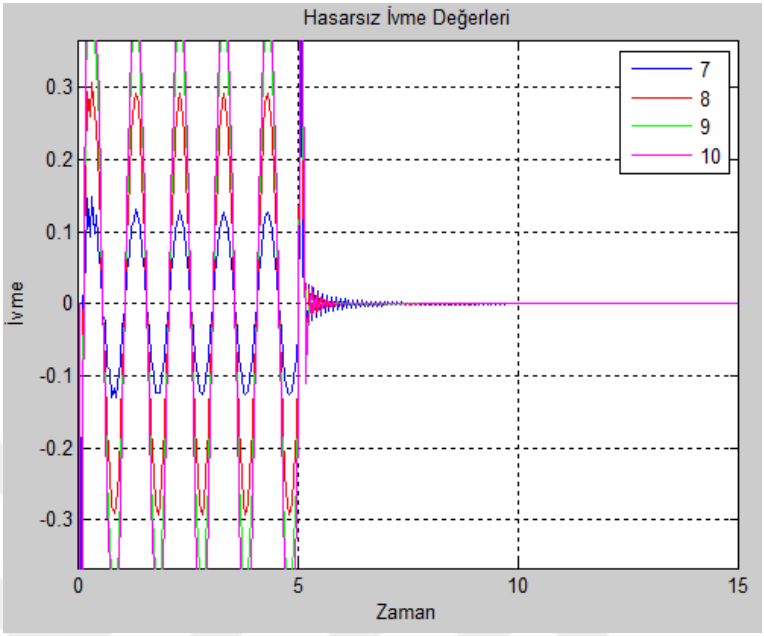



Şekil 2.9. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu mafsallaşma grafiği

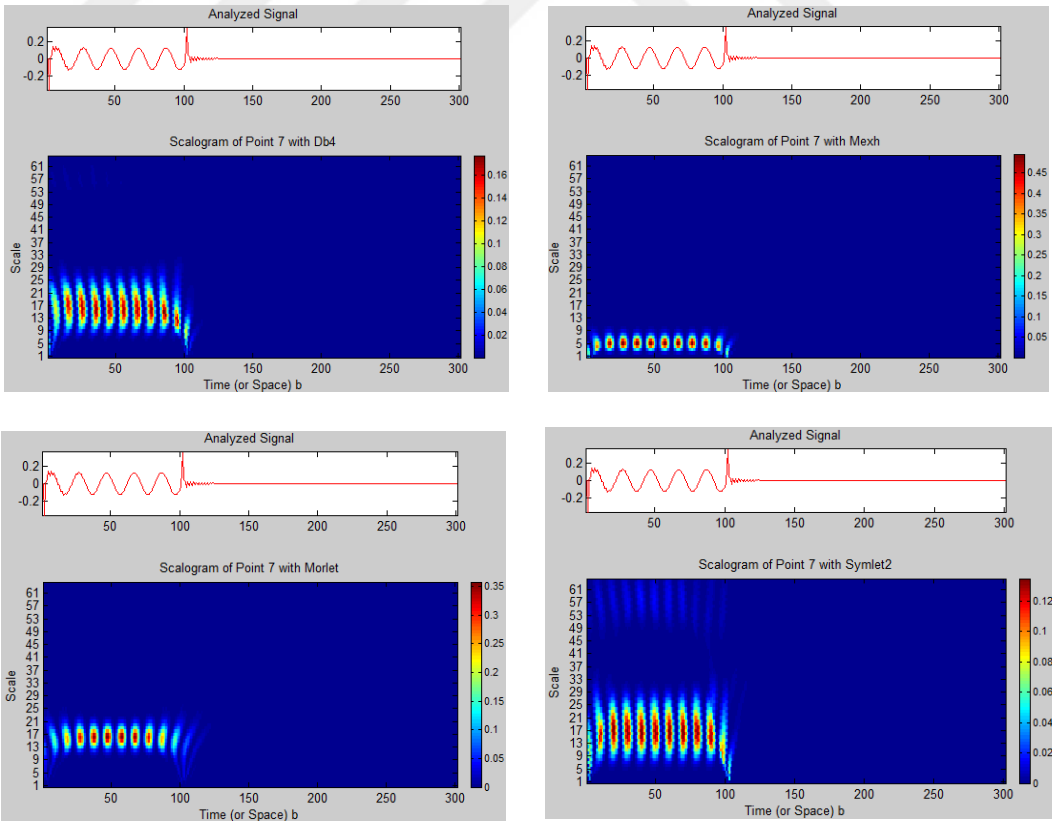
Şekil 2.9'daki görüldüğü üzere yapıdaki kolonların mafsallaşması incelendiğinde 1. ve 2. katta bir takım elemanların göçme öncesi performans seviyesini aştığı gözlemlenmiştir. Buradaki referans şekil değiştirme parametreleri TBDY 2018 değerleri baz alınarak değiştirilmiştir. İlgili oranlar yönetmelik madde 5.8.1.1, 5.8.1.2, 5.8.1.3 ve 5.8.1.4'te mevcuttur.

Yapısal hasar oluşan kolonun alt ve üstünde bulunan kolonlarla birlikte noktasal ivme ölçümü yapılarak, bu noktaların hasarsız (zayıf sarsıcı kuvveti) ve hasarlı (güçlü sarsıcı kuvveti) durumlarının parametreleri Db4, Morlet, Mexican Hat ve Symlet dalgacık filtreleri ile incelenerek iki durum arasındaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için gerekli kodlar MATLAB programıyla yazılmıştır.

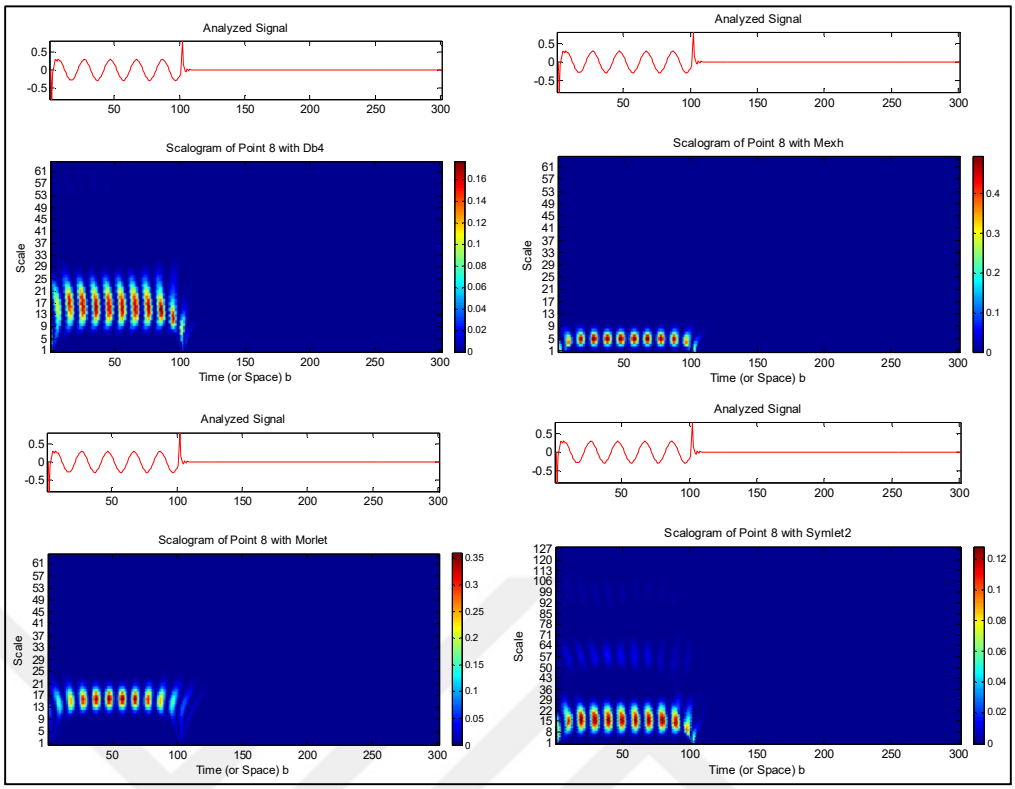
Öncelikle hasarsız durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır. Şekil 2.10'da örnek olarak ele alınan kolonların ivme-zaman grafikleri görülmektedir.



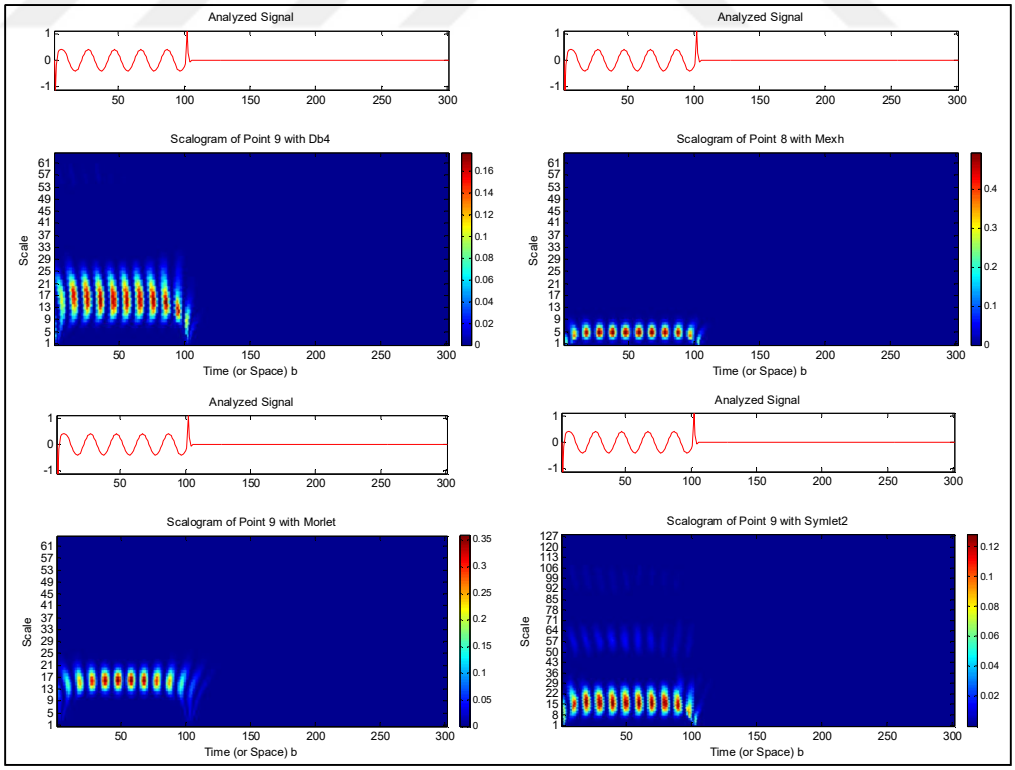

Şekil 2.10. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği



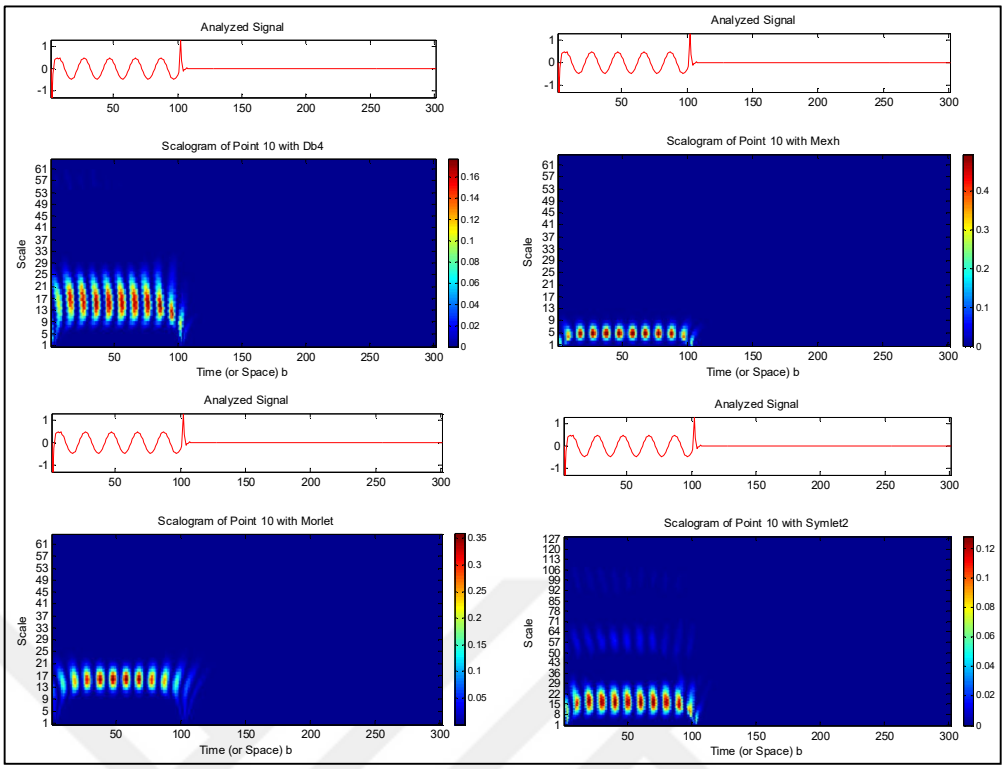

Şekil 2.11. 7 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi




Şekil 2.12. 8 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

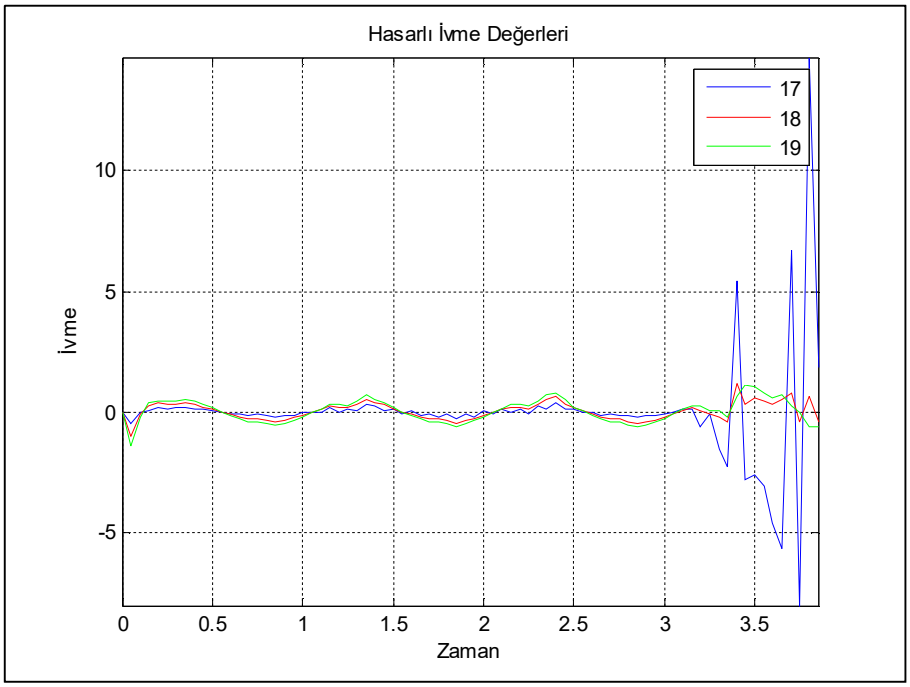



Şekil 2.13. 9 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

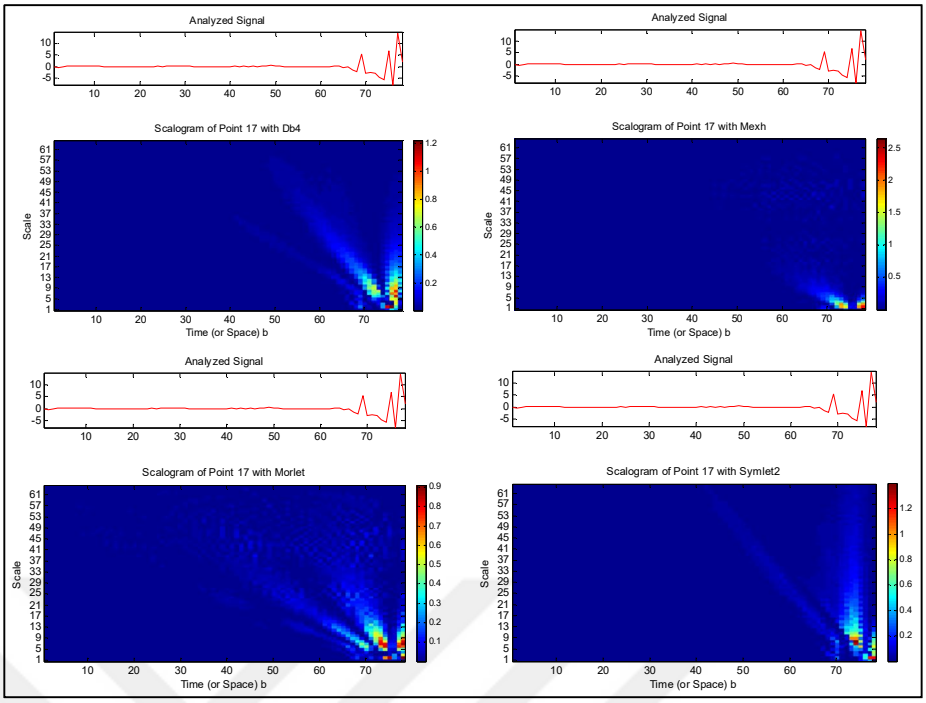



Şekil 2.14. 10 Numaralı hasarsız noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

Şekil 2.11, 2.12, 2.13 ve 2.14'te görüldüğü üzere hasarsız noktaların ölçek katsayıları binde 1-2 aralığındadır. Hasarlı durumu ele aldığımızda Şekil 2.15'teki değerlere ulaşılmaktadır.

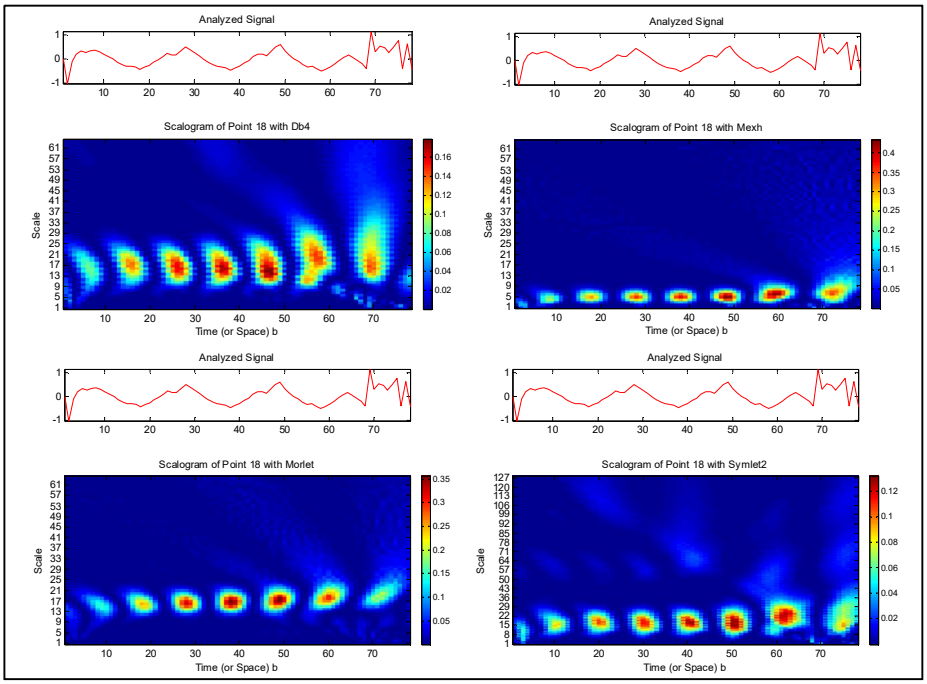



Şekil 2.15. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği

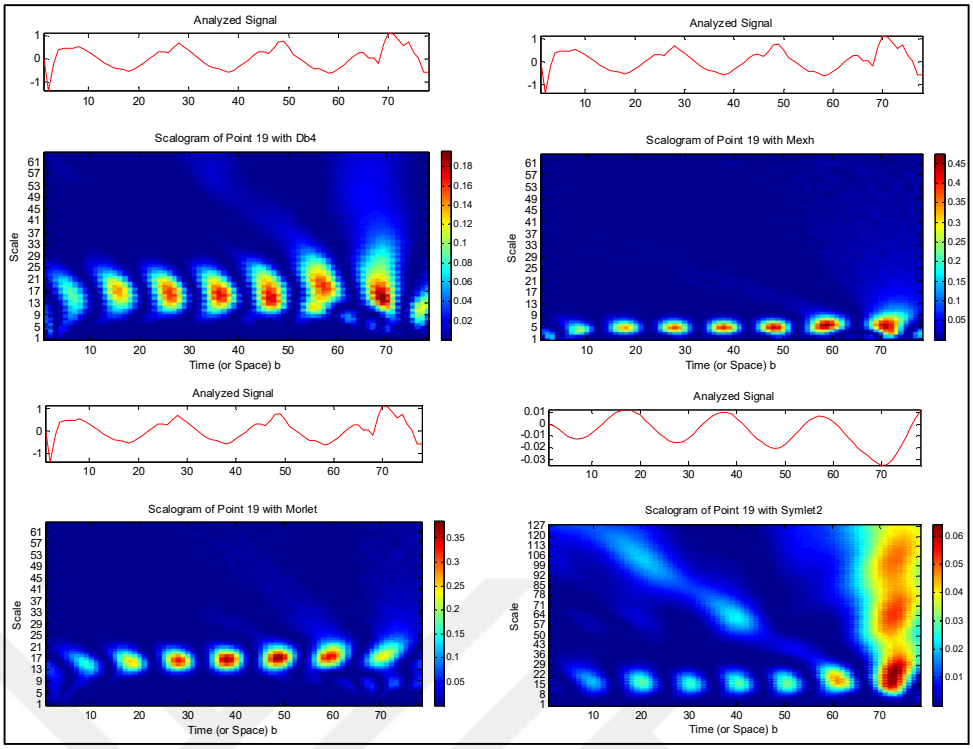



Şekil 2.16. 17 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

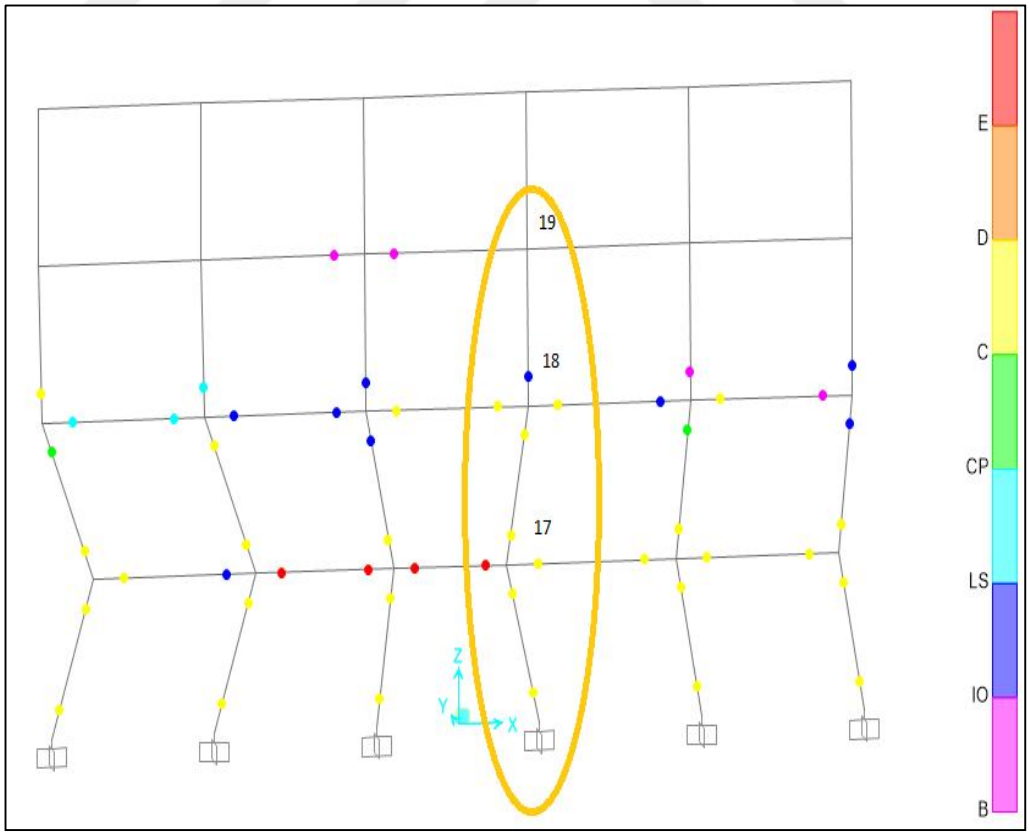
17 numaralı noktada maksimum ivme değerlerinin 15 m/sn$^2$ seviyelerine kadar yükseldiği ve dalgacık filtrelerinde grafiğin sadece sağ alt kısmında enerji yığılmalarının olduğu gözlemlenmiştir.



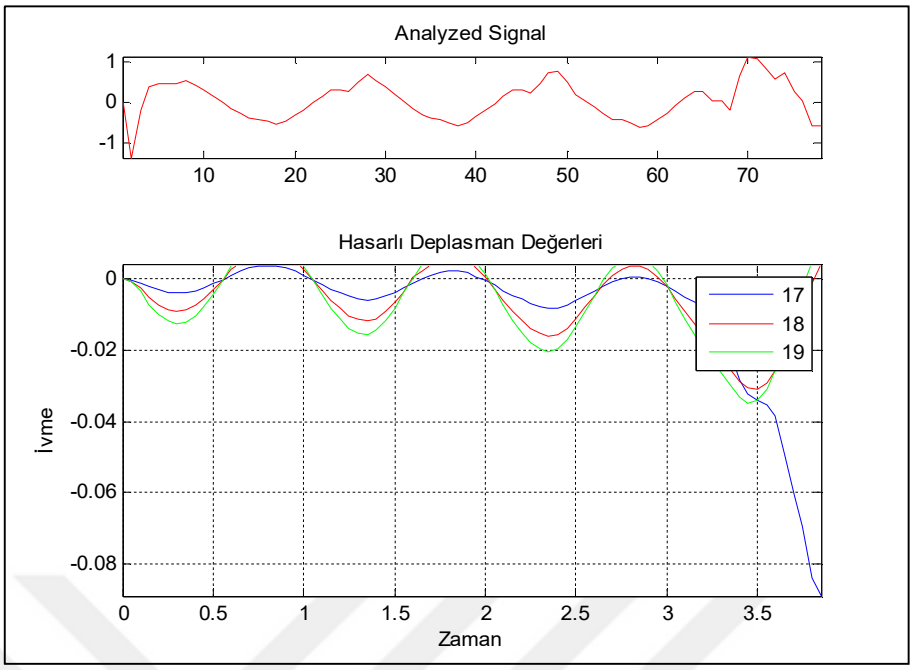

Şekil 2.17. 18 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi



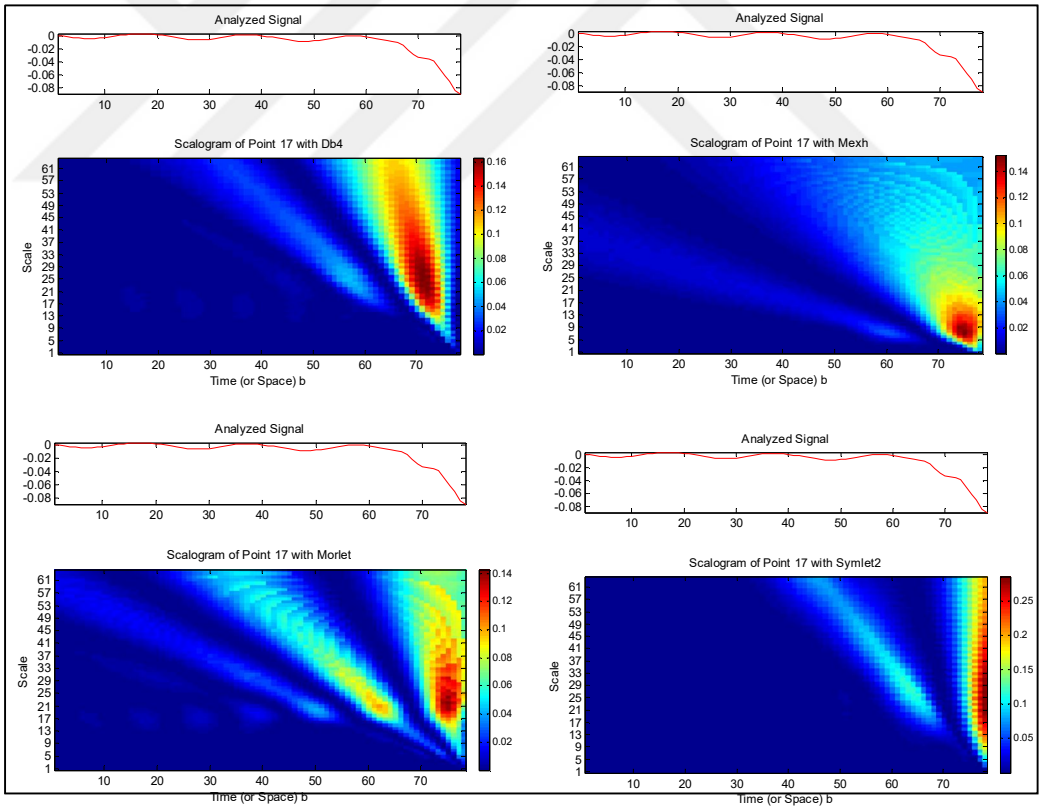

Şekil 2.18. 19 Numaralı hasarlı noktanın Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi




Şekil 2.19. Güçlü sarsıcı kuvveti sonrası yapının hasar seviyeleri

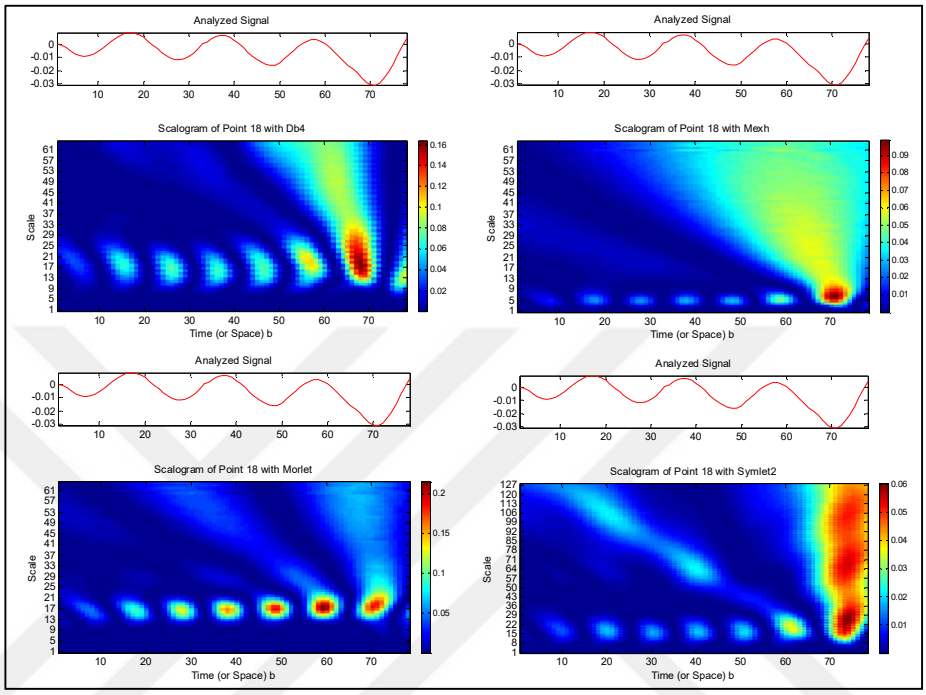



Şekil 2.20. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği

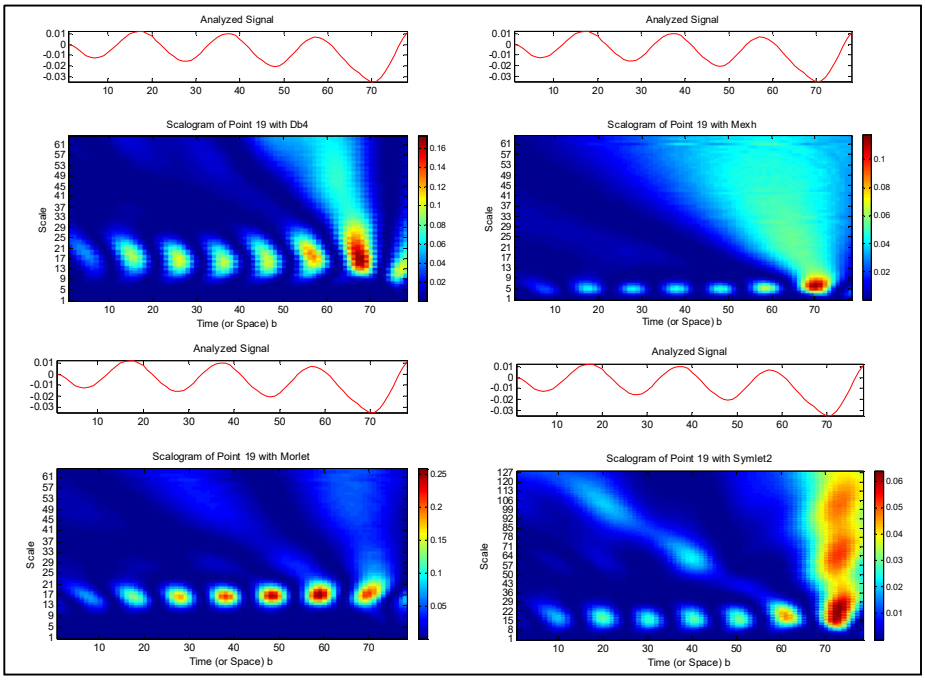



Şekil 2.21. 17 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

17 numaralı noktada maksimum deplasman değerlerinin 8cm seviyelerine kadar yükseldiği ve dalgacık filtrelerinde grafiğin sadece sağ kısmında enerji yığılmalarının olduğu gözlemlenmiştir. Grafiklerde frekans mertebesinin ölçek ile ters orantılı olarak zamanla düştüğü gözlemlenmiştir.

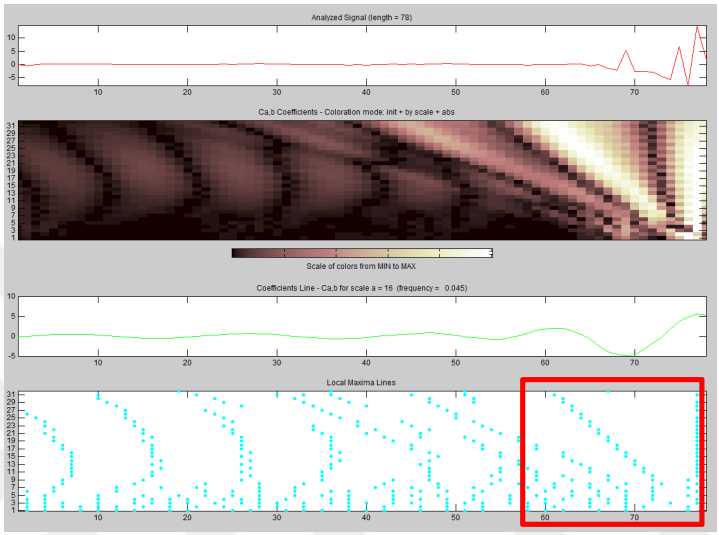



Şekil 2.22. 18 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi



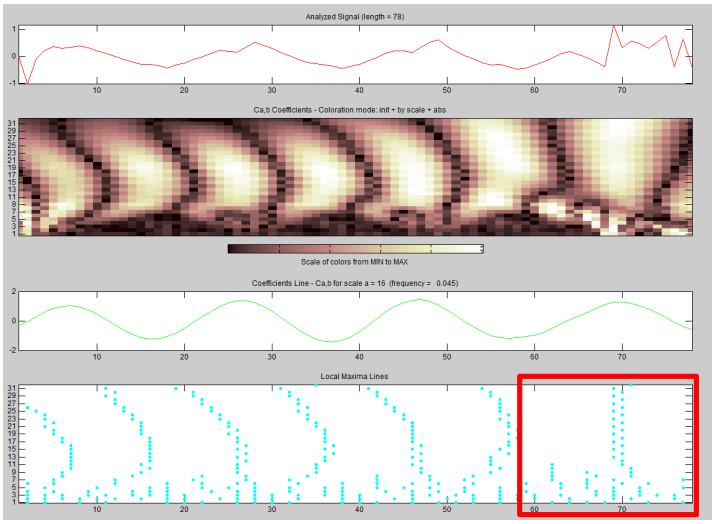

Şekil 2.23. 19 Numaralı hasarlı nokta deplasmanlarının Db4, Morlet, Mexh ve Sym2 ile analizi

Hasarlı ve hasarsız noktaların ivme parametreleri ile sürekli dalgacık dönüşümü yapıldığında hasar oluşumu ile ilgili olarak net bir görüntü elde edilebilmektedir. Yerel üst çizgilerinde son aşamada kırıklara rastlanmaktadır. Bu çapraz kırılmalar hasara işaret eden bir parametre olarak değerlendirilebilir. Aynı kuvvet etkisi altında hasarlı eleman ivme değerlerinin hasarsıza göre on kat fazla olması da elemanın hasar almasıyla ilişkilendirilebilir.



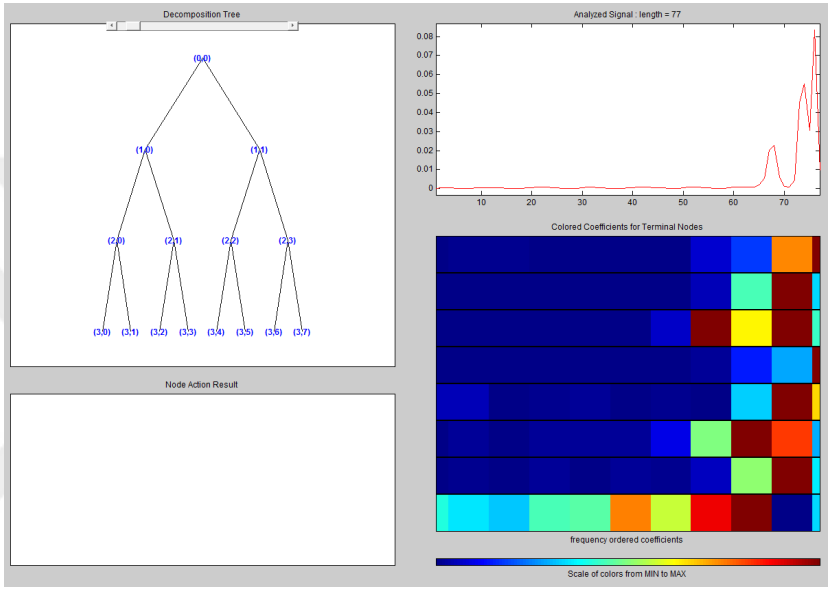

Şekil 2.24. 17 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile analizi

Hasarsız noktayı ele aldığımızda yerel üst çizgisinin tekrar hasarlı elemandan farklı olarak süreklilik gösterdiğini belirtebiliriz.

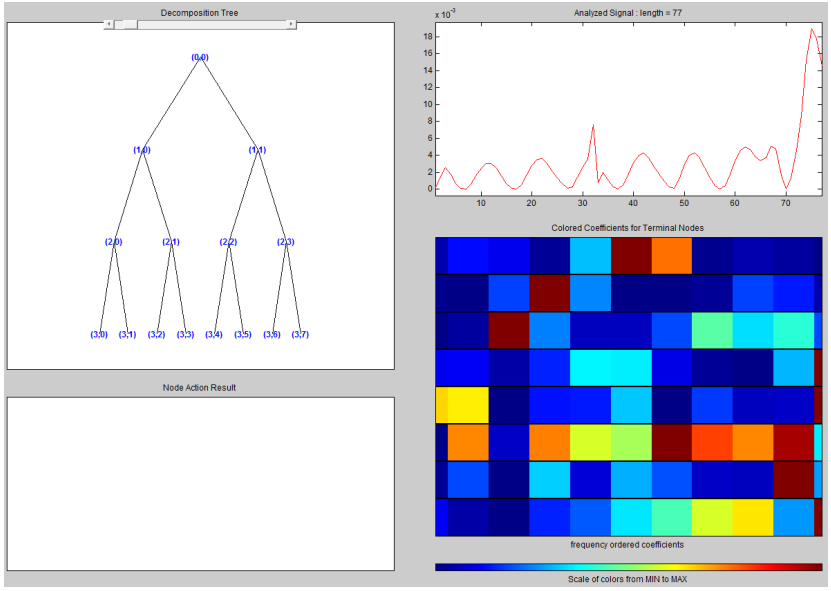



Şekil 2.25. 18 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile analizi

Dalgacık paket dönüşümü ile hasarlı ve hasarsız noktalara bakıldığında hasar anında belirgin bir şekilde tespit yapılabilmektedir. Hasarlı ve hasarsız noktaların enerji parametrelerine bakıldığında ise aynı kuvvetin etkidiği iki benzer kirişten hasarlı olanın enerji değerleri hasarsız olana göre dört kat daha fazla çıkmaktadır. Bu durum dalgacık paket dönüşümünde de belirgin bir şekilde görülmekte ve hasar belirtileri koyu kırmızı renklerle grafiğin sağ kısmında yoğunlaşmaktadır. Hasarsız noktada ise bu değerler zamana yayılı bir şekilde görülmektedir.

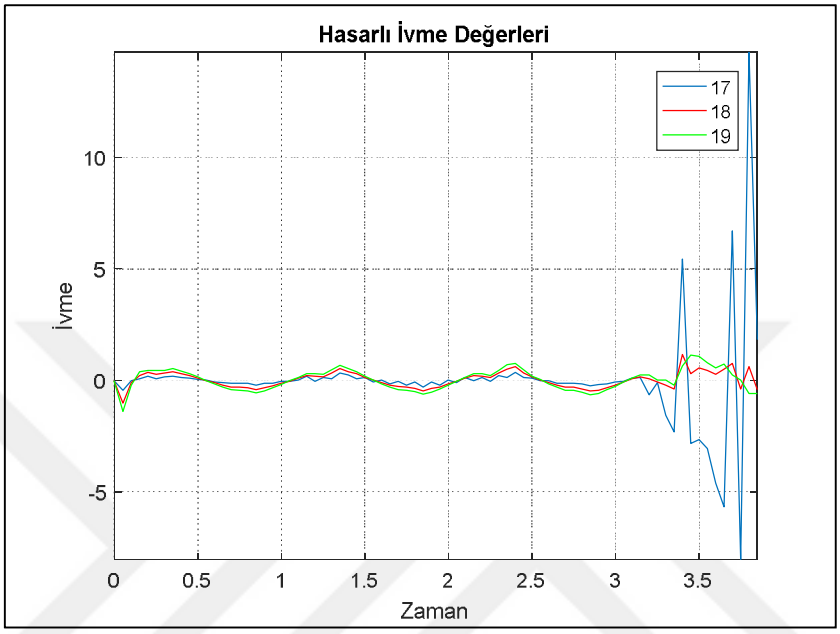



Şekil 2.26. 17 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile dalgacık paket dönüşümü



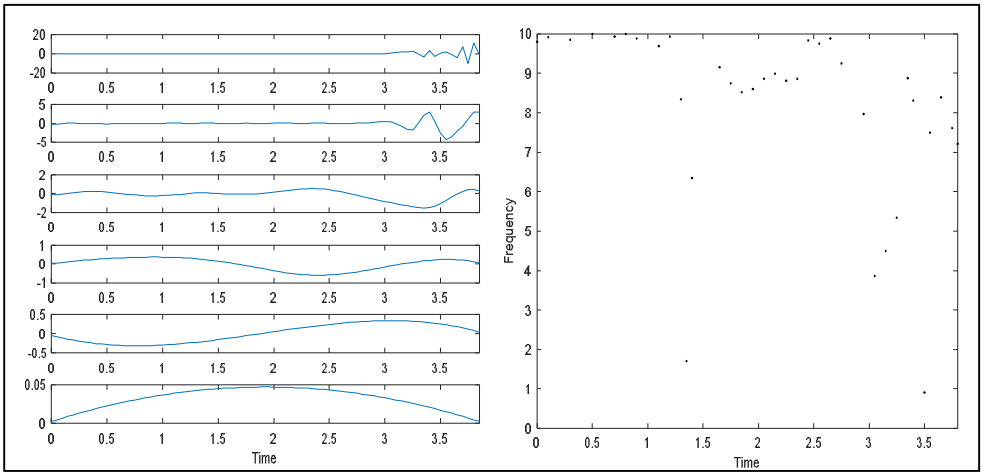

Şekil 2.27. 18 Numaralı hasarlı noktanın ivme değerlerinin Db4 ile dalgacık paket dönüşümü

Yapısal hasar oluşan kolonun alt ve üstünde bulunan kolonlarla birlikte noktasal ivme ölçümü yapılarak, bu noktaların hasarsız (zayıf sarsıcı kuvveti) ve hasarlı (güçlü sarsıcı kuvveti) durumlarının parametreleri Hilbert Huang dönüşümleriyle incelenerek iki durum arasındaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır.

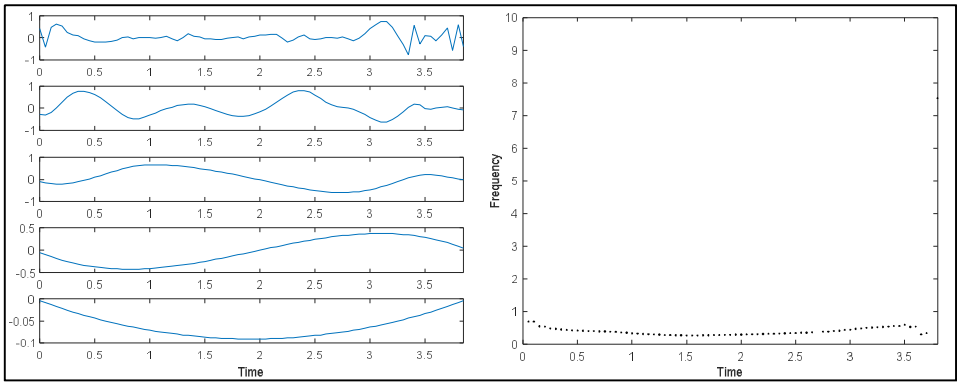



Şekil 2.28. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği

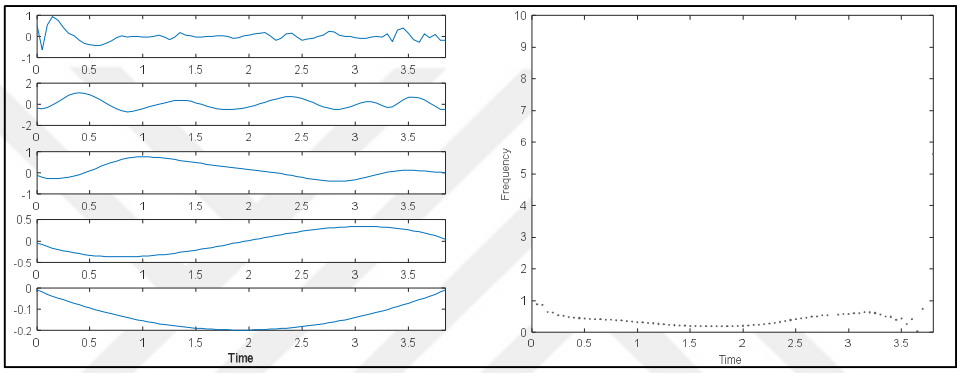
Hasarlı durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır. Şekil 2.28'de görüldüğü üzere 17 numaralı noktada maksimum ivme değerlerinin 15m/sn$^2$ seviyelerine kadar yükseldiği gözlemlenmiştir.




Şekil 2.29. 17 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

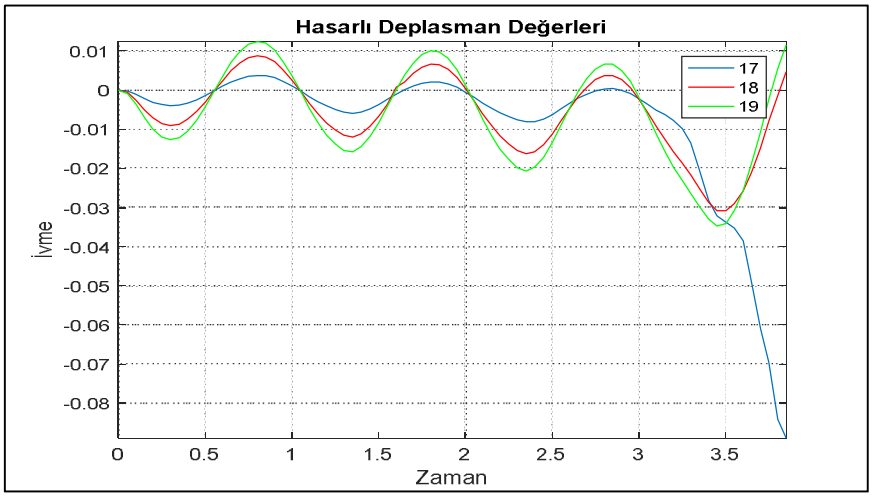



Şekil 2.30. 18 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu



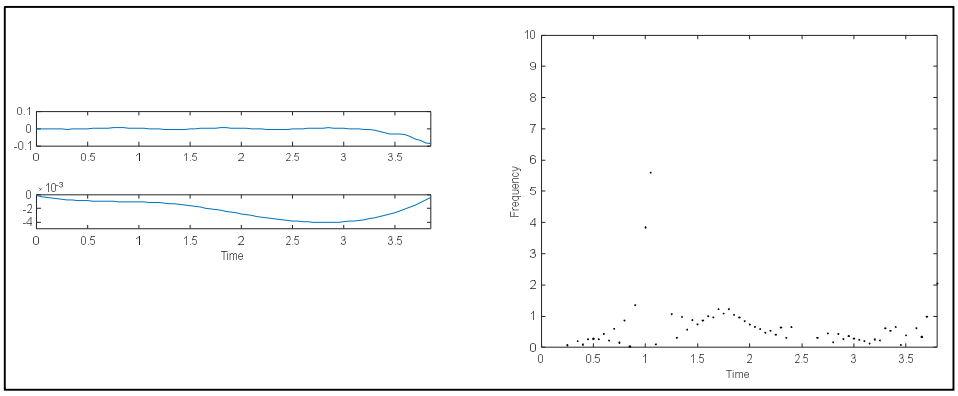

Şekil 2.31. 19 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

Hasarlı elemanların ivme parametreleri incelendiğinde 17 numaralı noktada frekansın zamana bağlı olarak yüksek mertebelerden düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer noktalarda ise frekans değerleri zamana bağlı olarak az bir miktar düşmekte ve tekrar yükselmektedir.

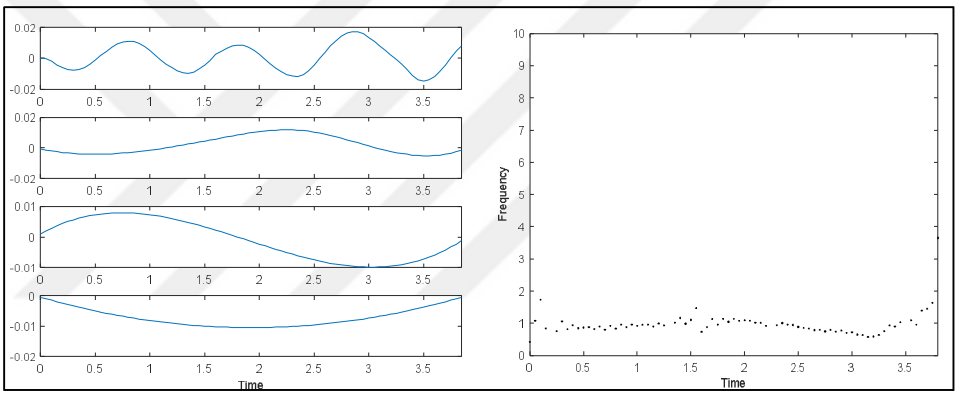



Şekil 2.32. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği

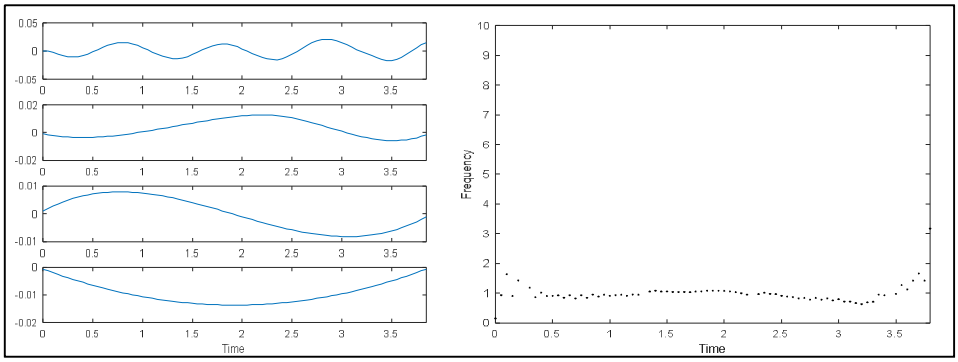
17 numaralı noktada maksimum deplasman değerlerinin 8cm seviyelerine kadar yükseldiği gözlemlenmiştir. Diğer noktalarda bu değer 3cm seviyesindedir.




Şekil 2.33. 17 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu



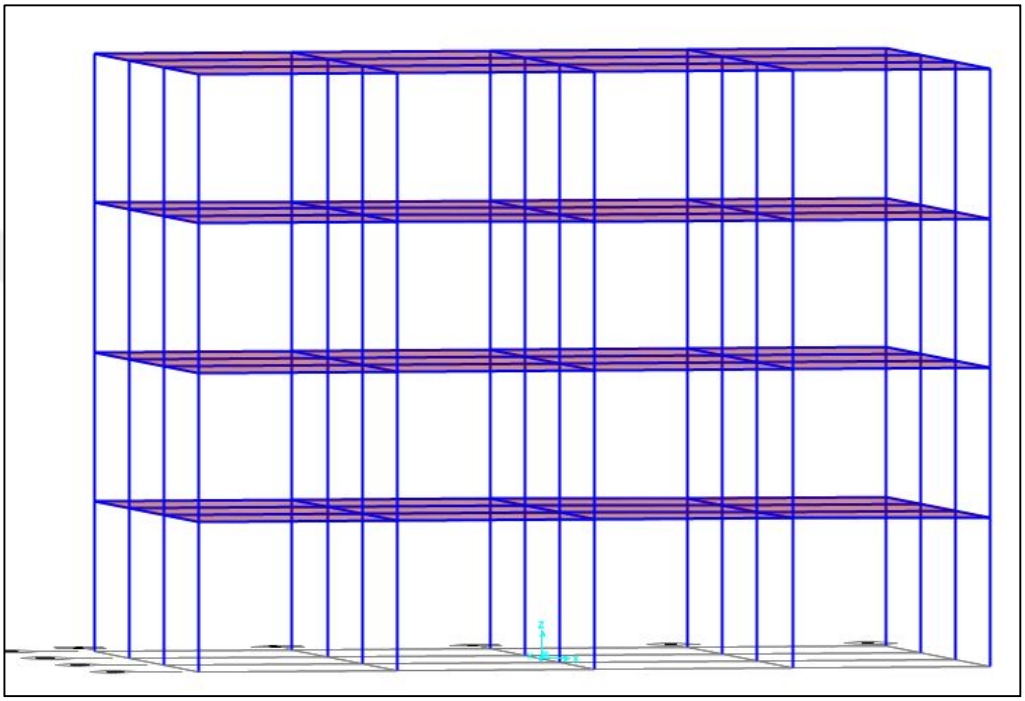

Şekil 2.34. 18 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu




Şekil 2.35. 19 Numaralı hasarlı noktanın deplasman kayıtlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

Hasarlı elemanların deplasman parametreleri incelendiğinde 17 numaralı noktada frekansın zamana bağlı olarak büyük oranda düştüğü gözlemlenmiştir. Diğer elemanlarda ise frekans değerleri zamana bağlı olarak az miktarda düşmektedir.

İkinci bir örnek olarak 3 boyutlu çerçeve analitik model ele alınacaktır. Yapı eşdeğer deprem yükü, spektral yükleme ve zaman tanım alanında deprem kaydı ile analiz edilmiştir. Yapı periyodu, yumuşak kat, zayıf kat, burulma düzensizliği durumu, göreli kat ötelemesi ve 2. mertebe gösterge değeri kontrolleri TBDY 2018'e göre uygun aralıklarda çıkmıştır. Yapının modal parametreleri sonlu elemanlar metodu ile belirlenmiştir.



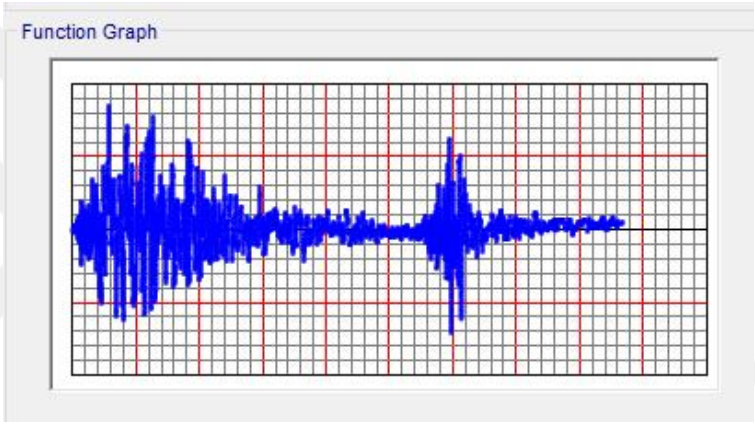
Şekil 2.36. Yapı 3 boyutlu görünümü

Tablo 2.2. Hasarsız (Modal) ve hasarlı (Modal-NL) yapı periyodunun sonlu elemanlar metoduyla tespit edilmesi

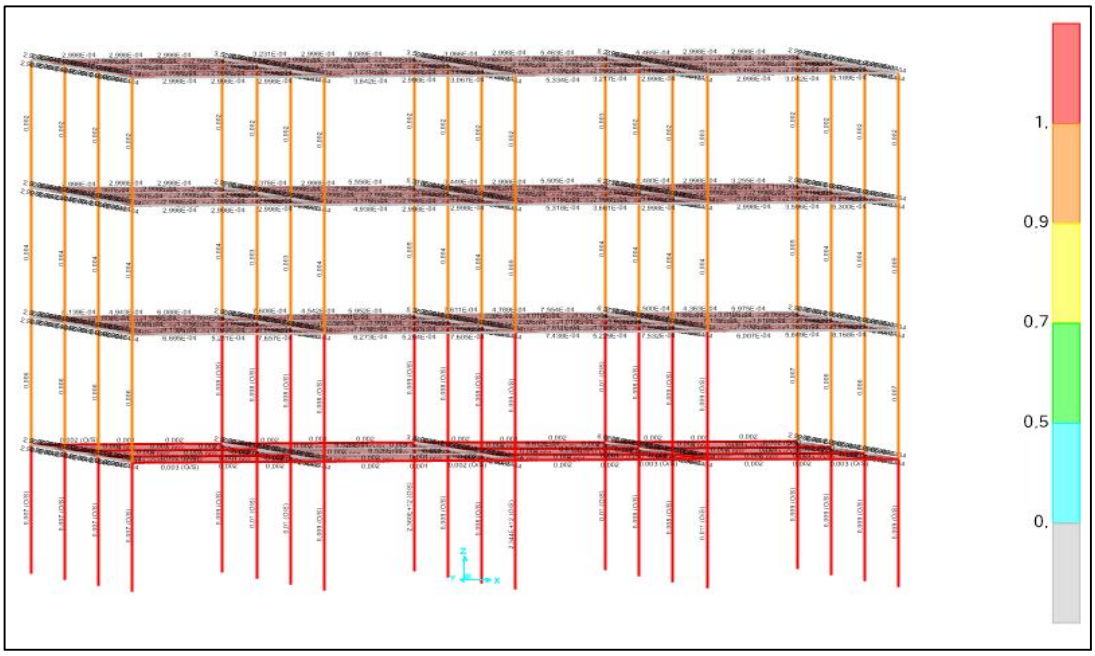
| Modal Periyotlar ve Frekanslar | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durum** | **Tip** | **Numara** | **Periyot** | **Frekans** | **UX** | **UY** |
| Metin | Metin | Birimsiz | Sn | Dvr/sn | Birimsiz | Birimsiz |
| MODAL | Mod | 1 | 0,408 | 2,45 | 0 | 0,940 |
| MODAL | Mod | 2 | 0,283 | 3,53 | 0 | 0 |
| MODAL | Mod | 3 | 0,26 | 3,845 | 0,93272 | 0 |
| MODAL | Mod | 4 | 0,095 | 10,537 | 0 | 0,059 |
| MODAL-NL | Mod | 1 | 0,402 | 2,488 | 0 | 0,937 |
| MODAL-NL | Mod | 2 | 0,301 | 3,323 | 0 | 0,0002 |
| MODAL-NL | Mod | 3 | 0,274 | 3,647 | 0,94233 | 0 |
| MODAL-NL | Mod | 4 | 0,094 | 10,651 | 0 | 0,062 |

X yönü için hakim olan 3. modun periyodu hasarsız modelimizde 0,260 sn iken hasarlı modelde 0,274 sn'ye yükselmiştir. Y yönü için hakim olan 1. modun periyodu ise hasarsız modelimizde 0,408 sn iken hasarlı modelimizde 0,402 sn'ye inmiştir. Periyot değerinin normal şartlarda hasar alan binalarda yükselmesi gerekirken düşmüş olması oluşan hasar seviyesinin yüksek olmadığını ve ilgili değerleri fazla etkilemediğini göstermektedir.

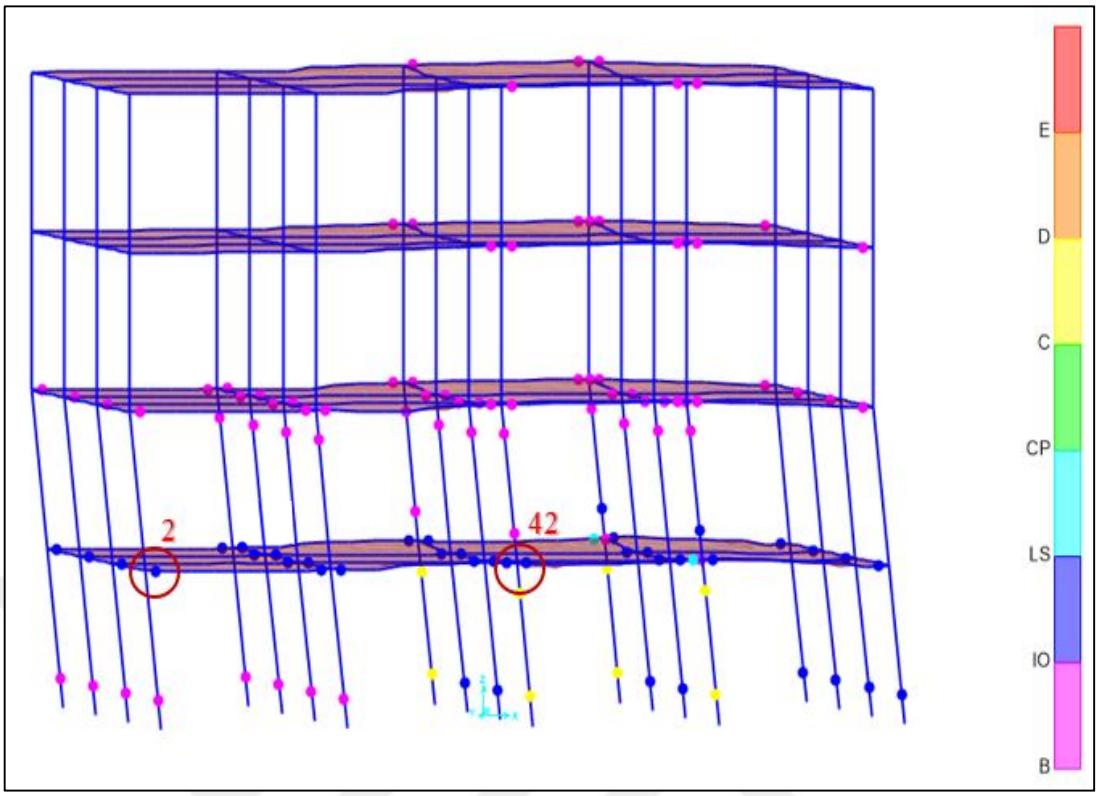
Yapının modal parametreleri kuvvetli deprem kuvveti ile doğrusal olmayan analiz ile SAP2000 programıyla analiz edildiğinde aşağıdaki sonuçlara ulaşılmaktadır. İvme kaydı olarak olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi kullanılmıştır.




Şekil 2.37. 17 Ağustos 1999 Kocaeli merkez meteoroloji istasyon müdürlüğü deprem kaydı




Şekil 2.38. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu betonarme tasarımı

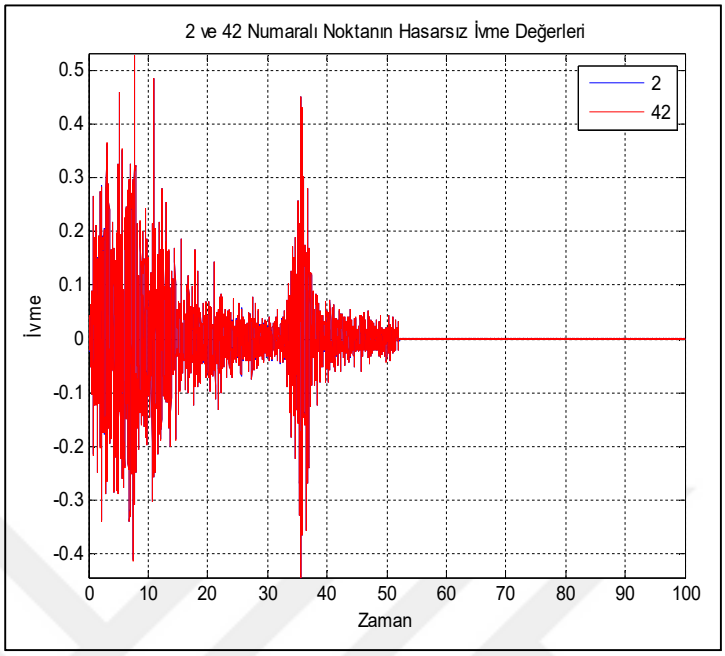



Şekil 2.39. Kuvvetli deprem zaman tanım alanında analiz sonucu mafsallaşma grafiği

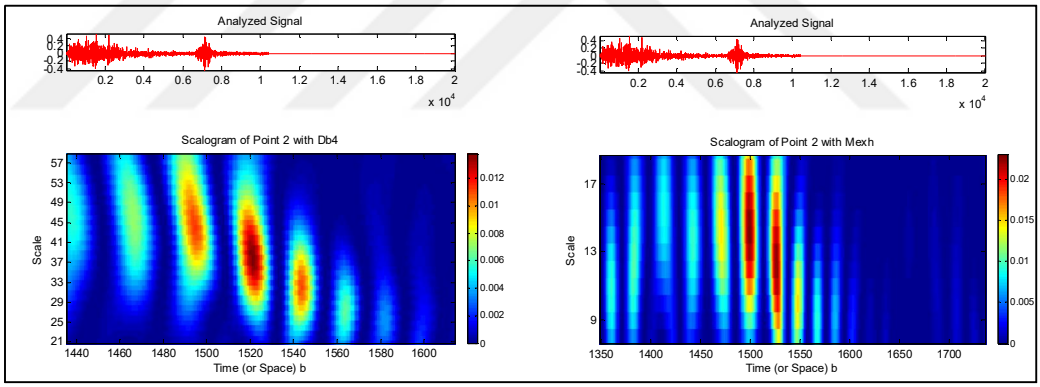
Yapıdaki kolonların mafsallaşması incelendiğinde 1. katta ileri hasar seviyesine ulaşan elemanlar ve 2. katta bir takım elemanların göçme öncesi performans seviyesini aştığı gözlemlenmiştir. Buradaki referans şekil değiştirme parametreleri TBDY 2018 değerleri baz alınarak değiştirilmiştir. İlgili oranlar yönetmelik madde 5.8.1.1, 5.8.1.2, 5.8.1.3 ve 5.8.1.4'te mevcuttur.

Yapısal hasar oluşan kolonun alt ve üstünde bulunan kolonlarla birlikte noktasal ivme ölçümü yapılarak, bu noktaların hasarsız (zayıf sarsıcı kuvveti) ve hasarlı (güçlü sarsıcı kuvveti) durumlarının parametreleri Db4, Morlet, Mexican Hat ve Symlet dalgacık filtreleri ile incelenerek iki durum arasındaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bunun için gerekli kodlar MATLAB programıyla yazılmıştır. Yapılan analizler sonucunda Db4 ve Mexh dalgacık modellerinin analiz yapımız için uygun ve yeterli oldukları görülmüştür. Burada 2 ve 42 numaralı noktaların hasarlı ve hasarsız ivme ve deplasman kayıtlarından yola çıkılarak hasar alan 42 numaralı noktanın dalgacık dönüşümündeki belirgin farklarına bakılacaktır.

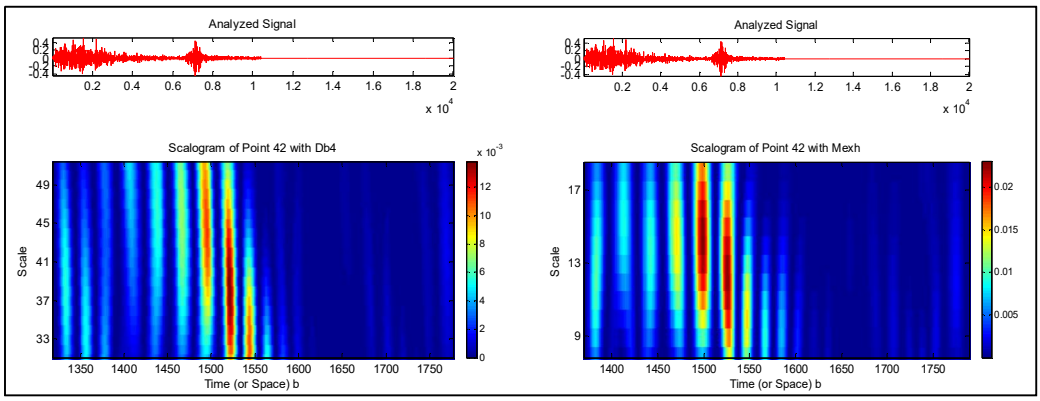
Öncelikle hasarsız durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır.




Şekil 2.40. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği

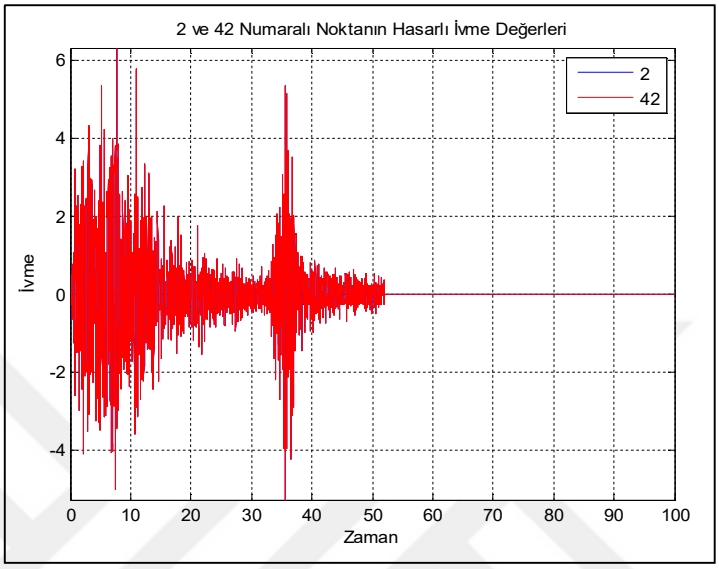



Şekil 2.41. 2 Numaralı hasarsız noktanın Db4 ve Mexh ile analizi

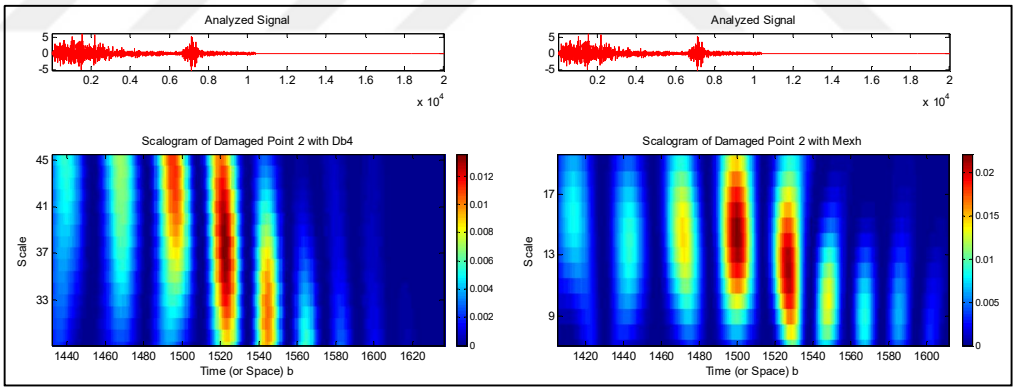



Şekil 2.42. 42 Numaralı hasarsız noktanın Db4 ve Mexh ile analizi

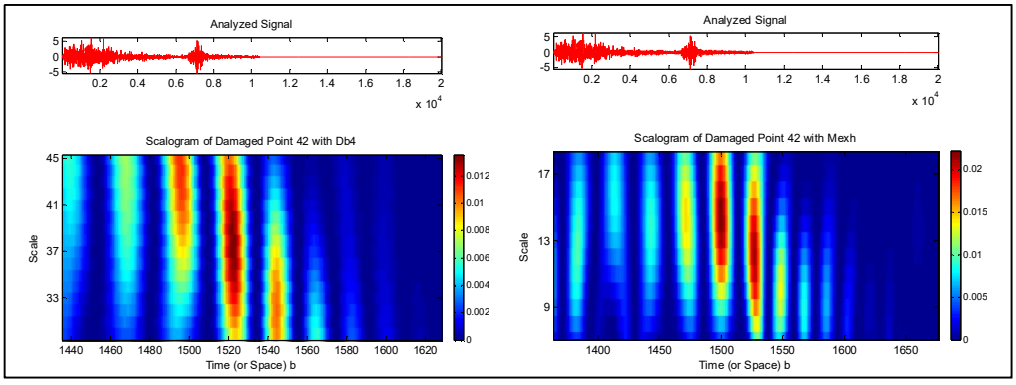
Zaman çizelgesindeki değerler 0,005 mertebesinde ilerlediğinden 1525. adım yaklaşık olarak 7,62 saniyeye denk gelmektedir. Bu zaman dilimide ölçek şiddeti Db4 dalgacık ailesinde 40 değerini, Mexh dalgacık modelinde ise 13 değerini vermektedir. Hasarlı durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır.




Şekil 2.43. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği



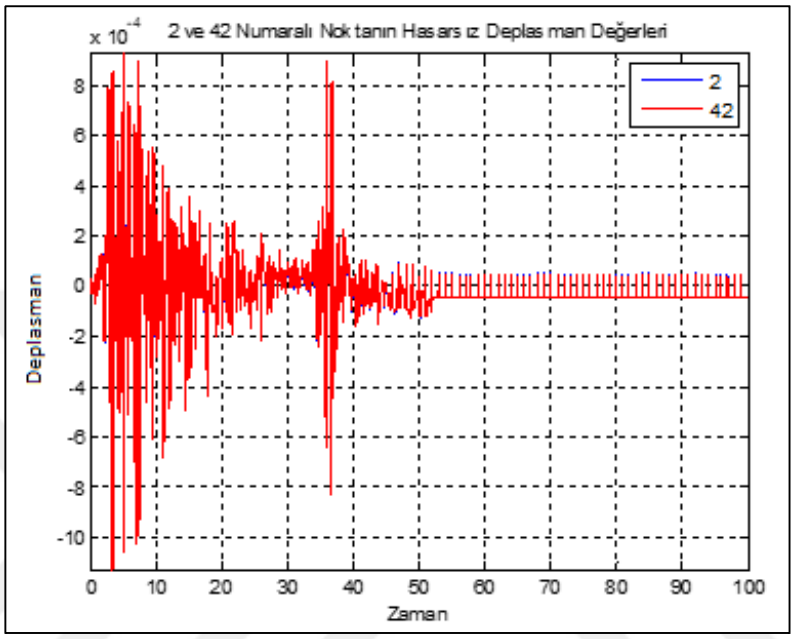

Şekil 2.44. 2 Numaralı hasarlı noktanın Db4 ve Mexh ile analizi



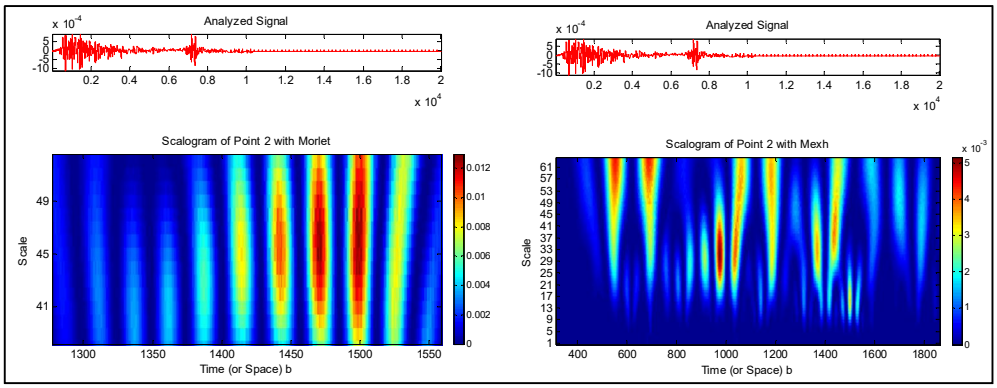

Şekil 2.45. 42 Numaralı hasarlı noktanın Db4 ve Mexh ile analizi

7,62 sn zaman diliminde ölçek şiddeti Db4 dalgacık ailesinde 37 mertebesine inmektedir. Yani yapı elemanındaki frekans ölçek ile ters orantılı olarak yükselmiştir.

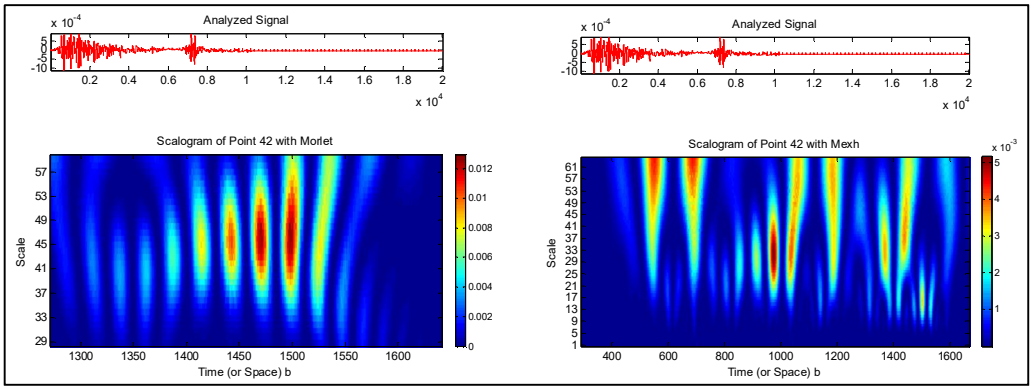
Aynı analizler 2 ve 42 numaralı elemanların deplasman değerleri üzerinden tekrarlanacaktır. Bu analizde ise en uygun dalgacık türü Morlet ve Mexh olmaktadır.




Şekil 2.46. Hasarsız elemanların deplasman zaman grafiği



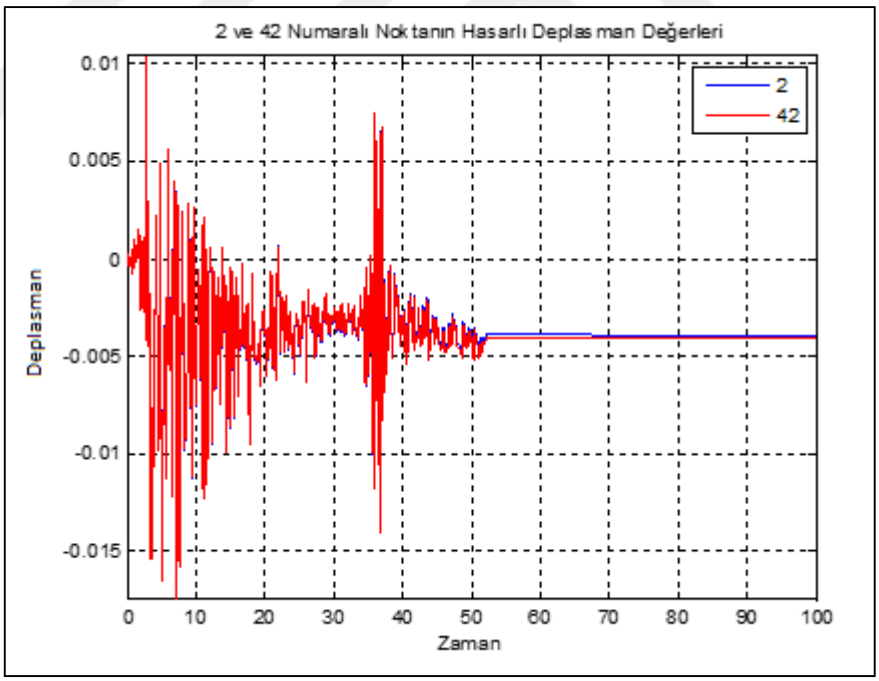

Şekil 2.47. 2 Numaralı hasarsız noktanın Morlet ve Mexh ile analizi



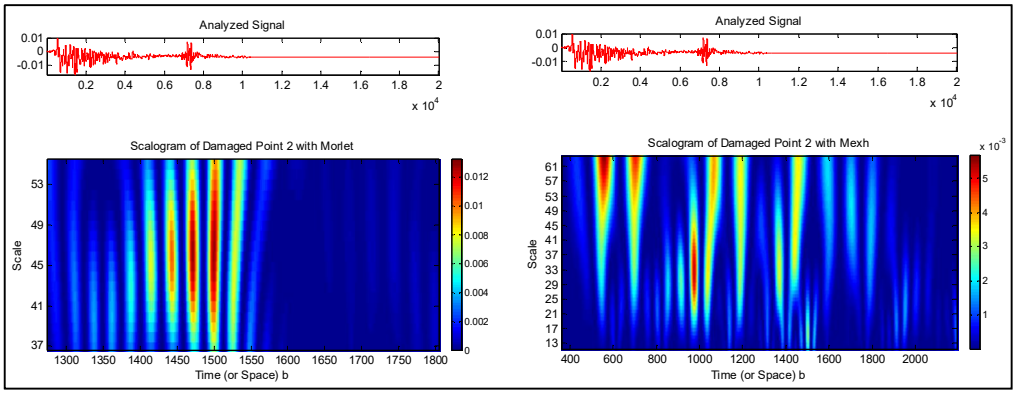

Şekil 2.48. 42 Numaralı hasarsız noktanın Morlet ve Mexh ile analizi

Zaman çizelgesindeki değerler 0,005 mertebesinde ilerlediğinden 1500. adım yaklaşık olarak 7,50 saniyeye denk gelmektedir. Bu zaman dilimide ölçek şiddeti Morlet dalgacık ailesinde 47 değerini, Mexh dalgacık modelinde ise 5. saniyede 33 değerini vermektedir.

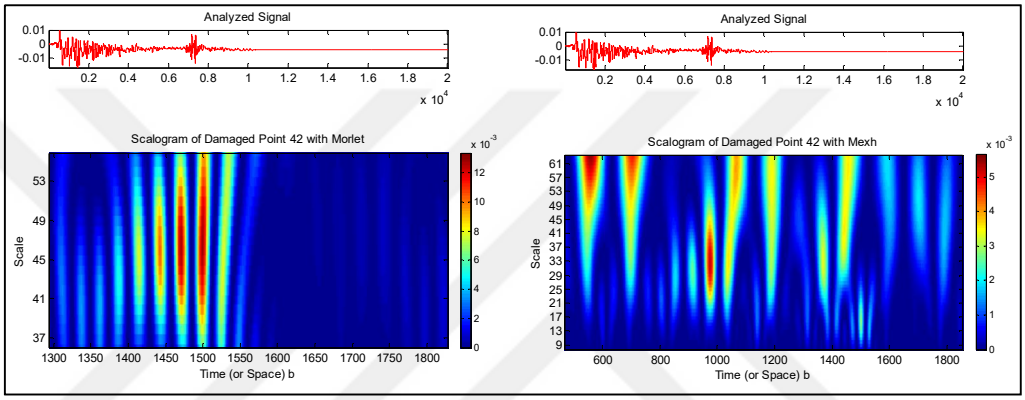
Hasarlı durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır.




Şekil 2.49. Hasarlı elemanların deplasman zaman grafiği



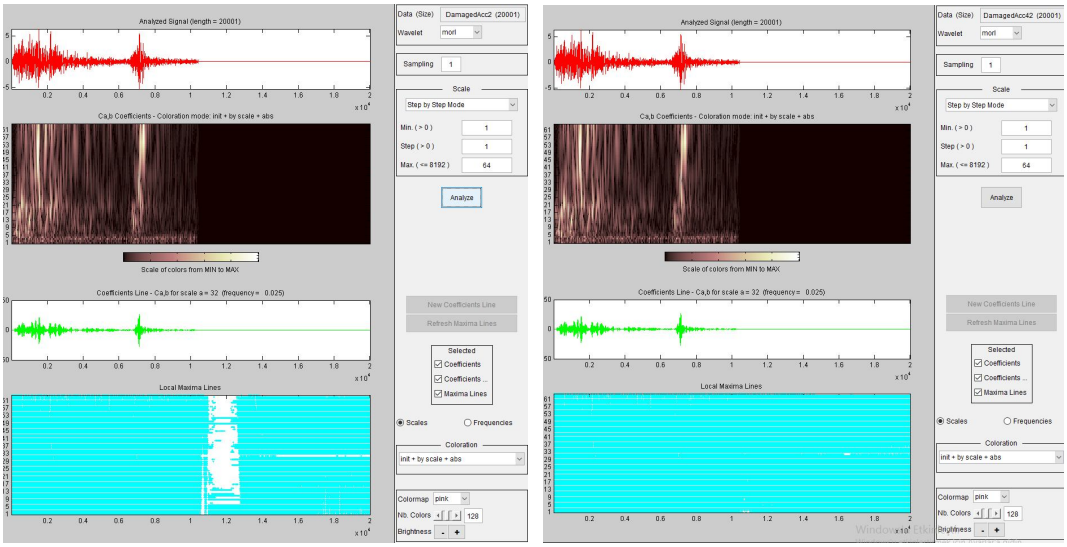

Şekil 2.50. 2 Numaralı hasarlı noktanın Morlet ve Mexh ile analizi




Şekil 2.51. 42 Numaralı hasarlı noktanın Morlet ve Mexh ile analizi

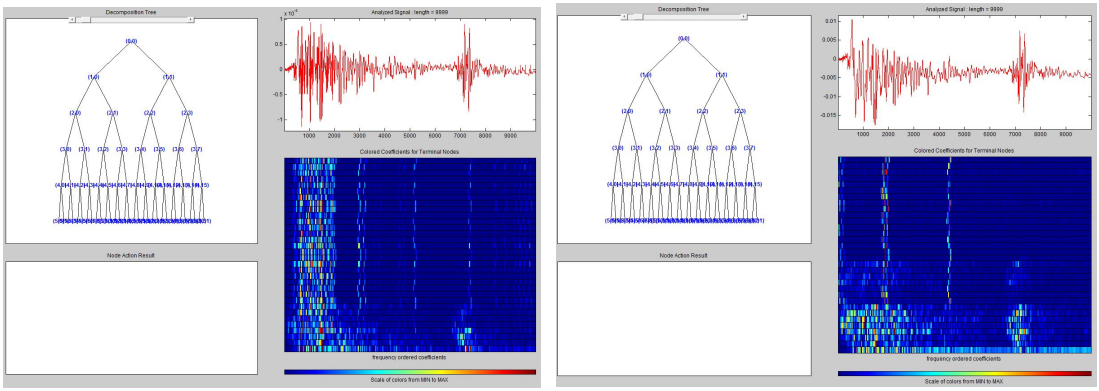
7,50. saniyedeki zaman diliminde ölçek şiddeti Morlet dalgacık ailesinde 46 değerini, Mexh dalgacık modelinde ise 5. saniyede 32 değerini vermektedir. Burada deplasman kaydından da frekans değerinin düştüğü sonucuna ulaşılabilir. Frekans değerinin düşmesi yapının hasar aldığını göstermektedir.

Ayrıca hasarlı ivme kayıtlarından morlet dalgacık metoduyla incelendiğince hasar alan 42 numaralı noktanın 2 numaralı noktadan farklı olarak yerel üst çizgilerinde süreklilik gözlemlenmiştir. Bu süreksizlik de yapı elemanının hasar alması olarak değerlendirilmiştir.



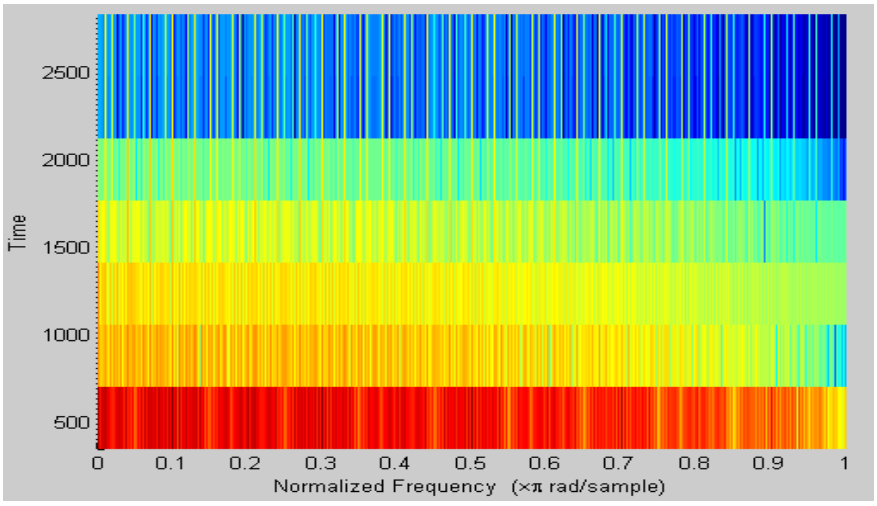
Şekil 2.52. 2 ve 42 Numaralı hasarlı noktaların Morlet ile analizi ve yerel üst çizgileri

Hasarlı elemanın deprem öncesi ve sonrasında elde edilen deplasman değerleriyle Db4 dalgacık paket dönüşümü yapıldığında frekans düzenli katsayılarda yığılma gözlemlenmektedir. Bu yoğunluk ve dağılım parametreleri de hasara işaret etmektedir. İki boyutlu analitik modelimizle benzer şekilde hasarlı elemanın dalgacık paket dönüşümü grafiğinde bölgesel yoğunlaşma gözlemlenirken hasarsız elemanda böyle bir yoğunlaşma zamana yayılı olarak görülmektedir.

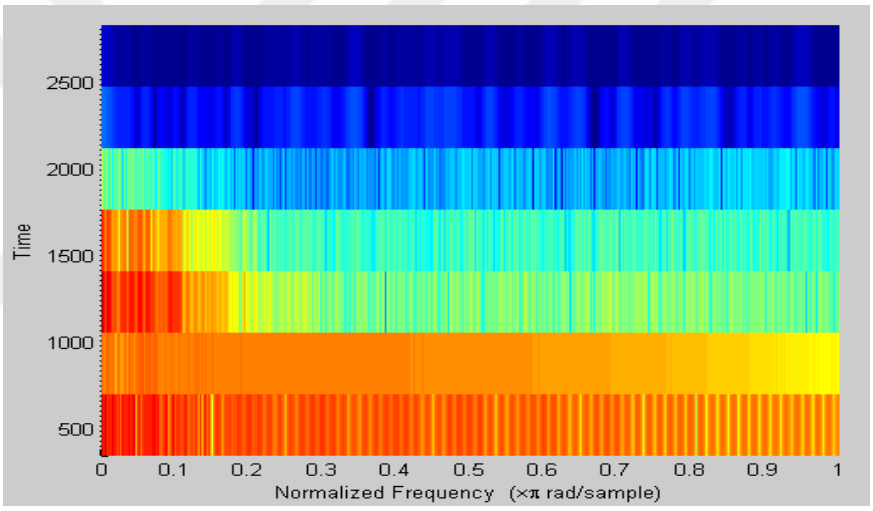


Şekil 2.53. 42 Numaralı noktanın hasarsız ve hasarlı dalgacık paket dönüşümü

Elde edilen enerji parametreleri kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü (STFT) işlemlerinden geçirildiğinde dalgacık dönüşümüne benzer grafikler elde edilerek hasarlı ve hasarsız elemanlar birbirinden belirgin şekilde ayrışmaktadır.




Şekil 2.54. 42 Numaralı hasarsız noktanın kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü

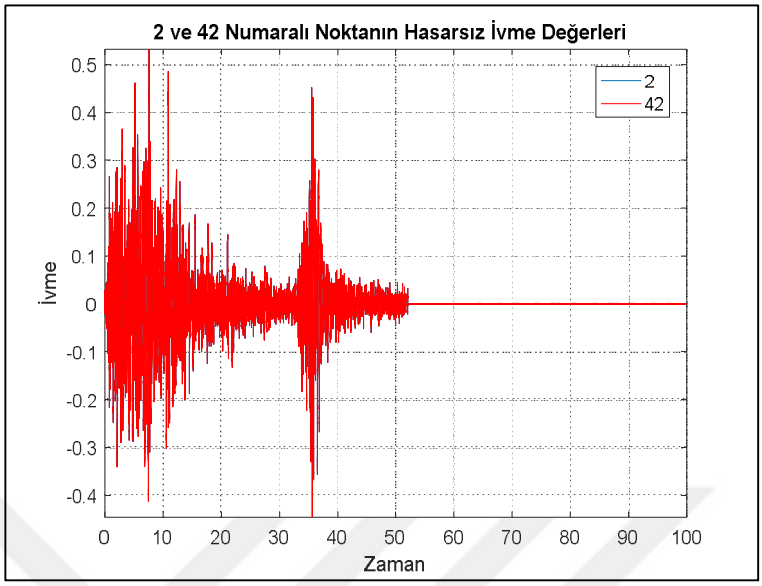



Şekil 2.55. 42 Numaralı hasarlı noktanın kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü

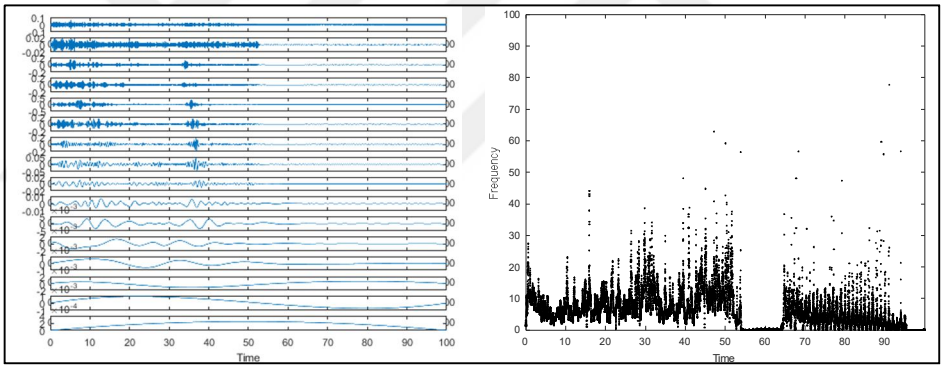
Bu grafikler mukayese edildiğinde hasarsız elemanın zamana bağlı olarak frekans değerlerinin sabit kaldığı ancak hasar aldığında bu değerlerde zamanla değişimin gözlemlendiği belirlenmiştir.

Yapısal hasar oluşan kolonun alt ve üstünde bulunan kolonlarla birlikte noktasal ivme ölçümü yapılarak, bu noktaların hasarsız (zayıf sarsıcı kuvveti) ve hasarlı (güçlü sarsıcı kuvveti) durumlarının parametreleri Hilbert Huang dönüşümü ile incelenerek iki durum arasındaki farklılıklar tespit edilmeye çalışılmıştır. Burada 2 ve 42 numaralı noktaların hasarlı ve hasarsız ivme ve deplasman kayıtlarından yola çıkılarak hasar alan 42 nolu noktanın Hilbert Huang dönüşümündeki belirgin farklarına bakılacaktır.

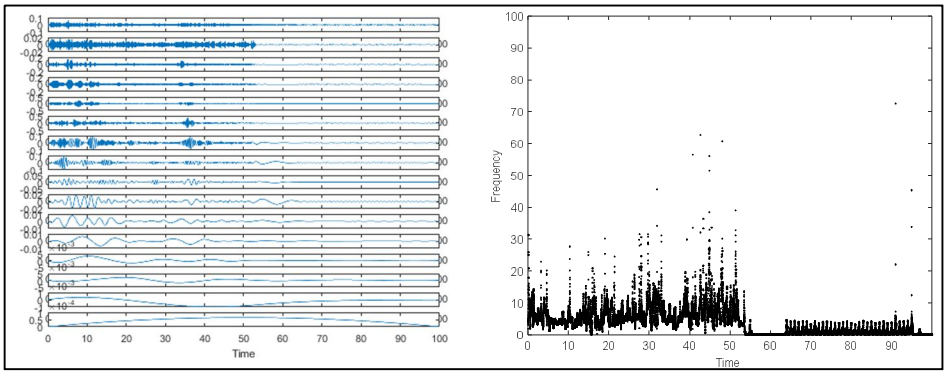
Öncelikle hasarsız durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır.




Şekil 2.56. Hasarsız elemanların ivme zaman grafiği

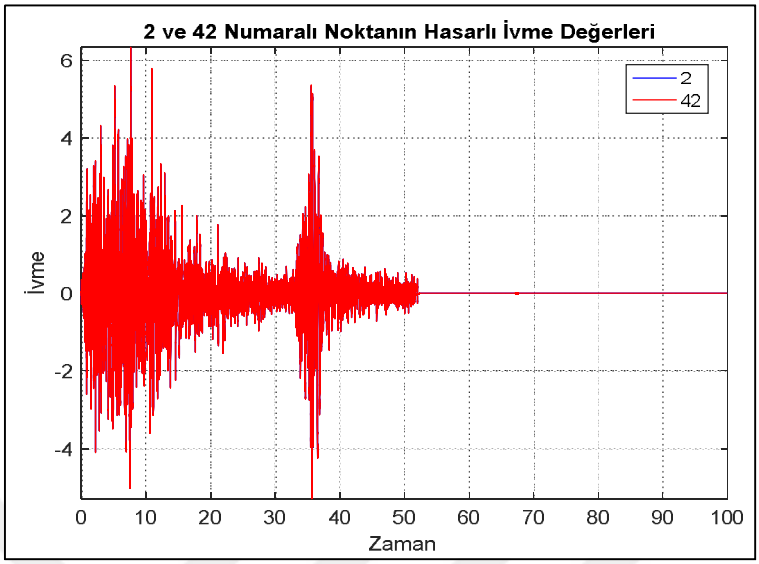



Şekil 2.57. 2 Numaralı hasarsız noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

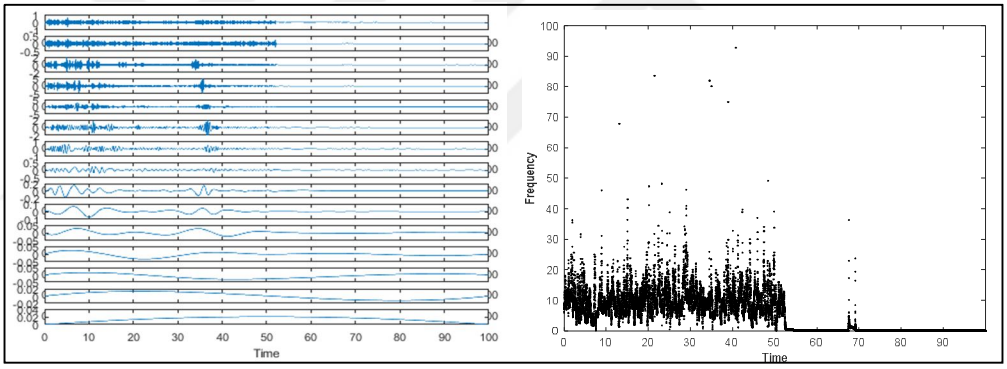



Şekil 2.58. 42 Numaralı hasarsız noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

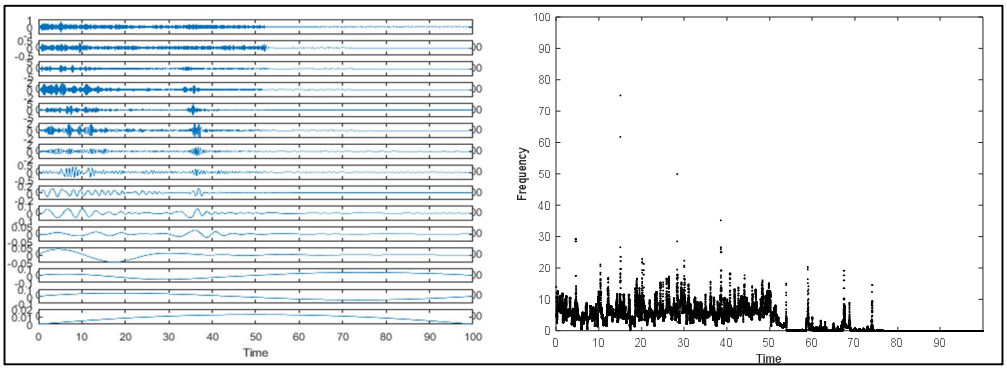
Hasarlı durumu ele aldığımızda aşağıdaki değerlere ulaşılmaktadır.




Şekil 2.59. Hasarlı elemanların ivme zaman grafiği



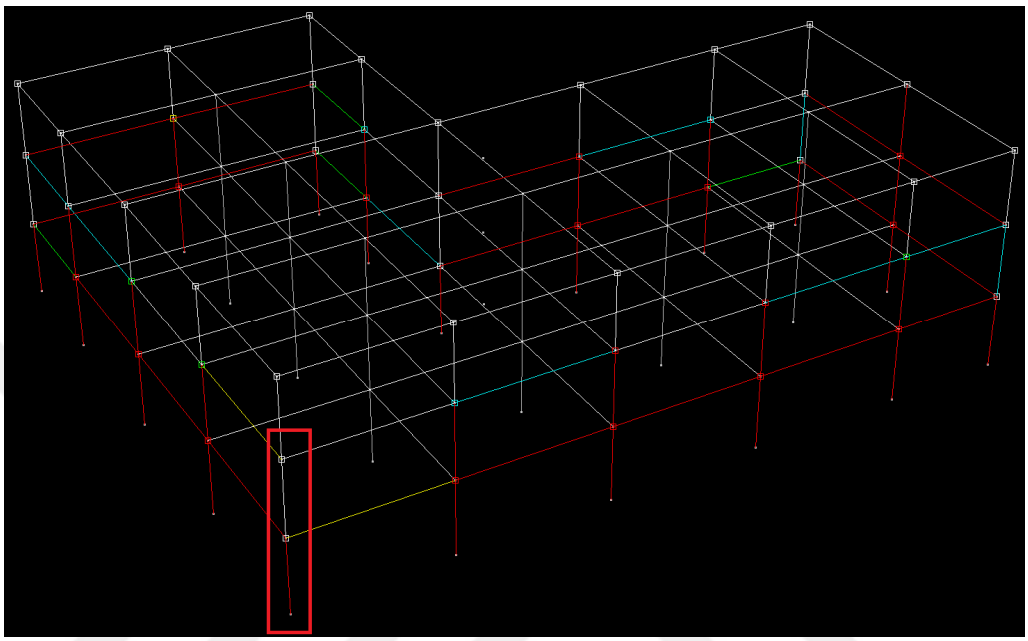

Şekil 2.60. 2 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu




Şekil 2.61. 42 Numaralı hasarlı noktanın IMF değerleri ve Hilbert spektrumu

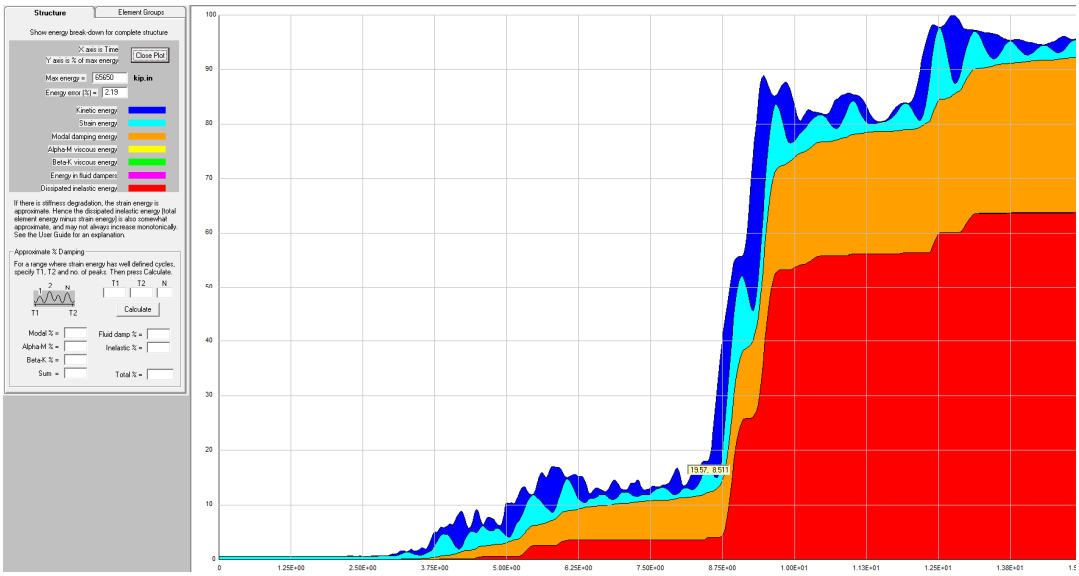
Hasarlı ve hasarsız elemanların ivme kayıtları üzerinden Hilbert Huang dönüşümleri yapıldığında hasarlı olanlardaki frekans kayıpları özellikle 60. saniyeden sonra görülebilmektedir.

Üçüncü analitik modelde ise üç katlı L şeklinde planlanmış olan analitik modelde 72 kolon ve bunları birbirine bağlayan kirişler bulunmaktadır. Yapı 1994 Northridge depremiyle analiz edilerek kinetik ve kinematik değerleri elde edilmiştir. Sonrasında bu değerler üzerinden dalgacık dönüşümleri çalışılmıştır.



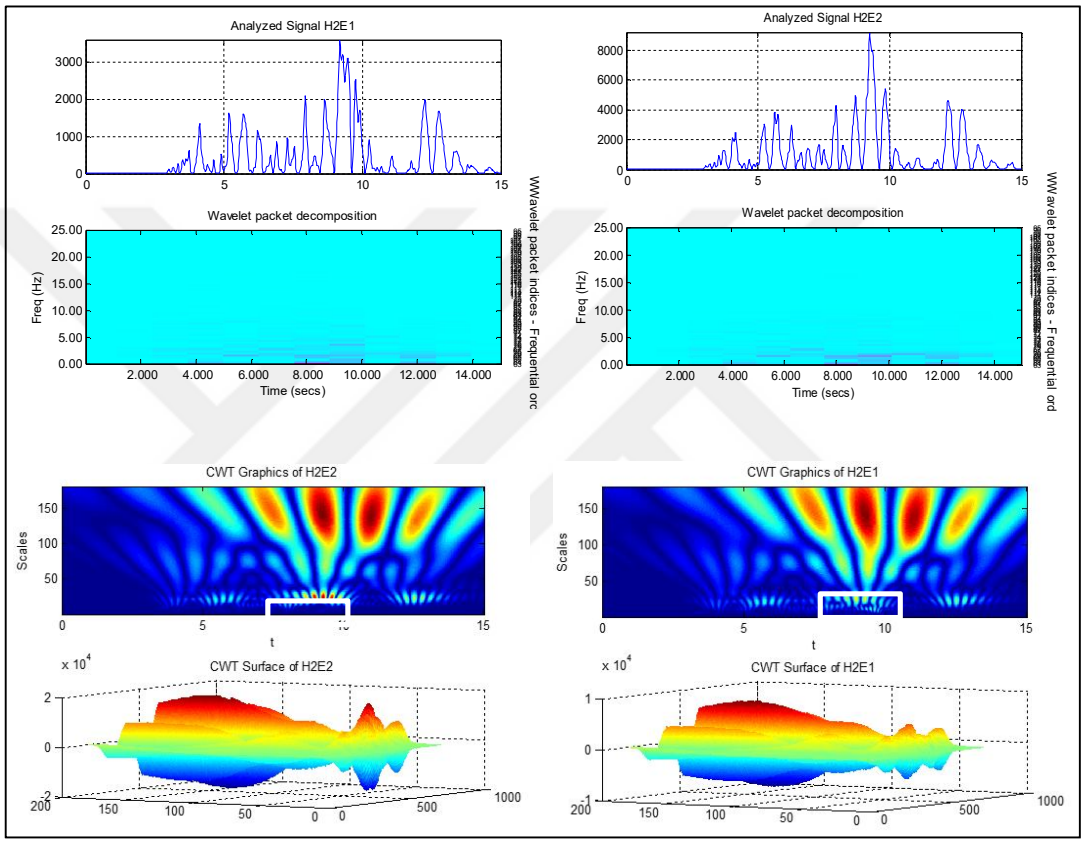
Şekil 2.62. Perform 3D analitik modeli ve hasar alan elemanlar

Yapının enerji tüketim grafiği incelendiğinde 9. saniyeden sonra ani artışlar gözlenmektedir.



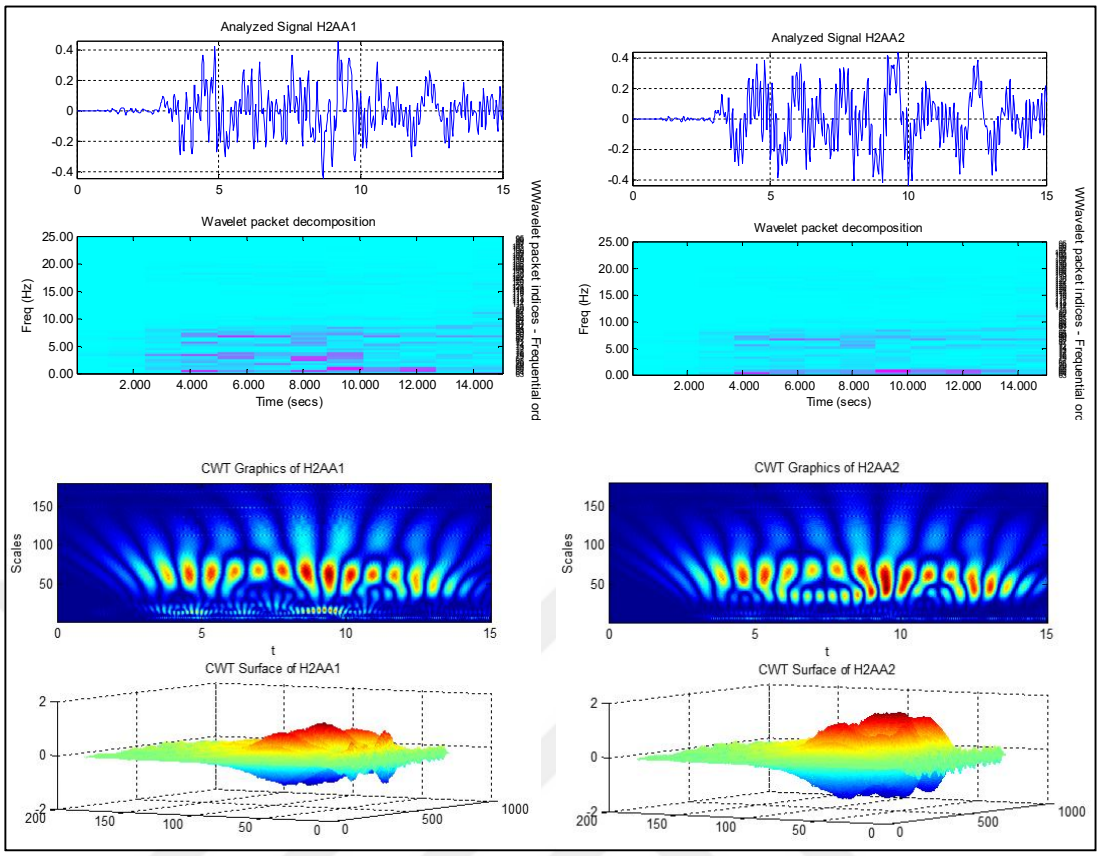

Şekil 2.63. Analitik modelin enerji tüketim parametreleri

Yapının hasar alan elemanının üst noktası (1) ile hasar almayan elemanın üst noktalarının (2) Perform 3D programına göre H1, H2 ve V yönlerindeki relatif ivme, hız, deplasman değerleri ve mutlak ivme değerleri üzerinden CWT ve WPT çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca hız parametresinden enerji alanına geçiş yapılarak bu iki elemanın arasındaki farklar gözlemlenmiştir. Dalgacık paket dönüşümünde Sym6, sürekli dalgacıkta ise Morlet kullanılmıştır.



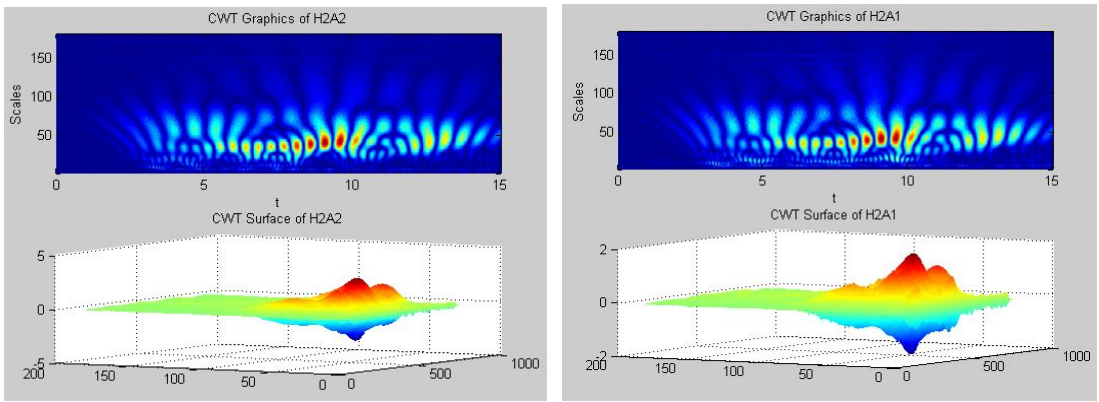

Şekil 2.64. Analitik modelin enerji parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri

H2 yönlü enerji grafikleri karşılaştırıldığında 2 numaralı hasarsız noktada yer alan yüksek frekans mertebesinin hasar alan noktada azaldığını gözlemlemekteyiz. Enerji değerlerinin 9. saniyeden sonra değiştiğini ve bunun yapı enerji tüketimiyle aynı zamanda gerçekleştiğini belirtebiliriz. Yani hasar doğru zamanda yakalanmıştır.



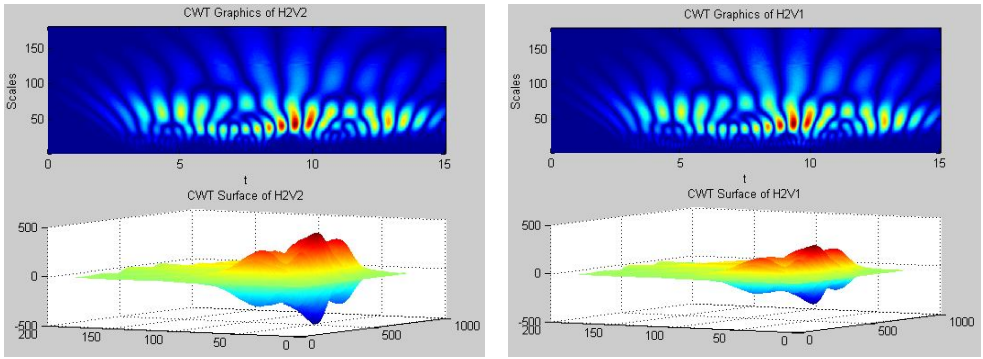

Şekil 2.65. Analitik modelin mutlak ivme parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri

H2 yönlü mutlak ivme değerlerinde de benzer şekilde frekans kayıpları sürekli ve dalgacık paket dönüşümünde gözlemlenebilmektedir.



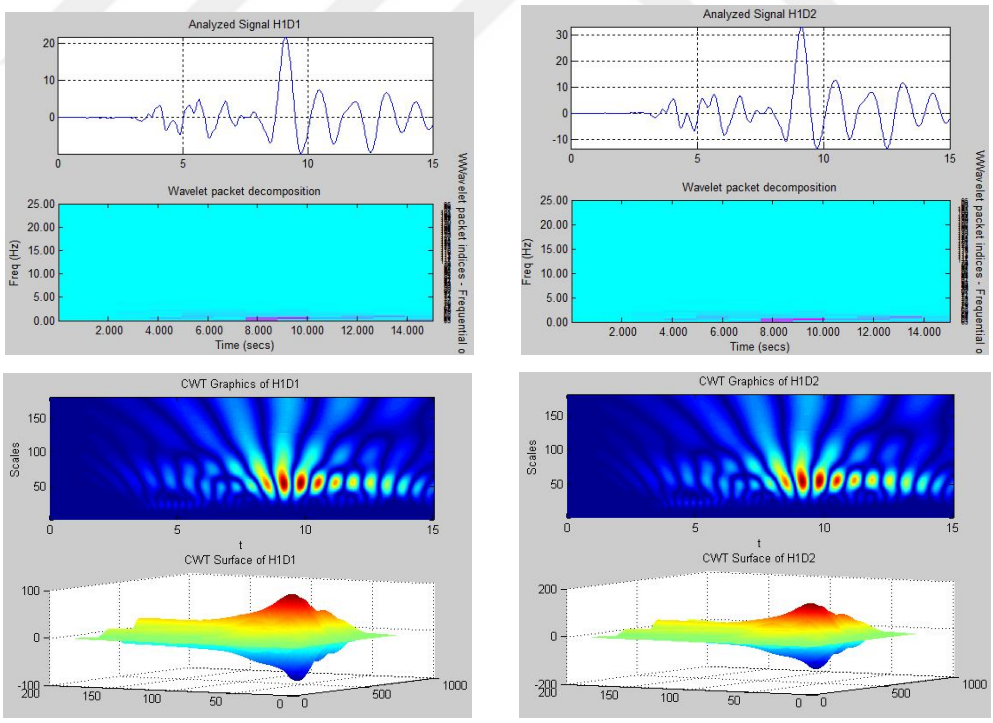

Şekil 2.66. Analitik modelin relatif ivme parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri

H2 yönlü relatif ivme değerlerinde ise frekansın zamana göre düştüğünü gözlemleyebiliyoruz. Scale grafiğindeki yükselmeler frekansın tersi olduğundan frekans azalmasını ifade etmektedir.




Şekil 2.67. Analitik modelin relatif hız parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri

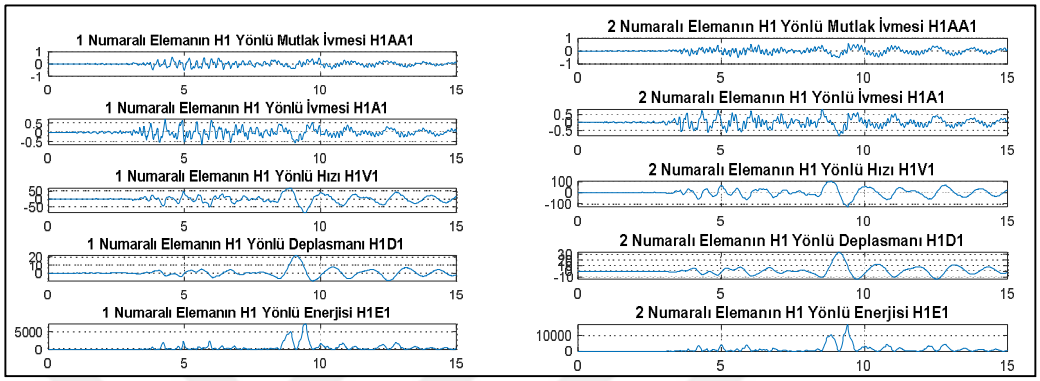
H2 yönlü relatif hız değerlerinde ise frekansın zamana göre düştüğünü gözlemleyebiliyoruz. Scale grafiğindeki yükselmeler frekansın tersi olduğundan frekans azalmasını ifade etmektedir.




Şekil 2.68. Analitik modelin relatif deplasman parametresi üzerinden dalgacık dönüşümleri

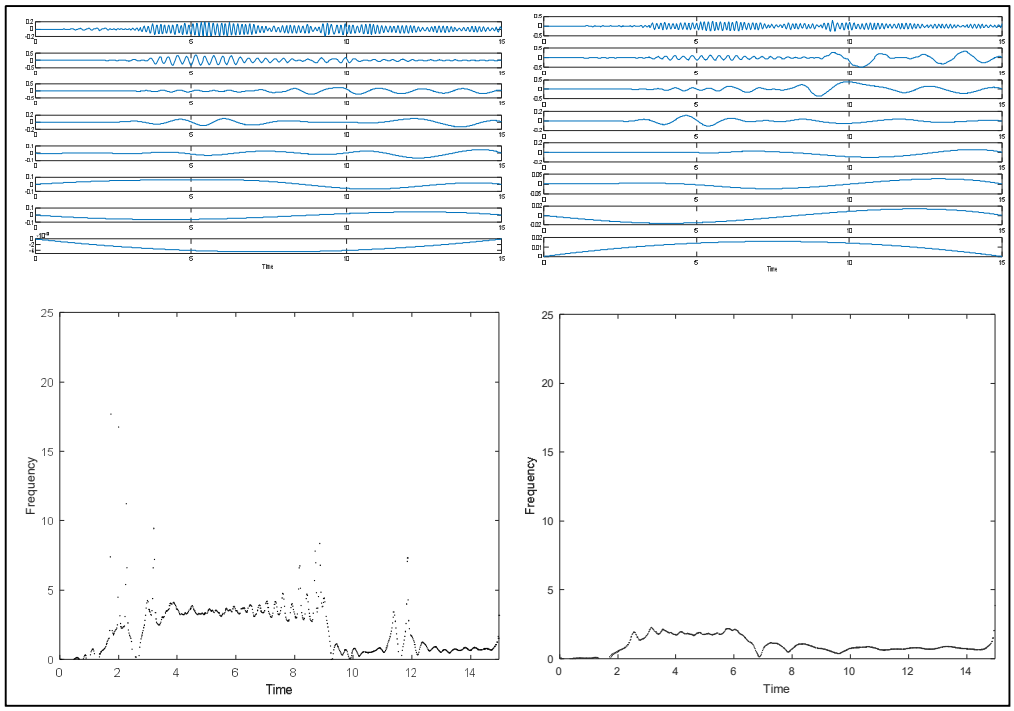
Bu yapıdaki seçilen noktalar için relatif deplasman değerleri üzerinden herhangi bir farklılığa rastlanmamıştır.

Yapının hasar alan elemanının üst noktası (1) ile hasar almayan elemanın üst noktalarının (2) Perform 3D programına göre H1, H2 ve V yönlerindeki relatif ivme, hız, deplasman değerleri ve mutlak ivme değerleri üzerinden Hilbert Huang dönüşümü ile hasar tespiti çalışmaları yapılmıştır. Ayrıca hız parametresinden enerji alanına geçiş yapılarak bu iki elemanın arasındaki farklar gözlemlenmiştir.



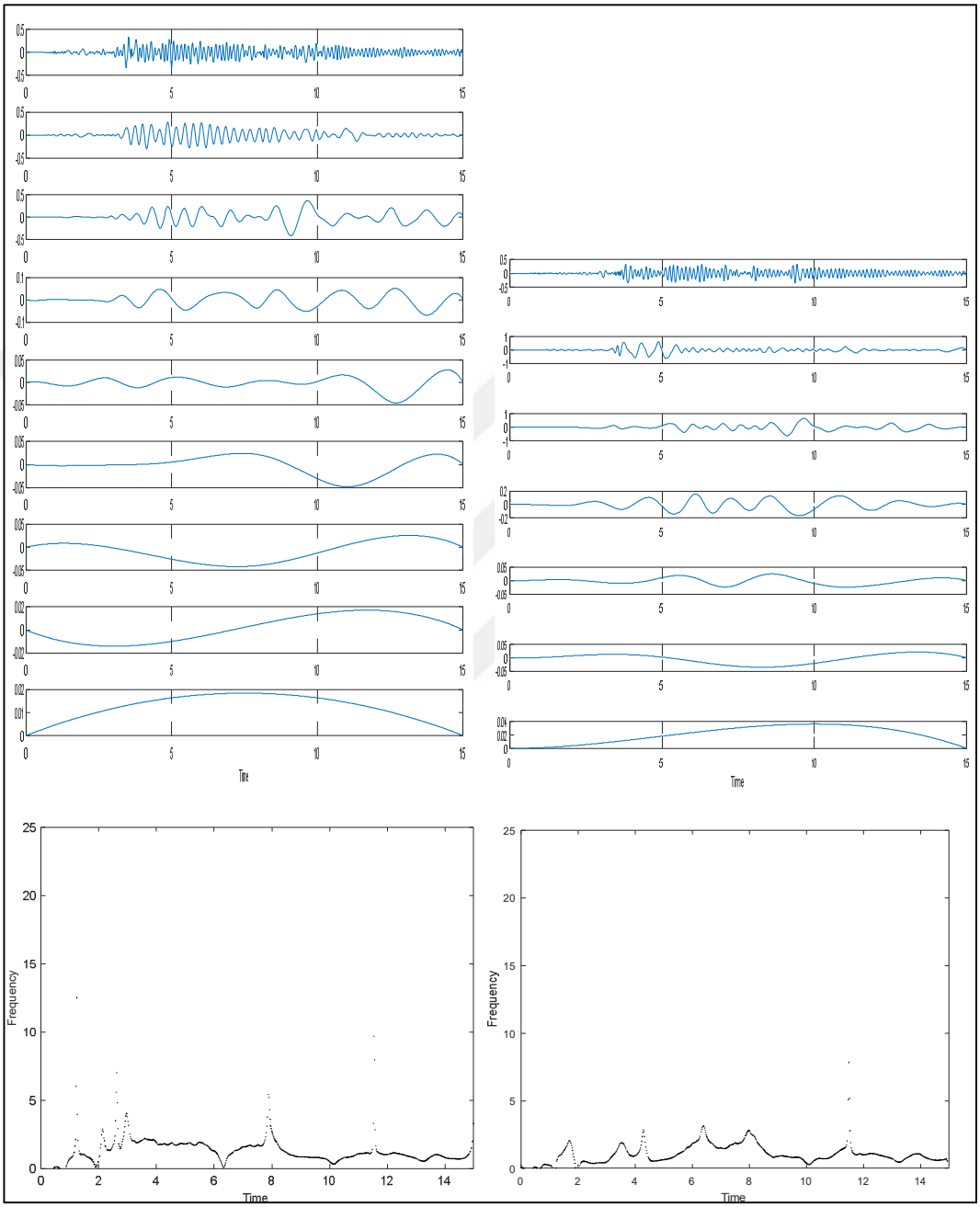

Şekil 2.69. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların kinetik ve kinematik parametreleri

H1 yönlü kinematik ve kinetik parametrelerin grafikleri karşılaştırıldığında 2 numaralı hasarsız elemanda yer alan yüksek frekans mertebesinin hasar alan elemanda azaldığı görülmektedir. Enerji değerlerinin 9. saniyeden sonra değiştiğini ve bunun yapı enerji tüketimiyle aynı zamanda gerçekleştiğini belirtebiliriz.



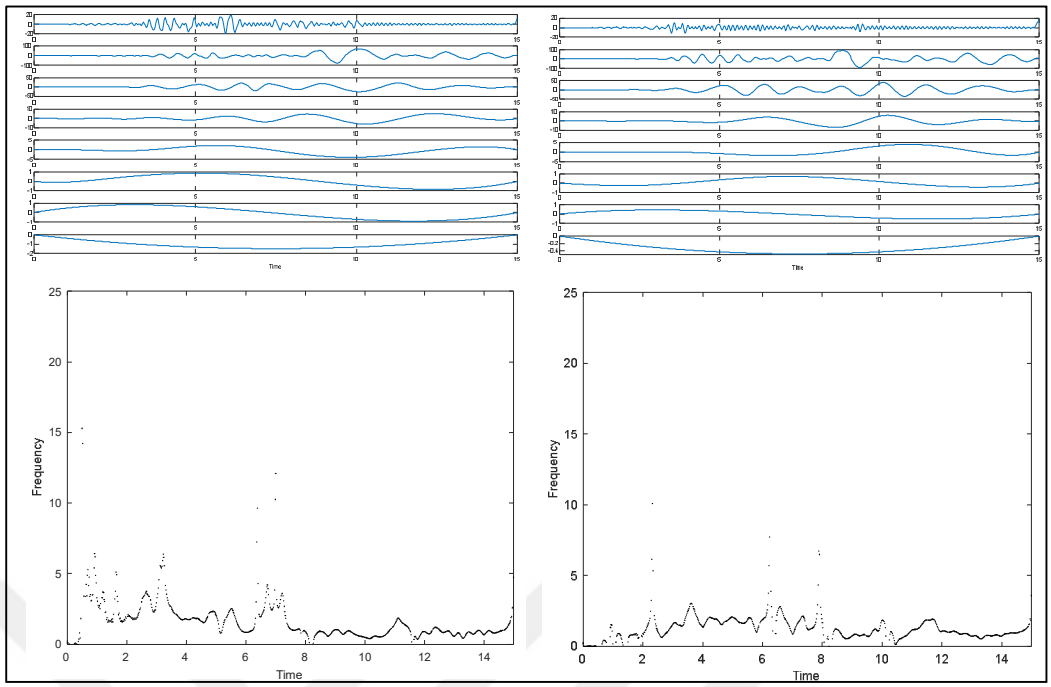

Şekil 2.70. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların mutlak ivmelerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları

H1 yönlü mutlak ivme değerlerinde elde edilen frekans değerlerinde 9. saniyeden sonra ani düşüşler gözlenebilmektedir. Burada 1. noktanın ikincisine göre frekans kayıplarının daha yüksek mertebede olduğu görülebilmektedir.



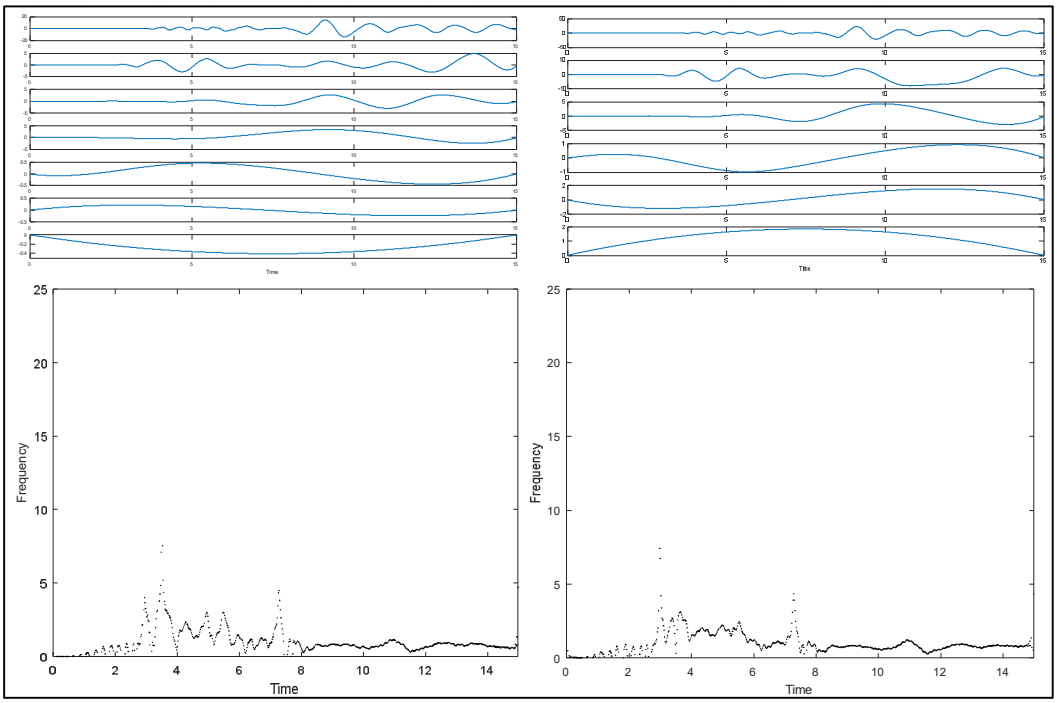

Şekil 2.71. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif ivmelerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları

H1 yönlü relatif ivme değerlerinde ise frekansın zamana göre düşmektedir ancak hangi elemanın daha çok hasar aldığı gözlemlenememektedir.



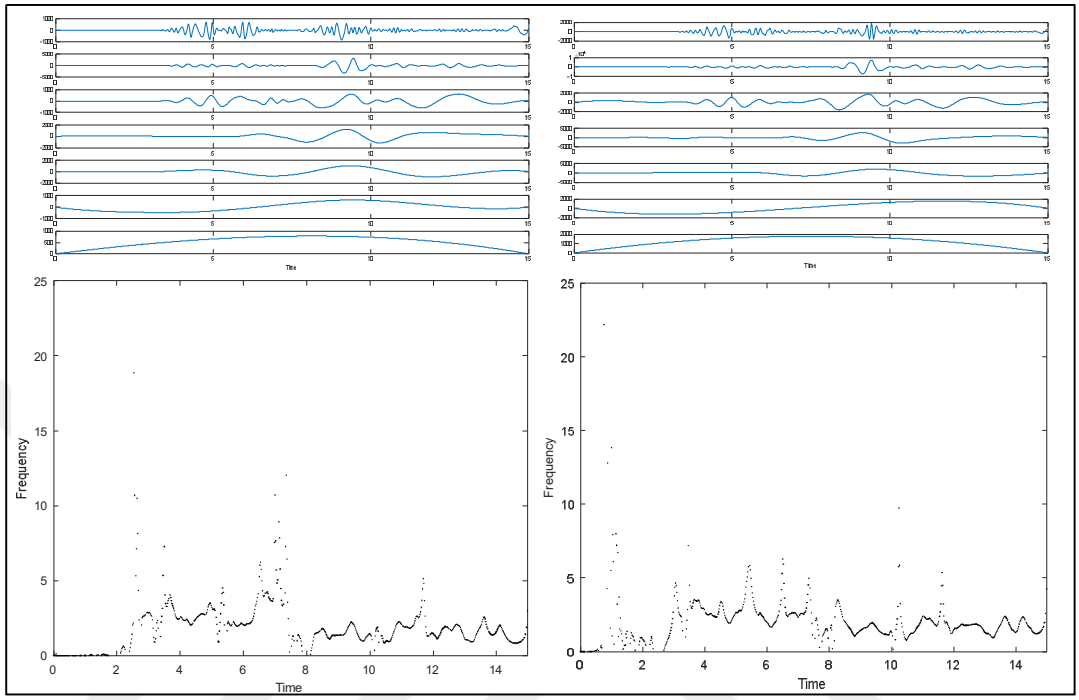

Şekil 2.72. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif hızlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumları

H1 yönlü relatif hız değerlerinde ise frekansın zamana göre düşmektedir. Bu grafiklerde de 1. noktadaki frekans kayıpları öne çıkmaktadır.




Şekil 2.73. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların relatif deplasmanlarının IMF değerleri ve Hilbert spektrumları

Bu yapıdaki seçilen noktalar için relatif deplasman değerleri üzerinden frekans kayıpları yakalanabilmektedir. Ancak hangi elemanın daha fazla hasar aldığı gözlemlenememektedir.




Şekil 2.74. 1 ve 2 Numaralı hasarlı noktaların enerjilerinin IMF değerleri ve Hilbert spektrumları

Enerji parametreleri de hızın karesinden elde edildiği için frekans muhteviyatındaki azalmalar daha belirgin bir şekilde ortaya çıkmakta ve zamana bağlı olarak azaldığı görülmektedir.

Dalgacık dönüşümü ve Hilbert Huang dönüşümü ilgili olarak çalışmalarda gösterildiği gibi bu dönüşümler yapı hasarını yakalamada etkin bir metot olarak kullanılabilmektedir. Hasar gören elemanlarla hasar görmeyen elemanlar arasındaki farklar dalgacık spektrumlarındaki zamanla değişen frekans muhteviyatından, bölgesel enerji yoğunlaşmalarından ve yerel üst çizgilerinden ve dalgacık paket dönüşümünden yola çıkılarak anlaşılabilmektedir. Enerji değerlerinden frekans kayıplarını, ivme ve hız değerlerinden ise frekansın zamana bağlı değişimini gözlemleyebilmekteyiz. Frekans değişimi relatif ivme grafiklerinde mutlak ivmeye göre daha başarılı bir şekilde tespit edilmektedir.

Tablo 2.3'te yapı hasar analizinde kullanılan bu dönüşümlerin özellikleri karşılaştırılmıştır.

Tablo 2.3. Hilbert dönüşümünü diğer dönüşümlerle karşılaştırma, Molla ve diğ. (2013)

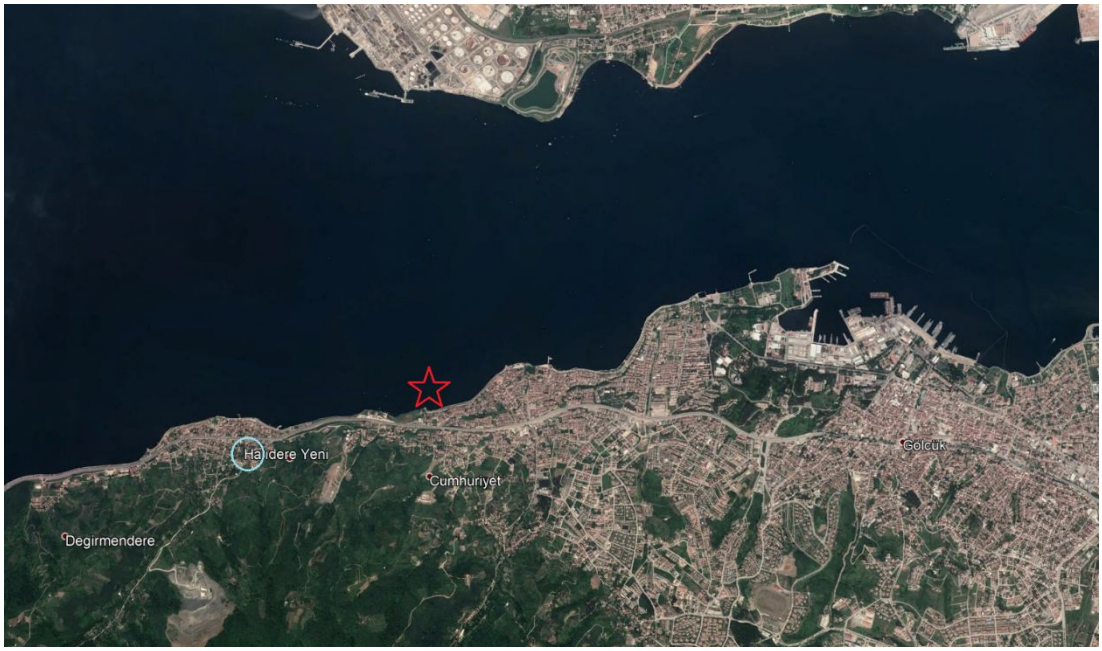
| Dönüşüm | Fourier | Dalgacık | Hilbert |
|---|---|---|---|
| Temeli | önsel | önsel | uyarlanabilir |
| Frekans | Konvolüsyon: global, belirsizlik | Konvolüsyon: bölgesel, belirsizlik | Türev: yerel, kesinlik |
| Gösterim | enerji-frekans | enerji-zaman-frekans | enerji-zaman-frekans |
| Nonlinearite | hayır | hayır | evet |
| Nonstasyonarite | hayır | evet | evet |
| Özellik Çıkarma | hayır | ayrık: hayır, sürekli: evet | evet |
| Teorik Altyapı | teorisi tamamlandı | teorisi tamamlandı | Ampirik (deneysel) |

Türkiye'de deprem sonrasında yapılarda oluşan hasar seviyeleri, inşaat mühendislerinin genellikle inşaat sürecinin sadece tasarım kısmında bulunduklarını ve imalatların ise kontrolsüz bir şekilde yapıldığını göstermektedir. Bu sebeple yapılar tasarlandıkları gibi değil inşa edildiği gibi davranmakta ve gerekli yapısal performansı sergileyememektedir. Bu eksik uygulama 1999 Kocaeli depreminden sonra değişmiştir ve yapıların inşa edilirken mühendisler tarafından denetlenmesini sağlayacak kurumlar oluşturulmuştur. Buradaki amaç yapının projesindeki gibi inşa edilmesini sağlamak, imalat hatalarını ve bunların sebep olacağı hasarları sınırlandırmaktır. Ancak günümüz mühendisliğinde yönetmeliklerin öngördüğünden farklı yapı davranışının ve hasar oluşumlarının da olabileceği hususu tartışma konusu olmuştur. Özellikle okullar, kamu binaları, askeri yapılar, yüksek yapılar ve nükleer tesisler gibi önemli ve sık kullanılabilen yapıların inşa edildikten sonra farklı metotlarla analiz edilmesi ve gerçeğe yakın hasar görebilirlik mertebelerinin tespit edilmesi ve anlık olarak izlenmesi bir ihtiyaç haline gelmiştir. Özellikle Avrupa ve Amerika'daki önemli ve belirli yüksekliğe sahip olan yapılar yasal düzenlemeler sebebiyle izleme ağlarıyla takip edilmektedir.

# 3. ANALİTİK MODELİ YAPI KLONLAMA METODUYLA OLUŞTURMA

Hasarlı altı katlı yapı yanında yer alan hasarsız iki katlı binadan elde edilecek yapı statik ve dinamik parametreleri hasarlı yapının hasar almadan (17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminden) önceki durumunun modellemede güvenilir değerler olarak kullanılması istenmektedir. Elde edilecek bu değerler ile çalışılan mevcut yapının üstünde ölçülen davranışları aynı doğrulukta sonlu eleman modelinde temsil edilebilmesi için daha sonra deneysel ve analitik modellerin modal şekiller arası korelasyon teknikleriyle değerlendirme yapılacak ölçülen hata matrisinin minimize edilme teknikleri nümerik modele uygulanarak model kalibrasyonları tamamlanmış olacaktır.

Bu çalışmada model kalibrasyonu yaparak, günlük büro uygulama çerçevesinde proje dökümanları ve malzeme testleriyle yapılabilecek orta bilgi seviyesinde değerlendirmeden daha detaylı bilgi derlemesiyle bir kaç adım ileride değerlendirme yapılabilir.

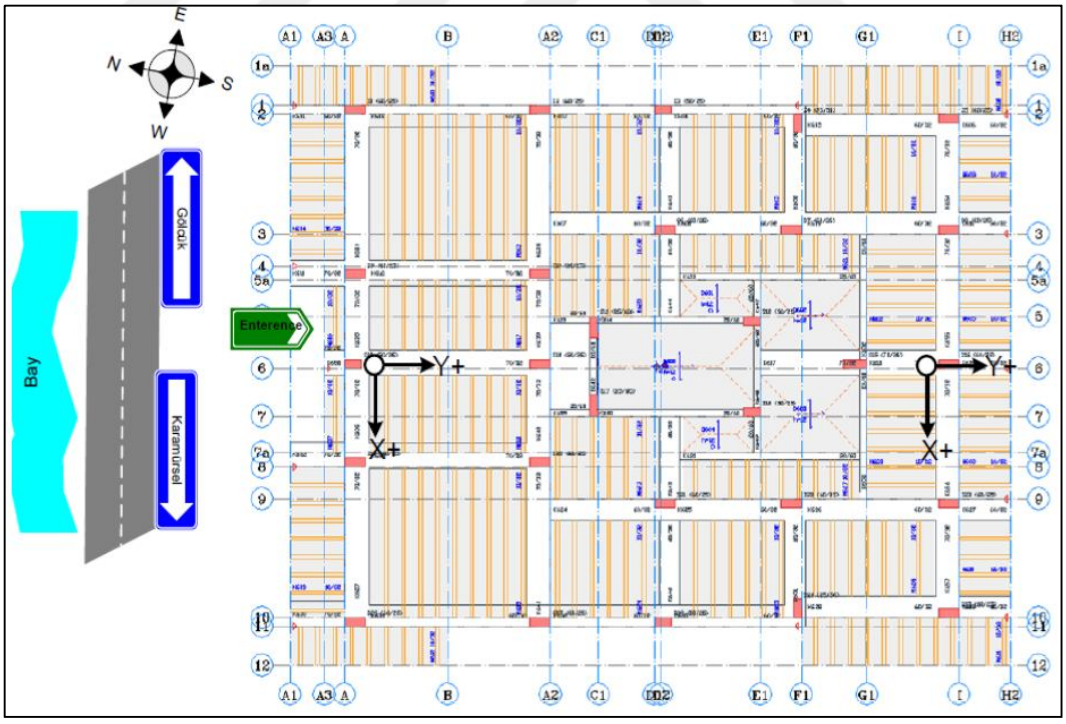



Şekil 3.1. Test yapılan binaların Marmara Denizi İzmit Körfezi'ndeki konumu (Binalar mavi çemberle deprem merkez üssü kırmızı yıldız ile gösterilmiştir.)




Şekil 3.2. Test yapılan binaların yerleşim planı görünümleri

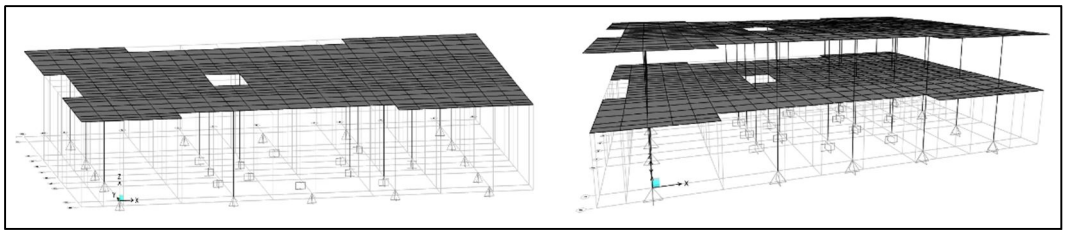
Kat planı Şekil 3.3'te gözükmektedir. Kolonlar 60 cm/30 cm, kirişler 25 cm/50 cm'dir. Kat yüksekliği 3 m'dir. Beton sınıfı C20, demir sınıfı St220 olarak belirlenmiştir.



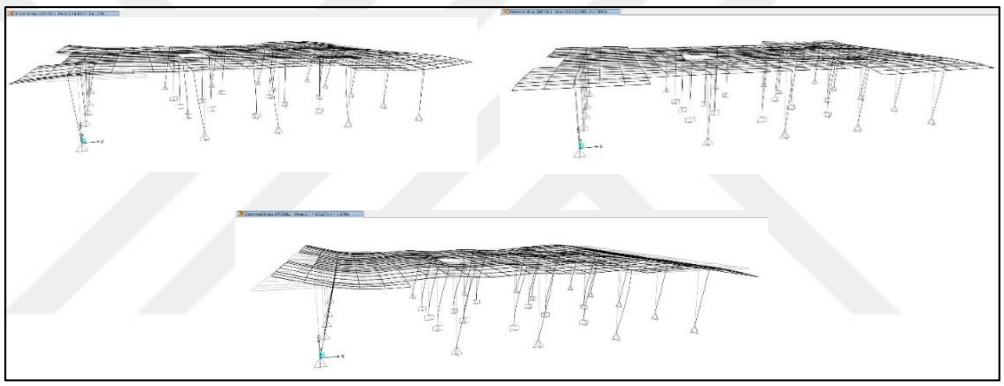

Şekil 3.3. Tipik kat planı

Tek katlı yapı SAP2000 programında analitik olarak modellenmiş ve çevrel titreşimlerden gelen modal parametreler elde edilinceye kadar kalibre edilmiştir. Tablo 3.1'de modelin kalibrasyon sonrası frekans bilgileri verilmiştir. Şekil 3.6 ve 3.7'de ise

çevrel titreşimlerden elde edilen frekans değerleri vardır. Burada X yönlü frekans mertebesi mod 3'te 7,53 Hz iken Y yönlü frekans mod 2'de görülebileceği üzere 7,30 Hz mertebesindedir. Analitik model frekanslarıyla deneysel olarak hesaplanan parametreler uyumlu hale geldikten sonra yapı 2 kata klonlanmış ve frekans mertebeleri mukayese edilmiştir.



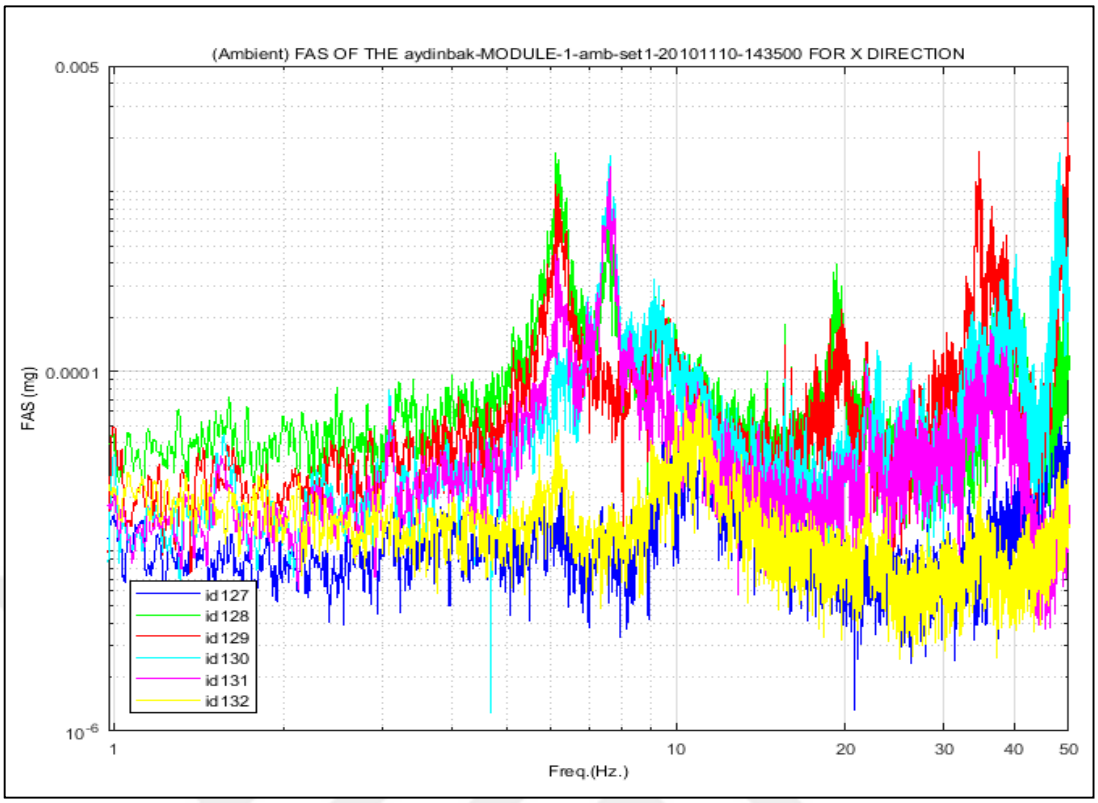
Şekil 3.4. Bir ve iki katlı betonarme yapıların 3 boyutlu modelleri



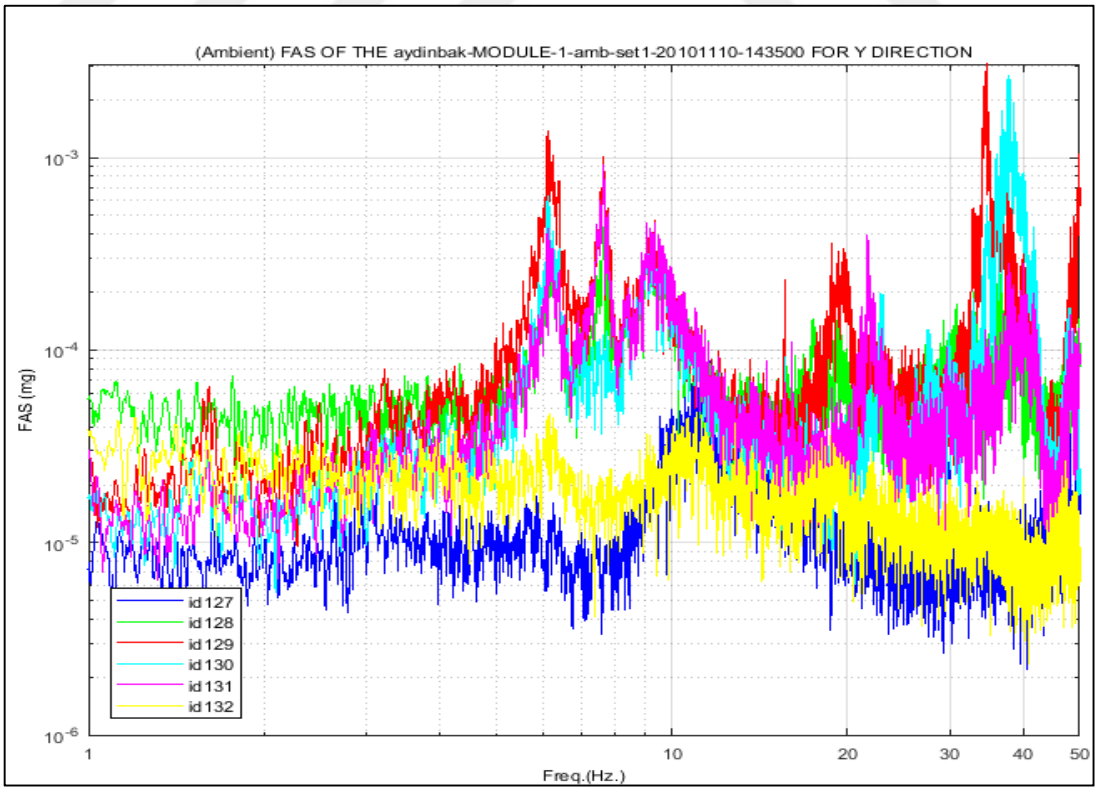
Şekil 3.5. Bir katlı betonarme yapının mod şekilleri

Tablo 3.1. Tek katlı yapının modal parametreleri

| Modal Periyot ve Frekanslar | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durum** | **Tip** | **Numara** | **Periyot** | **Frekans** | **Dai. Fre.** | **Özdeğer** |
| Metin | Metin | Birimsiz | Sn | Dvr/sn | rad/sn | rad2/sn2 |
| MODAL | Mod | 1 | 0,197 | 5,070 | 31,880 | 1016,249 |
| MODAL | Mod | 2 (Y) | 0,137 | 7,300 | 45,877 | 2104,703 |
| MODAL | Mod | 3 (X) | 0,133 | 7,530 | 47,323 | 2239,436 |
| MODAL | Mod | 4 | 0,076 | 13,200 | 82,934 | 6878,044 |
| MODAL | Mod | 5 | 0,076 | 13,220 | 83,053 | 6897,877 |
| MODAL | Mod | 6 | 0,070 | 14,381 | 90,359 | 8164,812 |
| MODAL | Mod | 7 | 0,065 | 15,497 | 97,371 | 9481,158 |
| MODAL | Mod | 8 | 0,060 | 16,590 | 104,238 | 10865,642 |
| MODAL | Mod | 9 | 0,060 | 16,639 | 104,546 | 10929,780 |
| MODAL | Mod | 10 | 0,057 | 17,554 | 110,293 | 12164,628 |
| MODAL | Mod | 11 | 0,055 | 18,086 | 113,639 | 12913,891 |

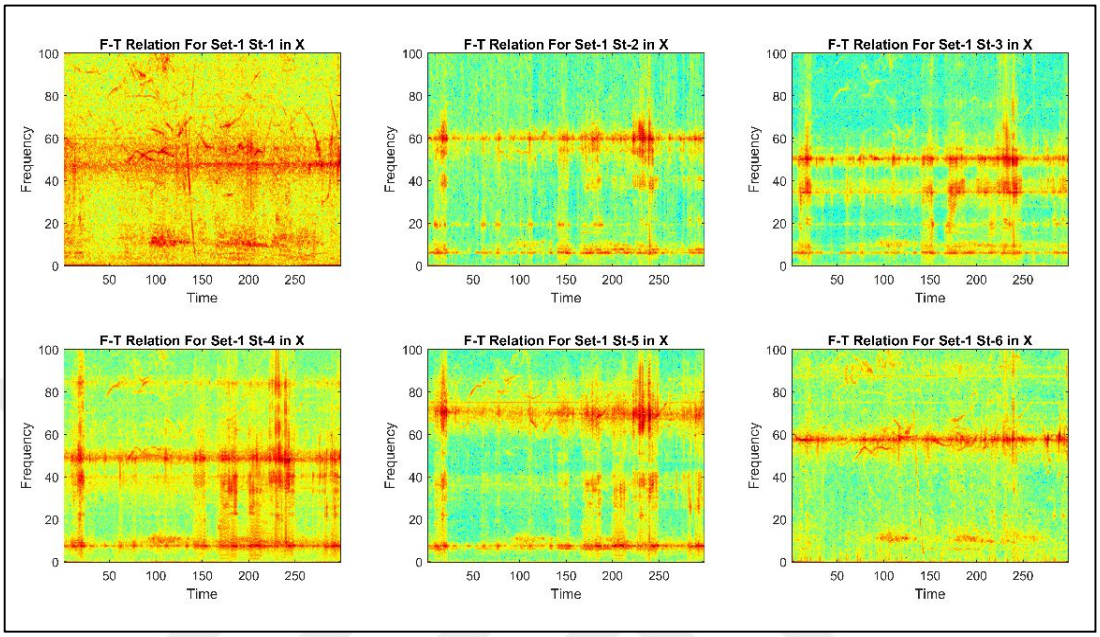



Şekil 3.6. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü FAS (Fourier Amplitude Spectra) değerleri

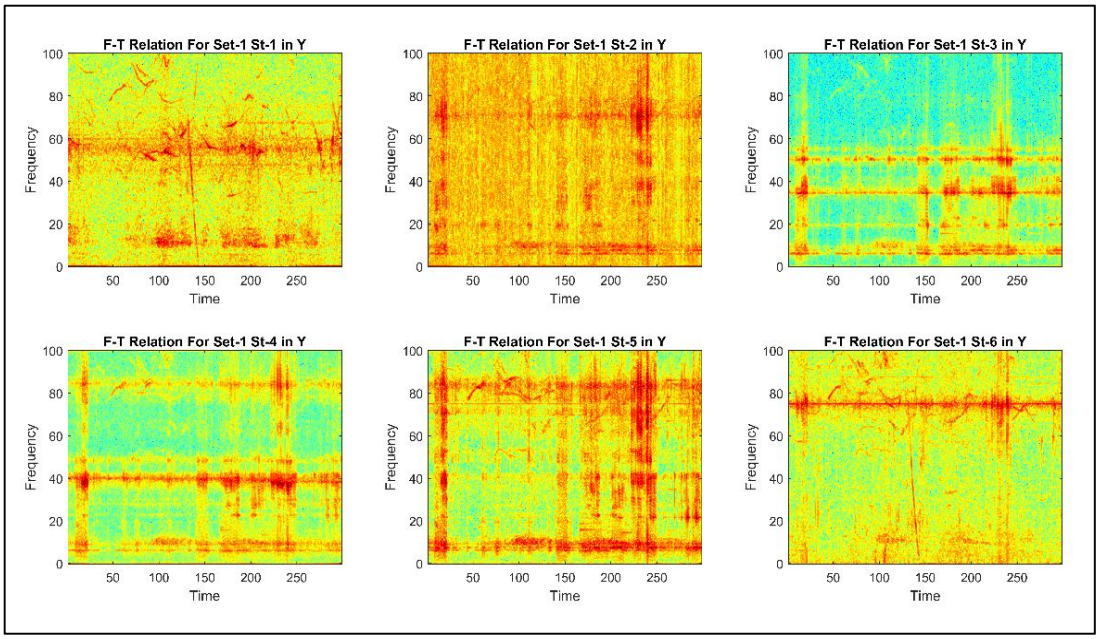



Şekil 3.7. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü FAS değerleri

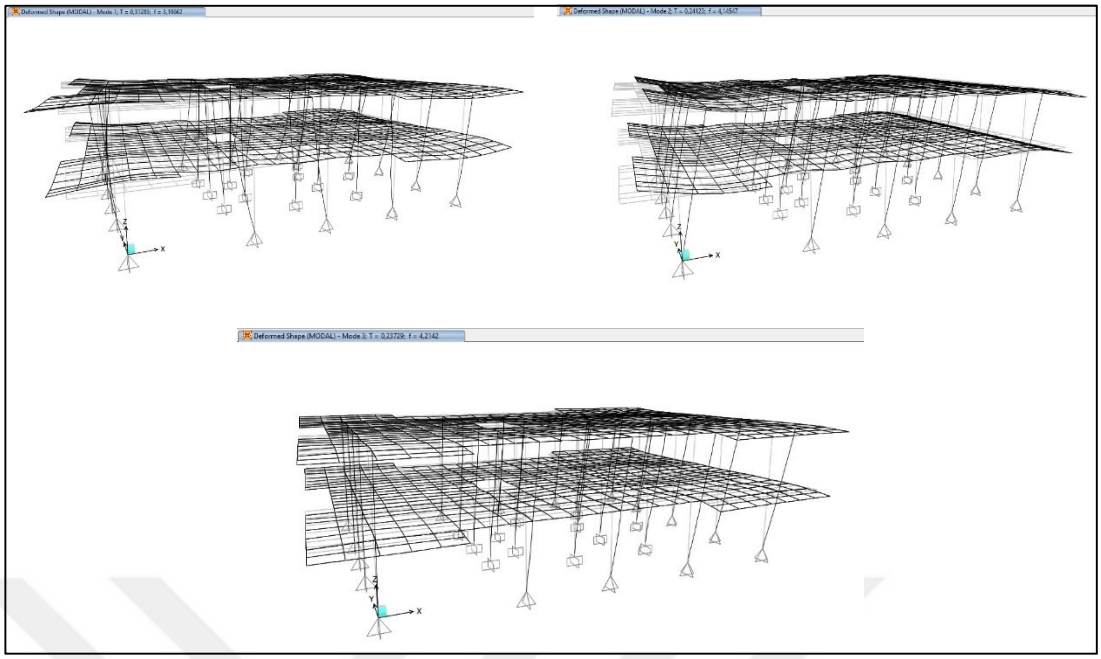
Şekil 3.8 ve 3.9'da tek katlı yapının çevrel titreşim kayıtlarıyla X ve Y yönlü ivme değerleri üzerinden dalgacık dönüşümleri elde edilmiştir. Burada her kattaki istasyon için frekans mertebeleri zamana bağlı olarak gösterilmiştir.




Şekil 3.8. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü dalgacık zaman-frekans değerleri




Şekil 3.9. Tek katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü dalgacık zaman-frekans değerleri



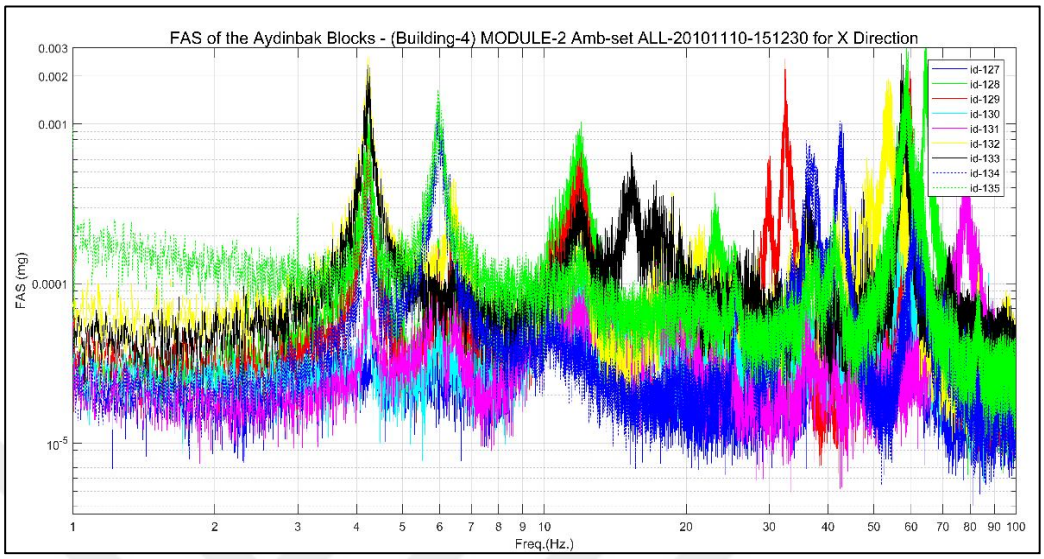
Şekil 3.10. İki katlı betonarme yapının mod şekilleri

Tablo 3.2'de modelin kalibrasyon sonrası frekans bilgileri verilmiştir. Şekil 3.11 ve 3.12'de ise çevrel titreşimlerden elde edilen frekans değerleri vardır. Burada X yönlü frekans mertebesi mod 3'te 4,14 Hz iken Y yönlü frekans mod 2'de görülebileceği üzere 4,21 Hz mertebesindedir.

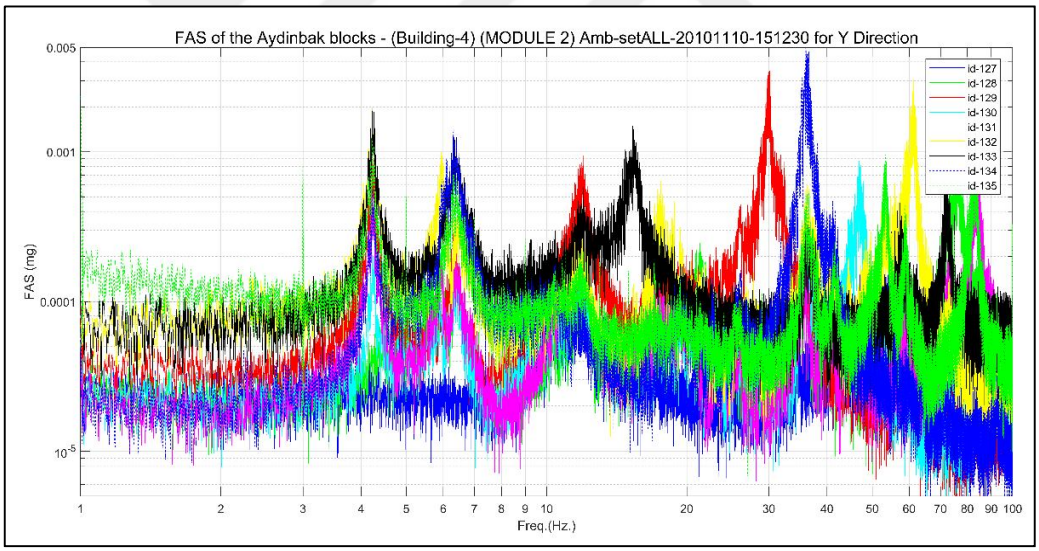
Tablo 3.2. İki katlı yapının modal parametreleri

| Modal Periyot ve Frekanslar | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durum** | **Tip** | **Numara** | **Periyot** | **Frekans** | **Dai. Fre.** | **Özdeğer** |
| Metin | Metin | Birimsiz | Sn | Dvr/sec | rad/sn | rad2/sn2 |
| MODAL | Mod | 1 | 0,313 | 3,197 | 20,085 | 403,404 |
| MODAL | Mod | 2 (Y) | 0,241 | 4,145 | 26,047 | 678,434 |
| MODAL | Mod | 3 (X) | 0,237 | 4,214 | 26,479 | 701,117 |
| MODAL | Mod | 4 | 0,078 | 12,783 | 80,316 | 6450,669 |
| MODAL | Mod | 5 | 0,076 | 13,122 | 82,450 | 6798,021 |
| MODAL | Mod | 6 | 0,073 | 13,789 | 86,639 | 7506,332 |
| MODAL | Mod | 7 | 0,071 | 14,079 | 88,464 | 7825,793 |
| MODAL | Mod | 8 | 0,069 | 14,410 | 90,539 | 8197,365 |
| MODAL | Mod | 9 | 0,069 | 14,496 | 91,080 | 8295,596 |
| MODAL | Mod | 10 | 0,066 | 15,239 | 95,747 | 9167,500 |
| MODAL | Mod | 11 | 0,064 | 15,591 | 97,960 | 9596,239 |
| MODAL | Mod | 12 | 0,063 | 15,911 | 99,969 | 9993,741 |

Şekil 3.11 ve 3.12'deki gibi yapı üzerinde sahadan elde edilen ivme ölçer kayıtları baz alınarak X ve Y yönlü frekans mertebeleri elde edilmiştir.

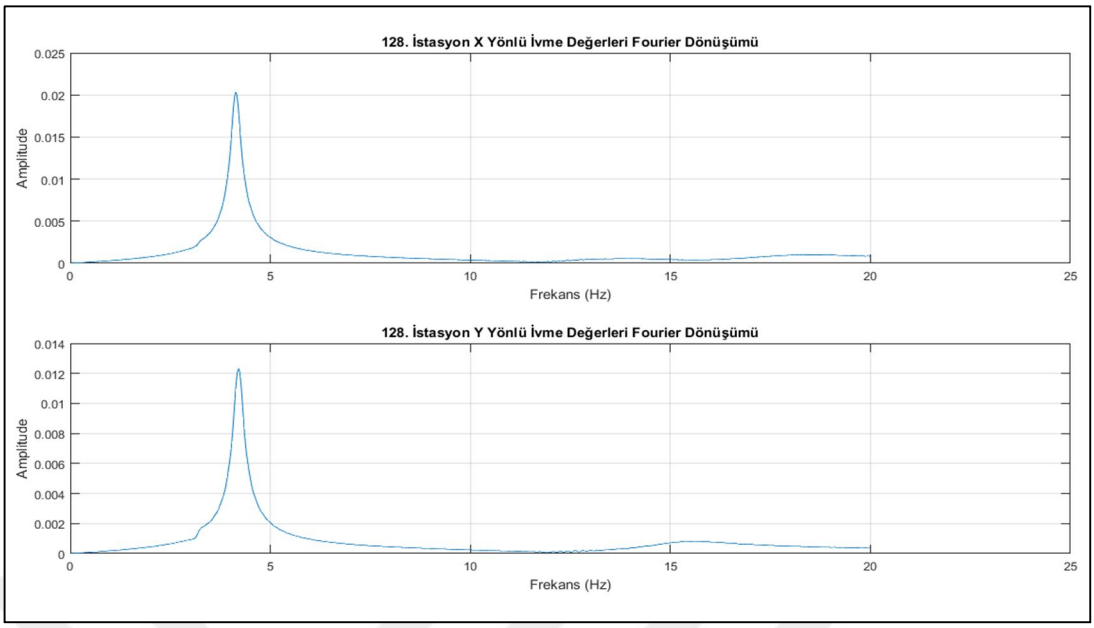



Şekil 3.11. İki katlı yapının çevrel titreşim kaydının X yönlü FAS değerleri

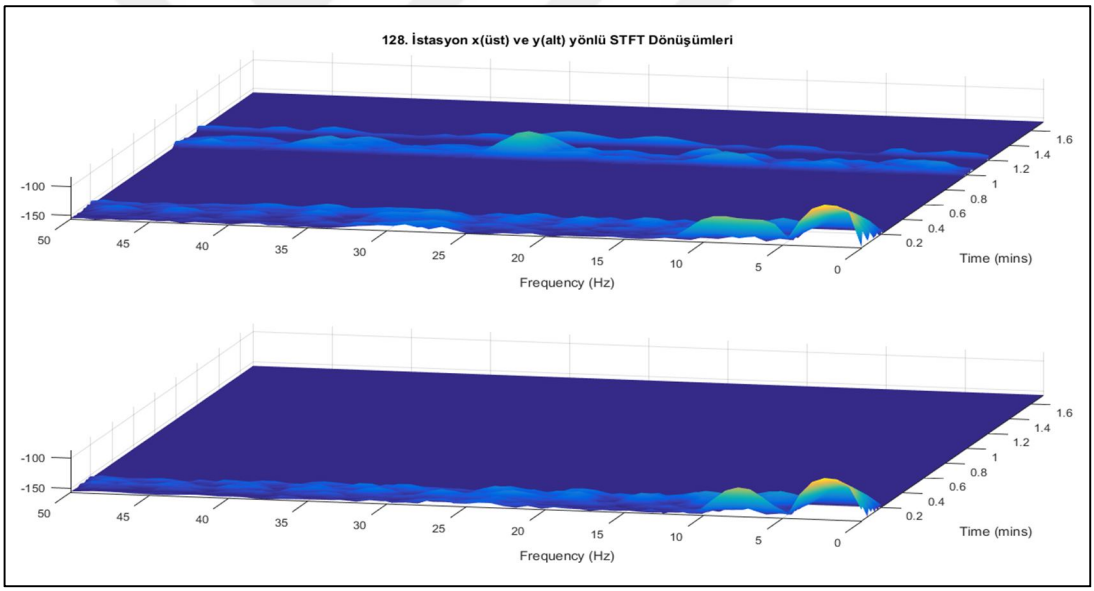



Şekil 3.12. İki katlı yapının çevrel titreşim kaydının Y yönlü FAS değerleri

Bir sonraki aşamada bir ve iki katlı analitik modellerimize sahadan elde edilen mikrotremor kayıtları ivme olarak etkitilerek frekans mertebelerinin gerçek mikrotremor kayıtlarından elde edilenlerle yakınlığı karşılaştırılmıştır. Analitik modelden elde edilen veriler ve X ve Y yönlü Fourier dönüşümleri Şekil 3.13'te gösterilmiştir. Şekil 3.14'te ise kısa zaman pencereli Fourier dönüşümü (STFT) grafikleri vardır. Bu grafiklerden iki katlı yapının frekabs mertebelerinin 4Hz mertebesinde olduğu görülebilir.

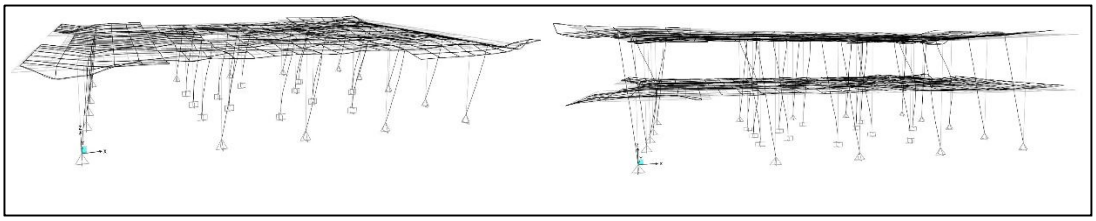



Şekil 3.13. İki katlı analitik yapının çevrel titreşim kaydının Fourier dönüşümleri



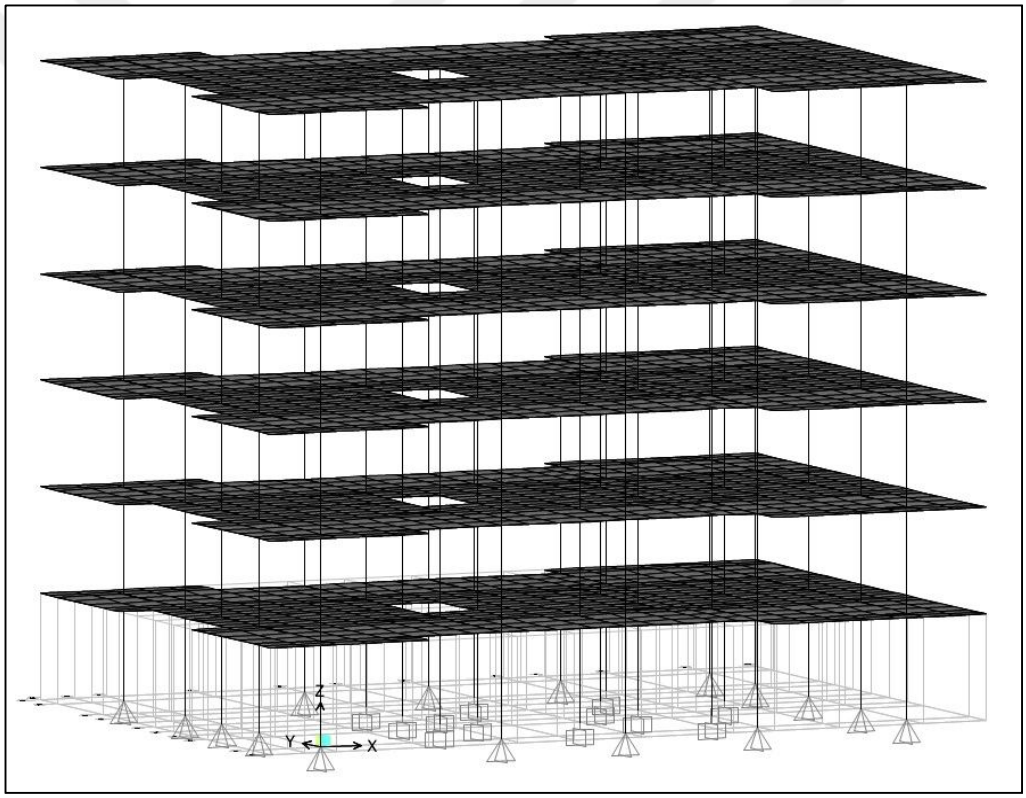

Şekil 3.14. İki katlı analitik yapının çevrel titreşim kaydının STFT dönüşümleri

Sahadan ve analitik modeldeki mikrotremor verilerinden elde edilen frekans mertebeleri iki katlı yapının modal parametreleriyle uyumludur ve X ve Y yönünde 4,15-4,20 Hz arasında kalmaktadır. Böylece analitik olarak elde edilen modelimiz iki katlı gerçek yapımızı yüksek tutarlılıkla simule etmektedir. Kalibre edilen ve klonlanan Blok 3 ve Blok 4 Kocaeli depreminde (17 Ağustos 1999) herhangi bir şekilde hasar almamıştır. Analitik modelimizde de doğrusal olmayan alanda deprem analizi yapılarak hasar mertebeleri elde edilmiş ve gerçekte olduğu gibi herhangi bir hasar almadığı ve taşıyıcı elemanların mafsallaşmadığı gözlemlenmiştir.



Şekil 3.15. Tek ve iki katlı yapının kocaeli depremi altında mafsallaşma grafikleri

Analitik iki katlı yapı altı katlı yapıya klonlanarak doğrusal olmayan zaman tanım alanında 17 Ağustos 1999 Kocaeli depremi etkitilerek hasar analizi yapılacak ve mevcut hasar durumuyla karşılaştırılarak gerçek yapıya ne kadar yakın bir model elde edildiği tartışılacaktır.

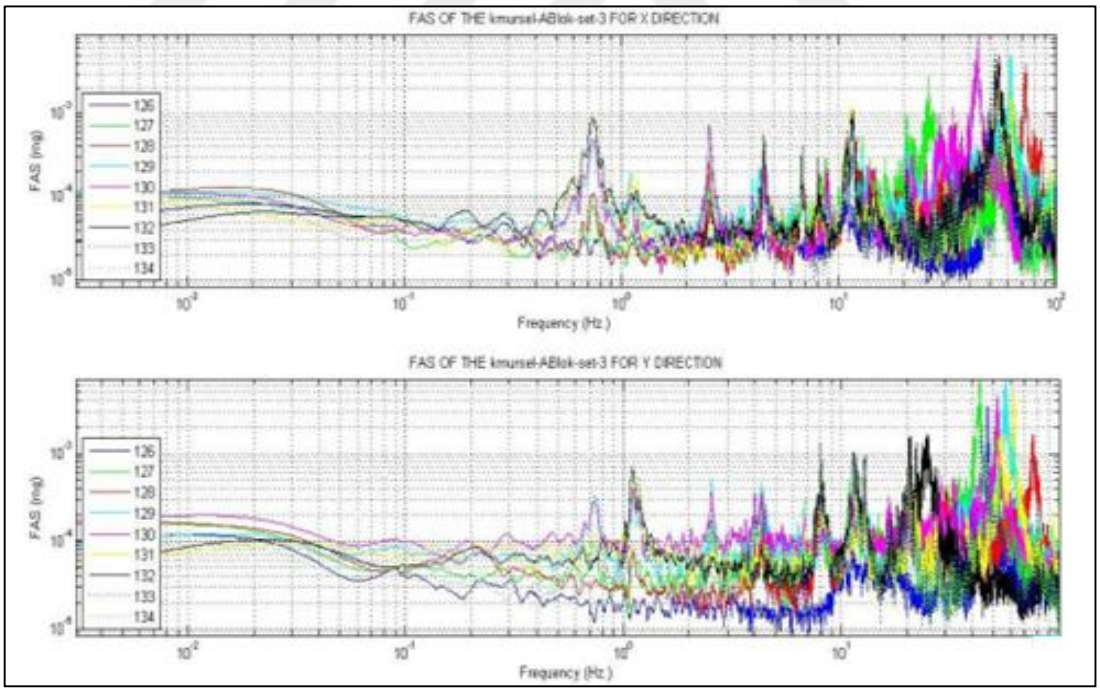



Şekil 3.16. Altı katlı yapı analiz modeli

Tablo 3.3'de modelin kalibrasyon sonrası frekans bilgileri verilmiştir. Şekil 3.17'de ise çevrel titreşimlerden elde edilen frekans değerleri vardır. Burada X yönlü frekans mertebesi mod 3'te 0,919 Hz iken Y yönlü frekans mod 2'de görülebileceği üzere 0,864 Hz mertebesindedir.

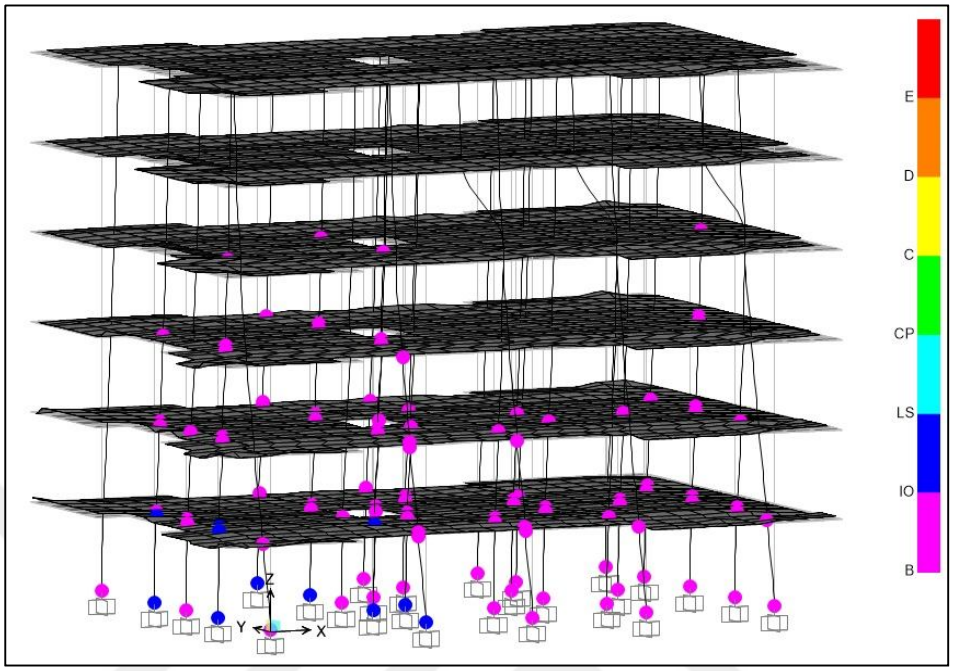
Tablo 3.3. Altı katlı yapının modal parametreleri

| Modal Periyot ve Frekanslar | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Durum** | **Tip** | **Numara** | **Periyot** | **Frekans** | **Dai. Fre.** | **Özdeğer** |
| Metin | Metin | Birimsiz | Sn | Cyc/sn | rad/sn | rad2/sn2 |
| MODAL | Mod | 1 | 1,219 | 0,820 | 5,153 | 26,556 |
| MODAL | Mod | 2 (Y) | 1,157 | 0,864 | 5,432 | 29,503 |
| MODAL | Mod | 3 (X) | 1,088 | 0,919 | 5,774 | 33,340 |
| MODAL | Mod | 4 | 0,403 | 2,478 | 15,572 | 242,487 |
| MODAL | Mod | 5 | 0,381 | 2,623 | 16,484 | 271,718 |
| MODAL | Mod | 6 | 0,356 | 2,812 | 17,668 | 312,172 |
| MODAL | Mod | 7 | 0,239 | 4,180 | 26,263 | 689,720 |
| MODAL | Mod | 8 | 0,221 | 4,518 | 28,385 | 805,720 |
| MODAL | Mod | 9 | 0,204 | 4,893 | 30,746 | 945,301 |
| MODAL | Mod | 10 | 0,175 | 5,725 | 35,971 | 1293,916 |
| MODAL | Mod | 11 | 0,173 | 5,768 | 36,239 | 1313,264 |
| MODAL | Mod | 12 | 0,171 | 5,840 | 36,697 | 1346,658 |




Şekil 3.17. Çevrel titreşim ölçümlerinden elde edilen istasyon kayıtlarının Fourier dönüşümlerinin X (üst) ve Y (alt) yönleri için genlik-frekans içeriği

Zaman tanım alanında doğrusal elastik olmayan tepki analizi ile 17 Ağustos 1999 depreminin altı katlı binada gelişen hasar dağılımı Şekil 3.18'de verilmiştir.




Şekil 3.18. Altı katlı analitik yapının deprem hasar dağılımı

Analitik olarak elde edilen model deprem sonrası hasar rölevesiyle karşılaştırılacak ve sonrasında hasar tahmini için bu model üzerinden deprem öncesi ve sonrası için üretilen mikrotremor kayıtlarına zaman-frekans alanında kullanılan dalgacık, Hilbert Huang gibi dönüşümler uygulanacaktır. Sonuçlar istatistiksel olarak tartışılacaktır.

# 4. MEVCUT HASAR RÖLÖVESİ

Binanın mevcut durumunda depremden sonra zemin kat kolonlarında mafsallaşma gözlemlenmiştir. 1. ve 2. kat kolonlarında ve merdiven kovasında çatlaklar gözlenmiştir. 3., 4., 5. ve 6. katlarda herhangi bir hasar oluşumu gözlenmemiştir. Ayrıca zemin kat merdiven kovasını çevreleyen kirişlerde kolon birleşim noktalarında çatlaklar mevcuttur.



Şekil 4.1. Bina genel görünümü



Şekil 4.2. Zemin kat kolonda mafsallaşma-1



Şekil 4.3. Zemin kat kolonda mafsallaşma-2

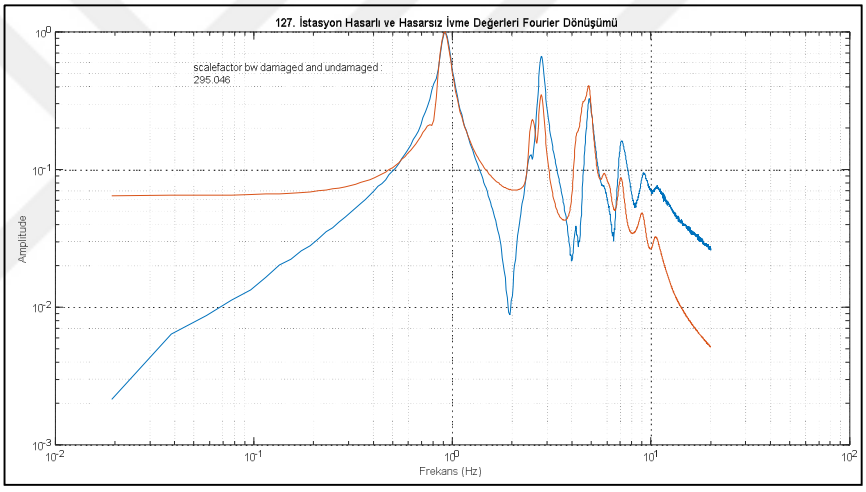


Şekil 4.4. Zemin kat kolonda mafsallaşma-3

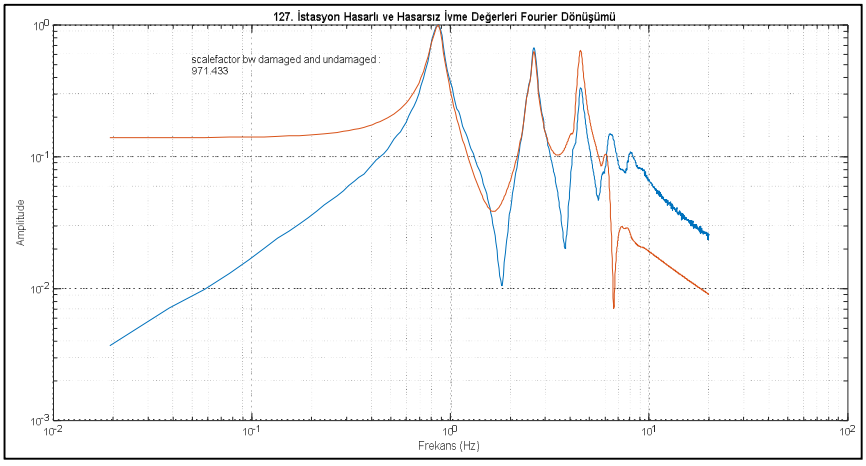
Şekil 4.2, 4.3 ve 4.4'de görülebileceği üzere zemin kat kolonlarda mafsallaşma oluşmuştur.

# 5. ZAMAN-FREKANS ALANINDA HASAR TESPİT ÇALIŞMALARI

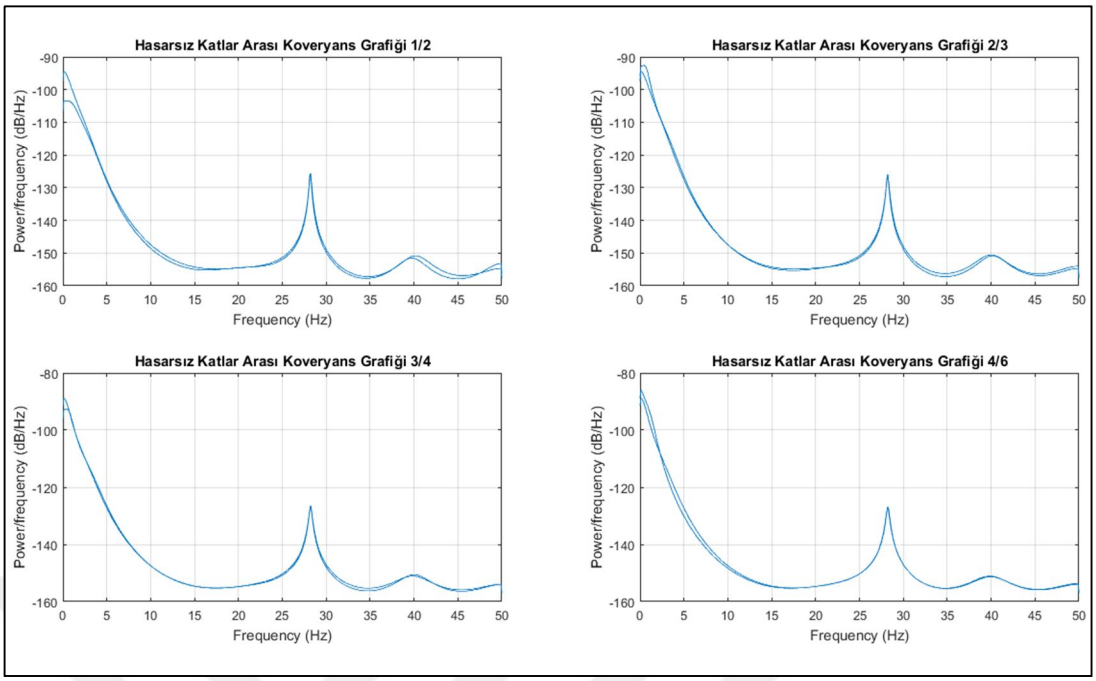
Mevcut hasar rölevesiyle analitik modele uygulanan doğrusal olmayan deprem analiz sonuçları birbiriyle uyumludur. Böylece analitik model üzerinden elde edilen deprem öncesi ve sonrası mikrotremor kayıtları hasar tespiti için veri olarak kullanılabilecektir. Bu veriler üzerinden zaman-frekans grafiklerinde anomali tespiti yapılarak yapısal hasar oluşumu hakkında bilgiye ulaşılmaya çalışılacaktır. Öncelikle X yönündeki mikrotremor kayıtları hasarlı ve hasarsız yapı için incelenecek sonra Y yönündeki kayıtlara bakılacaktır.



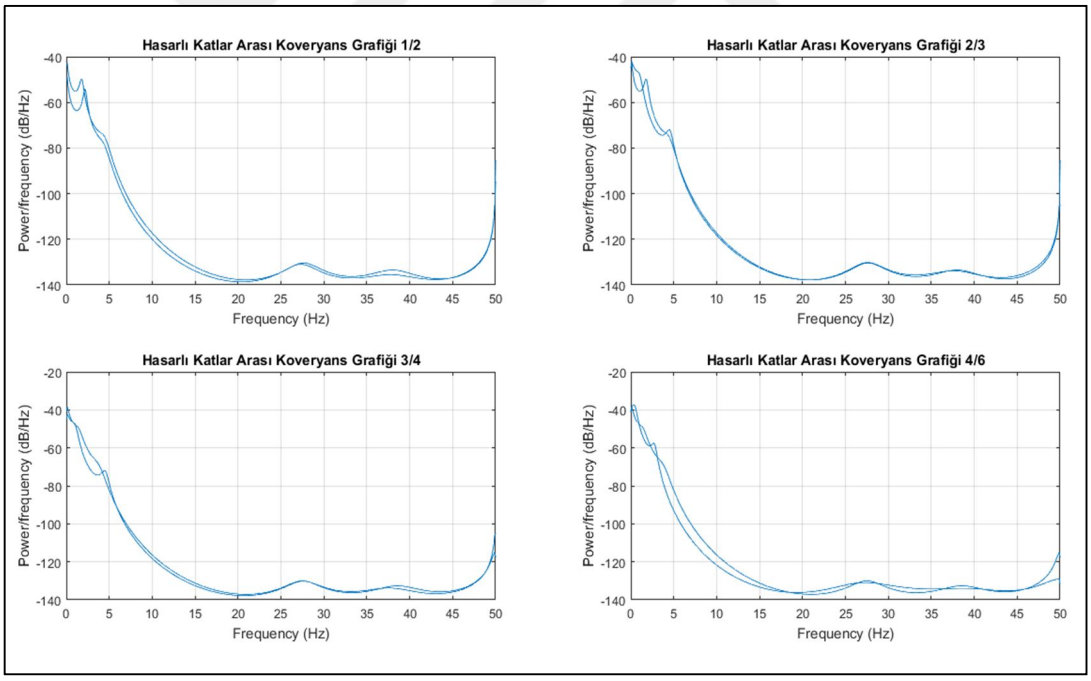

Şekil 5.1. Hasarlı (kırmızı) ve hasarsız (mavi) yapının X yönlü Fourier dönüşümleri




Şekil 5.2. Hasarlı (kırmızı) ve hasarsız (mavi) yapının Y yönlü Fourier dönüşümleri

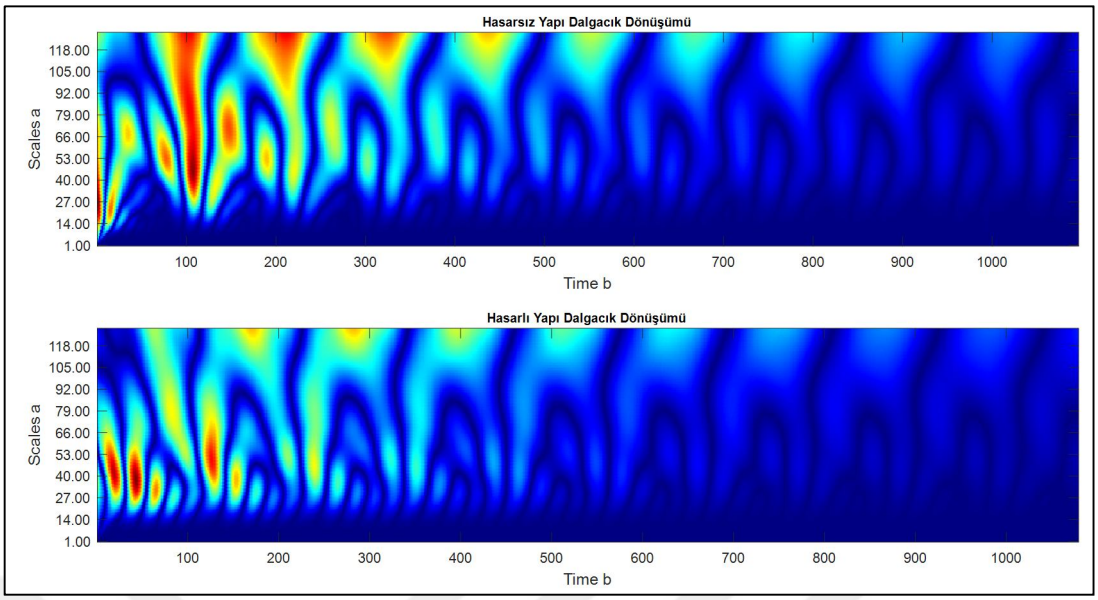



Şekil 5.3. Hasarsız yapının katlar arası koveryans grafikleri



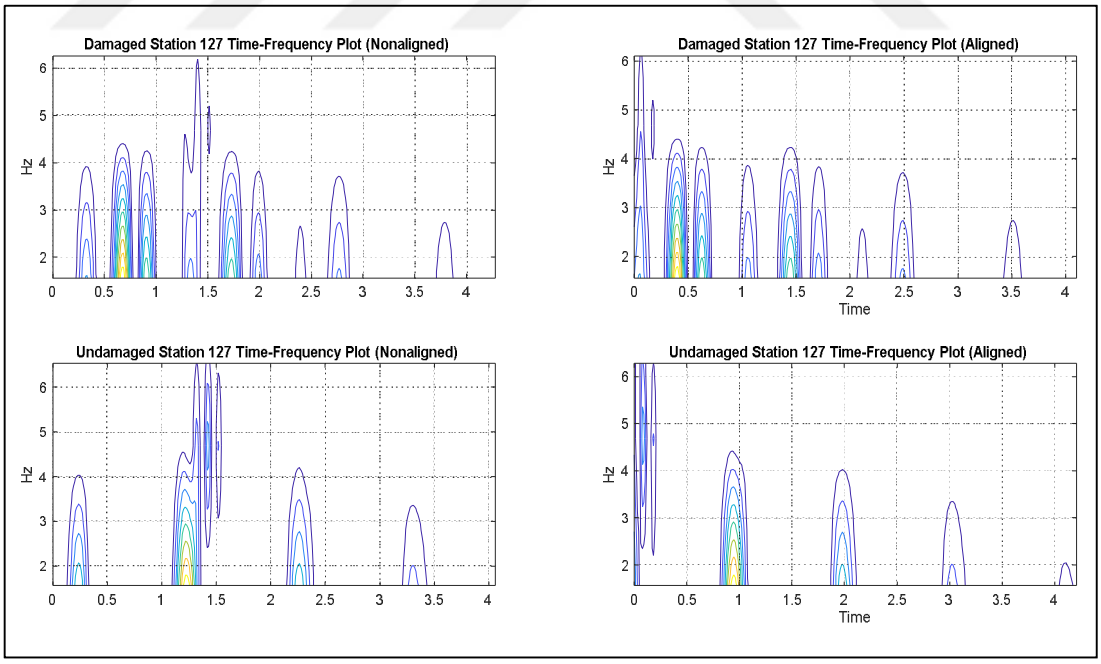

Şekil 5.4. Hasarlı yapının katlar arası koveryans grafikleri

Şekil 5.3. ve 5.4'deki katlar arası koveryans grafiklerine bakıldığında hasarsız yapıda grafiklerin örtüştüğü ancak hasarlu yapında 1. ve 2. katlardan itibaren grafiklerin arasının açıldığı görünmektedir. Bu da hasarın 1. katta yoğunlaştığını göstermektedir.



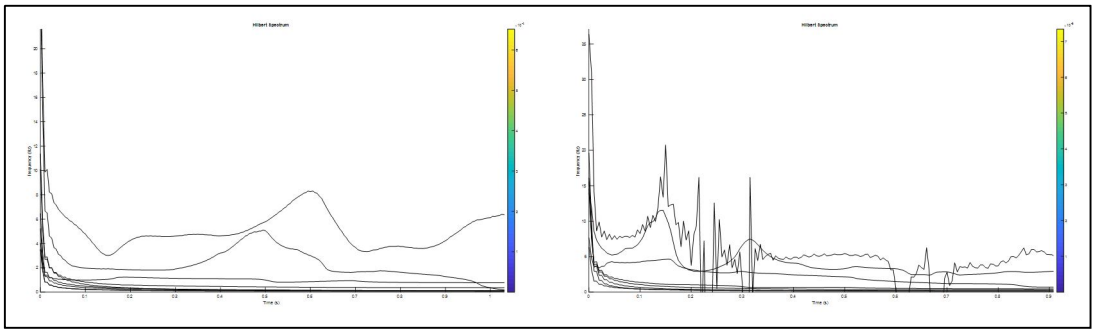

Şekil 5.5. Hasarlı (altta) ve hasarsız (üstte) yapıların dalgacık dönüşümleri

Dalgacık dönüşümlerinde Db4 kullanılmıştır. Hasarlı ve hasarsız yapıda dalgacık dönüşümlerine bakıldığında frekans mertebesinin zamana bağlı olarak değiştiği görülmektedir. Grafiklerde zamana bağlı olarak frekans mertebelerinin birbirinden farklı olarak değişmekte olduğu gözlemlenmektedir.



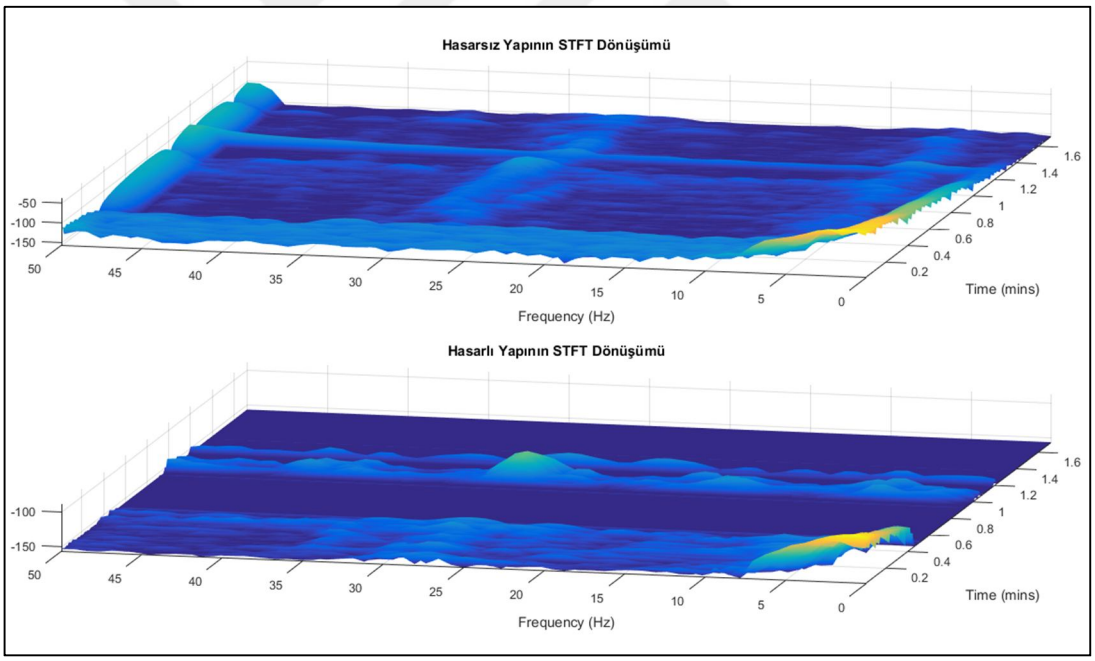

Şekil 5.6. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların dalgacık paket dönüşümleri

Şekil 5.6'de görüleceği üzere hasarlı ve hasarsız yapıda grafiksel olarak şiddet farklarına rastlanmaktadır.



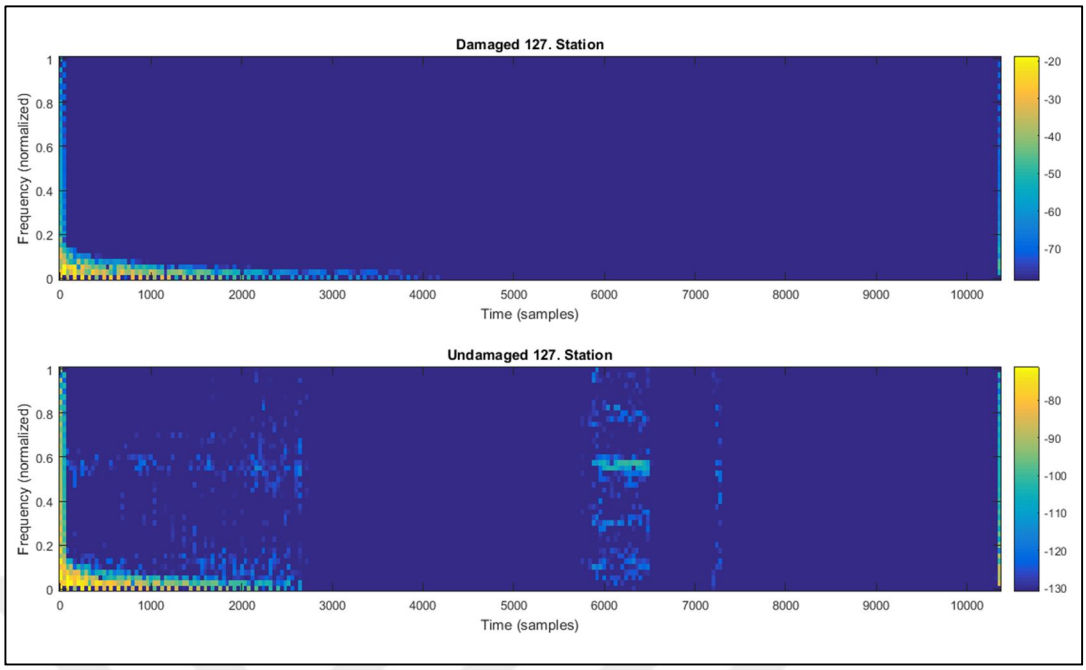
Şekil 5.7. Hasarlı (solda) ve hasarsız (sağda) yapıların Hilbert Huang dönüşümleri

Şekil 5.7'da hasarlı ve hasarsız yapıda frekans mertebeleri zamana bağlı olarak değişmektedir. Hasarsız yapının HHD grafiklerinde frekans mertebesi hasarlı yapıya göre başlangıçta yüksek olmasına karşın zamanla azalmakta ve düşük sevitede ilerlemektedir. Hasarlı olanda ise grafik daha yumuşak ve zamanla yükseldiği görülmektedir.

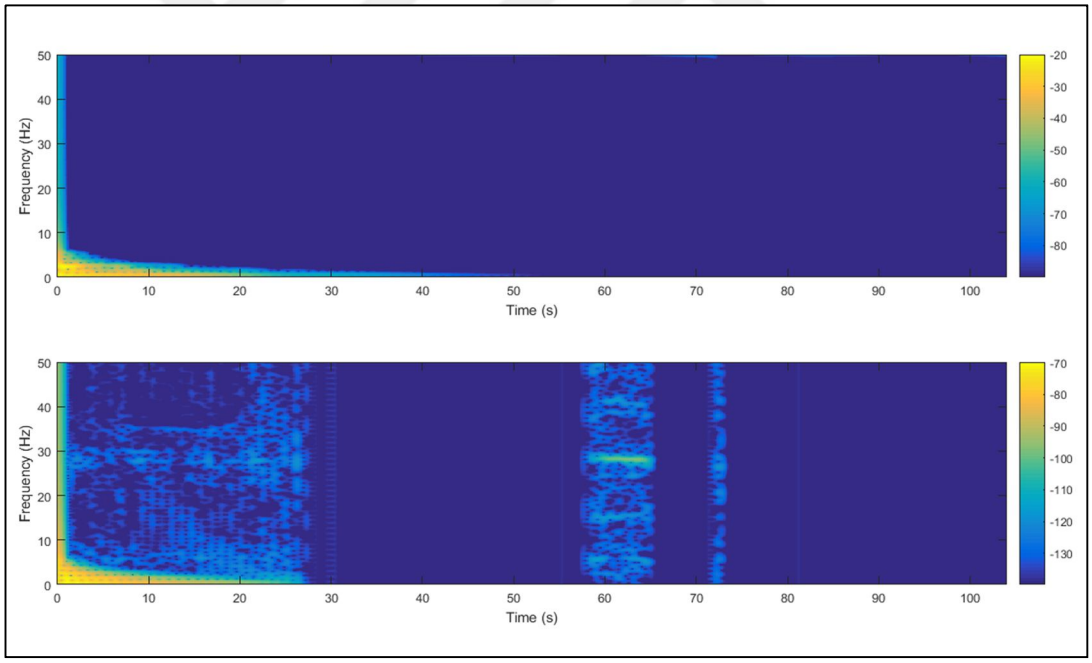



Şekil 5.8. Hasarlı (altta) ve hasarsız (üstte) yapıların STFT dönüşümleri

Şekil 5.8'de kısa zamanlı Fourier dönüşümlerinin grafikleri görünmektedir. Burada da hasarlı ve hasarsız yapı frekansları zamana bağlı olarak değişmektedir.




Şekil 5.9. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların Wilson dönüşümleri




Şekil 5.10. Hasarlı (üstte) ve hasarsız (altta) yapıların ayrık Gabor dönüşümleri

Şekil 5.9 ve 5.10'da ise zaman-frekans ortamında çözünürlük veren dönüşümlerden Wilson ve Gabor görülmektedir. Bu grafiklerde de hasarlı ve hasarsız yapı periyotlarındaki değişim gözlenebilmektedir. Grafiklerden elde edilen sonuçlarda hasarın oluşumuyla ilgili yorum yapabilmek için veriler istatistiksel yöntemlerle analiz edilmelidir.

# 6. HASAR TESPİTİNDE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER

İstatistik sözcüğünün kullanımı Antik Yunan'da Aristo zamanına kadar dayanmaktadır. Veriyi toplama, sınıflandırma, çözümleme ve yorumlama bilimi olarak ifade edilebilir. İnşaat mühendisliği uygulamalarında ise hasar durum tespiti ve karar mekanizmalarının belirlenmesi için yapı sağlığı ve benzeri alanlarda kullanılabilmektedir. Verilerin istatistiksel analizinin ilk uygulamaları John Graunt tarafından 1600'lü yıllarda yapılmıştır. İlerleyen zamanda ise Pascal, Bernoulli, Laplace, Gauss ve Lagrange gibi matematikçiler istatistiğin gelişmesine önemli katkılarda bulunmuşlardır. Regresyon ve korelasyon kavramı ise Sir Francis Galton tarafından 19. yüzyılda ortaya atılmıştır. Bir sinyal verisinin kendisiyle ve farklı bir sinyalle istatistiksel olarak karşılaştırılması otokorelasyon ve çapraz korelasyon teknikleriyle yapılabilmektedir. İkinci dereceden bir moment fonksiyonu olarak da tanımlanabilen otokorelayon,

$$E[X(t_1).X(t_2)] = \emptyset_{xx}(t_1,t_2) = \iint_{x_1,x_2} x_1.x_2.p(x_1,t_1,x_2,t_2).dx_1.dx_2 \qquad (6.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Eğer değişkenler iki farklı sinyal olarak alınırsa bu fonksiyon çapraz korelasyon adını alır ve,

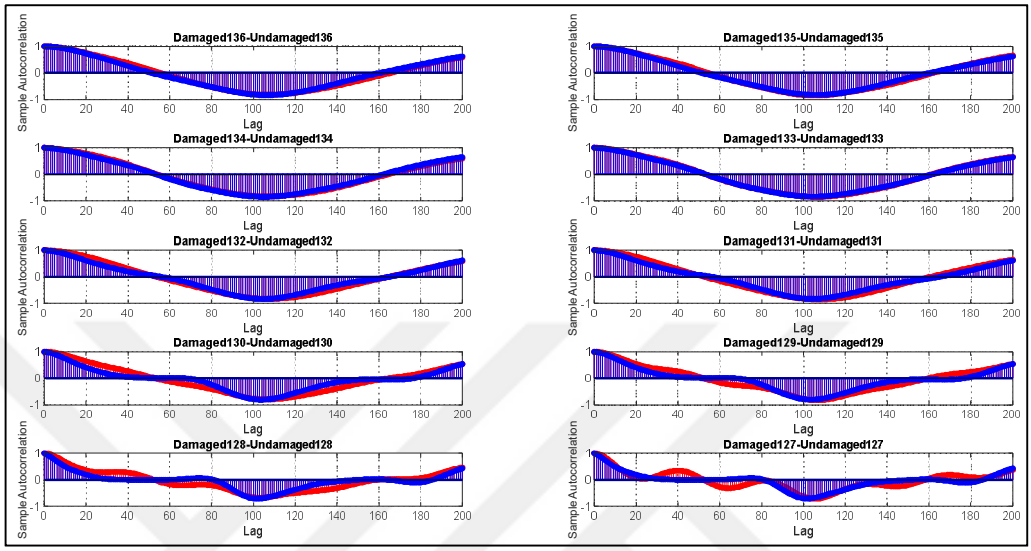
$$E[X(t_1).Y(t_2)] = \emptyset_{xy}(t_1,t_2) = \iint_{x_1,y_2} x_1.y_2.p(x_1,t_1,y_2,t_2).dx_1.dy_2 \qquad (6.2)$$

şeklinde ifade edilir. İstatistiksel bir yöntem olarak kullanılan PMusic algoritmasıyla ilgili olarak da Music kısaltması İngilizce'de MUltiple SIgnal Classification olan çoklu sinyal sınıflandırması anlamına gelmektedir. PMusic dönüşümü ise bu çoklu sinyal sınıflandırmasını Schimidt'in öz uzay analiz yöntemini kullanarak sinyalden veya korelasyon matrisinden sözde spektrumunu belirler. PMusic fonkisyonunu ifade edecek olursak,

$$P_{MUSIC}(f) = \frac{1}{e^H(f)\sum_{k=p+1}^{N} v_k v_k^H e(f)} = \frac{1}{\sum_{k=p+1}^{N} |v_k^H e(f)|^2} \qquad (6.3)$$

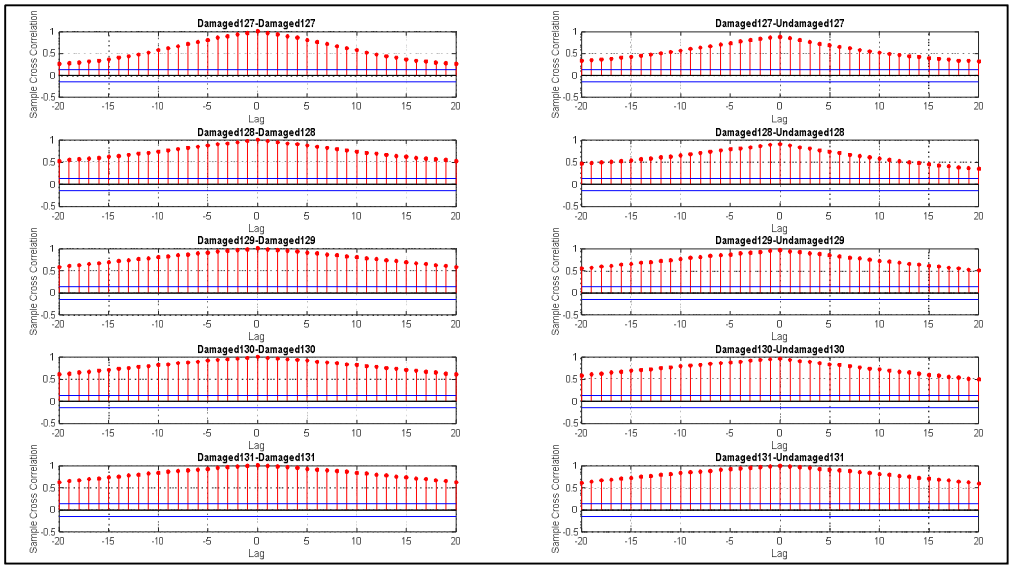
Bu denklemde N özvektörlerin boyutunu, $v_k$ ise korelasyon matrisinin k. özvektörünü, p ise sinyal alt uzayının boyutunu ifade eder.

Analitik modelden elde edilen değerler istatistiksel olarak mukayese edildiğinde hasarın tespiti yapılabilmektedir.

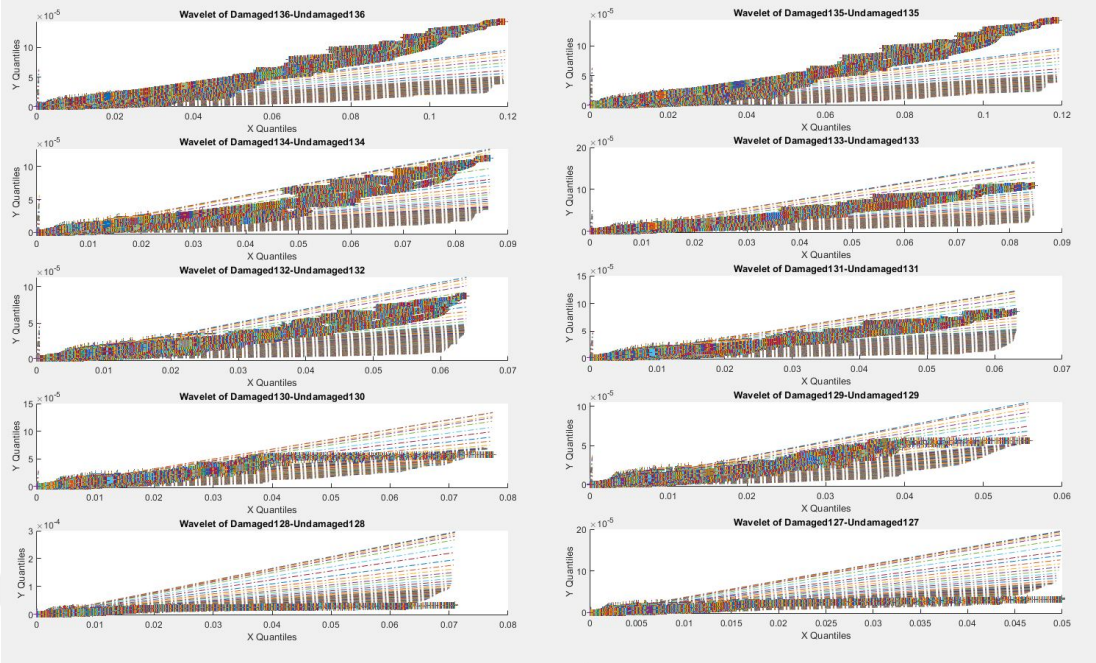



Şekil 6.1. İvme kayıtları hasarlı ve hasarsız katlar arası otokorelasyon

Şekil 6.1'de görülebileceği gibi hasarın yoğunlaştığı 1. (127. ve 128. istasyon) ve 2. (129. ve 130. istasyon) katlarda kat ivmeleri arası otokorelasyonlar ayrışmaya başlamıştır. Bu da hasarın kat bazında lokasyonunu göstermektedir. Şekil 6.2'de ise katlar arası çapraz korelasyon görülmektedir. Hasarlı olan 1. ve 2. katlarda korelasyon değeri düşmektedir.

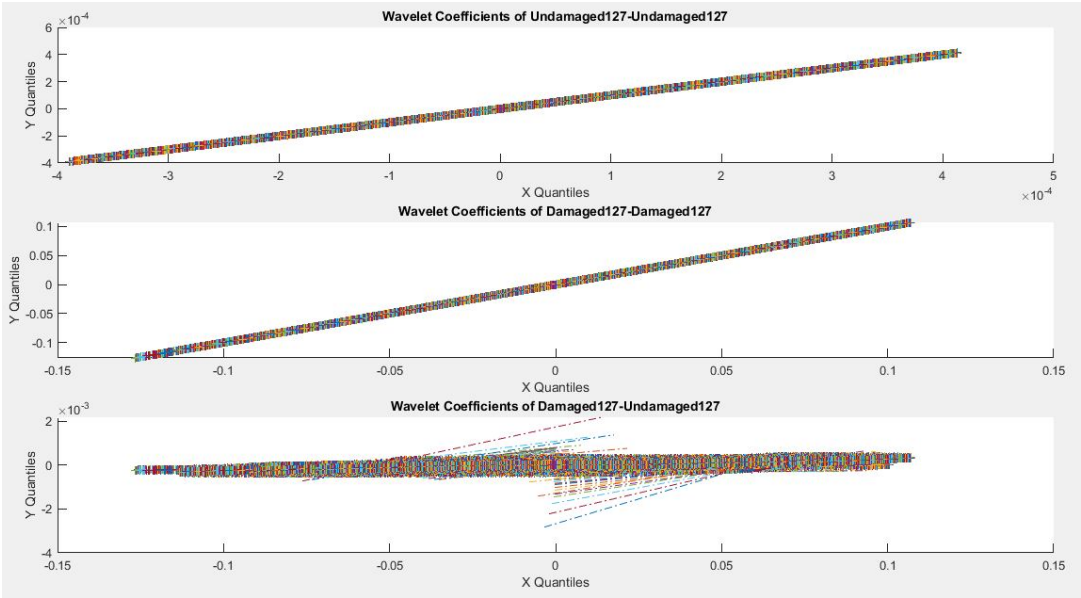



Şekil 6.2. İvme kayıtları hasarlı ve hasarsız katlar arası çapraz korelasyon



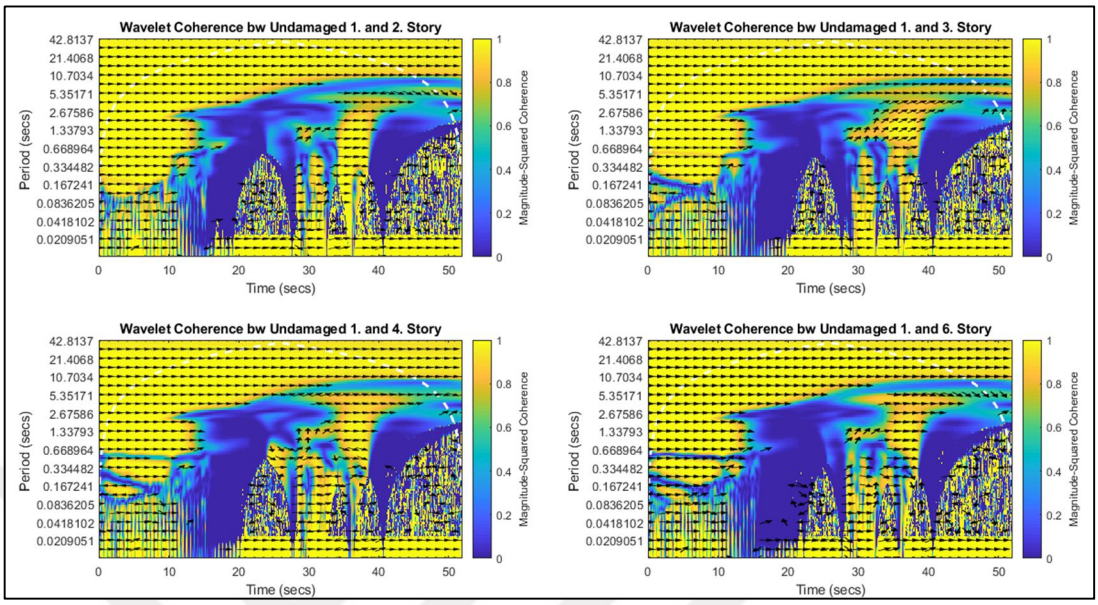

Şekil 6.3. Dalgacık uygulanmış hasarlı ve hasarsız katlar arası dağılım dilimleri

Şekil 6.3'te de benzer biçimde 1. ve 2. katta doğrudaki kırılmalar gözlenebilmektedir. Üst katlar ise yaklaşık olarak doğrusal hareket etmektedir. Şekil 6.4'te ise metodun sağlaması 127. istasyon üzerinden hasarlı ve hasarsız durumun kendileriyle mukayesesi çapraz lineer bir grafik verirken hasarlı-hasarsız arasında bu durum değişmektedir.

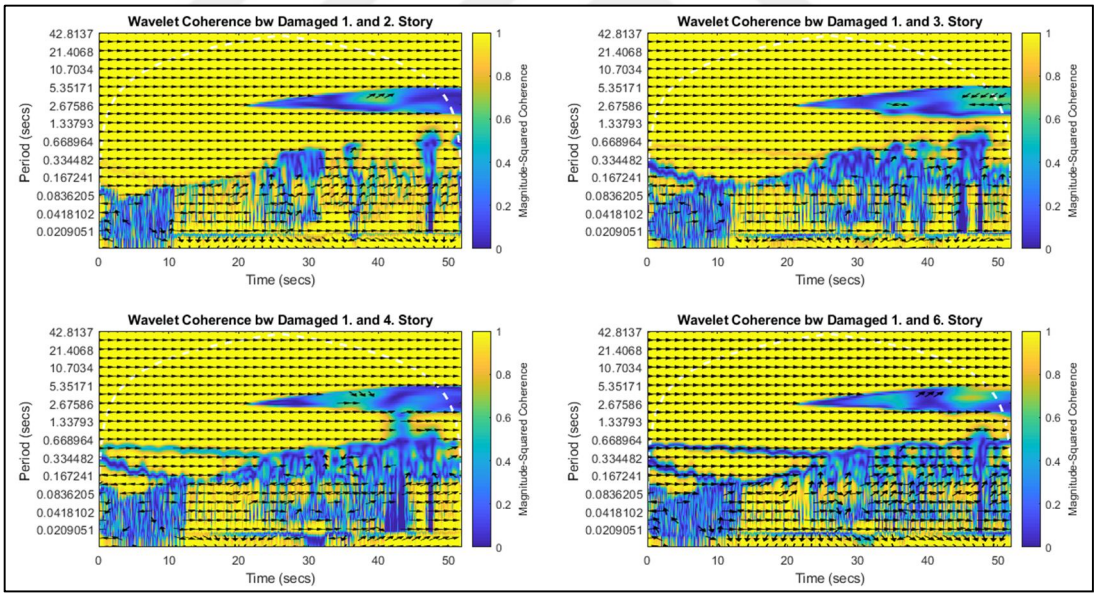



Şekil 6.4. Hasarsız, hasarlı ve dalgacık dağılım dilimi grafikleri

Ayrıca Şekil 6.5, 6.6 ve 6.7'de dalgacık koheryans grafikleri üzerinden katlar arası farklılıklara bakılabilir.

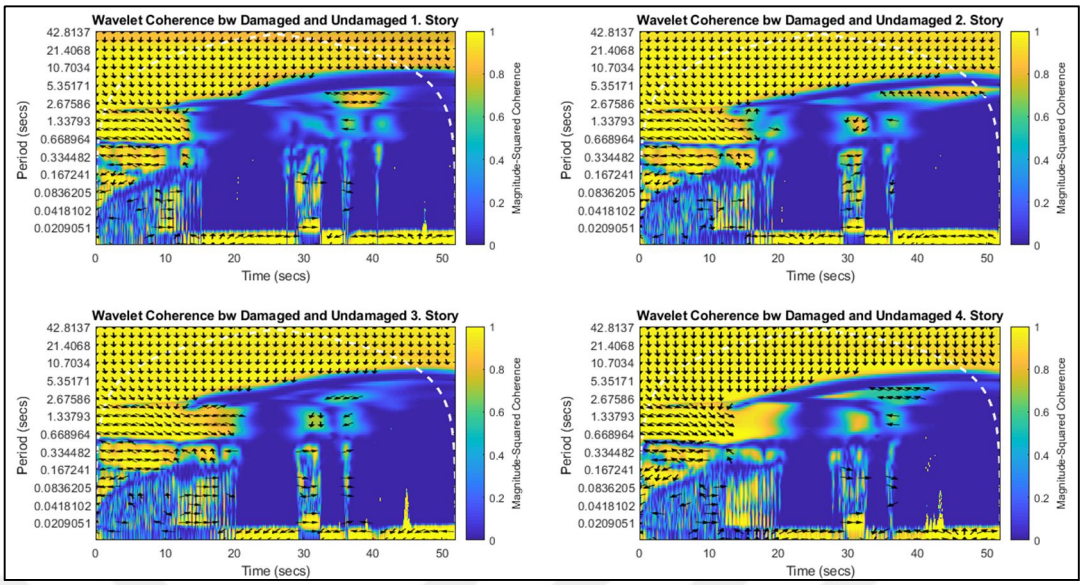



Şekil 6.5. Hasarsız yapıda katlar arası dalgacık koheryans grafikleri



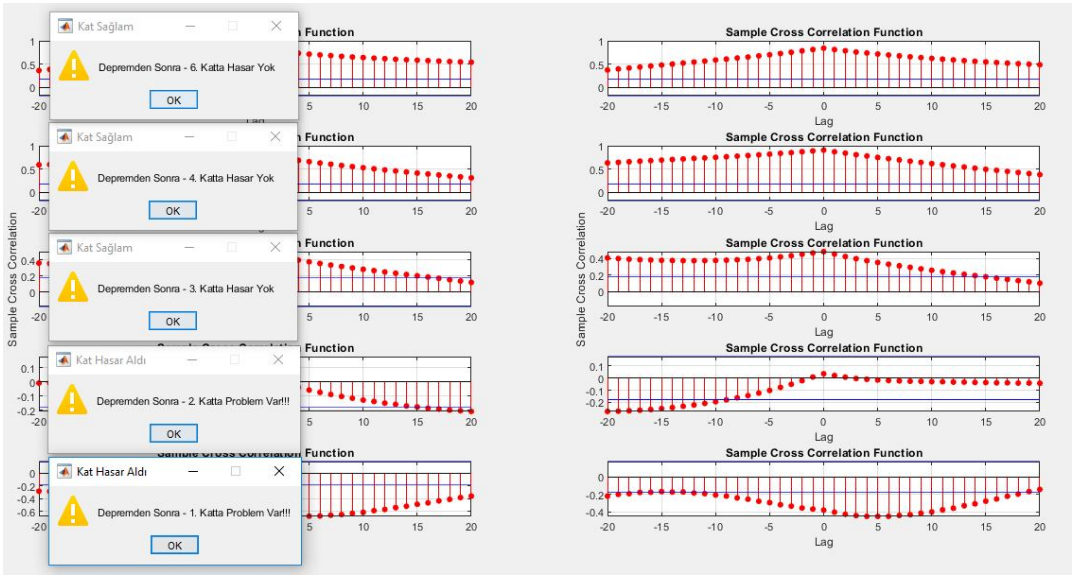

Şekil 6.6. Hasarlı yapıda katlar arası dalgacık koheryans grafikleri

Şekil 6.5 ve 6.6'da görülebilceği gibi hasarsız yapının katlar arası dalgacık koheryans grafiklerine ve hasarlı yapının grafiklerine bakılabilmektedir. Son olarak aynı kattan elde edilen hasarlı ve hasarsız ivme kayıtlarının dalgacık koheryansları Şekil 6.7'de görülmektedir.




Şekil 6.7. Hasarlı ve hasarsız katlar arası dalgacık koheryans grafikleri

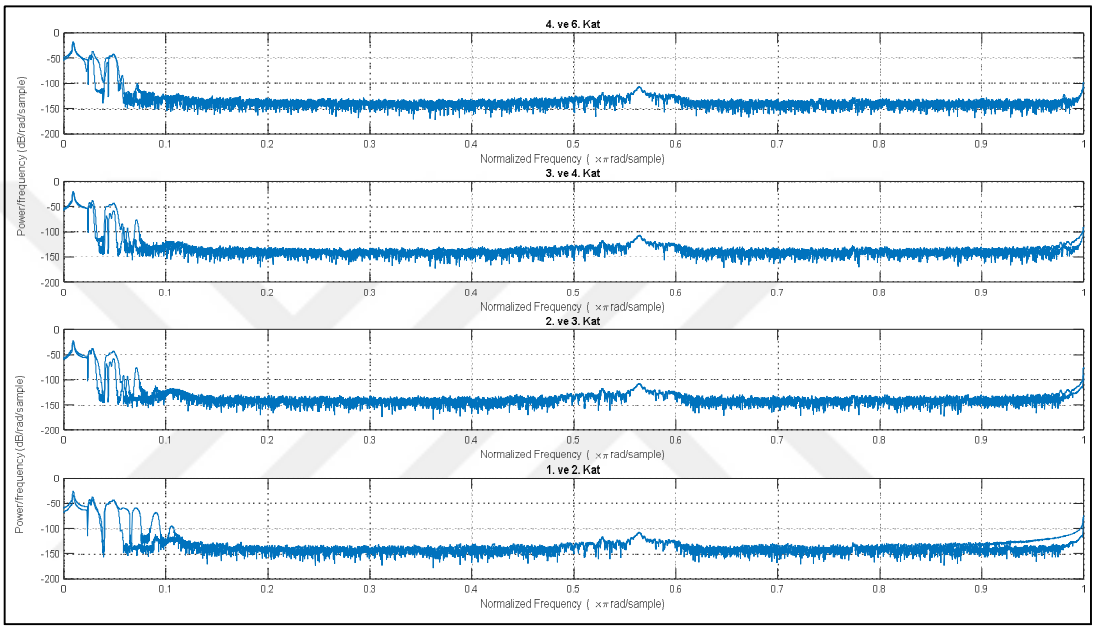
Dalgacık katsayıları üzerinden belirli bir periyodun karşılıkları istatistiki korelasyon tekniği ve belirli bir sınır değerin altında uyarı vermesi için programlandığında Şekil 6.8'deki gibi kat bazında uyarı vermektedir. Yapıdan elde edilen ivme kayıtları üzerinden dalgacık katsayıları alınır ve yapıda baskın modu temsil eden frekans parametresi diğer frekanslar içerisinden diferansiyel yöntemler kullanılarak alınır ve bu parametreler her kattaki değerler üzerinden korelasyon yöntemi ile mukayese edilir.



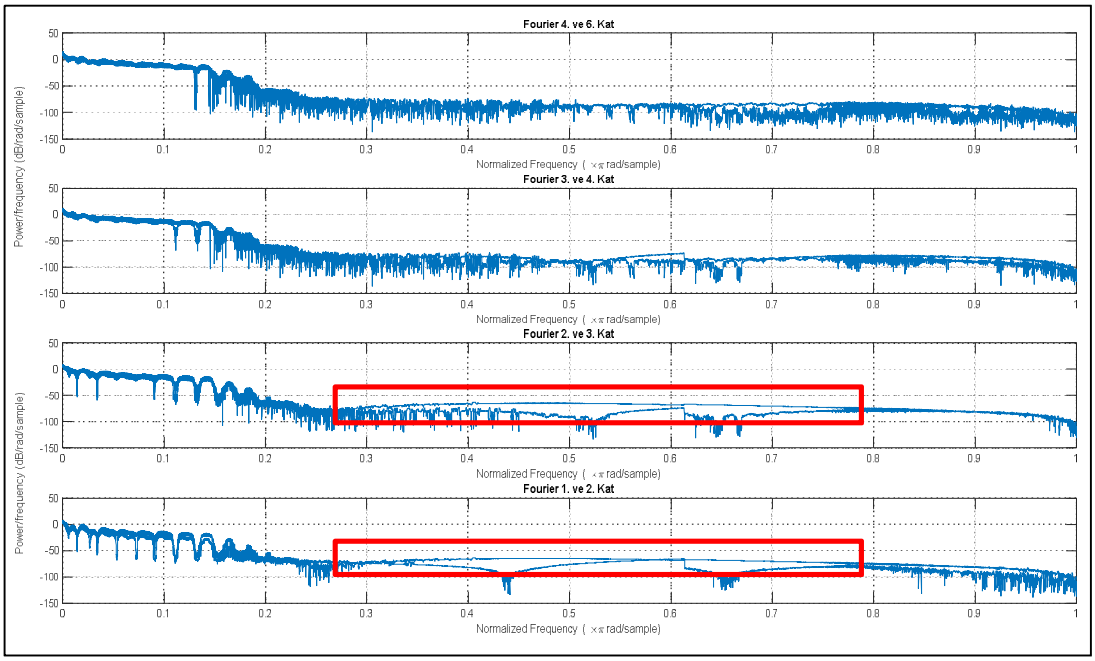

Şekil 6.8. Dalgacık katsayıları üzerinden korelasyon ve otomasyon grafikleri

Benzer şekilde sinyallerin momentleri ve mad (mean absolute deviation/ortalama mutlak sapma) değerleri üzerinden de otomasyon yapılabilmektedir. Bu sonuçlar grafik vermeksizin uyarı şeklinde çıkarılabilmektedir.

Çok görevli güç spektral yoğunluk tahminine göre ivme ve Fourier dönüşümleri incelendiğinde Şekil 6.9 ve 6.10'deki grafiklere ulaşılmakta ve hasar alan katlarda ayrışma gözlemlenmektedir.

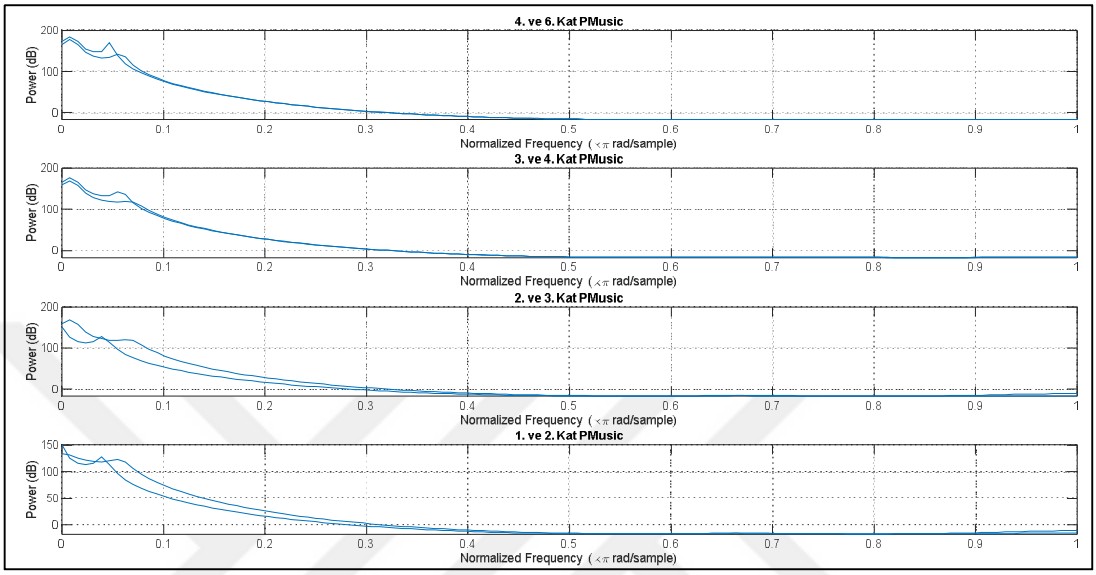



Şekil 6.9. İvme kayıtları üzerinden katlar arası güç spektral yoğunluk tahmini

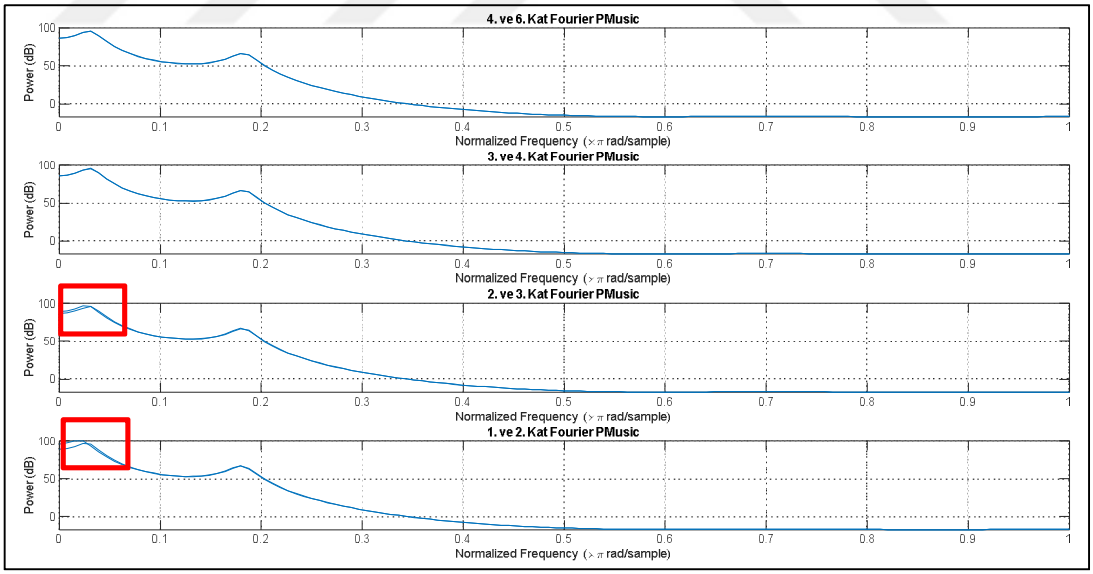



Şekil 6.10. İvme kayıtlarının Fourierleri üzerinden güç spektral yoğunluk tahmini

Katlar arası değerler başka bir yöntem olan Pmusic (çoklu sinyal sınıflandırma algoritması kullanan sözde spektrum) ile incelendiğinde ise Şekil 6.11 ve 6.12'deki grafiklere ulaşılmaktadır. Burada ise hasar almayan katlarda Fourier dönüşümlerinde tam bir örtüşme görünürken hasarlı katlarda ayrışma gerçekleştmiştir.

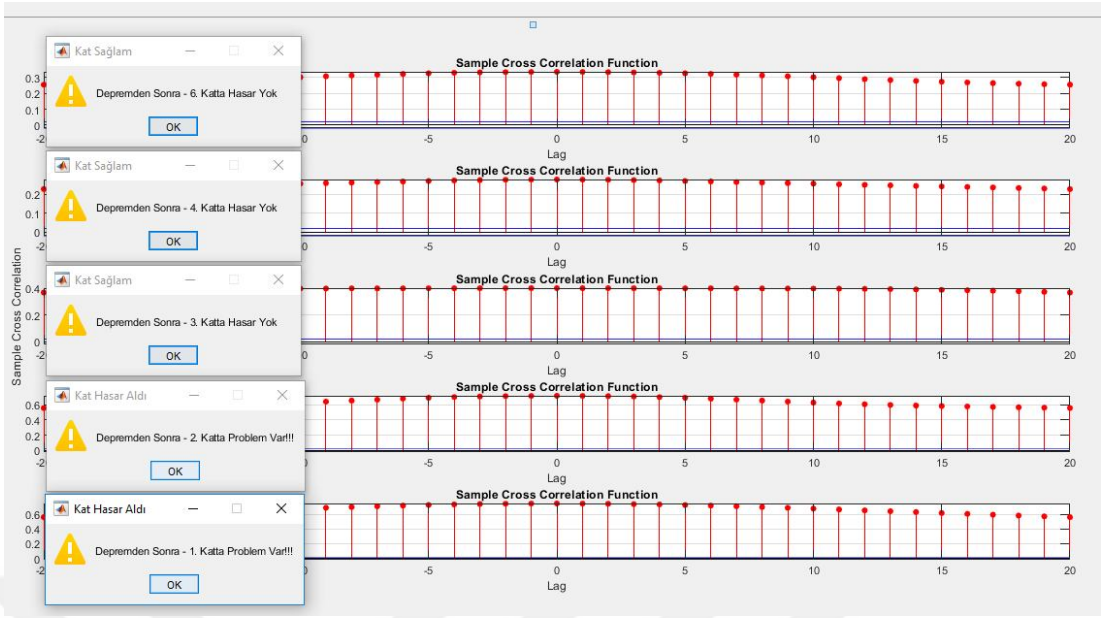



Şekil 6.11. İvme kayıtları üzerinden katlar arası PMusic metodu kullanımı




Şekil 6.12. İvme kayıtlarının Fourierleri üzerinden PMusic metodu kullanımı

Hasarlı ve hasarsız kat sinyalleri üzerinden Hilbert Huang dönüşümüyle IMF'ler alındıktan sonra frekans alanına Fourier dönüşümüyle geçilir ve bu dönüşümler çapraz korelasyona otomasyon olarak girilebilir. Böylece Şekil 6.13'te görüldüğü gibi kat bazında hasar tespiti yapılabilmektedir.




Şekil 6.13. Hilbert Huang dönüşümü IMF'lere Fourier uygulaması üzerinden korelasyon ve otomasyon grafikleri

Bu grafikten elde edilen bilgiler ışığında kat hasarı yakalanabilmekte ve sistem uyarı vermektedir. Bunun için gerekli kodlar ve algoritma bilgisayar programına tanımlanarak tahribatsız hasar tespit mekanizmaları geliştirilebilir ve bu yöntemler yapı sağlığı alanında kullanılabilir.

# 7. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmamızda gösterildiği gibi dalgacık ve Hilbert Huang dönüşümleri yapı hasarını yakalamada etkin bir metot olarak kullanılabilmektedir. Hasar gören elemanlarla hasar görmeyen elemanlar arasındaki farklar dalgacık spektrumlarındaki zamanla değişen frekans muhteviyatından, bölgesel enerji yoğunlaşmalarından ve yapı tepkilerinden elde edilen dalgacık katsayılarına uygulanan istatistiksel yöntemlerden elde edilebilmektedir. Bu farklar hasar oluşumunun konumu hakkında bilgi vermektedir. Dalgacık ve Hilbert Huang dönüşümlerinin hasar yakalamada Fourier dönüşümlerine göre bir takım avantajları bulunmaktadır. Örneğin dalgacık dönüşümü uygulanan hasarlı yapı üzerinden istatistiksel yöntemlerle başarılı bir şekilde hasar alan katlar tespit edilebilmektedir. Benzer şekilde Huang dönüşümü de hasarlı elemanları doğru bir şekilde belirlemektedir. Anomali tespiti bağlamında da bu dönüşümlerle oldukça tutarlı sonuçlara ulaşılmaktadır.

Güncellenen TBDY 2018'in ilgili bölümüne ya da Yüksek Binalar Deprem Yönetmeliği'ne yapı parametrelerinin anlık olarak izlenmesi ile ilgili elde edilen istatistiksel parametrelerden hasar indisi tanımlamaları önerilebilir. Yapısal performansın, şekil değiştirmenin yanı sıra anlık modal parametrelerin değişimleri ile ilgili önerilebilecek indis limitleriyle de belirlenebilmesi için ilgili çalışmaların sayısı ve kapsamı arttırılabilir.

Böylece yapıları kontrol edecek olan deprem mühendislerinin iş tanımı ve yapı sağlığı takibi için yeni ve etkili bir hasar tanılama algoritması tarif edilebilir. Çalışılacak olan hasar indisleri yapı türüne, yüksekliğine ve deprem bölgesine göre değişkenlik gösterecektir. Her yapı türü için analitik model üzerinden kritik performans seviyeleri tespit edilerek, yapı şekil değiştirmeleri ve ivme değerlerinin yanı sıra bu performans değeri de anlık olarak izlenebilir ve yapısal performansının kritik seviyeye ulaşması durumunda erken uyarı ve otomasyon sistemleri geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR


Liew K. M. and Wang Q., Application of Wavelet Theory for Crack Identification in Structures, *Journal of Engineering Mechanics*, 1998, **124**(2), 152–157.

Mallat S., *A Wavelet Tour of Signal Processing*, 2nd edn, Academic Press, London, UK, 1999.

Ewins D. J., *Modal Testing: Theory, Practice and Application*, 2nd ed., Research Studies Press Ltd., London, 2000.

Güneş B., Güneş O. ve Andiç H. İ., Titreşim Verileri Kullanılarak Deprem Sonrası Hasar Tespiti: Son Gelişmeler ve Güncel Araştırmalar, *1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, Ankara, Türkiye, 11-14 Ekim 2011.

Worden K. and Dulieu-Barton J. M., An Overview of Intelligent Fault Detection in Systems and Structures, *Structural Health Monitoring*, 2004, **3**(1), 85–98.

Patsias S. and Staszewski W. J., Damage Detection Using Optical Measurements and Wavelets, *Structural Health Monitoring*, 2002, **1**(1), 5–22.

Yan Y. J. and Yam L. H., Detection of Delamination in Composite Plates Using Energy Spectrum of Structural Dynamic Responses Decomposed by Wavelet Analysis, *Computers and Structures*, 2004, **82**, 347–358

Douka E., Loutridis S. and Trochidis A., Crack Identification in Beams Using Wavelet Analysis, *International Journal of Solids and Structures*, 2003, **40**(13-14), 3557–3569.

Gentile A. and Messina A., On the Continuous Wavelet Transforms Applied to Discrete Vibrational Data for Detecting Open Cracks in Damaged Beams, *Int. Journal of Solids and Structures*, 2003, **40**(2), 295–315.

Beyen K., Dalgacık Spektrumlarının Yapı Sağlığı Durum Değerlendirme Çalışmalarında Önemi, *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim 2015.

Hernández Montes E., Kwon O. S. and Aschheim M., An Energy-Based Formulation for First and Multiple-Mode Nonlinear Static (Pushover) Analyses, *Journal of Earthquake Engineering*, 2004, **8**, 69-88.

Iwan W. D. and Chen X. D., Important Near-Field Ground Motion Data from the Landers Earth-Quake, *Proceedings 10th European Conference on Earthquake Engineering*, 1995, **1**, 229-234.

Miranda E., Seismic evaluation and upgrading of existing buildings, Ph.D. Thesis, University of California, Berkeley, 1991.

SAC, State of the Art Report on Systems Perfomance of Steel Moment Frames Subject to Earthquake Ground Shaking, *FEMA 355C Report*, Washington D. C., 2000.

Seneviratna G. D. P. K. and Krawinkler H., Evaluation of Inelastic MDOF Effects for Seismic Design, *BLUME-120 Report*, John A. Blume Earthquake Engineering Center, Stanford, California, 1997.

Xu B., Wu Z., Yokoyama K., Harada T. and Chen G., A Soft Post-Earthquake Damage Identification Methodology Using Vibration Time Series, *Smart Materials and Structures*, 2005a, DOI: 10.1088/er.964.

Doebling S. W., Farrar C. R., Prime M. B. and Shevitz D. W., *Damage Identification and Health Monitoring of Structural and Mechanical Systems from Changes in their Vibration Characteristics: A Literature Review*, Los Alamos National Laboratory report, LA-13070-MS, 1996.

Farrar C. R. and James G. H., System Identification from Ambient Vibration Measurements on a Bridge, *Journal of Sound and Vibration*, 1997, **205**(1), 1–18.

Sohn H., Farrar C., Hunter N. and Worden K., A Review of Structural Health Monitoring Literature: 1996–2001. Los Alamos National Laboratory report, LA-13976-MS, 2003.

Carden E. P. and Fanning P., Vibration Based Condition Monitoring: A Review, *Structural Health Monitoring*, 2004, **3**, 355–377.

Deng X. and Wang Q., Crack Detection Using Spatial Measurements and Wavelet, *Int. J. Fracture*, 1998, **9**, 123-128.

Demetriou M. and Hou Z., A Comparison Study of on-line Fault Diagnosis Schemes, Proc., *13th Conf on Engrg. Mech*., ASCE, Reston, Va, 1999.

Hou Z. and Noori M., Application of Wavelet Analysis for Structural Health Monitoring, Proc., *2nd Int. Workshop on Struct. Health Monitoring,* Stanford University, Stanford, Calif., 946-955, 1999.

Vincent H. T., Hu S. L. J. and Hou Z., Damage Detection Using Empirical Mode Decomposition Method and a Comparison with Wavelet Analysis, Proc., *2nd Int. Workshop on Struct. Health Monitoring*, Stanford Univ., Stanford, Calif., 891-900, 1999.

PIANC, *Seismic Design Guidelines for Port Structures*, The Netherlands: AA Balkema Publishers, 2001.

Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı*, Ankara, 6 Mayıs 2007.

Park G., Muntges D.E. and Inman D.J., Self-Monitoring and Self-Healing Jointed Structures. In: Damage Assessment of Structures, *Proceedings of the 4th International Conference on Damage Assessment of Structures*, Cardiff, Wales, UK, June, Key Engineering Materials, 2001, Vols. 204–205, pp. 204–205.

Chang C. C. and Chen L. W., Detection of the Location and Size of Cracks in the Multiple Cracked Beam by Spatial Wavelet Based Approach, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2005, **19**, 139–155.

Chang C. C. and Chen L. W., Damage Detection of a Rectangular Plate by Spatial Wavelet Based Approach, *Applied Acoustics*, 2004, **65**, 819–832.

Poudel U. P., Fu G. K. and Ye H., Wavelet Transformation of Mode Shape Difference Function for Structural Damage Location Identification, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 2007, **36**, 1089-1107.

Kim B. H., Park T. and Voyiadjis G. Z., Damage Estimation on Beam-Like Structures Using the Multi-Resolution Analysis, *International Journal of Solids and Structures*, 2006, **43**, 4238-4257.

Sun Z. and Chang C. C., Vibration Based Structural Health Monitoring: Wavelet Packet Transform Based Solution, *Struct. Infrastruct. Eng.,* 2007, **3**, 313-323.

Ekici S., Selcuk Y. ve Poyraz. M., Energy and Entropybased Feature Extraction for Locating Fault on Transmission Lines by Using Neural Network and Wavelet Packet Decomposition, *Expert Systems with Applications*, 2008, **34**, 2937-2944.

Zhong S. and Oyadiji S.O., Detection of Cracks in Simply-Supported Beams by Continuous Wavelet Transform of Reconstructed Modal Data, *Comput. Struct.*, 2011, **89**(1-2), 127-148.

Beata Z. and Magdalena R., Application of Wavelet Transform In Analysis of Guided Wave Propagation Signals for Damage Detection in a Steel Plate, *Diagnostyka*, 2015, Vol. 16, No. 2

Deprem Riskinin Araştırılarak Deprem Yönetiminde Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu, Temmuz 2010.

Cohen L., *Time Frequency Analysis: Theory and Applications*, 320 pp., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N. J., 1995.

Huang N. E., Shen Z. and Long S. R., A New View of Nonlinear Water Waves - The Hilbert Spectrum, *Annu. Rev. Fluid Mech*., 1999, **31**, 417–457, doi:10.1146/annurev.fluid.31.1.417

Kaiser J. F., On Teager's Energy Algorithm and Its Generalization to Continuous Signals, *4th IEEE Signal Processing Workshop*, Mohonk, N. Y., 1990.

Maragos P., Kaiser J. F. and Quatieri T. F., On Amplitude and Frequency Demodulation Using Energy Pperators, *IEEE Trans. Signal Process*, 1993a, **41**, 1532–1550, doi:10.1109/78.212729.

Maragos P., Kaiser J. F. and Quatieri T. F., Energy Separation in Signal Modulation With Application to Speech Analysis, *IEEE Trans. Signal Process*, 1993b, **41**, 3024 – 3051, doi:10.1109/78.277799

Wu Z. and Huang N. E., Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-Assisted Data Analysis Method, COLA Tech. Rep. 193, *Cent. for Ocean-Land-Atmos*. Stud., Calverton, Md., 2005b (Available at ftp://grads.iges.org/pub/ctr/ctr_193.pdf)

Wu Z. and Huang N. E., Ensemble Empirical Mode Decomposition: A Noise-Assisted Data Analysis Method, *Adv. Adapt. Data Anal.,* 2008, in press.

Huang N. E., Shen Z., Long S. R., Wu M. C., Shih H. H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C. C. and Liu H. H., The Empirical Mode Decomposition and The Hilbert Spectrum for Nonlinear and Nonstationary Time Series Analysis, *Proceedings of R. Soc. Lond.* 1998, **454**, pp. 903–995,.

Lin, S., Yang, J. and Zhou, L., Damage Identification of a Benchmark Building for Structural Health Monitoring, *Smart Materials and Structures*, 2005, **14**, pp. 162- 169.

Quek S., Tua P. and Wang Q., Detecting Anomalies in Beams and Plate Based on the Hilbert–Huang Transform of Real Signals, *Smart Materials and Structures*, 2003, **12**, pp. 447-460.

Tua P., Quek S. and Wang Q., Detection of Cracks in Plates Using Piezoactuated Lamb Waves, *Smart Materials and Structures*, 2004, pp. 643-660.

Yang L., Lei Y., Lin S., and Huang N., Hilbert-Huang Based Approach for Structural Damage Detection, *Journal of Engineering Mechanics*, 2004, No. 1.

Salvino L. W. and Pines D. J., Structural Damage Detection Using Empirical Mode Decomposition and HHT, *Journal of Sound and Vibration*, 2006, **294**, pp. 97-124.

Jha R., Xu S. and Ahmadi G., Health Monitoring of a Multi-Level Structure Based on Empirical Mode Decomposition and Hilbert Spectral Analysis, *Fifth International Workshop on Structural Health Monitoring*, Stanford University, CA, 12–14 September 2005.

Bernal D. and Gunes B., An Examination of Instantaneous Frequency as a Damage Detection Tool, *14th Engineering Mechanics Conference*, Austin, Texas, 2000

Yu D., Cheng J., and Yang Y., Application of EMD Method and Hilbert Spectrum to the Fault Diagnosis of Roller Bearings, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2005, **19**, pp. 259-270.

Quek S., Tua P. and Wang, Q., Comparison of Hilbert-Huang, Wavelet and Fourier Transforms for Selected Applications, *Mini-Symp. On Hilbert-Huang Transform in Engineering Applications*, Newark, November 2003.

Zhang R. R., Ma S., Safak E. and Hartzell S., Hilbert-Huang Transform Analysis of Dynamic and Earthquake Motion Recordings, *Journal of Engineering Mechanics*, 2003, ASCE.

Xu Y. L., Asce M. and Chen J., Structural Damage Detection Using Empirical Mode Decomposition: Experimental Investigation, *Journal of Engineering Mechanics*, 2004, **130** (11), 1279–1288.

Yang J. N., Lei T., Pan S. and Huang N., System Identification of Linear Structures Based on Hilbert–Huang Spectral Analysis, Part 1: normal modes, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2003, **32**, 1443–1467.

Zhang R.R.C., King R., Olson L., Xu Y. L., Dynamic Response of the Trinity River Bridge to Controlled Pile Damage: Modeling and Experimental Data and Analysis Comparing Fourier and Hilbert–Huang Techniques, *Journal of Sound and Vibration*, 2005, **285** (4–5), 1049–1070.

Quek S.T., Tua P.S. and Wang Q., Detecting Anomalies in Beams and Plate Based on the Hilbert–Huang Transform of Real Signals, *Smart Materials and Structures*, 2003, **12**, 447–460.

Rezaei D. and Taheri F., Experimental Validation of a Novel Structural Damage Detection Method Based on Empirical Mode Decomposition, *Smart Materials and Structures*, 2009, **18**, 045004.

Peng Z. K., Tse P.W. and Chu F.L., A Comparison Study of Improved Hilbert–Huang Transform and Wavelet Transform: Application to Fault Diagnosis for Rolling Bearing, *Mech. Syst. Signal Process*, 2005, **19**, 974–988.

Bao C., Hao H., Li Z. X. and Zhu X. Q., Time-Varying System Identification Using a Newly Improved HHT Algorithm, *Comput. Struct.,* 2009, **87**, 1611–1623.

Li J. and Hao H., Damage Detection of Shear Connectors Under Moving Loads with Relative Displacement Measurements, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 2015, **60-61**, 124-150.

Ghazi R. M. and Büyüköztürk O., Damage Detection with Small Data Set Using Energy-Based Nonlinear Features, *Struct. Control Health Monit*., 2015, DOI: 10.1002/stc.

Kunwar A., Jha R., Whelan, M. and Janoyan K., Damage Detection in an Experimental Bridge Model Using Hilbert-Huang Transform of Transient Vibrations, *Structural Control and Health Monitoring*, 2013, **20**(1), 1-15.

Vincent H. T., Hu S. L. J. and Hou Z., Damage Detection Using Empirical Mode Decomposition Method and a Comparison With Wavelet Analysis, *In Proceedings of the second international workshop on structural health monitoring,* Stanford, pp. 891-900, September 1999.

Kijewski-Correa T. and Kareem A., Nonlinear Signal Analysis: Time-Frequency Perspectives, *Journal of Engineering Mechanics*, 2007, 238-245.

Kijewski-Correa T. and Kareem A., Performance of Wavelet Transform and Empirical Mode Decomposition in Extracting Signals Embedded in Noise, *Journal of Engineering Mechanics*, 2007, 849-852.

Beyen K., Hasar Tanılama Analizlerinde Frekans-Zaman çözümlemesi, *5. Uluslararası Deprem Sempozyumu*, Kocaeli, 2015a.

Beyen K., Hasar Tanılama Çalışmalarında Sinyal Analizi, *3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı*, İzmir, Türkiye, 14-16 Ekim 2015b.

Wang H., Noori M. and Zhang J., A Wavelet-Energy Based Damage Identification Method for Steel Bridges, *Conference Paper,* DOI:10.1680/tfitsi.61279.429, June 2016

Kaloop M. R. and Hu J. W., Damage Identification and Performance Assessment of Regular and Irregular Buildings Using Wavelet Transform Energy, *Hindawi Publishing Corporation Advances in Materials Science and Engineering*, 2016, Article ID 6027812, 11 pages, http://dx.doi.org/10.1155/2016/6027812

Beyen K., Titreşim Verisiyle Güncellenmiş Sonlu Eleman Modeliyle Hasar Simülasyonu, *Journal of the Faculty of Engineering anf Architecture of Gazi University*, 2017, **32** (2), 403-415.

Molla M. K. I., Hirose K. and Hamid E., Empirical Mode Decomposition for Advanced Speech Signal Processing, *Journal of Signal Processing*, 2013, **17**, 215-229.

Sak Ö. F. ve Beyen K., Yapıların Zaman-Frekans Ortamında Dalgacık Dönüşümü Metoduyla Analizleri, *Teknik Dergi*, 2019, **525**, 8835-8860.

# EKLER

## Ek-A

## Matlab Kodları

```
% Hasarlı Yapının Wavelet Filtreleri ile Analizi
damaged17=load('c:\damaged17.txt');
damaged18=load('c:\damaged18.txt');
damaged19disp=load('c:\damaged19.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(damaged17)-1);
plot(t,damaged17); title('17 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,damaged18,'r'); title('18 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged19disp,'g'); title('Hasarlı İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('17','18','19')

len = length(damaged17);
figure; [cwdamaged17disp,sc] = cwt(damaged17,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] = cwt(damaged17,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] = cwt(damaged17,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] = cwt(damaged17,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged18);
figure; [cwdamaged18disp,sc] = cwt(damaged18,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged18disp,sc] = cwt(damaged18,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged18disp,sc] = cwt(damaged18,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged18disp,sc] = cwt(damaged18,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged19disp);
figure; [cwdamaged19disp,sc] = cwt(damaged19disp,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Db4')
ylabel('Scale')
```

```
figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Symlet2')
ylabel('Scale')

% Hasarlı Yapının Deplasmanlarının Wavelet Filtreleri ile Analizi
damaged17disp=load('c:\damaged17disp.txt');
damaged18disp=load('c:\damaged18disp.txt');
damaged19disp=load('c:\damaged19disp.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(damaged17)-1);
plot(t,damaged17disp); title('17 Numaralı Noktanın Hasarlı Deplasman
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,damaged18disp,'r'); title('18 Numaralı Noktanın Hasarlı
Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged19disp,'g'); title('Hasarlı Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('17','18','19')

len = length(damaged17disp);
figure; [cwdamaged17disp,sc] = cwt(damaged17disp,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] =
cwt(damaged17disp,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] =
cwt(damaged17disp,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged17disp,sc] =
cwt(damaged17disp,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 17 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged18disp);
figure; [cwdamaged18disp,sc] = cwt(damaged18disp,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged18disp,sc] =
cwt(damaged18disp,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Mexh')
ylabel('Scale')
```

```
figure; [cwdamaged18disp,sc] =
cwt(damaged18disp,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged18disp,sc] =
cwt(damaged18disp,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 18 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged19disp);
figure; [cwdamaged19disp,sc] = cwt(damaged19disp,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged19disp,sc] =
cwt(damaged19disp,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 19 with Symlet2')
ylabel('Scale')

% Hasarsız Yapının Wavelet Filtreleri ile Analizi
undamaged7=load('c:\7undamaged.txt');
undamaged8=load('c:\8undamaged.txt');
undamaged9=load('c:\9undamaged.txt');
undamaged10=load('c:\10undamaged.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(undamaged7)-1);
plot(t,undamaged7); title('7 Numaralı Noktanın Hasarsız İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,undamaged8,'r'); title('8 Numaralı Noktanın Hasarsız İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,undamaged9, 'g'); title('9 Numaralı Noktanın Hasarsız İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,undamaged10,'m'); title('Hasarsız İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('7','8','9','10')

len = length(undamaged7);
figure; [cwundamaged7,sc] = cwt(undamaged7,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Db4')
ylabel('Scale')

ntw=21;
wcoher(damaged7,undamaged7,1:64,'mexh','ntw',ntw,'plot','wcoh');
figure; [cwundamaged7,sc] = cwt(undamaged7,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Mexh')
ylabel('Scale')
```

```
figure; [cwundamaged7,sc] = cwt(undamaged7,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged7,sc] = cwt(undamaged7,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Symlet2')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged8,sc] = cwt(undamaged8,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged8,sc] = cwt(undamaged8,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged8,sc] = cwt(undamaged8,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged8,sc] = cwt(undamaged8,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(undamaged9);
figure; [cwundamaged9,sc] = cwt(undamaged9,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged9,sc] = cwt(undamaged9,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged9,sc] = cwt(undamaged9,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged9,sc] = cwt(undamaged9,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(undamaged10);
figure; [cwundamaged10,sc] = cwt(undamaged10,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged10,sc] = cwt(undamaged10,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged10,sc] = cwt(undamaged10,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwundamaged10,sc] = cwt(undamaged10,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Symlet2')
ylabel('Scale')
```

```
% Hasarlı Yapının Wavelet Filtreleri ile Analizi
damaged7=load('c:\7damaged.txt');
damaged8=load('c:\8damaged.txt');
damaged9=load('c:\9damaged.txt');
damaged10=load('c:\10damaged.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(damaged7)-1);
plot(t,damaged7); title('7 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,damaged8,'r'); title('8 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged9,'g'); title('9 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged10,'m'); title('Hasarlı İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('7','8','9','10')

len = length(damaged7);
figure; [cwdamaged7,sc] = cwt(damaged7,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged7,sc] = cwt(damaged7,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged7,sc] = cwt(damaged7,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged7,sc] = cwt(damaged7,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 7 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged8);
figure; [cwdamaged8,sc] = cwt(damaged8,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged8,sc] = cwt(damaged8,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged8,sc] = cwt(damaged8,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged8,sc] = cwt(damaged8,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 8 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged9);
figure; [cwdamaged9,sc] = cwt(damaged9,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Db4')
ylabel('Scale')
```

```
figure; [cwdamaged9,sc] = cwt(damaged9,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged9,sc] = cwt(damaged9,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged9,sc] = cwt(damaged9,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 9 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(damaged10);
figure; [cwdamaged10,sc] = cwt(damaged10,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged10,sc] = cwt(damaged10,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged10,sc] = cwt(damaged10,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwdamaged10,sc] = cwt(damaged10,1:128,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 10 with Symlet2')
ylabel('Scale')

% Hasarlı 3B Yapının Wavelet Filtreleri ile Analizi
DamagedDisp2=load('c:\DamagedDisp2.txt');
DamagedDisp42=load('c:\DamagedDisp42.txt');
dt=0.005; t=dt*(0:length(DamagedDisp2)-1);
plot(t,DamagedDisp2); title('2 Numaralı Noktanın Hasarlı Deplasman
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,DamagedDisp42,'r'); title('2 ve 42 Numaralı Noktanın Hasarlı
Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('2','42')

len = length(DamagedDisp2);
figure; [cwDamagedDisp2,sc] = cwt(DamagedDisp2,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 2 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp2,sc] = cwt(DamagedDisp2,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 2 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp2,sc] = cwt(DamagedDisp2,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 2 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp2,sc] = cwt(DamagedDisp2,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 2 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(DamagedDisp42);
```

```
figure; [cwDamagedDisp42,sc] = cwt(DamagedDisp42,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 42 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp42,sc] =
cwt(DamagedDisp42,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 42 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp42,sc] =
cwt(DamagedDisp42,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 42 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwDamagedDisp42,sc] =
cwt(DamagedDisp42,1:512,'sym2','scal');
title('Scalogram of Damaged Point 42 with Symlet2')
ylabel('Scale')

% Hasarsız 3B Yapının Wavelet Filtreleri ile Analizi
UndamagedDisp2=load('c:\UndamagedDisp2.txt');
UndamagedDisp42=load('c:\UndamagedDisp42.txt');
dt=0.005; t=dt*(0:length(UndamagedDisp2)-1);
plot(t,UndamagedDisp2); title('2 Numaralı Noktanın Hasarsız
Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,UndamagedDisp42,'r'); title('2 ve 42 Numaralı Noktanın
Hasarsız Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('2','42')

len = length(UndamagedDisp2);
figure; [cwUndamagedDisp2,sc] =
cwt(UndamagedDisp2,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 2 with Db4')
ylabel('Scale')

figure; [cwUndamagedDisp2,sc] =
cwt(UndamagedDisp2,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 2 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwUndamagedDisp2,sc] =
cwt(UndamagedDisp2,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 2 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwUndamagedDisp2,sc] =
cwt(UndamagedDisp2,1:64,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 2 with Symlet2')
ylabel('Scale')

len = length(UndamagedDisp42);
figure; [cwUndamagedDisp42,sc] =
cwt(UndamagedDisp42,1:64,'db4','scal');
title('Scalogram of Point 42 with Db4')
ylabel('Scale')
```

```
figure; [cwUndamagedDisp42,sc] =
cwt(UndamagedDisp42,1:64,'mexh','scal');
title('Scalogram of Point 42 with Mexh')
ylabel('Scale')

figure; [cwUndamagedDisp42,sc] =
cwt(UndamagedDisp42,1:64,'morl','scal');
title('Scalogram of Point 42 with Morlet')
ylabel('Scale')

figure; [cwUndamagedDisp42,sc] =
cwt(UndamagedDisp42,1:512,'sym2','scal');
title('Scalogram of Point 42 with Symlet2')
ylabel('Scale')

% Hasarlı Yapının HHT Analizi
damaged17=load('c:\damaged17.txt');
damaged18=load('c:\damaged18.txt');
damaged19=load('c:\damaged19.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(damaged17)-1);
plot(t,damaged17); title('17 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,damaged18,'r'); title('18 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged19,'g'); title('Hasarlı İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('17','18','19')

% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(damaged17,Ts);
plot_hht(damaged18,Ts);
plot_hht(damaged19,Ts);

damagedconv17=deconv(damaged17,damaged18);
plot_hht(damagedconv17,Ts);

% Hasarlı Yapının Deplasmanlarının HHT ile Analizi
damaged17disp=load('c:\damaged17disp.txt');
damaged18disp=load('c:\damaged18disp.txt');
damaged19disp=load('c:\damaged19disp.txt');
dt=0.05; t=dt*(0:length(damaged17)-1);
plot(t,damaged17disp); title('17 Numaralı Noktanın Hasarlı Deplasman
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,damaged18disp,'r'); title('18 Numaralı Noktanın Hasarlı
Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; hold on;
plot(t,damaged19disp,'g'); title('Hasarlı Deplasman Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('17','18','19')

% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(damaged17disp,Ts);
plot_hht(damaged18disp,Ts);
plot_hht(damaged19disp,Ts);
```

```
% Hasarlı 3B Yapının HHT ile Analizi
format long;
DamagedAcc2=load('c:\DamagedAcc2.txt');
DamagedAcc42=load('c:\DamagedAcc42.txt');
dt=0.005; t=dt*(0:length(DamagedAcc2)-1);
plot(t,DamagedAcc2,'b'); title('2 Numaralı Noktanın Hasarlı İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,DamagedAcc42,'r'); title('2 ve 42 Numaralı Noktanın Hasarlı
İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('2','42')

% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(DamagedAcc2,Ts);
plot_hht(DamagedAcc42,Ts);

% Hasarsız 3B Yapının HHT ile Analizi
format long;
UndamagedAcc2=load('c:\UndamagedAcc2.txt');
UndamagedAcc42=load('c:\UndamagedAcc42.txt');
dt=0.005; t=dt*(0:length(UndamagedAcc2)-1);
plot(t,UndamagedAcc2); title('2 Numaralı Noktanın Hasarsız İvme
Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; axis tight; hold on;
plot(t,UndamagedAcc42,'r'); title('2 ve 42 Numaralı Noktanın
Hasarsız İvme Değerleri');
xlabel('Zaman'); ylabel('İvme'); grid on; legend('2','42')
% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(UndamagedAcc2,Ts);
plot_hht(UndamagedAcc42,Ts);

% Perform3D Analitik Yapının HHT ile Analizi
% 1 Noktasının H1 yönündeki parametreleri
format long;
H1AA1=load('C:\1H1AA.TXT'); %H1 Yönlü Mutlak İvme
H1AA1=H1AA1'; H1AA1=H1AA1(:); H1AA1=[0;H1AA1];
H1AA1=dyaddown(H1AA1,1);
H1A1=load('C:\1H1A.TXT'); %H1 Yönlü İvme
H1A1=H1A1'; H1A1=H1A1(:); H1A1=[0;H1A1];
H1A1=dyaddown(H1A1,1);
H1V1=load('C:\1H1V.TXT'); %H1 Yönlü Hız
H1V1=H1V1'; H1V1=H1V1(:); H1V1=[0;H1V1];
H1V1=dyaddown(H1V1,1);
H1D1=load('C:\1H1D.TXT'); %H1 Yönlü Deplasman
H1D1=H1D1'; H1D1=H1D1(:); H1D1=[0;H1D1];
H1D1=dyaddown(H1D1,1);
H1E1=H1V1.*H1V1; %Hızın karesinden enerji elde edilir.
dt=0.02; t=(0:dt:15); t=t';
subplot(5,1,1); plot(t,H1AA1); grid on; title('1 Numaralı Elemanın
H1 Yönlü Mutlak İvmesi H1AA1');
subplot(5,1,2); plot(t,H1A1); grid on; axis tight; title('1 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü İvmesi H1A1');
subplot(5,1,3); plot(t,H1V1); grid on; axis tight; title('1 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Hızı H1V1');
subplot(5,1,4); plot(t,H1D1); grid on; axis tight; title('1 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Deplasmanı H1D1');
```

```
subplot(5,1,5); plot(t,H1E1); grid on; axis tight; title('1 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Enerjisi H1E1');

% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(H1AA1,Ts);
plot_hht(H1A1,Ts);
plot_hht(H1V1,Ts);
plot_hht(H1D1,Ts);
plot_hht(H1E1,Ts);

% 2 Noktasının H1 yönündeki parametreleri
format long;
H1AA2=load('C:\2H1AA.TXT'); %H1 Yönlü Mutlak İvme
H1AA2=H1AA2'; H1AA2=H1AA2(:); H1AA2=[0;H1AA2];
H1AA2=dyaddown(H1AA2,1);
H1A2=load('C:\2H1A.TXT'); %H1 Yönlü İvme
H1A2=H1A2'; H1A2=H1A2(:); H1A2=[0;H1A2];
H1A2=dyaddown(H1A2,1);
H1V2=load('C:\2H1V.TXT'); %H1 Yönlü Hız
H1V2=H1V2'; H1V2=H1V2(:); H1V2=[0;H1V2];
H1V2=dyaddown(H1V2,1);
H1D2=load('C:\2H1D.TXT'); %H1 Yönlü Deplasman
H1D2=H1D2'; H1D2=H1D2(:); H1D2=[0;H1D2];
H1D2=dyaddown(H1D2,1);
H1E2=H1V2.*H1V2; %Hızın karesinden enerji elde edilir.
dt=0.02; t=(0:dt:15); t=t';
subplot(5,1,1); plot(t,H1AA2); grid on; title('2 Numaralı Elemanın
H1 Yönlü Mutlak İvmesi H1AA1');
subplot(5,1,2); plot(t,H1A2); grid on; axis tight; title('2 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü İvmesi H1A1');
subplot(5,1,3); plot(t,H1V2); grid on; axis tight; title('2 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Hızı H1V1');
subplot(5,1,4); plot(t,H1D2); grid on; axis tight; title('2 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Deplasmanı H1D1');
subplot(5,1,5); plot(t,H1E2); grid on; axis tight; title('2 Numaralı
Elemanın H1 Yönlü Enerjisi H1E1');

% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(H1AA2,Ts);
plot_hht(H1A2,Ts);
plot_hht(H1V2,Ts);
plot_hht(H1D2,Ts);
plot_hht(H1E2,Ts);
```

```
% Data Okumaları
damaged=load('c:\C\module1_mikrotremor_x.txt');
damaged128=damaged(:,2); %128. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged129=damaged(:,3); %129. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged130=damaged(:,4); %130. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged131=damaged(:,5); %131. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged134=damaged(:,6); %134. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri

undamaged=load('c:\H\6 Story MikrotremorX pre-EQ.txt');
undamaged127=undamaged(:,2); %127. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged128=undamaged(:,3); %128. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged129=undamaged(:,4); %129. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged130=undamaged(:,5); %130. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged131=undamaged(:,6); %131. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged132=undamaged(:,7); %132. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged133=undamaged(:,8); %133. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged134=undamaged(:,9); %134. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged135=undamaged(:,10);%135. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged136=undamaged(:,11);%136. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,1); plot(t,damaged127); hold on;
plot(t,damaged129,'r'); hold on;
plot(t,damaged131,'g'); hold on;
plot(t,damaged133,'m'); hold on;
plot(t,damaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarlı X Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,2); plot(t,undamaged127); hold on;
plot(t,undamaged129,'r'); hold on;
plot(t,undamaged131,'g'); hold on;
plot(t,undamaged133,'m'); hold on;
plot(t,undamaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarsız X Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;
```

```
% Fourier Analizi ve Filtreleme
df=1/(length(damaged127)*dt); fnyq=floor(length(damaged127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
damaged127f=abs(fft(damaged127)); figure;plot(fh(1:floor(fnyq/5)),
damaged127f(2:floor(fnyq/5)+1))
title('127. İstasyon İvme Değerleri Fourier Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;
damaged128f=abs(fft(damaged127));
figure;plot(fh(1:floor(fnyq/5)),damaged128f(2:floor(fnyq/5)+1))
title('128. İstasyon İvme Değerleri Fourier Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;

% Low-pass filter below 2 Hz. (Taking from modal mass ratios table)
Fs=100; %Hz
dt=1/Fs; %deltime
t=(0:1:length(damaged127)-1)*dt;
Fnyq=1/2/dt;
[b,a]=butter(7,2/Fnyq,'low');
figure;freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order LP Filter
damaged127f=abs(fft(xfl)); figure;plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% High-pass filter above 0.2 Hz. (Taking from modal mass ratios
table)
[b,a]=butter(7,0.2/Fnyq,'high');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfh=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order HP Filter
damaged127f=abs(fft(xfh)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('High Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Band-pass filter  between 0.2-1 Hz. (From first and second modal
freqz from x direction)
Wn=[0.2 1]
[b,a]=butter(4,Wn/Fnyq,'bandpass');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfb=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 4th order BP Filter
damaged127f=abs(fft(xfb)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Band Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Nonfiltered Fourier Spectrum
Fs=100;
L=length(damaged127);
NFFT=2^nextpow2(L); %Fourier Amplitude
X=fft(damaged127,NFFT)/L;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
figure; plot(f,2*abs(X(1:NFFT/2+1)));
title('Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');
```

```
% Spectral Ratio Metoduyla Katlar Arası grafikler çizilerek
değişkenlik gösteren kat tespit edilerek hasar belirlenebiliyor.
% Notes- Katlar arası yapılması gerekir (1 ile 2, 2 ile 3...)
Fs=100;
subplot(2,2,1); pcov(damaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged129,12,1024,Fs); title('Katlar Arası Koveryans Grafiği
1/2');

subplot(2,2,2); pcov(damaged129,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged131,12,1024,Fs); title('Katlar Arası Koveryans Grafiği
2/3');

subplot(2,2,3); pcov(damaged131,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged133,12,1024,Fs); title('Katlar Arası Koveryans Grafiği
3/4');

subplot(2,2,4); pcov(damaged133,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged135,12,1024,Fs); title('Katlar Arası Koveryans Grafiği
4/6');

% Wavelet Dönüşümü ile Analiz
len = length(damaged127);
figure; [cwdamaged127,sc] = cwt(damaged127,1:128,'Db4','scal');
title('Scalogram of Damaged Station 127 with Db4');
ylabel('Scale');
figure; [cwundamaged127,sc] = cwt(undamaged127,1:128,'Db4','scal');
title('Scalogram of Undamaged Station 127 with Db4');
ylabel('Scale');

pcov(cwdamaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(cwundamaged127,12,1024,Fs); title('Hasarlı ve Hasarsız Veri
Üzerinden Dalgacık Koveryansı');

% Filtered Wavelet Transform
figure; [cwdamaged127,sc] = cwt(xfh,1:128,'db4','scal');
title('Scalogram of Station 127 with Db4')
ylabel('Scale')

% Wavelet Coherence
wcoh1=wcoherence(damaged127,undamaged127);
plot(wcoh1);

% Cross Corelation
figure
crosscorr(damaged127,undamaged127);
[wpta,~,Falign] = modwpt(damaged127,'TimeAlign',true);
[wptn,~,Fnon] = modwpt(damaged127);
subplot(2,2,1);
contour(t,Fnon.*(1/dt),abs(wptn).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,2)
contour(t,Falign.*(1/dt),abs(wpta).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');
```

```
[wptau,~,Falignu] = modwpt(undamaged127,'TimeAlign',true);
[wptnu,~,Fnonu] = modwpt(undamaged127);
subplot(2,2,3);
contour(t,Fnonu.*(1/dt),abs(wptnu).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,4)
contour(t,Falignu.*(1/dt),abs(wptau).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');

% Hasarlı Yapının HHT Analizi
% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(damaged127,Ts);
plot_hht(undamaged127,Ts);

% Filtered HHT - Lowpass Filtre HHT
plot_hht(xfl,Ts);

% Convolüsyon frekans mertebeleri
damagedconv1=conv(damaged127,undamaged127);
figure; [damagedconv1,sc] = cwt(damagedconv1,1:128,'db4','scal');
title('Scalogram of Convolution of Damaged and Undamaged Station
with Db4')
ylabel('Scale')

% STFT (Short Time Fourier Transform) ile Analiz
subplot(2,1,1);
spectrogram(damaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yaxis');
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
subplot(2,1,2);spectrogram(undamaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yax
is');
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;

% Other Time-Frequency Transforms
plot(real(damaged127));
dsp1=fftshift(abs(fft(damaged127)).^2); %Fourier
plot((-64:63)/128,dsp1);
tfrwv(damaged127);

% Gabor Transform
ltfatstart; %Large Time-Freq. Analysis Tool
c=dgt(damaged127,'gauss',100,2); %Other window types; blackman,
gauss, hamming, hann
subplot(2,1,1);
imagesc(abs(c).^2);
ylabel('Frequency (Hz)');
xlabel('Time (s)');
title('Gabor Transform of Damaged 127st Station');
```

```
c=dgt(undamaged127,'gauss',100,2); %Other window types; blackman,
gauss, hamming, hann
subplot(2,1,2);
imagesc(abs(c).^2);
ylabel('Frequency (Hz)');
xlabel('Time (s)');
title('Gabor Transform of Undamaged 127. Station');

c=dgt(damaged127,'gauss',100,2); %Other window types; blackman,
gauss, hamming, hann
figure(2);
imagesc(abs(c).^2);
ylabel('Frequency (Hz)');
xlabel('Time (s)');
title('Gabor Transform of Undamaged 127. Station');

% Other Transforms (Wigner Ville Transform)
W=wignervilledist(damaged127);
figure(1);
imagesc(abs(W).^2);

% Other Transforms (Rihaczek Distribution)
r=drihaczekdist(damaged127);
figure(1);
imagesc(abs(r).^2);

% Other Transforms (Frame Object-Wilson and Modified Discrete Cosine
Transform )
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

% sgram(f) plots a spectrogram of f using a Discrete Gabor Transform
(DGT).
subplot(2,1,1); sgram(damaged127,100,70);
subplot(2,1,2); sgram(undamaged127,100,70);
```

```
% Data Okumaları
mikro_x=load('c:\C\module2_mikrotremor_x.txt');
mikro_x_128=mikro_x(:,2); %128. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_129=mikro_x(:,3); %129. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_130=mikro_x(:,4); %130. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_131=mikro_x(:,5); %131. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_132=mikro_x(:,6); %132. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_133=mikro_x(:,7); %133. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_134=mikro_x(:,8); %134. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_x_135=mikro_x(:,9); %135. İstasyon x yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri

mikro_y=load('c:\C\module2_mikrotremor_y.txt');
mikro_y_128=mikro_y(:,2); %128. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_129=mikro_y(:,3); %129. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_130=mikro_y(:,4); %130. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_131=mikro_y(:,5); %131. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_132=mikro_y(:,6); %132. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_133=mikro_y(:,7); %133. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_134=mikro_y(:,8); %134. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri
mikro_y_135=mikro_y(:,9); %135. İstasyon y yönlü Mikrotremor İvme
Değerleri

dt=0.005; t=dt*(0:length(mikro_x_128)-1);
subplot(2,1,1); plot(t,mikro_x_128); hold on;
plot(t,mikro_x_129,'r'); hold on;
plot(t,mikro_x_130,'g'); hold on;
plot(t,mikro_x_131,'m'); hold on;
plot(t,mikro_x_132,'y'); hold on; title('128., 129., 130., 131. ve
132. İstasyonların X Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

dt=0.005; t=dt*(0:length(mikro_y_128)-1);
subplot(2,1,2); plot(t,mikro_y_128); hold on;
plot(t,mikro_y_129,'r'); hold on;
plot(t,mikro_y_130,'g'); hold on;
plot(t,mikro_y_131,'m'); hold on;
plot(t,mikro_y_132,'y'); hold on; title('128., 129., 130., 131. ve
132. İstasyonların Y Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

% Fourier Analizi ve Filtreleme
df=1/(length(mikro_x_128)*dt); fnyq=floor(length(mikro_x_128)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
```

```
mikro_x_128f=abs(fft(mikro_x_128));
figure;subplot(2,1,1);plot(fh(1:floor(fnyq/5)),
mikro_x_128f(2:floor(fnyq/5)+1))
title('128. İstasyon X Yönlü İvme Değerleri Fourier Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;
mikro_y_128f=abs(fft(mikro_y_128));
subplot(2,1,2);plot(fh(1:floor(fnyq/5)),mikro_y_128f(2:floor(fnyq/5)
+1))
title('128. İstasyon Y Yönlü İvme Değerleri Fourier Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;

% Low-pass filter below 2 Hz. (Taking from modal mass ratios table)
Fs=100; %Hz
dt=1/Fs; %deltime
t=(0:1:length(mikro_x_128)-1)*dt;
Fnyq=1/2/dt;
[b,a]=butter(7,2/Fnyq,'low');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,mikro_x_128); %Filtered by 7th order LP Filter
mikro_x_128f=abs(fft(xfl)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
mikro_x_128f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% High-pass filter above 0.2 Hz. (Taking from modal mass ratios
table)
[b,a]=butter(7,0.2/Fnyq,'high');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfh=filter(b,a,mikro_x_128); %Filtered by 7th order HP Filter
mikro_x_128f=abs(fft(xfh)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
mikro_x_128f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('High Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% STFT (Short Time Fourier Transform) ile Analiz
subplot(2,1,1);
spectrogram(mikro_x_128,blackman(128),60,128,Fs,'yaxis');
view(-77,72); title('128. İstasyon x(üst) ve y(alt) yönlü STFT
Dönüşümleri')
shading interp;
colorbar off;
subplot(2,1,2);spectrogram(mikro_y_128,blackman(128),60,128,Fs,'yaxi
s');
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
```

```
% Data Okumaları
damaged=load('c:\G\6 Story MikrotremorX post-EQ.txt');
damaged127=damaged(:,2); %127. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged128=damaged(:,3); %128. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged129=damaged(:,4); %129. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged130=damaged(:,5); %130. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged131=damaged(:,6); %131. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged132=damaged(:,7); %132. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged133=damaged(:,8); %133. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged134=damaged(:,9); %134. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged135=damaged(:,10);%135. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged136=damaged(:,11);%136. İstasyon x yönlü Hasarlı İvme
Değerleri

undamaged=load('c:\H\6 Story MikrotremorX pre-EQ.txt');
undamaged127=undamaged(:,2); %127. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged128=undamaged(:,3); %128. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged129=undamaged(:,4); %129. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged130=undamaged(:,5); %130. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged131=undamaged(:,6); %131. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged132=undamaged(:,7); %132. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged133=undamaged(:,8); %133. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged134=undamaged(:,9); %134. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged135=undamaged(:,10);%135. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged136=undamaged(:,11);%136. İstasyon x yönlü Hasarsız İvme
Değerleri

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,1); plot(t,damaged127); hold on;
plot(t,damaged129,'r'); hold on;
plot(t,damaged131,'g'); hold on;
plot(t,damaged133,'m'); hold on;
plot(t,damaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarlı Y Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,2); plot(t,undamaged127); hold on;
plot(t,undamaged129,'r'); hold on;
plot(t,undamaged131,'g'); hold on;
plot(t,undamaged133,'m'); hold on;
```

```
plot(t,undamaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarsız Y Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

% Fourier Analizi ve Filtreleme
df=1/(length(damaged127)*dt); fnyq=floor(length(damaged127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
damaged127f=abs(fft(damaged127));
g_damaged127=damaged127f./max(damaged127f);
undamaged127f=abs(fft(undamaged127));
g_undamaged127=undamaged127f./max(undamaged127f);
% Scale Factor bw damaged and undamaged cases to plot in close scale
scalefactor=max(damaged127f)/max(undamaged127f);
%loglog(fh(1:floor(fnyq/5)),damaged127f(2:floor(fnyq/5)+1),'r');
hold on;
%loglog(fh(1:floor(fnyq/5)),
scalefactor*undamaged127f(2:floor(fnyq/5)+1)); hold on;
loglog(fh(1:floor(fnyq/5)), g_undamaged127(2:floor(fnyq/5)+1)); hold
on;
loglog(fh(1:floor(fnyq/5)), g_damaged127(2:floor(fnyq/5)+1)); hold
on;
title('127. İstasyon Hasarlı ve Hasarsız İvme Değerleri Fourier
Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;
%Text on graphic
str = {'scalefactor bw damaged and undamaged : ', scalefactor};
text(0.05,0.5,str);

% Low-pass filter below 1 Hz. (Taking from modal mass ratios table)
Fs=100; %Hz
dt=1/Fs; %deltime
t=(0:1:length(damaged127)-1)*dt;
Fnyq=1/2/dt;
[b,a]=butter(7,1/Fnyq,'low');
figure;freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order LP Filter
damaged127f=abs(fft(xfl)); figure;plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Damaged
Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');
freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,undamaged127); %Filtered by 7th order LP Filter
undamaged127f=abs(fft(xfl)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
undamaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Undamaged
Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% High-pass filter above 0.2 Hz. (Taking from modal mass ratios
table)
[b,a]=butter(7,0.2/Fnyq,'high');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfh=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order HP Filter
damaged127f=abs(fft(xfh)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('High Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
```

```
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Band-pass  filter between 0.2-1 Hz. (From first and second modal
freqz from x direction)
Wn=[0.2 1]
[b,a]=butter(4,Wn/Fnyq,'bandpass');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfb=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 4th order BP Filter
damaged127f=abs(fft(xfb)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Band Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Nonfiltered Fourier Spectrum
Fs=100;
L=length(damaged127);
NFFT=2^nextpow2(L); %Fourier Amplitude
X=fft(damaged127,NFFT)/L;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
figure; plot(f,2*abs(X(1:NFFT/2+1)));
title('Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Spectral Ratio Metoduyla Katlar Arası grafikler çizilerek
değişkenlik gösteren kat tespit edilerek hasar belirlenebiliyor.
% Notes- Katlar arası yapılması gerekir (1 ile 2, 2 ile 3...)
Fs=100;
subplot(2,2,1); pcov(damaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged129,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 1/2');

subplot(2,2,2); pcov(damaged129,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged131,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 2/3');

subplot(2,2,3); pcov(damaged131,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged133,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 3/4');

subplot(2,2,4); pcov(damaged133,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged135,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 4/6');

% Hasarsız Yapı
figure;
Fs=100;
subplot(2,2,1); pcov(undamaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged129,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 1/2');

subplot(2,2,2); pcov(undamaged129,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged131,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 2/3');
```

```
subplot(2,2,3); pcov(undamaged131,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged133,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 3/4');

subplot(2,2,4); pcov(undamaged133,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged135,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 4/6');

% Wavelet Dönüşümü ile Analizcoefs = cwt(x,scales,'wname')
subplot(2,1,1); coefs_undamaged = cwt(undamaged127, 1:128, 'db4',
'coloration'); title('Hasarsız Yapı Dalgacık Dönüşümü')
subplot(2,1,2); coefs_damaged = cwt(damaged127, 1:128, 'db4',
'coloration'); title('Hasarlı Yapı Dalgacık Dönüşümü')

% AutoCorrelation NOT: 127. ve 128. istasyon olan 1. katta farklılık
var.
figure; subplot(5,2,10)
autocorr(damaged127,200); hold on;
autocorr(undamaged127,200); title('Damaged127-Undamaged127')
subplot(5,2,9)
autocorr(damaged128,200); hold on;
autocorr(undamaged128,200); title('Damaged128-Undamaged128')
subplot(5,2,8)
autocorr(damaged129,200); hold on;
autocorr(undamaged129,200); title('Damaged129-Undamaged129')
subplot(5,2,7)
autocorr(damaged130,200); hold on;
autocorr(undamaged130,200); title('Damaged130-Undamaged130')
subplot(5,2,6)
autocorr(damaged131,200); hold on;
autocorr(undamaged131,200); title('Damaged131-Undamaged131')
subplot(5,2,5)
autocorr(damaged132,200); hold on;
autocorr(undamaged132,200); title('Damaged132-Undamaged132')
subplot(5,2,4)
autocorr(damaged133,200); hold on;
autocorr(undamaged133,200); title('Damaged133-Undamaged133')
subplot(5,2,3)
autocorr(damaged134,200); hold on;
autocorr(undamaged134,200); title('Damaged134-Undamaged134')
subplot(5,2,2)
autocorr(damaged135,200); hold on;
autocorr(undamaged135,200); title('Damaged135-Undamaged135')
subplot(5,2,1)
autocorr(damaged136,200); hold on;
autocorr(undamaged136,200); title('Damaged136-Undamaged136')

% Cross Correlation
adamaged127=autocorr(damaged127,200);
aundamaged127=autocorr(undamaged127,200);
figure; subplot(5,2,1)
crosscorr(adamaged127,adamaged127); title('Damaged127-Damaged127')
subplot(5,2,2)
crosscorr(adamaged127,aundamaged127); title('Damaged127-
Undamaged127')

adamaged128=autocorr(damaged128,200);
aundamaged128=autocorr(undamaged128,200);
subplot(5,2,3)
```

```
crosscorr(adamaged128,adamaged128); title('Damaged128-Damaged128')
subplot(5,2,4)
crosscorr(adamaged128,aundamaged128); title('Damaged128-
Undamaged128')

adamaged129=autocorr(damaged129,200);
aundamaged129=autocorr(undamaged129,200);
subplot(5,2,5)
crosscorr(adamaged129,adamaged129); title('Damaged129-Damaged129')
subplot(5,2,6)
crosscorr(adamaged129,aundamaged129); title('Damaged129-
Undamaged129')

adamaged130=autocorr(damaged130,200);
aundamaged130=autocorr(undamaged130,200);
subplot(5,2,7)
crosscorr(adamaged130,adamaged130); title('Damaged130-Damaged130')
subplot(5,2,8)
crosscorr(adamaged130,aundamaged130); title('Damaged130-
Undamaged130')

adamaged131=autocorr(damaged131,200);
aundamaged131=autocorr(undamaged131,200);
subplot(5,2,9)
crosscorr(adamaged131,adamaged131); title('Damaged131-Damaged131')
subplot(5,2,10)
crosscorr(adamaged131,aundamaged131); title('Damaged131-
Undamaged131')

% Hasarlı Data Otokorelasyonlar
adamaged132=autocorr(damaged132,200);
aundamaged132=autocorr(undamaged132,200);
figure; subplot(5,2,1)
crosscorr(adamaged132,adamaged132); title('Damaged132-Damaged132')
subplot(5,2,2)
crosscorr(adamaged132,aundamaged132); title('Damaged132-
Undamaged132')

adamaged133=autocorr(damaged133,200);
aundamaged133=autocorr(undamaged133,200);
subplot(5,2,3)
crosscorr(adamaged133,adamaged133); title('Damaged133-Damaged133')
subplot(5,2,4)
crosscorr(adamaged133,aundamaged133); title('Damaged133-
Undamaged133')

adamaged134=autocorr(damaged134,200);
aundamaged134=autocorr(undamaged134,200);
subplot(5,2,5)
crosscorr(adamaged134,adamaged134); title('Damaged134-Damaged134')
subplot(5,2,6)
crosscorr(adamaged134,aundamaged134); title('Damaged134-
Undamaged134')

adamaged135=autocorr(damaged135,200);
aundamaged135=autocorr(undamaged135,200);
subplot(5,2,7)
crosscorr(adamaged135,adamaged135); title('Damaged135-Damaged135')
subplot(5,2,8)
```

```
crosscorr(adamaged135,aundamaged135); title('Damaged135-
Undamaged135')

adamaged136=autocorr(damaged136,200);
aundamaged136=autocorr(undamaged136,200);
subplot(5,2,9)
crosscorr(adamaged136,adamaged136); title('Damaged136-Damaged136')
subplot(5,2,10)
crosscorr(adamaged136,aundamaged136); title('Damaged136-
Undamaged136')

% Wavelet Coherence Damaged
[wcoh01,wcs01] = wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
[wcoh02,wcs02] = wcoherence(damaged127,damaged131,seconds(1/200));
[wcoh03,wcs03] = wcoherence(damaged127,damaged133,seconds(1/200));
[wcoh04,wcs04] = wcoherence(damaged127,damaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged127,damaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 3. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged127,damaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 4. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged127,damaged135,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Damaged
[wcoh01,wcs01] = wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
[wcoh12,wcs12] = wcoherence(damaged129,damaged131,seconds(1/200));
[wcoh23,wcs23] = wcoherence(damaged131,damaged133,seconds(1/200));
[wcoh34,wcs34] = wcoherence(damaged133,damaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged129,damaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 2. and 3. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged131,damaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 3. and 4. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged133,damaged135,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 4. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Damaged and Undamaged
[wcoh11,wcs11] = wcoherence(damaged127,undamaged127,seconds(1/200));
[wcoh22,wcs22] = wcoherence(damaged129,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh33,wcs33] = wcoherence(damaged131,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh44,wcs44] = wcoherence(damaged133,undamaged133,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,undamaged127,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 1. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged129,undamaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 2. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged131,undamaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 3. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged133,undamaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 4. Story');
```

```
% Wavelet Coherence Undamaged
[wcoh01u,wcs01u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh02u,wcs02u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh03u,wcs03u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged133,seconds(1/200));
[wcoh04u,wcs04u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1);
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2);
wcoherence(undamaged127,undamaged131,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 3. Story');
subplot(2,2,3);
wcoherence(undamaged127,undamaged133,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 4. Story');
subplot(2,2,4);
wcoherence(undamaged127,undamaged135,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Undamaged
[wcoh01u,wcs01u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh12u,wcs12u] =
wcoherence(undamaged129,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh23u,wcs23u] =
wcoherence(undamaged131,undamaged133,seconds(1/200));
[wcoh34u,wcs34u] =
wcoherence(undamaged133,undamaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1);
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2);
wcoherence(undamaged129,undamaged131,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 2. and 3. Story');
subplot(2,2,3);
wcoherence(undamaged131,undamaged133,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 3. and 4. Story');
subplot(2,2,4);
wcoherence(undamaged133,undamaged135,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 4. and 6. Story');

% Wavelet Packet
[wpta,~,Falign] = modwpt(damaged127,'TimeAlign',true);
[wptn,~,Fnon] = modwpt(damaged127);
subplot(2,2,1);
contour(t,Fnon.*(1/dt),abs(wptn).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,2)
contour(t,Falign.*(1/dt),abs(wpta).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');
```

```
[wptau,~,Falignu] = modwpt(undamaged127,'TimeAlign',true);
[wptnu,~,Fnonu] = modwpt(undamaged127);
subplot(2,2,3);
contour(t,Fnonu.*(1/dt),abs(wptnu).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,4)
contour(t,Falignu.*(1/dt),abs(wptau).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');

% Hasarlı Yapının HHT Analizi
% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(damaged127,Ts);
plot_hht(undamaged127,Ts);
hs=hht(imf,fs);

% HHT MATLAB HELPER
fs=200;
[imf,residual,info] = emd(undamaged127,'Interpolation','pchip');
hht(imf,fs);

% Other HHT
[hs,f,t,imfinsf,imfinse] = hht(imf,fs);

% Nonlinear Gabor Transform 28.03.2019
cqt(damaged127,'SamplingFrequency',Fs);

% INSTANTENEOUS FREQUENCY
instfreq(damaged127,fs);

% KURTOGRAM
w0 = 128;
figure;
pkurtosis(damaged127,fs,w0);
title('Spectral Kurtosis with Optimum Window Size of 128');

% Spectral Entrophy
figure;
pentropy(damaged127,fs);
title('Spectral Entropy of White Noise Signal Timetable');

% Cross Spectrogram
xspectrogram(damaged127,undamaged127,kaiser(500,5),450,256,fs,'yaxis
');

% Filtered HHT - Lowpass Filtre HHT
plot_hht(xfl,Ts);

% STFT (Short Time Fourier Transform) ile Analiz
Fs=200;
subplot(2,1,1);
spectrogram(damaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yaxis');
```

```
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
title('Hasarsız Yapının STFT Dönüşümü')
subplot(2,1,2);spectrogram(undamaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yax
is');
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
title('Hasarlı Yapının STFT Dönüşümü')

% Other Time-Frequency Transforms
plot(real(damaged127));
dsp1=fftshift(abs(fft(damaged127)).^2); %Fourier
plot((-64:63)/128,dsp1);
tfrwv(damaged127);

% Other Transforms (Wigner Ville Transform)
W=wignervilledist(damaged127);
figure(1);
imagesc(abs(W).^2);

% Other Transforms (Frame Object-Wilson and Modified Discrete Cosine
Transform )
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

% sgram(f) plots a spectrogram of f using a Discrete Gabor Transform
(DGT).
subplot(2,1,1); sgram(damaged127,100,70);
subplot(2,1,2); sgram(undamaged127,100,70);

% Fourier İstatistik
df=1/(length(damaged127)*dt); fnyq=floor(length(damaged127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
damaged127f=abs(fft(damaged127));
undamaged127f=abs(fft(undamaged127));
damaged128f=abs(fft(damaged128));
undamaged128f=abs(fft(undamaged128));
```

```
damaged129f=abs(fft(damaged129));
undamaged129f=abs(fft(undamaged129));
damaged130f=abs(fft(damaged130));
undamaged130f=abs(fft(undamaged130));
damaged131f=abs(fft(damaged131));
undamaged131f=abs(fft(undamaged131));
damaged132f=abs(fft(damaged132));
undamaged132f=abs(fft(undamaged132));
damaged133f=abs(fft(damaged133));
undamaged133f=abs(fft(undamaged133));
damaged134f=abs(fft(damaged134));
undamaged134f=abs(fft(undamaged134));
damaged135f=abs(fft(damaged135));
undamaged135f=abs(fft(undamaged135));
damaged136f=abs(fft(damaged136));
undamaged136f=abs(fft(undamaged136));

% Wavelet İstatistik wundamaged127=abs(cwt(undamaged127))
wdamaged127=cwt(damaged127); wundamaged127=cwt(undamaged127);
subplot(5,2,10);qqplot(abs(wdamaged127),abs(wundamaged127));
title('Wavelet of Damaged127-Undamaged127');
wdamaged128=cwt(damaged128); wundamaged128=cwt(undamaged128);
subplot(5,2,9);qqplot(abs(wdamaged128),abs(wundamaged128));
title('Wavelet of Damaged128-Undamaged128');
wdamaged129=cwt(damaged129); wundamaged129=cwt(undamaged129);
subplot(5,2,8);qqplot(abs(wdamaged129),abs(wundamaged129));
title('Wavelet of Damaged129-Undamaged129');
wdamaged130=cwt(damaged130); wundamaged130=cwt(undamaged130);
subplot(5,2,7);qqplot(abs(wdamaged130),abs(wundamaged130));
title('Wavelet of Damaged130-Undamaged130');
wdamaged131=cwt(damaged131); wundamaged131=cwt(undamaged131);
subplot(5,2,6);qqplot(abs(wdamaged131),abs(wundamaged131));
title('Wavelet of Damaged131-Undamaged131');
wdamaged132=cwt(damaged132); wundamaged132=cwt(undamaged132);
subplot(5,2,5);qqplot(abs(wdamaged132),abs(wundamaged132));
title('Wavelet of Damaged132-Undamaged132');
wdamaged133=cwt(damaged133); wundamaged133=cwt(undamaged133);
subplot(5,2,4);qqplot(abs(wdamaged133),abs(wundamaged133));
title('Wavelet of Damaged133-Undamaged133');
wdamaged134=cwt(damaged134); wundamaged134=cwt(undamaged134);
subplot(5,2,3);qqplot(abs(wdamaged134),abs(wundamaged134));
title('Wavelet of Damaged134-Undamaged134');
wdamaged135=cwt(damaged135); wundamaged135=cwt(undamaged135);
subplot(5,2,2);qqplot(abs(wdamaged136),abs(wundamaged136));
title('Wavelet of Damaged135-Undamaged135');
wdamaged136=cwt(damaged136); wundamaged136=cwt(undamaged136);
subplot(5,2,1);qqplot(abs(wdamaged136),abs(wundamaged136));
title('Wavelet of Damaged136-Undamaged136');

% Wavelet coefficientler birbirinden istatistiksel olarak
çıkarılabilir.
coefs_undamaged127 = cwt(undamaged127, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 127. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged127 = cwt(damaged127, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 127. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged128 = cwt(undamaged128, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 128. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged128 = cwt(damaged128, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 128. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
```

```
coefs_undamaged129 = cwt(undamaged129, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 129. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged129 = cwt(damaged129, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 129. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged130 = cwt(undamaged130, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 130. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged130 = cwt(damaged130, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 130. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged131 = cwt(undamaged131, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 131. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged131 = cwt(damaged131, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 131. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged132 = cwt(undamaged132, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 132. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged132 = cwt(damaged132, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 132. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged133 = cwt(undamaged133, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 133. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged133 = cwt(damaged133, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 133. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged134 = cwt(undamaged134, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 134. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged134 = cwt(damaged134, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 134. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged135 = cwt(undamaged135, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 135. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged135 = cwt(damaged135, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 135. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged136 = cwt(undamaged136, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 136. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged136 = cwt(damaged136, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 136. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')

% Aynı istasyon hasarlı-hasarsız ve otoplot
subplot(3,1,1); qqplot(coefs_undamaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Undamaged127-Undamaged127');
subplot(3,1,2); qqplot(coefs_damaged127,coefs_damaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Damaged127');
subplot(3,1,3); qqplot(coefs_damaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Undamaged127');

figure;
subplot(5,2,10); qqplot(coefs_damaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Undamaged127');
subplot(5,2,9); qqplot(coefs_damaged128,coefs_undamaged128);
title('Wavelet Coefficients of Damaged128-Undamaged128');
subplot(5,2,8); qqplot(coefs_damaged129,coefs_undamaged129);
title('Wavelet Coefficients of Damaged129-Undamaged129');
subplot(5,2,7); qqplot(coefs_damaged130,coefs_undamaged130);
title('Wavelet Coefficients of Damaged130-Undamaged130');
subplot(5,2,6); qqplot(coefs_damaged131,coefs_undamaged131);
title('Wavelet Coefficients of Damaged131-Undamaged131');
subplot(5,2,5); qqplot(coefs_damaged132,coefs_undamaged132);
title('Wavelet Coefficients of Damaged132-Undamaged132');
subplot(5,2,4); qqplot(coefs_damaged133,coefs_undamaged133);
title('Wavelet Coefficients of Damaged133-Undamaged133');
subplot(5,2,3); qqplot(coefs_damaged134,coefs_undamaged134);
title('Wavelet Coefficients of Damaged134-Undamaged134');
subplot(5,2,2); qqplot(coefs_damaged135,coefs_undamaged135);
title('Wavelet Coefficients of Damaged135-Undamaged135');
```

```
subplot(5,2,1); qqplot(coefs_damaged136,coefs_undamaged136);
title('Wavelet Coefficients of Damaged136-Undamaged136');

% Wavelet katsayılarından hangi satırın seçileceğinin otomasyonu
N=length(damaged127);
for i=1:N
    diff(coefs_damaged127(:,i));
end
[M,I] = max(ans(:));
% Seçilen satır I. olacaktır. Burada I. satır frekans farklarının en
yüksek olduğu satırdır. Hasar tespitinde de farklı dalgacık
katsayılarındaki aynı satırlar mukayese edilmelidir.

% Wavelet Coefficient Üzerinden İstatistik ve Otomasyon
subplot(5,2,10);crosscorr((coefs_damaged127(:,I)),(coefs_undamaged12
7(:,I)));
subplot(5,2,9);
crosscorr((coefs_damaged128(:,I)),(coefs_undamaged128(:,I)));
subplot(5,2,8);
crosscorr((coefs_damaged129(:,I)),(coefs_undamaged129(:,I)));
subplot(5,2,7);
crosscorr((coefs_damaged130(:,I)),(coefs_undamaged130(:,I)));
subplot(5,2,6);
crosscorr((coefs_damaged131(:,I)),(coefs_undamaged131(:,I)));
subplot(5,2,5);
crosscorr((coefs_damaged132(:,I)),(coefs_undamaged132(:,I)));
subplot(5,2,4);
crosscorr((coefs_damaged133(:,I)),(coefs_undamaged133(:,I)));
subplot(5,2,3);
crosscorr((coefs_damaged134(:,I)),(coefs_undamaged134(:,I)));
subplot(5,2,2);
crosscorr((coefs_damaged135(:,I)),(coefs_undamaged135(:,I)));
subplot(5,2,1);
crosscorr((coefs_damaged136(:,I)),(coefs_undamaged136(:,I)));

if any(crosscorr((coefs_damaged127(:,I)),(coefs_undamaged127(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged129(:,I)),(coefs_undamaged129(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged131(:,I)),(coefs_undamaged131(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
```

```
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged133(:,I)),(coefs_undamaged133(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged135(:,I)),(coefs_undamaged135(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

% Moment
damaged127m = moment(coefs_damaged127(:,I),3);
damaged128m = moment(coefs_damaged128(:,I),3);
damaged129m = moment(coefs_damaged129(:,I),3);
damaged130m = moment(coefs_damaged130(:,I),3);
damaged131m = moment(coefs_damaged131(:,I),3);
damaged132m = moment(coefs_damaged132(:,I),3);
damaged133m = moment(coefs_damaged133(:,I),3);
damaged134m = moment(coefs_damaged134(:,I),3);
damaged135m = moment(coefs_damaged135(:,I),3);
damaged136m = moment(coefs_damaged136(:,I),3);

undamaged127m = moment(coefs_undamaged127(:,I),2);
undamaged128m = moment(coefs_undamaged128(:,I),2);
undamaged129m = moment(coefs_undamaged129(:,I),2);
undamaged130m = moment(coefs_undamaged130(:,I),2);
undamaged131m = moment(coefs_undamaged131(:,I),2);
undamaged132m = moment(coefs_undamaged132(:,I),2);
undamaged133m = moment(coefs_undamaged133(:,I),2);
undamaged134m = moment(coefs_undamaged134(:,I),2);
undamaged135m = moment(coefs_undamaged135(:,I),2);
undamaged136m = moment(coefs_undamaged136(:,I),2);

if any(damaged127m/damaged129m < 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

if any(undamaged127m/undamaged129m < 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Önce - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Önce - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end
```

```
% Mad
damaged127sf=mad(damaged127f,0);
damaged128sf=mad(damaged128f,0);
damaged129sf=mad(damaged129f,0);
damaged130sf=mad(damaged130f,0);
damaged131sf=mad(damaged131f,0);
damaged132sf=mad(damaged132f,0);
damaged133sf=mad(damaged133f,0);
damaged134sf=mad(damaged134f,0);
damaged135sf=mad(damaged135f,0);
damaged136sf=mad(damaged136f,0);

undamaged127sf=mad(undamaged127f,0);
undamaged128sf=mad(undamaged128f,0);
undamaged129sf=mad(undamaged129f,0);
undamaged130sf=mad(undamaged130f,0);
undamaged131sf=mad(undamaged131f,0);
undamaged132sf=mad(undamaged132f,0);
undamaged133sf=mad(undamaged133f,0);
undamaged134sf=mad(undamaged134f,0);
undamaged135sf=mad(undamaged135f,0);
undamaged136sf=mad(undamaged136f,0);

if any(damaged127sf/damaged129sf > 0.65)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

if any(undamaged127sf/undamaged129sf > 0.65)
    disp(warndlg('Depremden Önce - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Önce - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

% Fourier Dönüşümlerindeki düzensizlikler
subplot(4,1,4); pmtm(damaged127); hold on; pmtm(damaged129); title
('1. ve 2. Kat');
subplot(4,1,3); pmtm(damaged129); hold on; pmtm(damaged131); title
('2. ve 3. Kat');
subplot(4,1,2); pmtm(damaged131); hold on; pmtm(damaged133); title
('3. ve 4. Kat');
subplot(4,1,1); pmtm(damaged133); hold on; pmtm(damaged135); title
('4. ve 6. Kat');
figure;
subplot(4,1,4); pmtm(damaged127f); hold on; pmtm(damaged129f); title
('Fourier 1. ve 2. Kat');
subplot(4,1,3); pmtm(damaged129f); hold on; pmtm(damaged131f); title
('Fourier 2. ve 3. Kat');
subplot(4,1,2); pmtm(damaged131f); hold on; pmtm(damaged133f); title
('Fourier 3. ve 4. Kat');
subplot(4,1,1); pmtm(damaged133f); hold on; pmtm(damaged135f); title
('Fourier 4. ve 6. Kat');
```

```
% PMUSIC
subplot(4,1,4); pmusic(damaged127,4); hold on; pmusic(damaged129,4);
title ('1. ve 2. Kat PMusic');
subplot(4,1,3); pmusic(damaged129,4); hold on; pmusic(damaged131,4);
title ('2. ve 3. Kat PMusic');
subplot(4,1,2); pmusic(damaged131,4); hold on; pmusic(damaged133,4);
title ('3. ve 4. Kat PMusic');
subplot(4,1,1); pmusic(damaged133,4); hold on; pmusic(damaged135,4);
title ('4. ve 6. Kat PMusic');
figure;
subplot(4,1,4); pmusic(damaged127f,4); hold on;
pmusic(damaged129f,4); title ('1. ve 2. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,3); pmusic(damaged129f,4); hold on;
pmusic(damaged131f,4); title ('2. ve 3. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,2); pmusic(damaged131f,4); hold on;
pmusic(damaged133f,4); title ('3. ve 4. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,1); pmusic(damaged133f,4); hold on;
pmusic(damaged135f,4); title ('4. ve 6. Kat Fourier PMusic');


% HHT İSTATİSTİK
fs=200;
[imf127,residual,info] = emd(damaged127,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf127,imfinse127] = hht(imf127,fs);
[imf127u,residual,info] = emd(undamaged127,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf127u,imfinse127u] = hht(imf127u,fs);
[imf129,residual,info] = emd(damaged129,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf129,imfinse129] = hht(imf129,fs);
[imf129u,residual,info] = emd(undamaged129,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf129u,imfinse129u] = hht(imf129u,fs);
[imf131,residual,info] = emd(damaged131,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf131,imfinse131] = hht(imf131,fs);
[imf131u,residual,info] = emd(undamaged131,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf131u,imfinse131u] = hht(imf131u,fs);
[imf133,residual,info] = emd(damaged133,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf133,imfinse133] = hht(imf133,fs);
[imf133u,residual,info] = emd(undamaged133,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf133u,imfinse133u] = hht(imf133u,fs);
[imf135,residual,info] = emd(damaged135,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf135,imfinse135] = hht(imf135,fs);
[imf135u,residual,info] = emd(undamaged135,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf135u,imfinse135u] = hht(imf135u,fs);

% IMF'lerden Fourier alarak frekans ortamına geçilir.
df=1/(length(imf127)*dt); fnyq=floor(length(imf127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
imf127f=abs(fft(imf127(:,1))); imf127uf=abs(fft(imf127u(:,1)));
imf129f=abs(fft(imf129(:,1))); imf129uf=abs(fft(imf129u(:,1)));
imf131f=abs(fft(imf131(:,1))); imf131uf=abs(fft(imf131u(:,1)));
imf133f=abs(fft(imf133(:,1))); imf133uf=abs(fft(imf133u(:,1)));
imf135f=abs(fft(imf135(:,1))); imf135uf=abs(fft(imf135u(:,1)));

% Fourier IMF'ler Üzerinden İstatistik ve Otomasyon
subplot(5,1,5); crosscorr((imf127f),(imf127uf));
subplot(5,1,4); crosscorr((imf129f),(imf129uf));
subplot(5,1,3); crosscorr((imf131f),(imf131uf));
subplot(5,1,2); crosscorr((imf133f),(imf133uf));
subplot(5,1,1); crosscorr((imf135f),(imf135uf));
```

```
if any(crosscorr((imf127f),(imf127uf)) < 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf129f),(imf129uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf131f),(imf131uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf133f),(imf133uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf135f),(imf135uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end
```

```
% Data Okumaları
damaged=load('c:\G\6 Story MikrotremorY post-EQ.txt');
damaged127=damaged(:,2); %127. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged128=damaged(:,3); %128. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged129=damaged(:,4); %129. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged130=damaged(:,5); %130. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged131=damaged(:,6); %131. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged132=damaged(:,7); %132. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged133=damaged(:,8); %133. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged134=damaged(:,9); %134. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged135=damaged(:,10);%135. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri
damaged136=damaged(:,11);%136. İstasyon y yönlü Hasarlı İvme
Değerleri

undamaged=load('c:\H\6 Story MikrotremorY pre-EQ.txt');
undamaged127=undamaged(:,2); %127. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged128=undamaged(:,3); %128. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged129=undamaged(:,4); %129. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged130=undamaged(:,5); %130. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged131=undamaged(:,6); %131. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged132=undamaged(:,7); %132. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged133=undamaged(:,8); %133. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged134=undamaged(:,9); %134. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged135=undamaged(:,10);%135. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri
undamaged136=undamaged(:,11);%136. İstasyon y yönlü Hasarsız İvme
Değerleri

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,1); plot(t,damaged127); hold on;
plot(t,damaged129,'r'); hold on;
plot(t,damaged131,'g'); hold on;
plot(t,damaged133,'m'); hold on;
plot(t,damaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarlı Y Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

dt=0.005; t=dt*(0:length(damaged127)-1);
subplot(2,1,2); plot(t,undamaged127); hold on;
plot(t,undamaged129,'r'); hold on;
plot(t,undamaged131,'g'); hold on;
plot(t,undamaged133,'m'); hold on;
```

```
plot(t,undamaged135,'y'); hold on; title('127., 129., 131., 133. ve
135. İstasyonların Hasarsız Y Yönlü Mikrotremor İvme Değerleri');
xlabel('Zaman (sn)'); ylabel('İvme (m/sn2)'); grid on;

% Fourier Analizi ve Filtreleme
df=1/(length(damaged127)*dt); fnyq=floor(length(damaged127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
damaged127f=abs(fft(damaged127));
g_damaged127=damaged127f./max(damaged127f);
undamaged127f=abs(fft(undamaged127));
g_undamaged127=undamaged127f./max(undamaged127f);

% Scale Factor bw damaged and undamaged cases to plot in close scale
scalefactor=max(damaged127f)/max(undamaged127f);
%loglog(fh(1:floor(fnyq/5)),damaged127f(2:floor(fnyq/5)+1),'r');
hold on;
%loglog(fh(1:floor(fnyq/5)),
scalefactor*undamaged127f(2:floor(fnyq/5)+1)); hold on;
loglog(fh(1:floor(fnyq/5)), g_undamaged127(2:floor(fnyq/5)+1)); hold
on;
loglog(fh(1:floor(fnyq/5)), g_damaged127(2:floor(fnyq/5)+1)); hold
on;
title('127. İstasyon Hasarlı ve Hasarsız İvme Değerleri Fourier
Dönüşümü');
xlabel('Frekans (Hz)'); ylabel('Amplitude'); grid on;
%Text on graphic
str = {'scalefactor bw damaged and undamaged : ', scalefactor};
text(0.05,0.5,str);

% Low-pass filter below 1 Hz. (Taking from modal mass ratios table)
Fs=100; %Hz
dt=1/Fs; %deltime
t=(0:1:length(damaged127)-1)*dt;
Fnyq=1/2/dt;
[b,a]=butter(7,1/Fnyq,'low');
figure;freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order LP Filter
damaged127f=abs(fft(xfl)); figure;plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Damaged
Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');
freqz(b,a,128,Fs);
xfl=filter(b,a,undamaged127); %Filtered by 7th order LP Filter
undamaged127f=abs(fft(xfl)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
undamaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Low Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Undamaged
Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% High-pass  filter above  0.2 Hz. (Taking from modal mass ratios
table)
[b,a]=butter(7,0.2/Fnyq,'high');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfh=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 7th order HP Filter
damaged127f=abs(fft(xfh)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
```

```
title('High Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Band-pass filter between 0.2-1 Hz. (From first and second modal
freqz from x direction)
Wn=[0.2 1]
[b,a]=butter(4,Wn/Fnyq,'bandpass');
figure; freqz(b,a,128,Fs);
xfb=filter(b,a,damaged127); %Filtered by 4th order BP Filter
damaged127f=abs(fft(xfb)); figure; plot(fh(1:floor(fnyq/15)),
damaged127f(2:floor(fnyq/15)+1))
title('Band Pass Filtered Fourier Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Nonfiltered Fourier Spectrum
Fs=100;
L=length(damaged127);
NFFT=2^nextpow2(L); %Fourier Amplitude
X=fft(damaged127,NFFT)/L;
f=Fs/2*linspace(0,1,NFFT/2+1);
figure; plot(f,2*abs(X(1:NFFT/2+1)));
title('Amplitude Spectrum of Data');
xlabel('Frequency (Hz)');
ylabel('Amplitude');

% Spectral Ratio Metoduyla Katlar Arası grafikler çizilerek
değişkenlik gösteren kat tespit edilerek hasar belirlenebiliyor.
% Notes- Katlar arası yapılması gerekir (1 ile 2, 2 ile 3...)
Fs=100;
subplot(2,2,1); pcov(damaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged129,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 1/2');

subplot(2,2,2); pcov(damaged129,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged131,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 2/3');

subplot(2,2,3); pcov(damaged131,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged133,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 3/4');

subplot(2,2,4); pcov(damaged133,12,1024,Fs); hold on;
pcov(damaged135,12,1024,Fs); title('Hasarlı Katlar Arası Koveryans
Grafiği 4/6');

% Hasarsız Yapı
figure;
Fs=100;
subplot(2,2,1); pcov(undamaged127,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged129,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 1/2');

subplot(2,2,2); pcov(undamaged129,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged131,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 2/3');
```

```
subplot(2,2,3); pcov(undamaged131,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged133,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 3/4');

subplot(2,2,4); pcov(undamaged133,12,1024,Fs); hold on;
pcov(undamaged135,12,1024,Fs); title('Hasarsız Katlar Arası
Koveryans Grafiği 4/6');

% Wavelet Dönüşümü ile Analizcoefs = cwt(x,scales,'wname')
subplot(2,1,1); coefs_undamaged = cwt(undamaged127, 1:128, 'db4',
'coloration'); title('Hasarsız Yapı Dalgacık Dönüşümü')
subplot(2,1,2); coefs_damaged = cwt(damaged127, 1:128, 'db4',
'coloration'); title('Hasarlı Yapı Dalgacık Dönüşümü')

% AutoCorrelation
% NOT: 127. ve 128. istasyon olan 1. katta farklılık var.
figure; subplot(5,2,10)
autocorr(damaged127,200); hold on;
autocorr(undamaged127,200); title('Damaged127-Undamaged127')
subplot(5,2,9)
autocorr(damaged128,200); hold on;
autocorr(undamaged128,200); title('Damaged128-Undamaged128')
subplot(5,2,8)
autocorr(damaged129,200); hold on;
autocorr(undamaged129,200); title('Damaged129-Undamaged129')
subplot(5,2,7)
autocorr(damaged130,200); hold on;
autocorr(undamaged130,200); title('Damaged130-Undamaged130')
subplot(5,2,6)
autocorr(damaged131,200); hold on;
autocorr(undamaged131,200); title('Damaged131-Undamaged131')
subplot(5,2,5)
autocorr(damaged132,200); hold on;
autocorr(undamaged132,200); title('Damaged132-Undamaged132')
subplot(5,2,4)
autocorr(damaged133,200); hold on;
autocorr(undamaged133,200); title('Damaged133-Undamaged133')
subplot(5,2,3)
autocorr(damaged134,200); hold on;
autocorr(undamaged134,200); title('Damaged134-Undamaged134')
subplot(5,2,2)
autocorr(damaged135,200); hold on;
autocorr(undamaged135,200); title('Damaged135-Undamaged135')
subplot(5,2,1)
autocorr(damaged136,200); hold on;
autocorr(undamaged136,200); title('Damaged136-Undamaged136')

% Cross Correlation
adamaged127=autocorr(damaged127,200);
aundamaged127=autocorr(undamaged127,200);
figure; subplot(5,2,1)
crosscorr(adamaged127,adamaged127); title('Damaged127-Damaged127')
subplot(5,2,2)
crosscorr(adamaged127,aundamaged127); title('Damaged127-
Undamaged127')

adamaged128=autocorr(damaged128,200);
aundamaged128=autocorr(undamaged128,200);
```

```
subplot(5,2,3)
crosscorr(adamaged128,adamaged128); title('Damaged128-Damaged128')
subplot(5,2,4)
crosscorr(adamaged128,aundamaged128); title('Damaged128-
Undamaged128')

adamaged129=autocorr(damaged129,200);
aundamaged129=autocorr(undamaged129,200);
subplot(5,2,5)
crosscorr(adamaged129,adamaged129); title('Damaged129-Damaged129')
subplot(5,2,6)
crosscorr(adamaged129,aundamaged129); title('Damaged129-
Undamaged129')

adamaged130=autocorr(damaged130,200);
aundamaged130=autocorr(undamaged130,200);
subplot(5,2,7)
crosscorr(adamaged130,adamaged130); title('Damaged130-Damaged130')
subplot(5,2,8)
crosscorr(adamaged130,aundamaged130); title('Damaged130-
Undamaged130')

adamaged131=autocorr(damaged131,200);
aundamaged131=autocorr(undamaged131,200);
subplot(5,2,9)
crosscorr(adamaged131,adamaged131); title('Damaged131-Damaged131')
subplot(5,2,10)
crosscorr(adamaged131,aundamaged131); title('Damaged131-
Undamaged131')

% Hasarlı Data Otokorelasyonlar
adamaged132=autocorr(damaged132,200);
aundamaged132=autocorr(undamaged132,200);
figure; subplot(5,2,1)
crosscorr(adamaged132,adamaged132); title('Damaged132-Damaged132')
subplot(5,2,2)
crosscorr(adamaged132,aundamaged132); title('Damaged132-
Undamaged132')

adamaged133=autocorr(damaged133,200);
aundamaged133=autocorr(undamaged133,200);
subplot(5,2,3)
crosscorr(adamaged133,adamaged133); title('Damaged133-Damaged133')
subplot(5,2,4)
crosscorr(adamaged133,aundamaged133); title('Damaged133-
Undamaged133')

adamaged134=autocorr(damaged134,200);
aundamaged134=autocorr(undamaged134,200);
subplot(5,2,5)
crosscorr(adamaged134,adamaged134); title('Damaged134-Damaged134')
subplot(5,2,6)
crosscorr(adamaged134,aundamaged134); title('Damaged134-
Undamaged134')

adamaged135=autocorr(damaged135,200);
aundamaged135=autocorr(undamaged135,200);
subplot(5,2,7)
crosscorr(adamaged135,adamaged135); title('Damaged135-Damaged135')
```

```
subplot(5,2,8)
crosscorr(adamaged135,aundamaged135); title('Damaged135-
Undamaged135')

adamaged136=autocorr(damaged136,200);
aundamaged136=autocorr(undamaged136,200);
subplot(5,2,9)
crosscorr(adamaged136,adamaged136); title('Damaged136-Damaged136')
subplot(5,2,10)
crosscorr(adamaged136,aundamaged136); title('Damaged136-
Undamaged136')

% Wavelet Coherence Damaged
[wcoh01,wcs01] = wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
[wcoh02,wcs02] = wcoherence(damaged127,damaged131,seconds(1/200));
[wcoh03,wcs03] = wcoherence(damaged127,damaged133,seconds(1/200));
[wcoh04,wcs04] = wcoherence(damaged127,damaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged127,damaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 3. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged127,damaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 4. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged127,damaged135,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Damaged
[wcoh01,wcs01] = wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
[wcoh12,wcs12] = wcoherence(damaged129,damaged131,seconds(1/200));
[wcoh23,wcs23] = wcoherence(damaged131,damaged133,seconds(1/200));
[wcoh34,wcs34] = wcoherence(damaged133,damaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,damaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged129,damaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 2. and 3. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged131,damaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 3. and 4. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged133,damaged135,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged 4. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Damaged and Undamaged
[wcoh11,wcs11] = wcoherence(damaged127,undamaged127,seconds(1/200));
[wcoh22,wcs22] = wcoherence(damaged129,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh33,wcs33] = wcoherence(damaged131,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh44,wcs44] = wcoherence(damaged133,undamaged133,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1); wcoherence(damaged127,undamaged127,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 1. Story');
subplot(2,2,2); wcoherence(damaged129,undamaged129,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 2. Story');
subplot(2,2,3); wcoherence(damaged131,undamaged131,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 3. Story');
subplot(2,2,4); wcoherence(damaged133,undamaged133,seconds(1/200));
title('Wavelet Coherence bw Damaged and Undamaged 4. Story');
```

```
%Wavelet Coherence Undamaged
[wcoh01u,wcs01u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh02u,wcs02u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh03u,wcs03u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged133,seconds(1/200));
[wcoh04u,wcs04u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1);
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2);
wcoherence(undamaged127,undamaged131,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 3. Story');
subplot(2,2,3);
wcoherence(undamaged127,undamaged133,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 4. Story');
subplot(2,2,4);
wcoherence(undamaged127,undamaged135,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 6. Story');

% Wavelet Coherence Undamaged
[wcoh01u,wcs01u] =
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200));
[wcoh12u,wcs12u] =
wcoherence(undamaged129,undamaged131,seconds(1/200));
[wcoh23u,wcs23u] =
wcoherence(undamaged131,undamaged133,seconds(1/200));
[wcoh34u,wcs34u] =
wcoherence(undamaged133,undamaged135,seconds(1/200));
figure;
subplot(2,2,1);
wcoherence(undamaged127,undamaged129,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 1. and 2. Story');
subplot(2,2,2);
wcoherence(undamaged129,undamaged131,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 2. and 3. Story');
subplot(2,2,3);
wcoherence(undamaged131,undamaged133,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 3. and 4. Story');
subplot(2,2,4);
wcoherence(undamaged133,undamaged135,seconds(1/200)); title('Wavelet
Coherence bw Undamaged 4. and 6. Story');

% Wavelet Packet
[wpta,~,Falign] = modwpt(damaged127,'TimeAlign',true);
[wptn,~,Fnon] = modwpt(damaged127);
subplot(2,2,1);
contour(t,Fnon.*(1/dt),abs(wptn).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,2)
contour(t,Falign.*(1/dt),abs(wpta).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Damaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');
```

```
[wptau,~,Falignu] = modwpt(undamaged127,'TimeAlign',true);
[wptnu,~,Fnonu] = modwpt(undamaged127);
subplot(2,2,3);
contour(t,Fnonu.*(1/dt),abs(wptnu).^2);
grid on;
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Nonaligned)');
subplot(2,2,4)
contour(t,Falignu.*(1/dt),abs(wptau).^2);
grid on;
xlabel('Time');
ylabel('Hz');
title('Undamaged Station 127 Time-Frequency Plot (Aligned)');

% Hasarlı Yapının HHT Analizi
% Hilbert Huang Dönüşümü
Ts=dt;
plot_hht(damaged127,Ts);
plot_hht(undamaged127,Ts);
hs=hht(imf,fs);

% HHT MATLAB HELPER
fs=200;
[imf,residual,info] = emd(undamaged127,'Interpolation','pchip');
hht(imf,fs);

% Other HHT
[hs,f,t,imfinsf,imfinse] = hht(imf,fs);

% Nonlinear Gabor Transform
cqt(damaged127,'SamplingFrequency',Fs);

% INSTANTENEOUS FREQUENCY
instfreq(damaged127,fs);

% KURTOGRAM
w0 = 128;
figure;
pkurtosis(damaged127,fs,w0);
title('Spectral Kurtosis with Optimum Window Size of 128');

% Spectral Entrophy
figure;
pentropy(damaged127,fs);
title('Spectral Entropy of White Noise Signal Timetable');

% Cross Spectrogram
xspectrogram(damaged127,undamaged127,kaiser(500,5),450,256,fs,'yaxis
');

% Filtered HHT - Lowpass Filtre HHT
plot_hht(xfl,Ts);

% STFT (Short Time Fourier Transform) ile Analiz
Fs=200;
subplot(2,1,1);
spectrogram(damaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yaxis');
```

```
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
title('Hasarsız Yapının STFT Dönüşümü')
subplot(2,1,2);spectrogram(undamaged127,blackman(128),60,128,Fs,'yax
is');
view(-77,72);
shading interp;
colorbar off;
title('Hasarlı Yapının STFT Dönüşümü')

% Other Time-Frequency Transforms
plot(real(damaged127));
dsp1=fftshift(abs(fft(damaged127)).^2); %Fourier
plot((-64:63)/128,dsp1);
tfrwv(damaged127);

% Other Transforms (Wigner Ville Transform)
W=wignervilledist(damaged127);
figure(1);
imagesc(abs(W).^2);

% Other Transforms (Frame Object-Wilson and Modified Discrete Cosine
Transform )
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('dwilt','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,damaged127);
subplot(2,1,1); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Damaged 127.
Station')
F=frame('wmdct','gauss',40); %Frame Type dwilt (Wilson), wmdct
(Modified Discrete Cosine Transform), dft (Discrete Fourier)
c=frana(F,undamaged127);
subplot(2,1,2); plotframe(F,c,'dynrange',60); title('Undamaged 127.
Station')

% sgram(f) plots a spectrogram of f using a Discrete Gabor Transform
(DGT).
subplot(2,1,1); sgram(damaged127,100,70);
subplot(2,1,2); sgram(undamaged127,100,70);

% Fourier İstatistik
df=1/(length(damaged127)*dt); fnyq=floor(length(damaged127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
damaged127f=abs(fft(damaged127));
undamaged127f=abs(fft(undamaged127));
damaged128f=abs(fft(damaged128));
undamaged128f=abs(fft(undamaged128));
```

```
damaged129f=abs(fft(damaged129));
undamaged129f=abs(fft(undamaged129));
damaged130f=abs(fft(damaged130));
undamaged130f=abs(fft(undamaged130));
damaged131f=abs(fft(damaged131));
undamaged131f=abs(fft(undamaged131));
damaged132f=abs(fft(damaged132));
undamaged132f=abs(fft(undamaged132));
damaged133f=abs(fft(damaged133));
undamaged133f=abs(fft(undamaged133));
damaged134f=abs(fft(damaged134));
undamaged134f=abs(fft(undamaged134));
damaged135f=abs(fft(damaged135));
undamaged135f=abs(fft(undamaged135));
damaged136f=abs(fft(damaged136));
undamaged136f=abs(fft(undamaged136));

% Wavelet İstatistik wundamaged127=abs(cwt(undamaged127))
wdamaged127=cwt(damaged127); wundamaged127=cwt(undamaged127);
subplot(5,2,10);qqplot(abs(wdamaged127),abs(wundamaged127));
title('Wavelet of Damaged127-Undamaged127');
wdamaged128=cwt(damaged128); wundamaged128=cwt(undamaged128);
subplot(5,2,9);qqplot(abs(wdamaged128),abs(wundamaged128));
title('Wavelet of Damaged128-Undamaged128');
wdamaged129=cwt(damaged129); wundamaged129=cwt(undamaged129);
subplot(5,2,8);qqplot(abs(wdamaged129),abs(wundamaged129));
title('Wavelet of Damaged129-Undamaged129');
wdamaged130=cwt(damaged130); wundamaged130=cwt(undamaged130);
subplot(5,2,7);qqplot(abs(wdamaged130),abs(wundamaged130));
title('Wavelet of Damaged130-Undamaged130');
wdamaged131=cwt(damaged131); wundamaged131=cwt(undamaged131);
subplot(5,2,6);qqplot(abs(wdamaged131),abs(wundamaged131));
title('Wavelet of Damaged131-Undamaged131');
wdamaged132=cwt(damaged132); wundamaged132=cwt(undamaged132);
subplot(5,2,5);qqplot(abs(wdamaged132),abs(wundamaged132));
title('Wavelet of Damaged132-Undamaged132');
wdamaged133=cwt(damaged133); wundamaged133=cwt(undamaged133);
subplot(5,2,4);qqplot(abs(wdamaged133),abs(wundamaged133));
title('Wavelet of Damaged133-Undamaged133');
wdamaged134=cwt(damaged134); wundamaged134=cwt(undamaged134);
subplot(5,2,3);qqplot(abs(wdamaged134),abs(wundamaged134));
title('Wavelet of Damaged134-Undamaged134');
wdamaged135=cwt(damaged135); wundamaged135=cwt(undamaged135);
subplot(5,2,2);qqplot(abs(wdamaged136),abs(wundamaged136));
title('Wavelet of Damaged135-Undamaged135');
wdamaged136=cwt(damaged136); wundamaged136=cwt(undamaged136);
subplot(5,2,1);qqplot(abs(wdamaged136),abs(wundamaged136));
title('Wavelet of Damaged136-Undamaged136');

% Wavelet coefficientler birbirinden istatistiksel olarak
çıkarılabilir.
coefs_undamaged127 = cwt(undamaged127, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 127. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged127 = cwt(damaged127, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 127. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged128 = cwt(undamaged128, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 128. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged128 = cwt(damaged128, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 128. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
```

```
coefs_undamaged129 = cwt(undamaged129, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 129. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged129 = cwt(damaged129, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 129. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged130 = cwt(undamaged130, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 130. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged130 = cwt(damaged130, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 130. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged131 = cwt(undamaged131, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 131. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged131 = cwt(damaged131, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 131. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged132 = cwt(undamaged132, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 132. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged132 = cwt(damaged132, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 132. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged133 = cwt(undamaged133, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 133. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged133 = cwt(damaged133, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 133. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged134 = cwt(undamaged134, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 134. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged134 = cwt(damaged134, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 134. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged135 = cwt(undamaged135, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 135. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged135 = cwt(damaged135, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 135. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_undamaged136 = cwt(undamaged136, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarsız Yapı 136. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')
coefs_damaged136 = cwt(damaged136, 1:128, 'db4', 'coloration');
title('Hasarlı Yapı 136. İstasyon Dalgacık Dönüşümü')

% Aynı istasyon hasarlı-hasarsız ve otoplot
subplot(3,1,1); qqplot(coefs_undamaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Undamaged127-Undamaged127');
subplot(3,1,2); qqplot(coefs_damaged127,coefs_damaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Damaged127');
subplot(3,1,3); qqplot(coefs_damaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Undamaged127');

figure;
subplot(5,2,10); qqplot(coefs_damaged127,coefs_undamaged127);
title('Wavelet Coefficients of Damaged127-Undamaged127');
subplot(5,2,9); qqplot(coefs_damaged128,coefs_undamaged128);
title('Wavelet Coefficients of Damaged128-Undamaged128');
subplot(5,2,8); qqplot(coefs_damaged129,coefs_undamaged129);
title('Wavelet Coefficients of Damaged129-Undamaged129');
subplot(5,2,7); qqplot(coefs_damaged130,coefs_undamaged130);
title('Wavelet Coefficients of Damaged130-Undamaged130');
subplot(5,2,6); qqplot(coefs_damaged131,coefs_undamaged131);
title('Wavelet Coefficients of Damaged131-Undamaged131');
subplot(5,2,5); qqplot(coefs_damaged132,coefs_undamaged132);
title('Wavelet Coefficients of Damaged132-Undamaged132');
subplot(5,2,4); qqplot(coefs_damaged133,coefs_undamaged133);
title('Wavelet Coefficients of Damaged133-Undamaged133');
subplot(5,2,3); qqplot(coefs_damaged134,coefs_undamaged134);
title('Wavelet Coefficients of Damaged134-Undamaged134');
subplot(5,2,2); qqplot(coefs_damaged135,coefs_undamaged135);
title('Wavelet Coefficients of Damaged135-Undamaged135');
```

```
subplot(5,2,1); qqplot(coefs_damaged136,coefs_undamaged136);
title('Wavelet Coefficients of Damaged136-Undamaged136');

% Wavelet katsayılarından hangi satırın seçileceğinin otomasyonu
N=length(damaged127);
for i=1:N
    diff(coefs_damaged127(:,i));
end
[M,I] = max(ans(:));
% Seçilen satır I. olacaktır. Burada I. satır frekans farklarının en
yüksek olduğu satırdır. Hasar tespitinde de farklı dalgacık
katsayılarındaki aynı satırlar mukayese edilmelidir.

% Wavelet Coefficient Üzerinden İstatistik ve Otomasyon
subplot(5,2,10);crosscorr((coefs_damaged127(:,I)),(coefs_undamaged12
7(:,I)));
subplot(5,2,9);
crosscorr((coefs_damaged128(:,I)),(coefs_undamaged128(:,I)));
subplot(5,2,8);
crosscorr((coefs_damaged129(:,I)),(coefs_undamaged129(:,I)));
subplot(5,2,7);
crosscorr((coefs_damaged130(:,I)),(coefs_undamaged130(:,I)));
subplot(5,2,6);
crosscorr((coefs_damaged131(:,I)),(coefs_undamaged131(:,I)));
subplot(5,2,5);
crosscorr((coefs_damaged132(:,I)),(coefs_undamaged132(:,I)));
subplot(5,2,4);
crosscorr((coefs_damaged133(:,I)),(coefs_undamaged133(:,I)));
subplot(5,2,3);
crosscorr((coefs_damaged134(:,I)),(coefs_undamaged134(:,I)));
subplot(5,2,2);
crosscorr((coefs_damaged135(:,I)),(coefs_undamaged135(:,I)));
subplot(5,2,1);
crosscorr((coefs_damaged136(:,I)),(coefs_undamaged136(:,I)));

if any(crosscorr((coefs_damaged127(:,I)),(coefs_undamaged127(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged129(:,I)),(coefs_undamaged129(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged131(:,I)),(coefs_undamaged131(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
```

```
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged133(:,I)),(coefs_undamaged133(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((coefs_damaged135(:,I)),(coefs_undamaged135(:,I)))
< 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

% Grafiksel Gösterim
x=I;
y=coefs_damaged127(:,I);
z=1:1:10399;
surf(x,y,z);

% Moment
damaged127m = moment(coefs_damaged127(:,I),3);
damaged128m = moment(coefs_damaged128(:,I),3);
damaged129m = moment(coefs_damaged129(:,I),3);
damaged130m = moment(coefs_damaged130(:,I),3);
damaged131m = moment(coefs_damaged131(:,I),3);
damaged132m = moment(coefs_damaged132(:,I),3);
damaged133m = moment(coefs_damaged133(:,I),3);
damaged134m = moment(coefs_damaged134(:,I),3);
damaged135m = moment(coefs_damaged135(:,I),3);
damaged136m = moment(coefs_damaged136(:,I),3);

undamaged127m = moment(coefs_undamaged127(:,I),2);
undamaged128m = moment(coefs_undamaged128(:,I),2);
undamaged129m = moment(coefs_undamaged129(:,I),2);
undamaged130m = moment(coefs_undamaged130(:,I),2);
undamaged131m = moment(coefs_undamaged131(:,I),2);
undamaged132m = moment(coefs_undamaged132(:,I),2);
undamaged133m = moment(coefs_undamaged133(:,I),2);
undamaged134m = moment(coefs_undamaged134(:,I),2);
undamaged135m = moment(coefs_undamaged135(:,I),2);
undamaged136m = moment(coefs_undamaged136(:,I),2);

if any(damaged127m/damaged129m < 0.1)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

if any(undamaged127m/undamaged129m < 0.1)
```

```
    disp(warndlg('Depremden Önce - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Önce - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

% Mad
damaged127sf=mad(damaged127f,0);
damaged128sf=mad(damaged128f,0);
damaged129sf=mad(damaged129f,0);
damaged130sf=mad(damaged130f,0);
damaged131sf=mad(damaged131f,0);
damaged132sf=mad(damaged132f,0);
damaged133sf=mad(damaged133f,0);
damaged134sf=mad(damaged134f,0);
damaged135sf=mad(damaged135f,0);
damaged136sf=mad(damaged136f,0);

undamaged127sf=mad(undamaged127f,0);
undamaged128sf=mad(undamaged128f,0);
undamaged129sf=mad(undamaged129f,0);
undamaged130sf=mad(undamaged130f,0);
undamaged131sf=mad(undamaged131f,0);
undamaged132sf=mad(undamaged132f,0);
undamaged133sf=mad(undamaged133f,0);
undamaged134sf=mad(undamaged134f,0);
undamaged135sf=mad(undamaged135f,0);
undamaged136sf=mad(undamaged136f,0);

if any(damaged127sf/damaged129sf > 0.65)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

if any(undamaged127sf/undamaged129sf > 0.65)
    disp(warndlg('Depremden Önce - Dikkat Problem Var!!!','Bina
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Önce - Hasar Yok','Bina Sağlam'))
end

% Fourier Dönüşümlerindeki düzensizlikler
subplot(4,1,4); pmtm(damaged127); hold on; pmtm(damaged129); title
('1. ve 2. Kat');
subplot(4,1,3); pmtm(damaged129); hold on; pmtm(damaged131); title
('2. ve 3. Kat');
subplot(4,1,2); pmtm(damaged131); hold on; pmtm(damaged133); title
('3. ve 4. Kat');
subplot(4,1,1); pmtm(damaged133); hold on; pmtm(damaged135); title
('4. ve 6. Kat');
figure;
subplot(4,1,4); pmtm(damaged127f); hold on; pmtm(damaged129f); title
('Fourier 1. ve 2. Kat');
subplot(4,1,3); pmtm(damaged129f); hold on; pmtm(damaged131f); title
('Fourier 2. ve 3. Kat');
subplot(4,1,2); pmtm(damaged131f); hold on; pmtm(damaged133f); title
('Fourier 3. ve 4. Kat');
```

```
subplot(4,1,1); pmtm(damaged133f); hold on; pmtm(damaged135f); title
('Fourier 4. ve 6. Kat');


% PMUSIC
subplot(4,1,4); pmusic(damaged127,4); hold on; pmusic(damaged129,4);
title ('1. ve 2. Kat PMusic');
subplot(4,1,3); pmusic(damaged129,4); hold on; pmusic(damaged131,4);
title ('2. ve 3. Kat PMusic');
subplot(4,1,2); pmusic(damaged131,4); hold on; pmusic(damaged133,4);
title ('3. ve 4. Kat PMusic');
subplot(4,1,1); pmusic(damaged133,4); hold on; pmusic(damaged135,4);
title ('4. ve 6. Kat PMusic');
figure;
subplot(4,1,4); pmusic(damaged127f,4); hold on;
pmusic(damaged129f,4); title ('1. ve 2. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,3); pmusic(damaged129f,4); hold on;
pmusic(damaged131f,4); title ('2. ve 3. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,2); pmusic(damaged131f,4); hold on;
pmusic(damaged133f,4); title ('3. ve 4. Kat Fourier PMusic');
subplot(4,1,1); pmusic(damaged133f,4); hold on;
pmusic(damaged135f,4); title ('4. ve 6. Kat Fourier PMusic');


% HHT İSTATİSTİK
fs=200;
[imf127,residual,info] = emd(damaged127,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf127,imfinse127] = hht(imf127,fs);
[imf127u,residual,info] = emd(undamaged127,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf127u,imfinse127u] = hht(imf127u,fs);
[imf129,residual,info] = emd(damaged129,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf129,imfinse129] = hht(imf129,fs);
[imf129u,residual,info] = emd(undamaged129,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf129u,imfinse129u] = hht(imf129u,fs);
[imf131,residual,info] = emd(damaged131,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf131,imfinse131] = hht(imf131,fs);
[imf131u,residual,info] = emd(undamaged131,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf131u,imfinse131u] = hht(imf131u,fs);
[imf133,residual,info] = emd(damaged133,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf133,imfinse133] = hht(imf133,fs);
[imf133u,residual,info] = emd(undamaged133,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf133u,imfinse133u] = hht(imf133u,fs);
[imf135,residual,info] = emd(damaged135,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf135,imfinse135] = hht(imf135,fs);
[imf135u,residual,info] = emd(undamaged135,'Interpolation','pchip');
[hs,f,t,imfinsf135u,imfinse135u] = hht(imf135u,fs);

% IMF'lerden Fourier alarak frekans ortamına geçilir.
df=1/(length(imf127)*dt); fnyq=floor(length(imf127)/2)+1;
fh=(1:1:fnyq)*df;
imf127f=abs(fft(imf127(:,1))); imf127uf=abs(fft(imf127u(:,1)));
imf129f=abs(fft(imf129(:,1))); imf129uf=abs(fft(imf129u(:,1)));
imf131f=abs(fft(imf131(:,1))); imf131uf=abs(fft(imf131u(:,1)));
imf133f=abs(fft(imf133(:,1))); imf133uf=abs(fft(imf133u(:,1)));
imf135f=abs(fft(imf135(:,1))); imf135uf=abs(fft(imf135u(:,1)));

% Fourier IMF'ler Üzerinden İstatistik ve Otomasyon
subplot(5,1,5); crosscorr((imf127f),(imf127uf));
subplot(5,1,4); crosscorr((imf129f),(imf129uf));
```

```
subplot(5,1,3); crosscorr((imf131f),(imf131uf));
subplot(5,1,2); crosscorr((imf133f),(imf133uf));
subplot(5,1,1); crosscorr((imf135f),(imf135uf));

if any(crosscorr((imf127f),(imf127uf)) < 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 1. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf129f),(imf129uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 2. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf131f),(imf131uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 3. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf133f),(imf133uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 4. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end

if any(crosscorr((imf135f),(imf135uf)) > 0.6)
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Problem Var!!!','Kat
Hasar Aldı'))
else
    disp(warndlg('Depremden Sonra - 6. Katta Hasar Yok','Kat
Sağlam'))
end
```

```
function imf = emd(x)
% Empiricial Mode Decomposition (Hilbert-Huang Transform)
% imf = emd(x)
% Func : findpeaks

x   = transpose(x(:));
imf = [];
while ~ismonotonic(x)
   x1 = x;
   sd = Inf;
   while (sd > 0.1) | ~isimf(x1)
      s1 = getspline(x1);
      s2 = -getspline(-x1);
      x2 = x1-(s1+s2)/2;

      sd = sum((x1-x2).^2)/sum(x1.^2);
      x1 = x2;
   end

   imf{end+1} = x1;
   x          = x-x1;
end
imf{end+1} = x;

% FUNCTIONS

function u = ismonotonic(x)

u1 = length(findpeaks(x))*length(findpeaks(-x));
if u1 > 0, u = 0;
else,      u = 1; end

function u = isimf(x)

N  = length(x);
u1 = sum(x(1:N-1).*x(2:N) < 0);
u2 = length(findpeaks(x))+length(findpeaks(-x));
if abs(u1-u2) > 1, u = 0;
else,              u = 1; end


function s = getspline(x)

N = length(x);
p = findpeaks(x);
s = spline([0 p N+1],[0 x(p) 0],1:N);


function n = findpeaks(x)
% Find peaks.
% n = findpeaks(x)

n    = find(diff(diff(x) > 0) < 0);
u    = find(x(n+1) > x(n));
n(u) = n(u)+1;
```

```
function plot_hht(x,Ts)
% Plot the HHT.
% plot_hht(x,Ts)
%
% :: Syntax
%    The array x is the input signal and Ts is the sampling period.
% Func : emd

% Get HHT.
imf = emd(x);
for k = 1:length(imf)
   b(k) = sum(imf{k}.*imf{k});
   th   = angle(hilbert(imf{k}));
   d{k} = diff(th)/Ts/(2*pi);
end
[u,v] = sort(-b);
b     = 1-b/max(b);

% Set time-frequency plots.
N = length(x);
c = linspace(0,(N-2)*Ts,N-1);
for k = v(1:2)
   figure, plot(c,d{k},'k.','Color',b([k k k]),'MarkerSize',3);
   set(gca,'FontSize',8,'XLim',[0 c(end)],'YLim',[0 1/2/Ts]);
xlabel('Time'), ylabel('Frequency');
end

% Set IMF plots.
M = length(imf);
N = length(x);
c = linspace(0,(N-1)*Ts,N);
for k1 = 0:7:M-1
   figure
   for k2 = 1:min(7,M-k1), subplot(7,1,k2), plot(c,imf{k1+k2});
set(gca,'FontSize',8,'XLim',[0 c(end)]); end
   xlabel('Time');
end
```

## KİŞİSEL YAYIN VE ESERLER

[1] **Sak Ö. F.** ve Beyen K., Bir Betonarme Binanın Sanal Davranış Verileriyle Hasar Tespiti İçin Analitik ve Deneysel Çalışma, 8. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, Türkiye, 11-15 Mayıs 2015.

[2] **Sak Ö. F.** ve Beyen K., Bitişik Nizam Betonarme Yapılarda Çarpışma Etkisi ve Zaman-Frekans Alanında Performans Analizleri, 4. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Eskişehir, Türkiye, 11-13 Ekim 2017.

[3] **Sak Ö. F.** ve Beyen K., Yapıların Zaman-Frekans Ortamında Dalgacık Dönüşümü Metoduyla Analizleri, Teknik Dergi, 2019, 525, 8835-8860.

[4] **Sak Ö. F.**, Beyen K., Hasar Tanılamasında İstatistiki Değerlendirme Yöntemlerinin Zaman-Frekans Ortamında İrdelenmesi, 5. Uluslararası Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Ankara, Türkiye, 8-11 Ekim 2019.

## ÖZGEÇMİŞ

Ömer Fatih SAK, 09.09.1987' de İstanbul'un Fatih ilçesinde doğdu. İlkokulu Üsküdar Şemsi Paşa İlköğretim Okulu'nda ve lise eğitimini Ümraniye Anadolu Lisesi'nde tamamladı. 2010 yılında Kocaeli Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2013 yılında Kocaeli Üniversitesi'nde İnşaat Mühendisliği alanında yüksek lisans yaptı. Evli ve iki kız babasıdır.