



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMLERİ: UYGULAMADAKİ PROBLEMLER VE ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Prof. Dr. Erdal Şafak

Boğaziçi Üniversitesi, Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü
Deprem Mühendisliği Anabilim Dalı Emekli Öğretim Üyesi



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



İZLEME SİSTEMİNİN PLANLANMASI

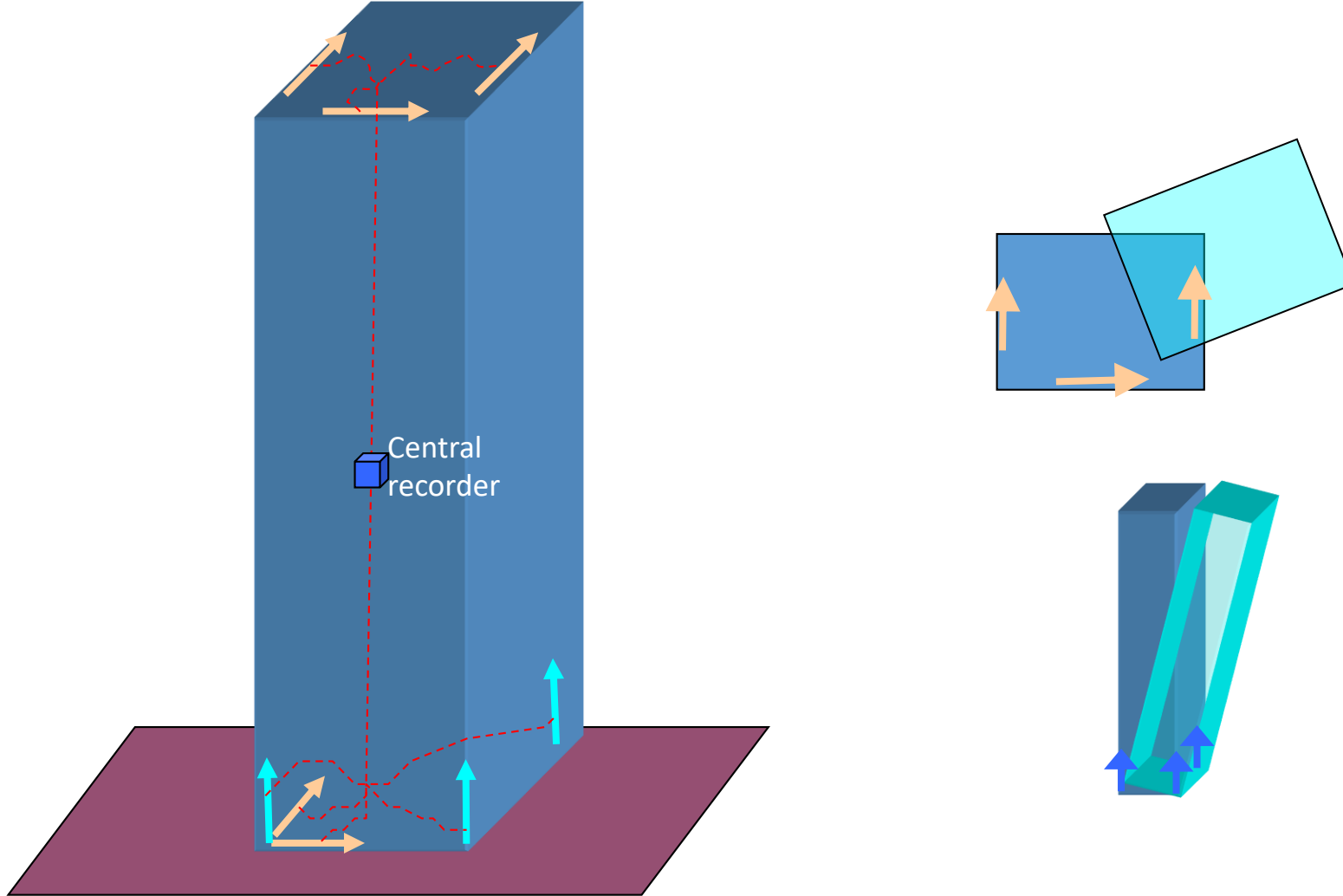


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



YÜKSEK BİR YAPI İÇİN MİNİMUM MONİTORİNG SİSTEM



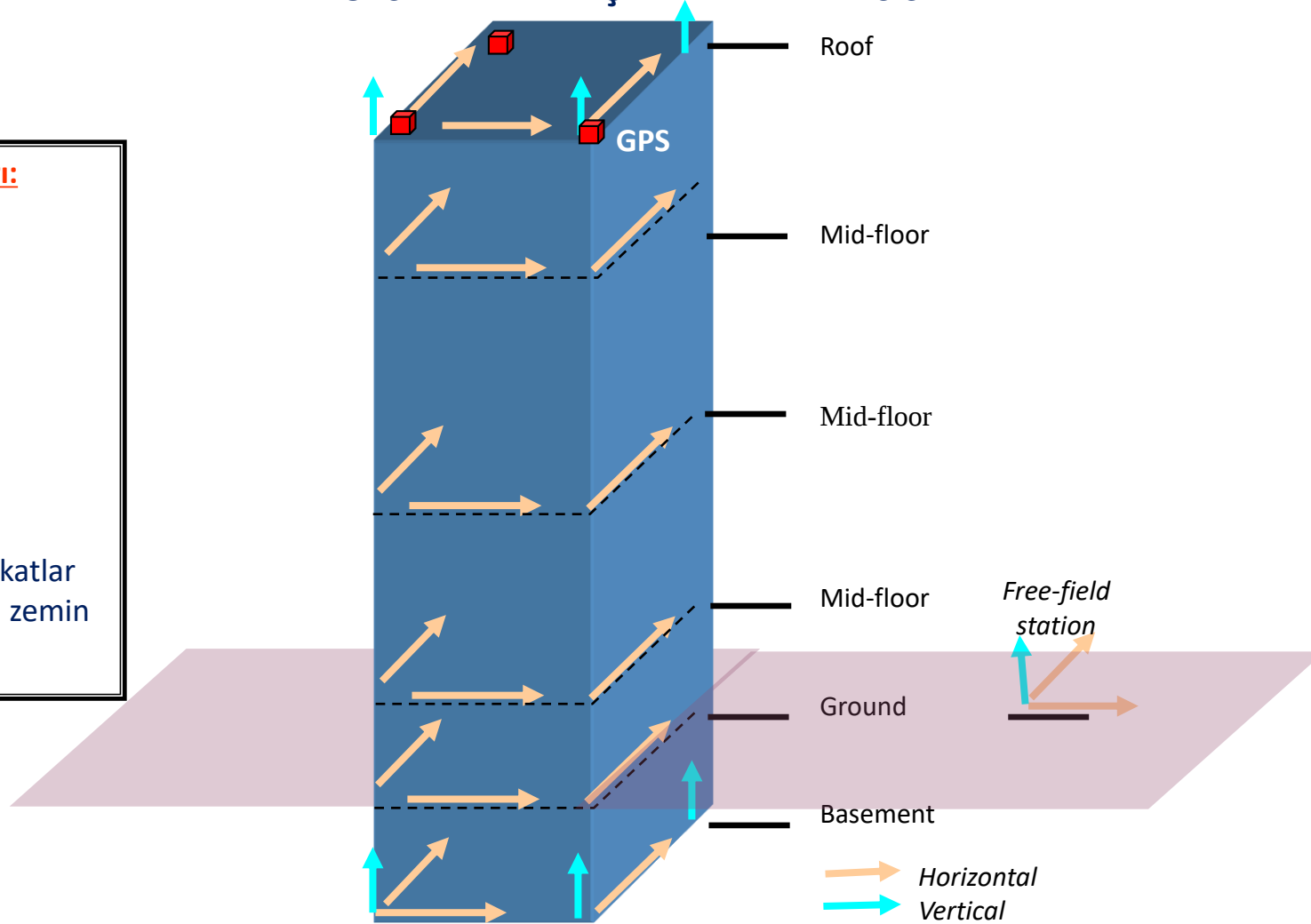


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



YÜKSEK YAPILAR İÇİN TİPİK İZLEME SİSTEMİ



Sensör gerektiren katları:

1. Çatı katı
2. Zemin seviyesi katı
3. En alt bodrum tabanı
4. Kat yüksekliklerinin değiştiği katlar.
5. Bina enkesitinin değiştiği katlar.
6. Düşey taşıyıcı eleman rijitliklerinin değiştiği katlar
7. Bina dışında ve uzakta zemin yüzeyi (free-field)

Hesaplanabilecek bina parametreleri:

- Binanın modal frekansları
- Modal sönüm oranları
- Mode şekilleri
- Burulma modları
- Rijid dönme (rocking) modları
- Yapı-zemin etkileşimi (SSI)



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



AFAD 10.01.2020

YAPI SAĞLIĞI İZLEME SİSTEMİ UYGULAMA YÖNERGESİ

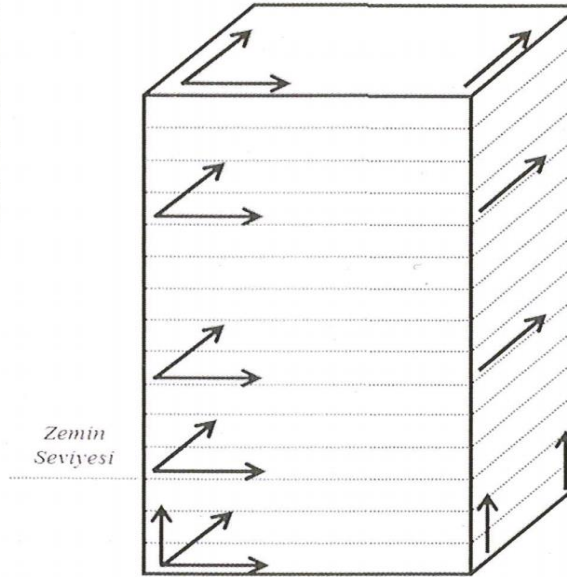
1 Ocak 2019 tarihli Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, $H_N > 105$ m olan yüksek binalarda izleme sistemi kurulması. zorunluluğu getirmiştir.

Tablo-1 Minimum ivme ölçer sayısı

Zemin Seviyesinin Üstündeki Bina Yüksekliği (m.)	Minimum Kanal Sayısı
105-155	16
156-205	24
>205	32

Tablo-2 İvmeölçer özellikleri

Dinamik aralık	>144 dB+
Frekans Aralığı	0.01 – 200 Hz
Gürültü Seviyesi	< 1µg RMS
Ölçüm aralığı	+/- 2g

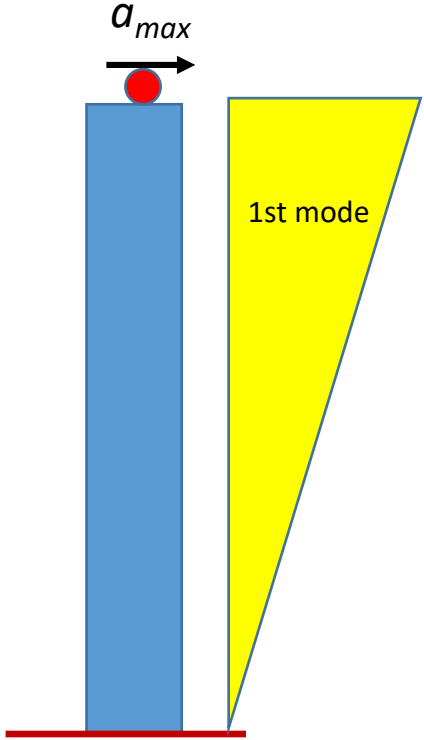


Burulma hareketinin değerlendirilmesi için mümkün olan en uzak mesafede iki paralel sensör ve bunlara dik doğrultuda bir sensör

Belirlenen iki kat seviyesinde (en üst kat dışında) aynı doğrultuda kullanılan iki sensör ve bunlara dik doğrultuda bir sensör

Zemin seviyesinde ve diğer katlarda iki sensör

Rijit dönme hareketinin değerlendirilmesi için bodrum katta dikey sensörler



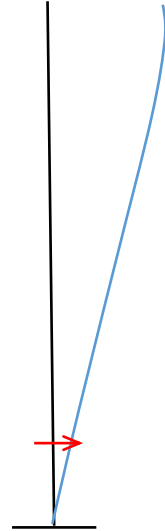
ÇATI KATINDA TEK BİR SENSÖR

- Çatıda ölçülen maksimum ivme: a_{max}
- Maksimum tepe deplasmanı: $d_{max} = (T_0/2\pi)^2 \cdot a_{max}$ T_0 : Dominant periyot
- Kat ivmesi: $a_i = (h_i/H) a_{max}$ H =Yükseklik , h_i = i 'th katın yüksekliği (1. mode düz çizgi)
- Taban kesme kuvveti: $V = \sum_1^N m_i \cdot a_i$
- Kat kütleleri yaklaşık olarak: $m_i = M/N$ (M : Toplam kütle, N : Kat sayısı)
- Düz çizgi 1. mode şekli için taban kesme kuvveti: $V = 0.5M \cdot a_{max}$
- Kayma kirişi (shear-beam) 1. mode şekli için taban kesme kuvveti: $V = \frac{2}{\pi} M \cdot a_{max}$

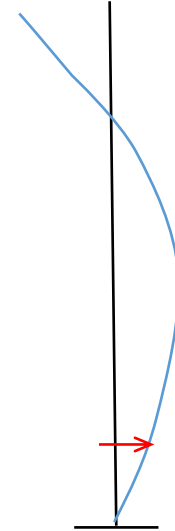


TEK BİR SENSÖRLE EN FAZLA MODU GÖREBİLMEK İÇİN EN UYGUN KAT:

- Eğer amaç tek kayıtla en çok modu görebilmek ise, birinci kat en uygun kattır.
- Birinci kattaki kayda modların katkıları benzer genlikte olacaktır.
- Yukarı katlara doğru çıkıldıkça yüksek modların katkıları azalacaktır.

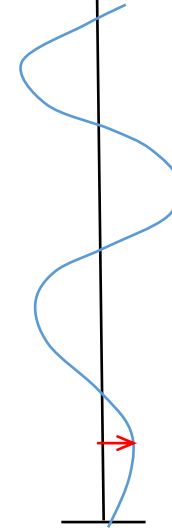


1st mode



2nd mode

.....



nth mode

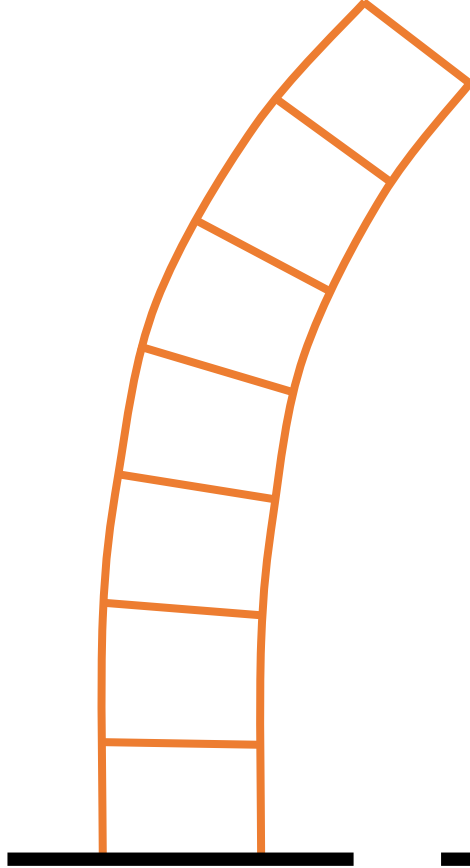


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

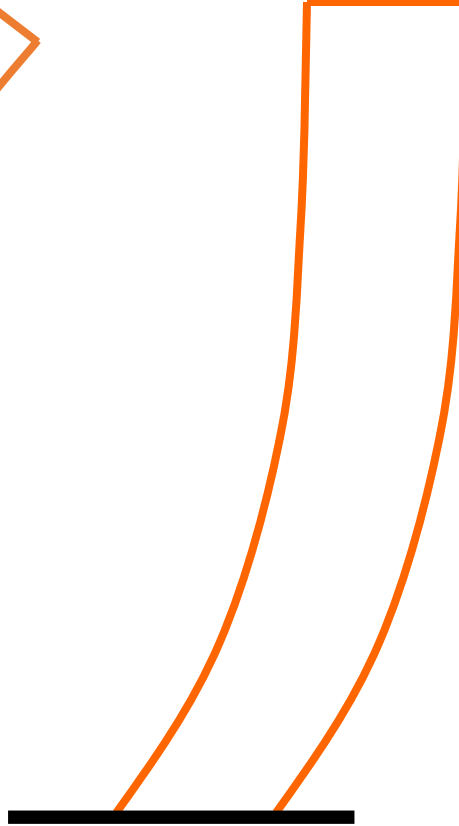
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



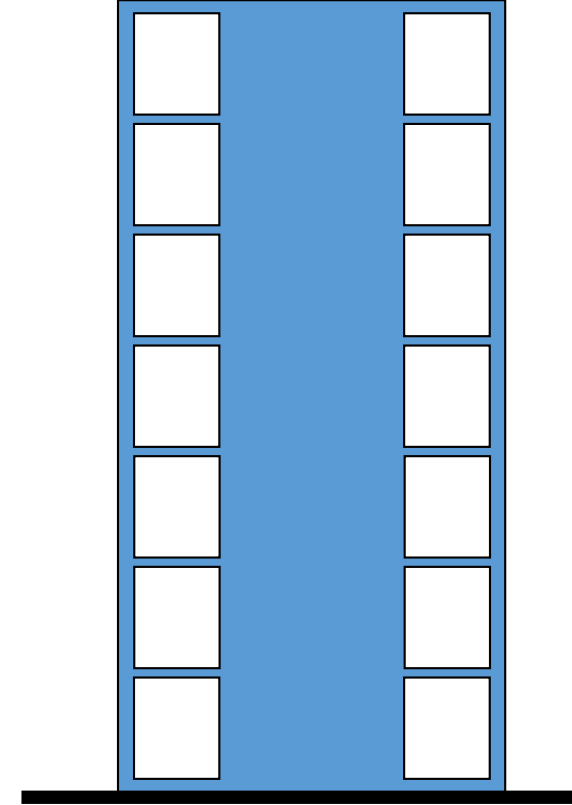
BİNAYA GELEN YÜKLERİN ÇERÇEVE VE KAYMA DUVARI ARASINDAKİ DAĞILIMI



Çerçeve sistemi
(Eğilme deformasyonları)



Kayma duvarı
(Kayma deformasyonları)



Karma system
(Hangi tip deformasyon ?)

Kat yüklerinin çerçeve ve perde duvarı arasında dağılımını bulabilmek için dönme sensörlerine ihtiyaç var.

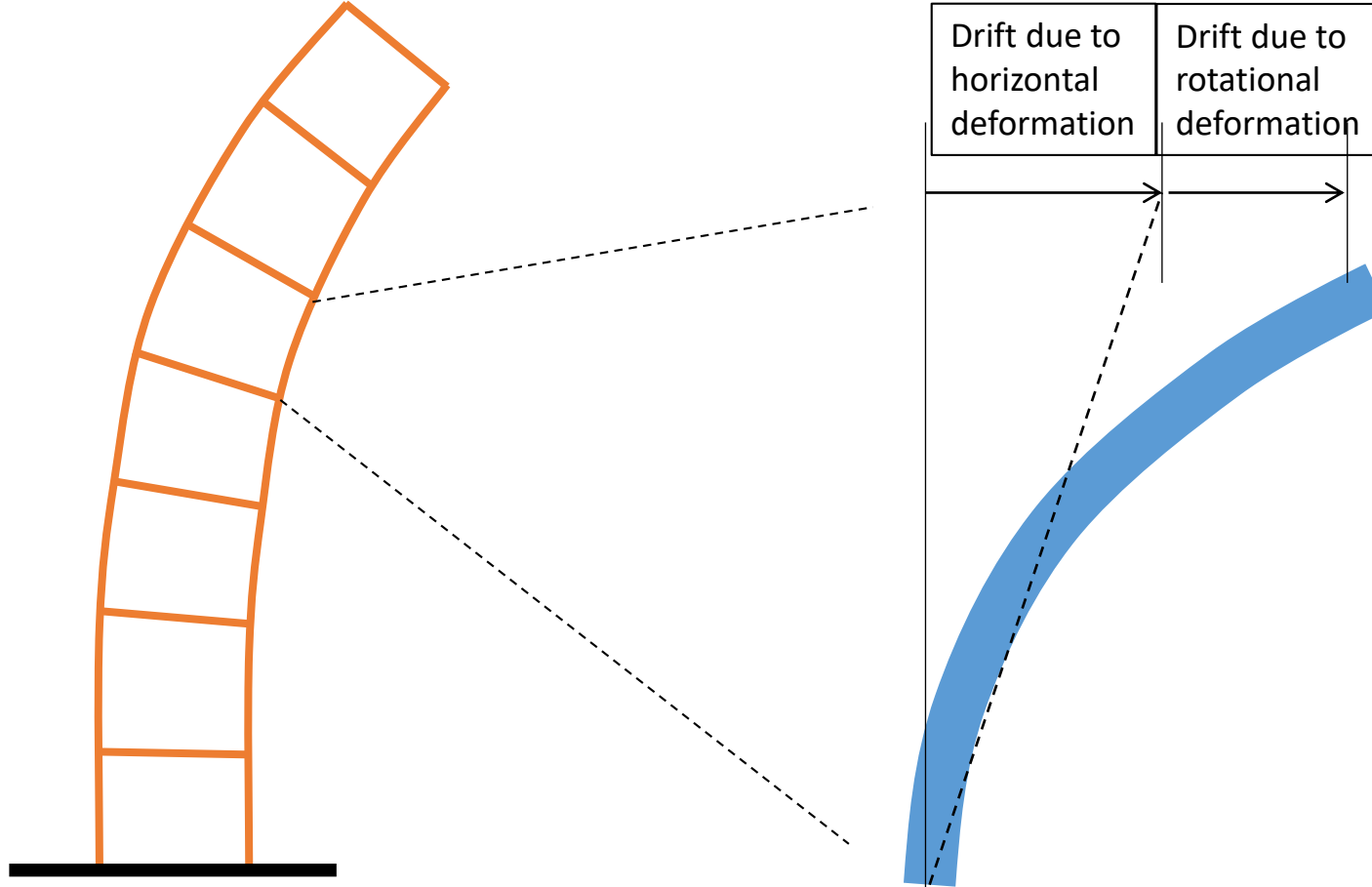


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



DÖNME SENSÖRLERİNİN YÜKSEK BİNANLARIN ÜST KATLARINDAKİ KAT-ARASI ÖTELEMELERİ (INTER-STORY DRIFT) BULMADA ÖNEMİ



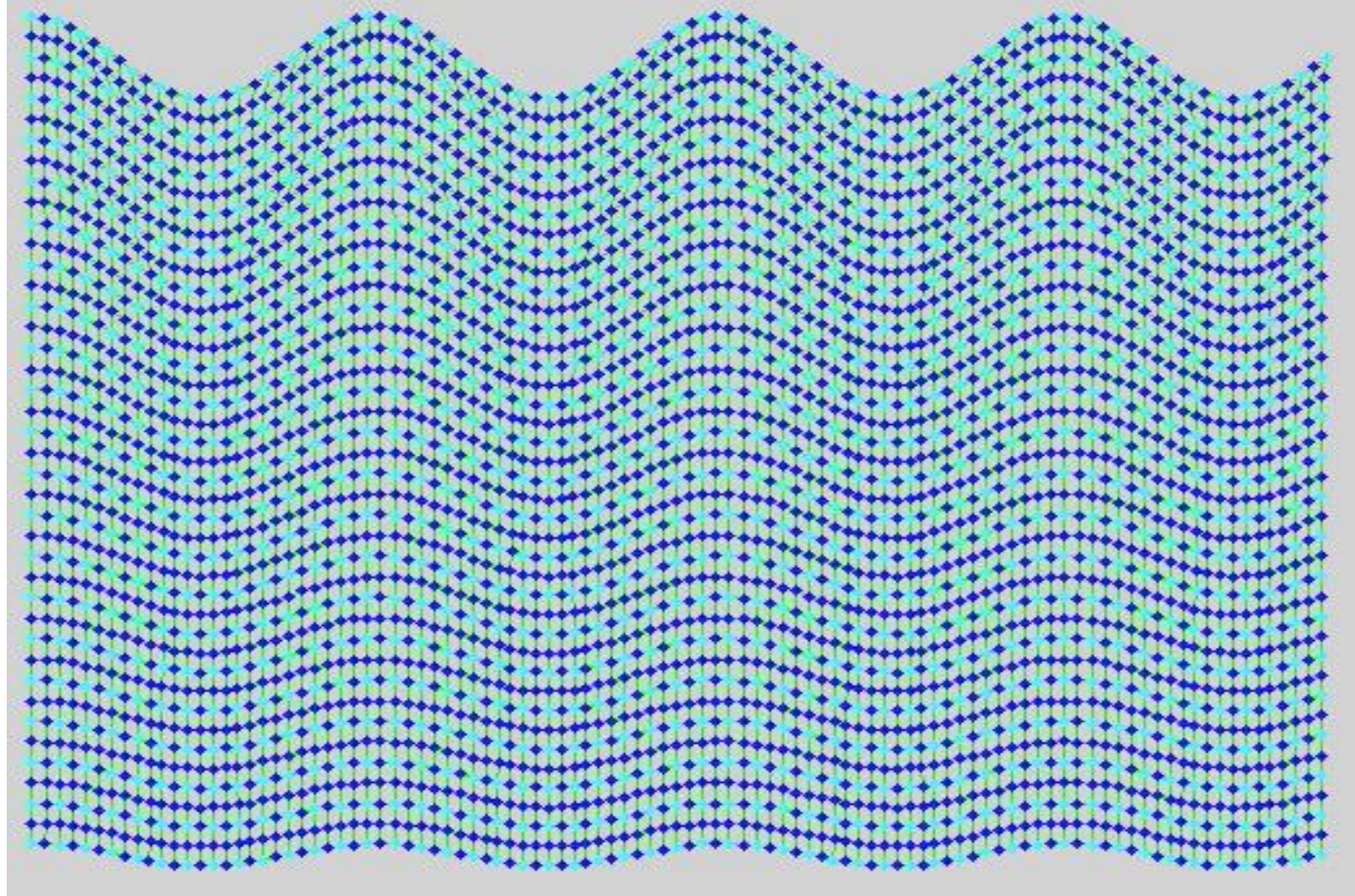


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

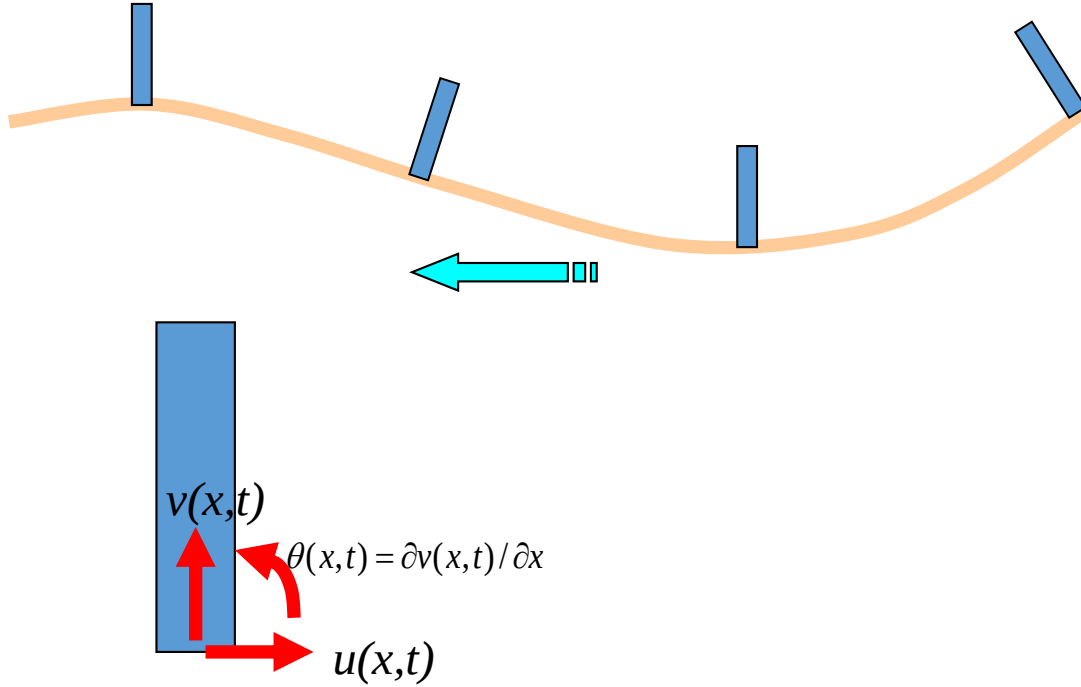


YÜZEY DALGALARININ (Rayleigh Waves) OLUŞTURDUĞU TABAN DÖNMELERİ

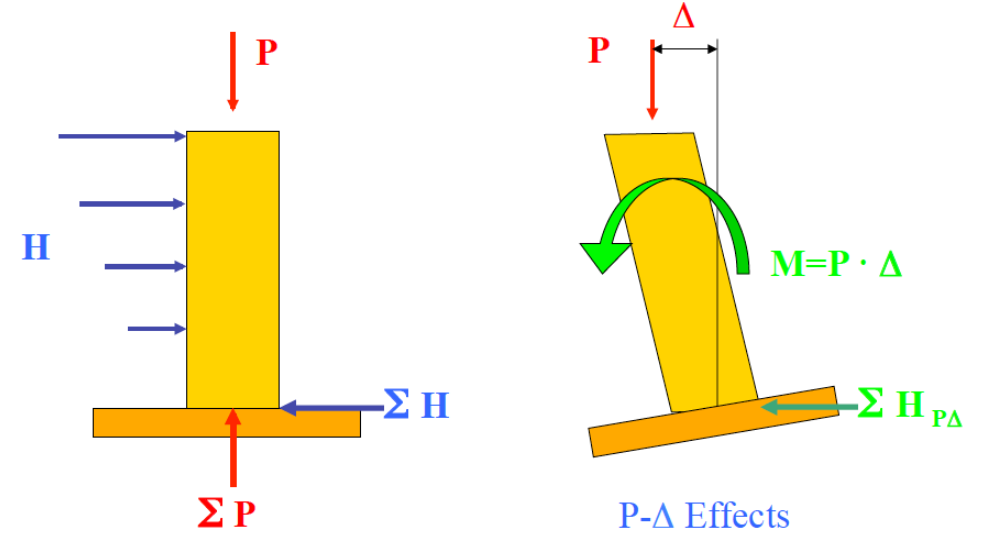




DEPREMDEKİ YÜZEY DALGALARININ (RAYLEIGH WAVES) OLUŞTURDUĞU TABAN DÖNMELERİ

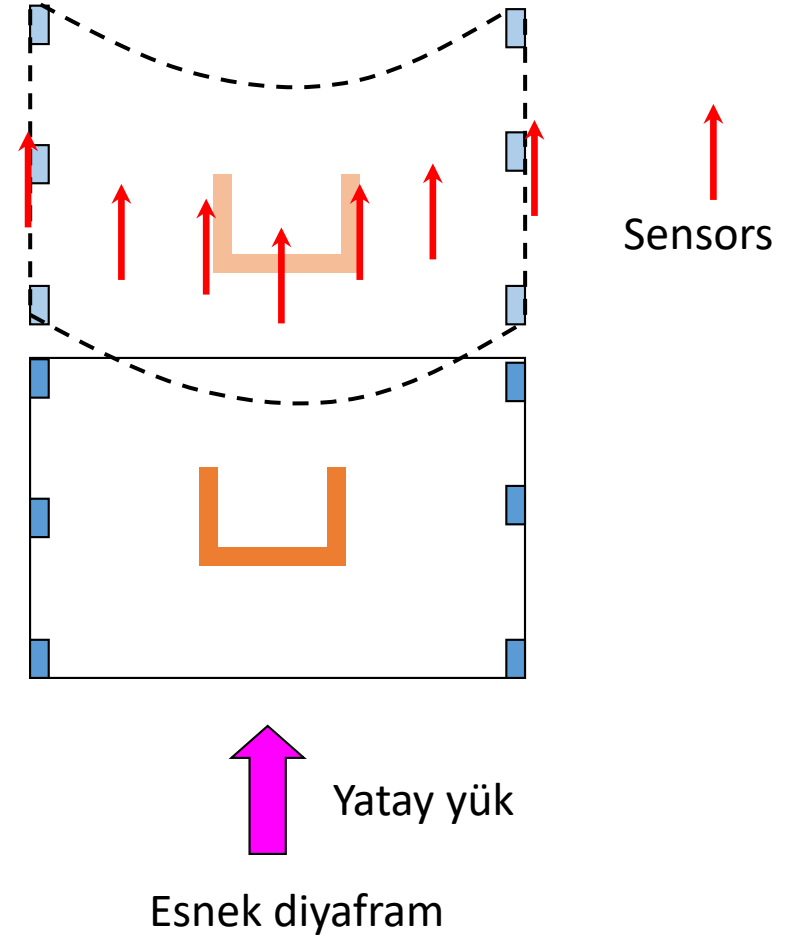
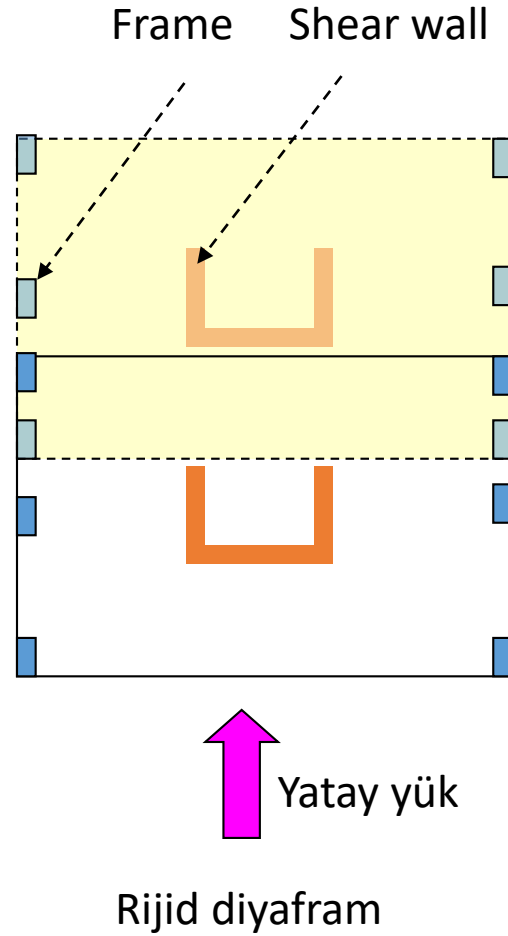


P-Δ EFFECTS DUE TO BASE ROTATION





KENDİ DÜZLEMİNDE ESNEK KAT DÖŞEMELERİ DURUMUNDA SENSÖR DÜZENİ





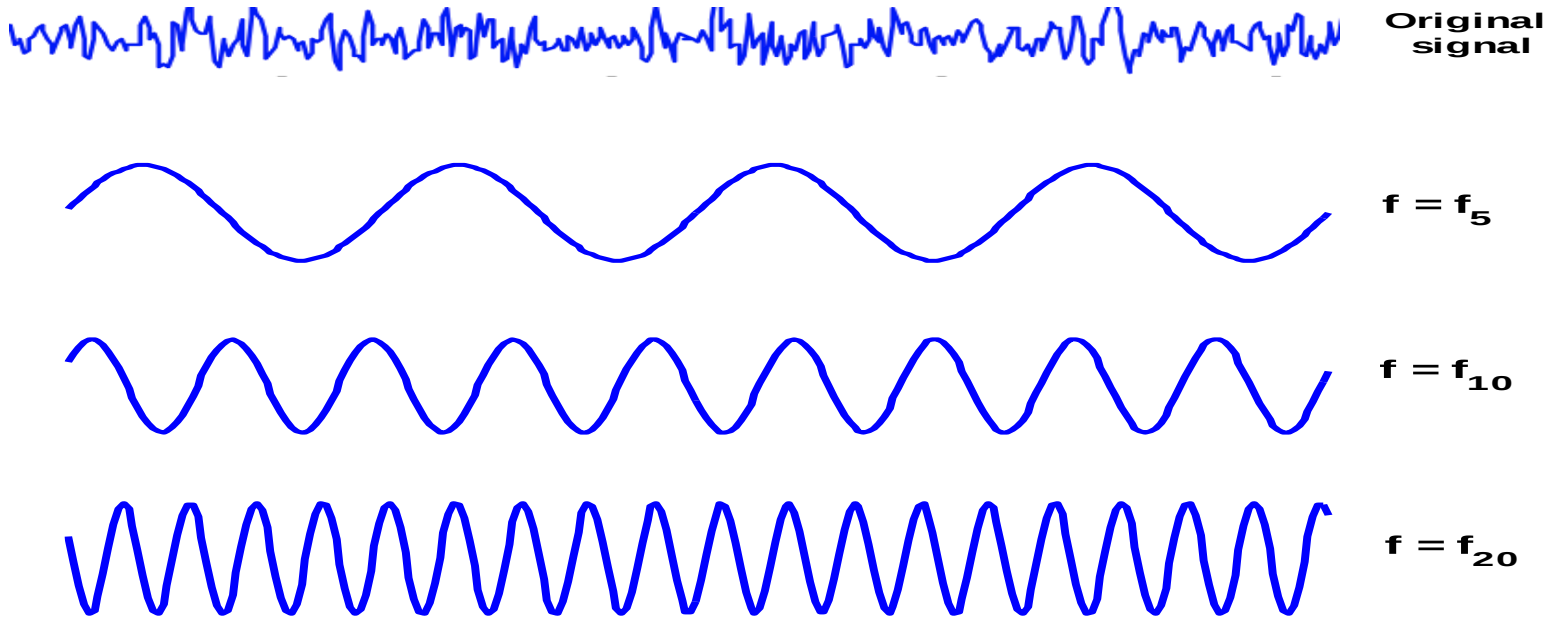
DATA ANALİZİ

- İçine girilemeyen veya içindeki algoritmalar bilinmeyen paket programlar güvenilir değil.
- Fourier transformları ve band-pass filtreler bir çok data analizi için yeterli.



FOURIER TRANSFORMLARI

Fourier transformu zaman tanım alanındaki bir sinyali değişik genlikteki ve birbirine göre ötelenmiş sinüsoidlerin toplamı olarak yazılmasını sağlar.

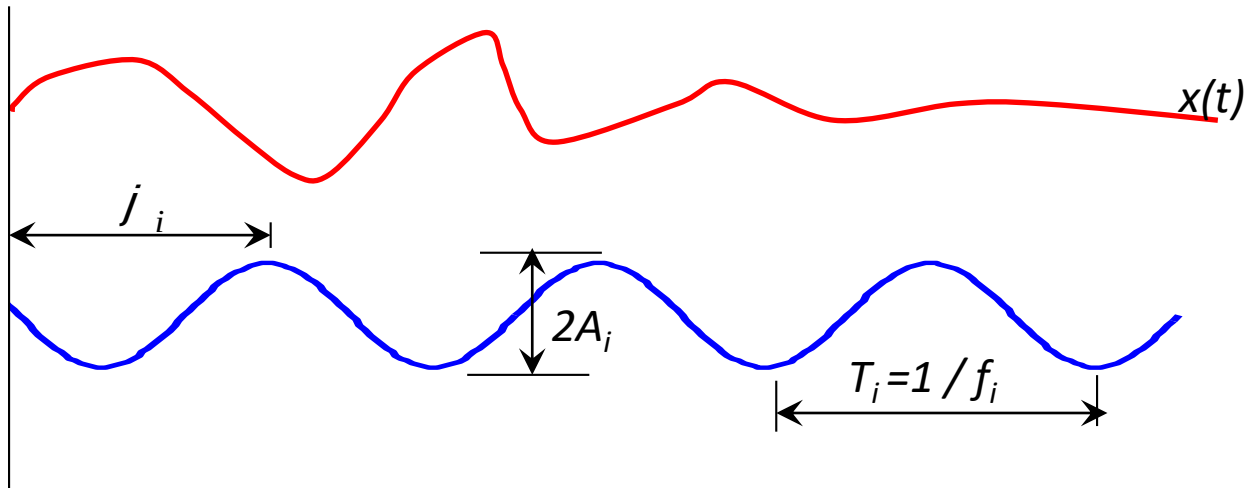


△ örnekleme aralığında N noktadan oluşan bir kayıt için:

- Gerekli sinüsoid sayısı: $N/2$ ()
- Frekans aralığı: $0 - 0.5/\Delta$ Hz veya $0 - 0.5 \times \text{örnekleme frekans}$ (Nyquist frekansı)
- Frekans çözünürlüğü: $\Omega = 1/(N \times \Delta) = 1/\text{Kayıt uzunluğu}$
- Sinüsoidlerin frekansları: $f_i = i \times \Omega$ ($i=0,1,\dots,N/2$)



DISCRETE FOURIER TRANSFORMLARI

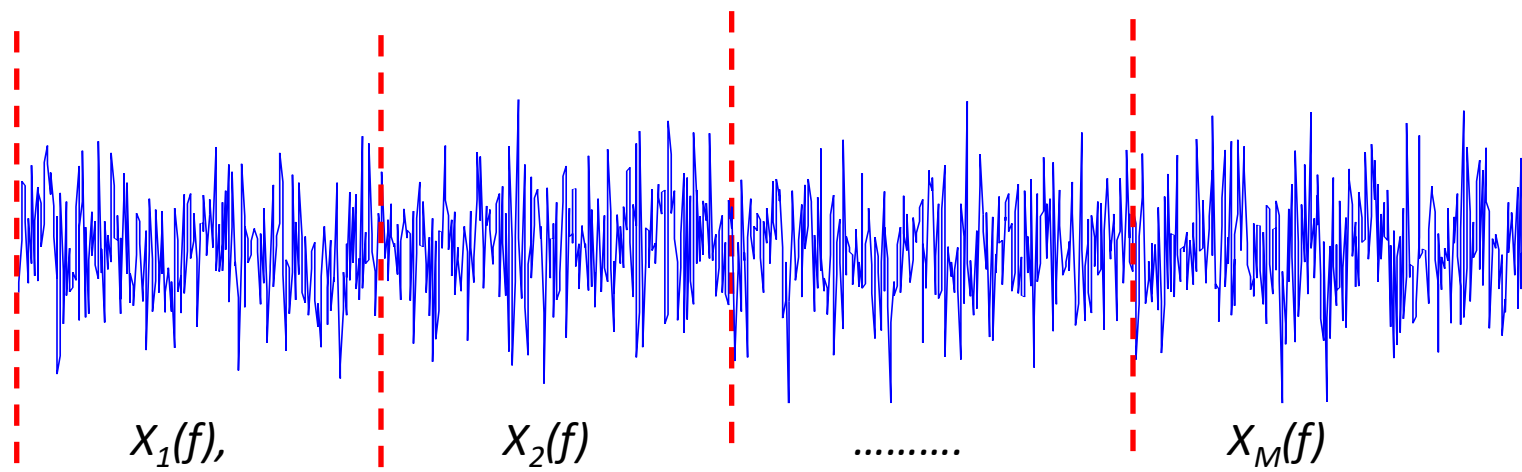


$$x(t) = \sum_{i=0}^{N/2} A_i \cdot \sin(2\pi f_i t + \phi_i)$$

A_i = i'th sinusoidin genliği
 f_i = i'th sinusoidin frekansı
 ϕ_i = i'th sinusoidin fazı



DÜŞÜK GENLİKLİ TİTREŞİM SİNYALLERİNDEKİ GÜRÜLTÜNÜN ORTALAMAYLA AZALTILMASI

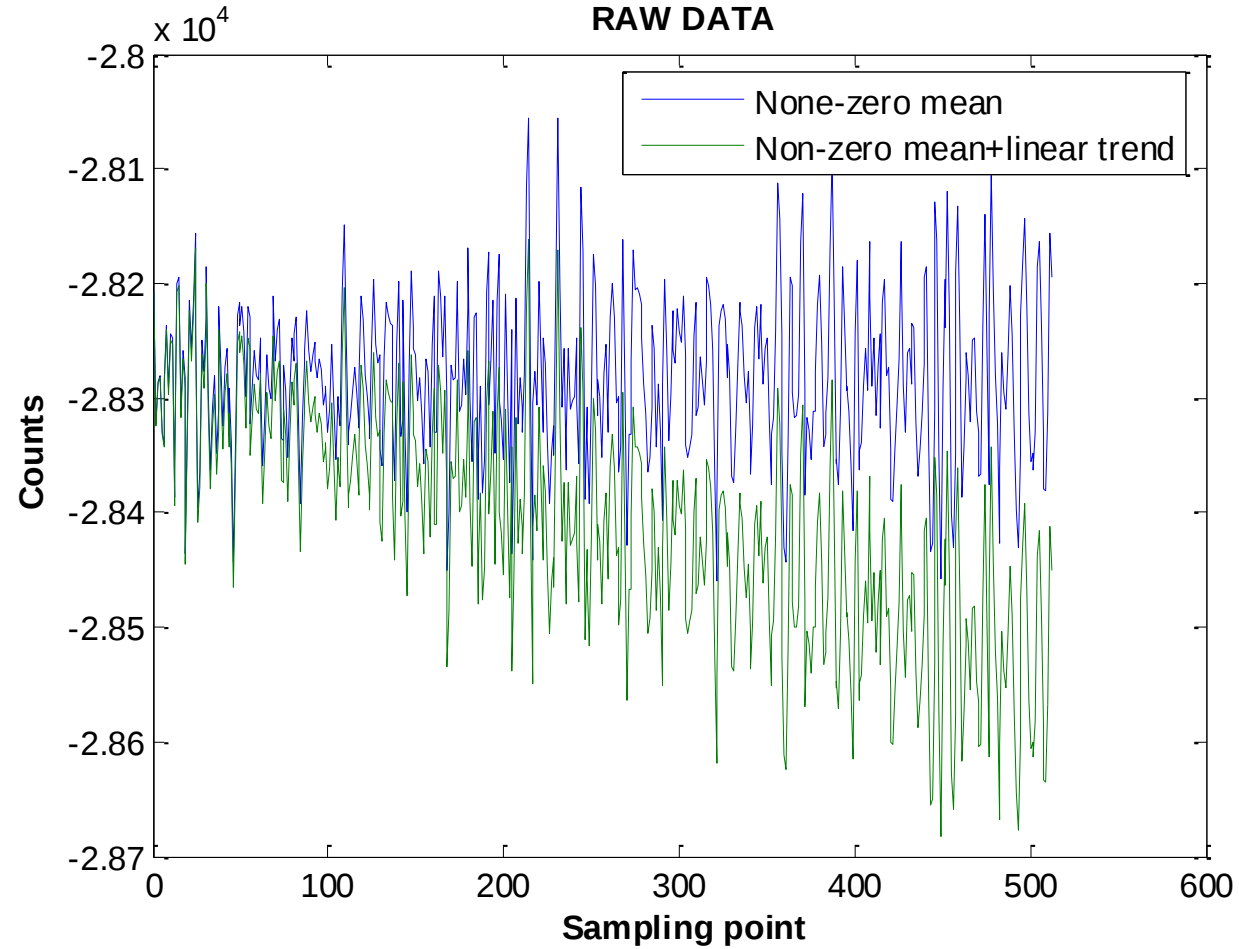


(Segmentler aynı uzunlukta olmalıdır)

$$X(f) = \frac{1}{M} \cdot \sum_{k=1}^M X_k(f)$$



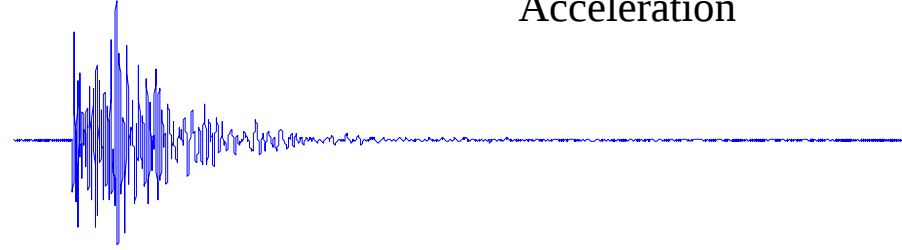
DETRENDING (ORTALAMA DEĞERİN VE LİNEER TRENDLERİN ELİMİNE EDİLMESİ)



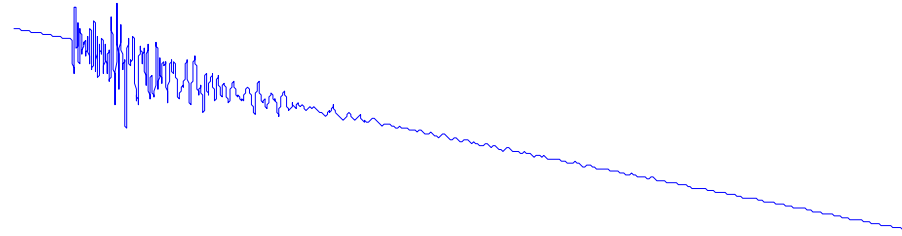


DETRENDING GEREKSİNİMİ

Acceleration



Velocity





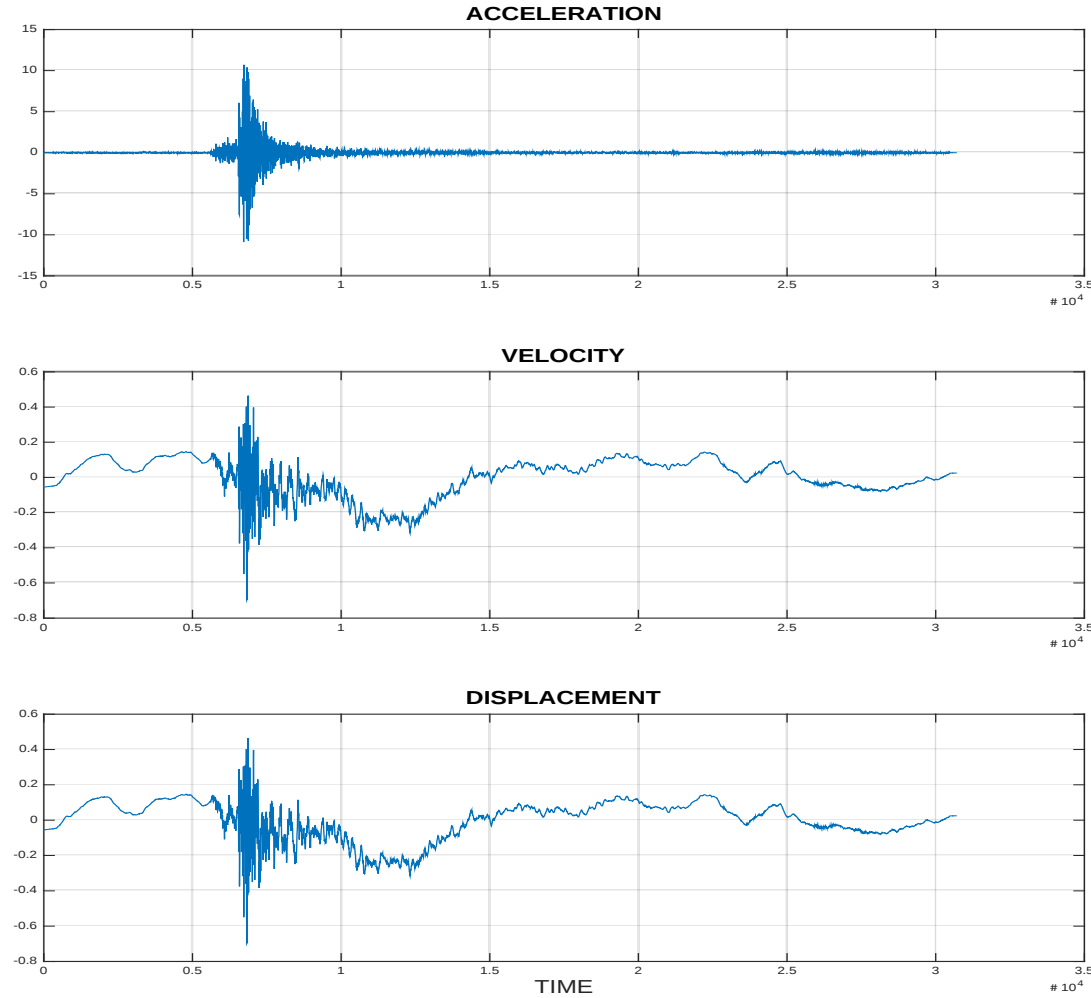
1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU

04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



ÖRNEK:
(Ham Kayıt)



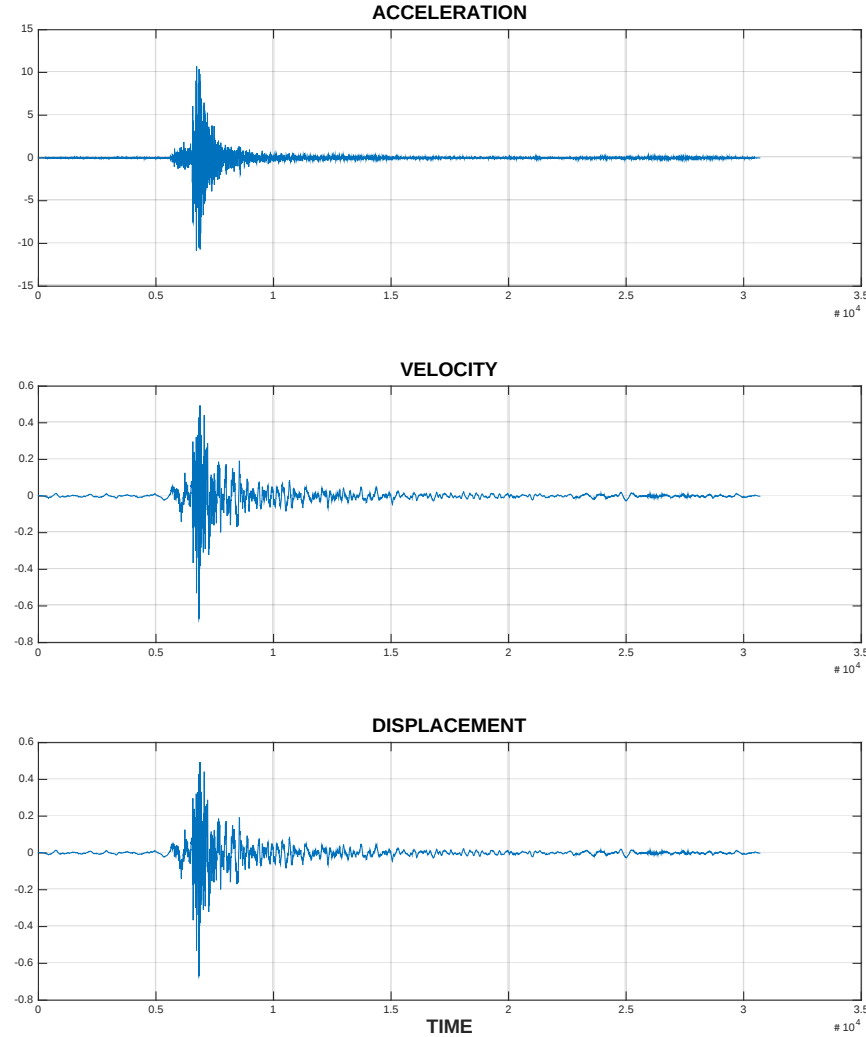


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



ÖRNEK:
(0.10 Hz den high-pass
filtelenmiş kayıt)





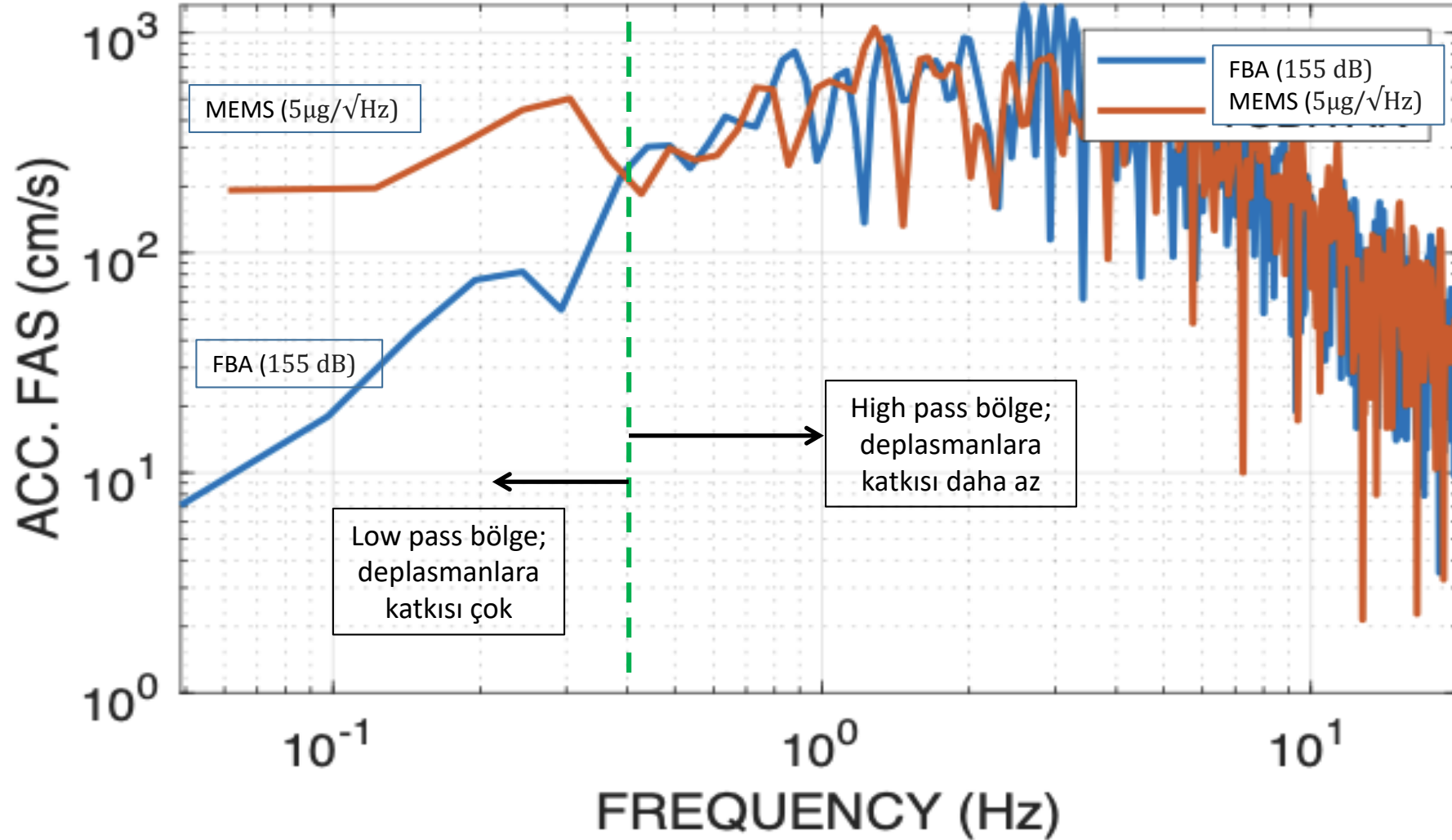
1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



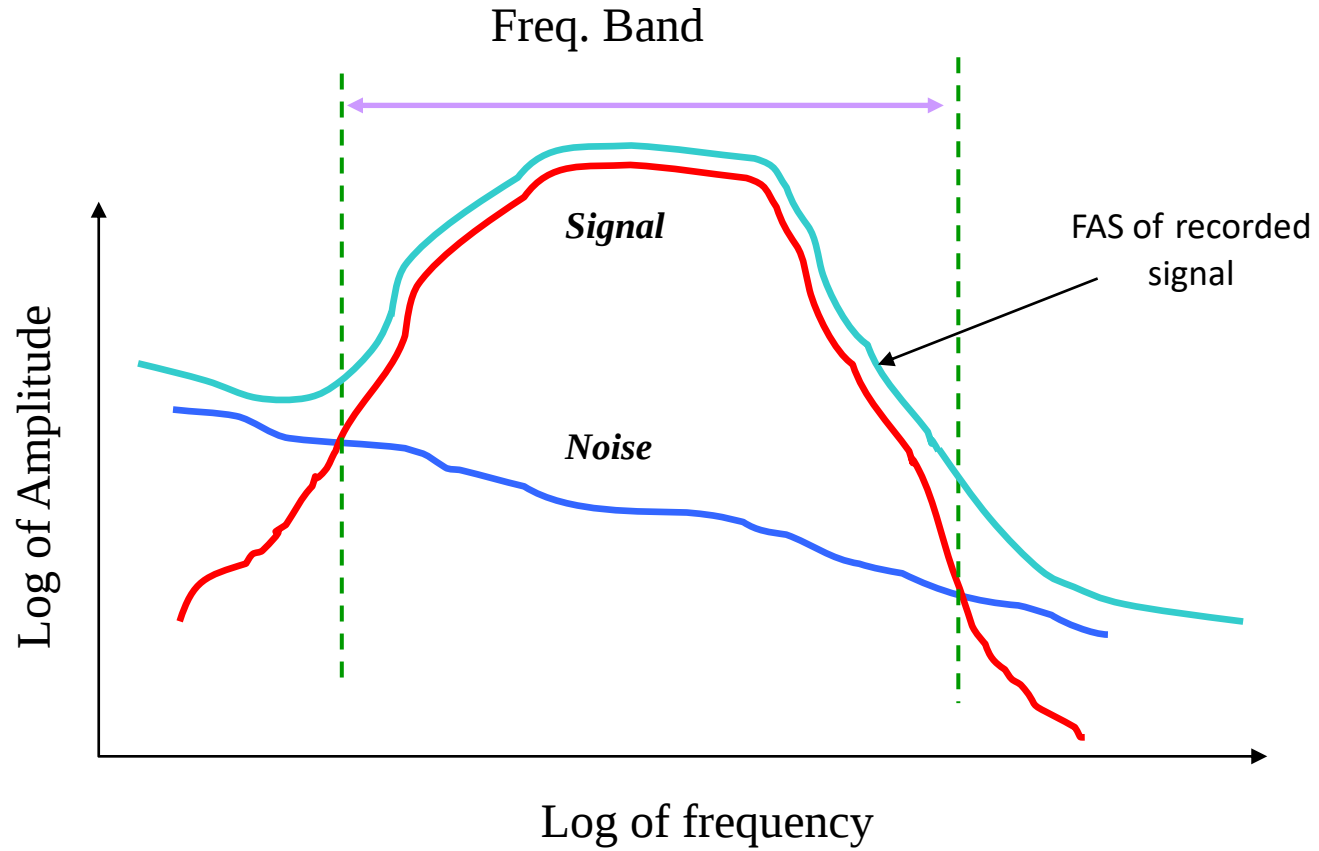
HIGH-PASS FİLTRENİN ÖNEMİ

FOURIER AMPLITUDES



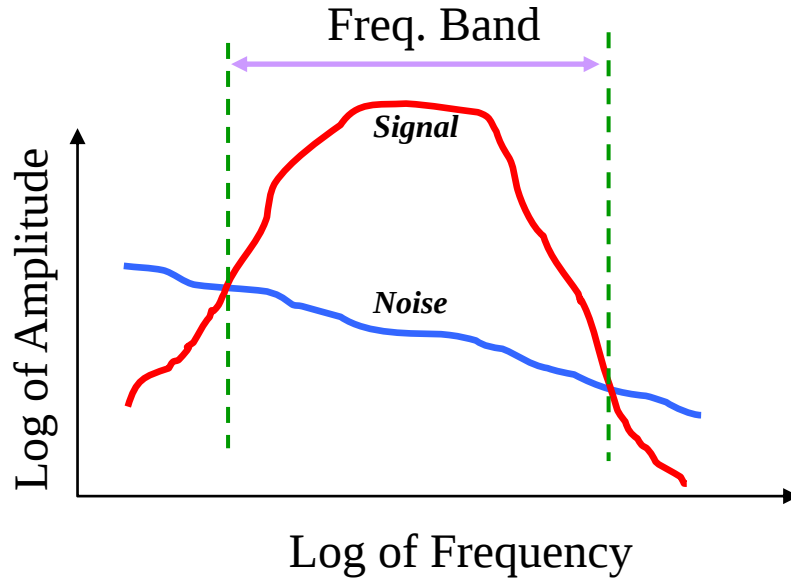


FILTRELEME

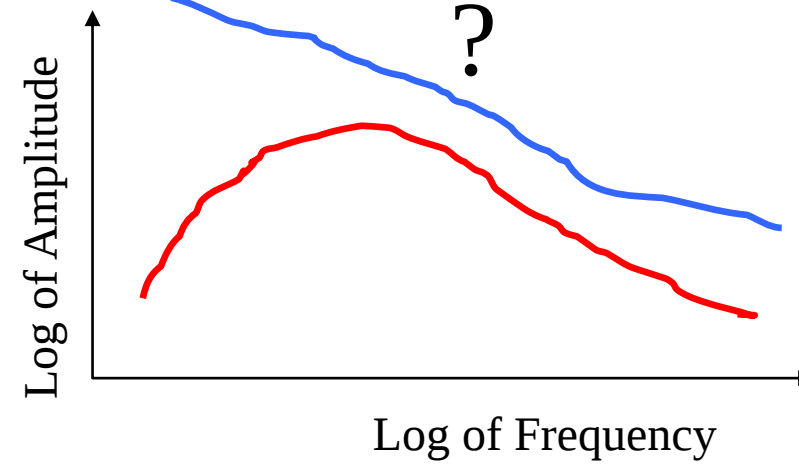




BAND-PASS FİLTRELERİN SEÇİMİ



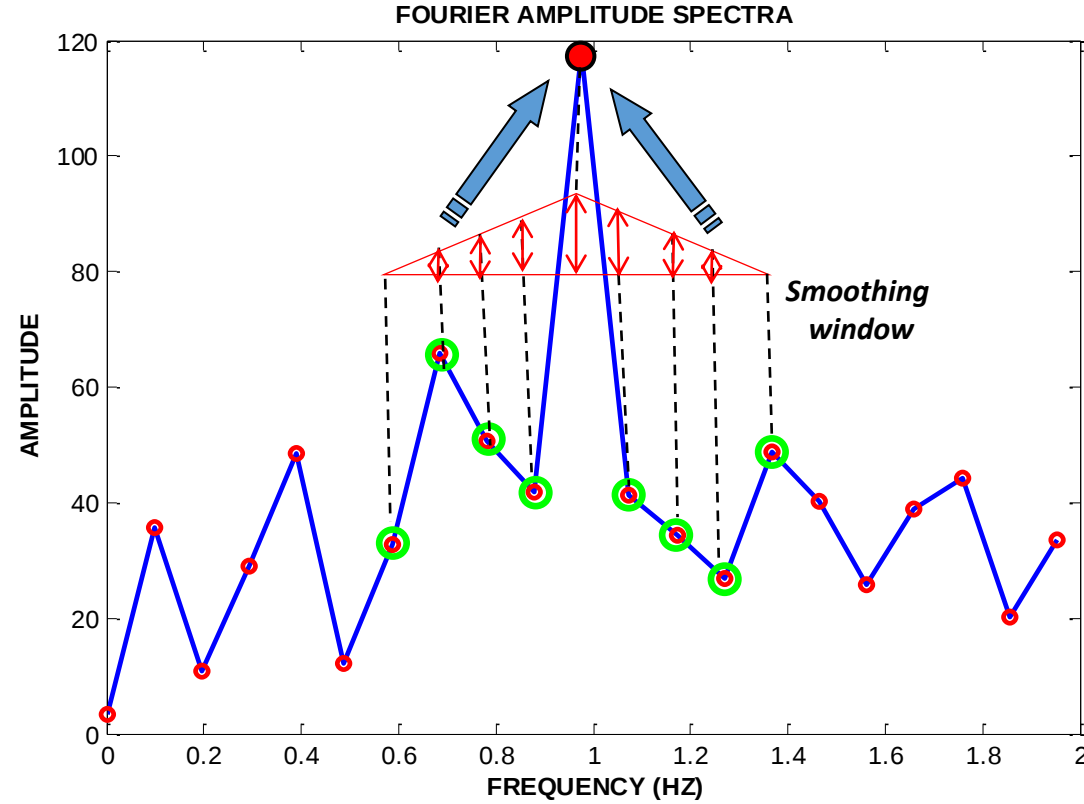
KUVVETLİ DEPREM



**KÜÇÜK DEPREMLER VEYA
GELİŞİGÜZEL TİTREŞİMLER**
(Stochastic/Optimal filtreleme gerekir)



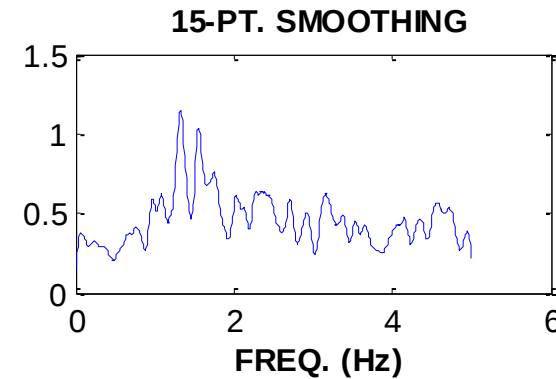
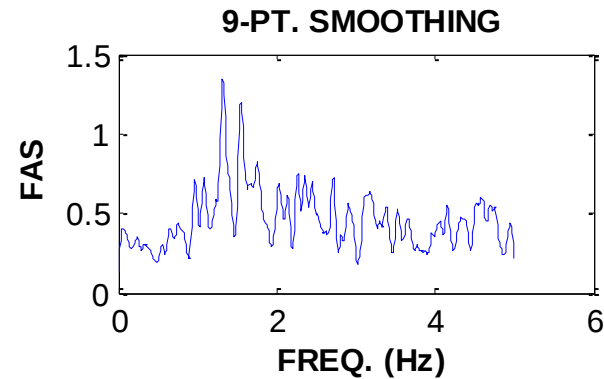
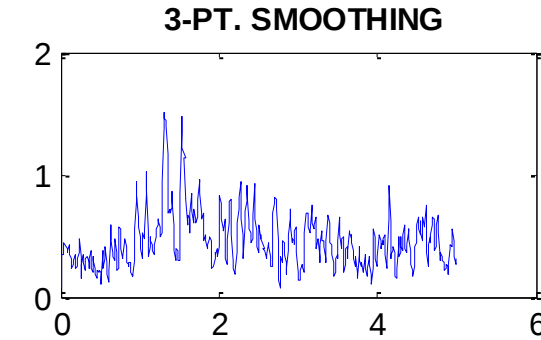
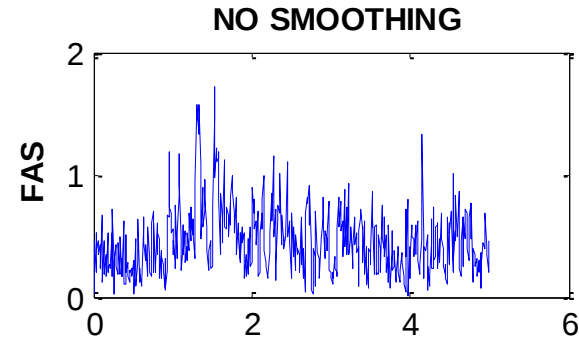
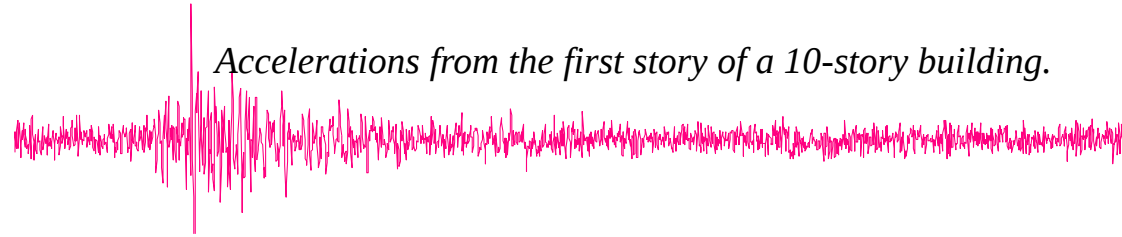
FOURIER AMPLITUDE SPEKTRANIN DÜZELTİLMESİ





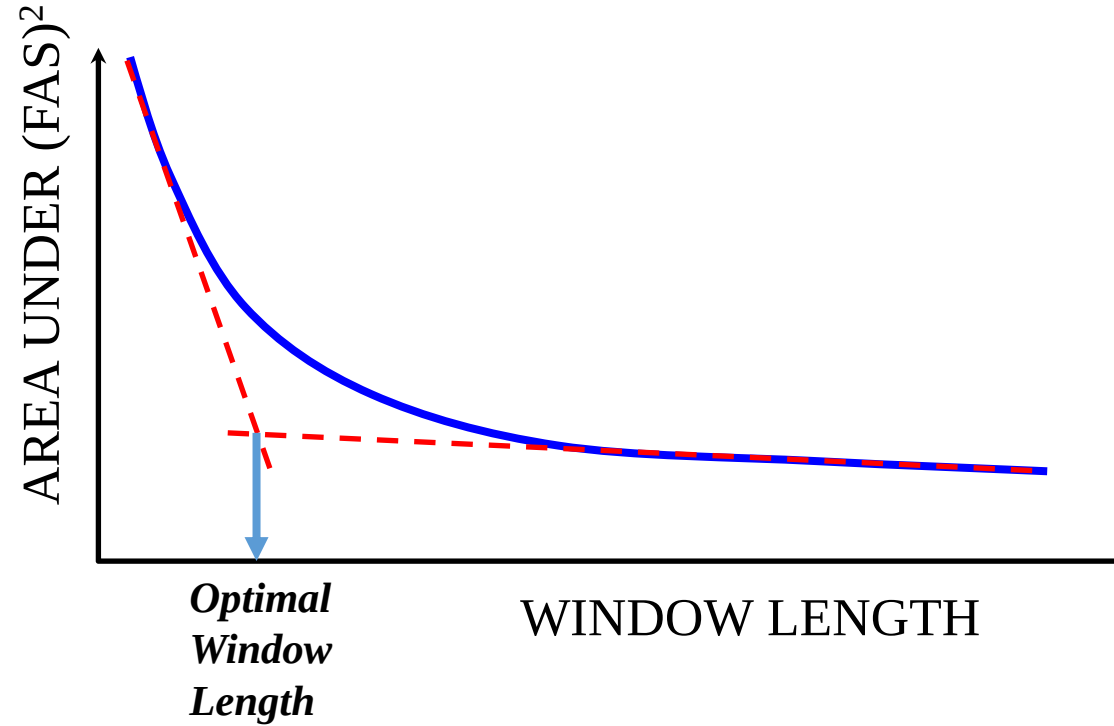
FOURIER AMPLITUDE SPEKTRANIN DÜZELTİLMESİ

Accelerations from the first story of a 10-story building.





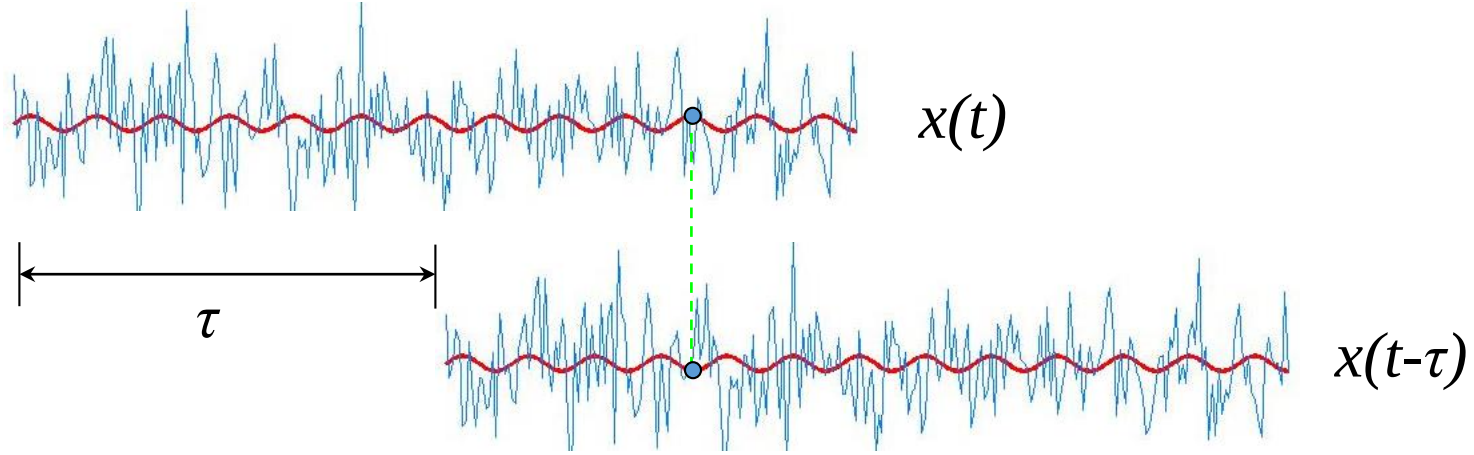
DÜZELTME İÇİN OPTİMUM PENCERE UZUNLUĞU



Assumption: Noise-free Fourier amplitude is a smooth function of frequency.



GELİŞİ-GÜZEL TİTREŞİM KAYITLARI: AUTOCORRELATION FUNCTION



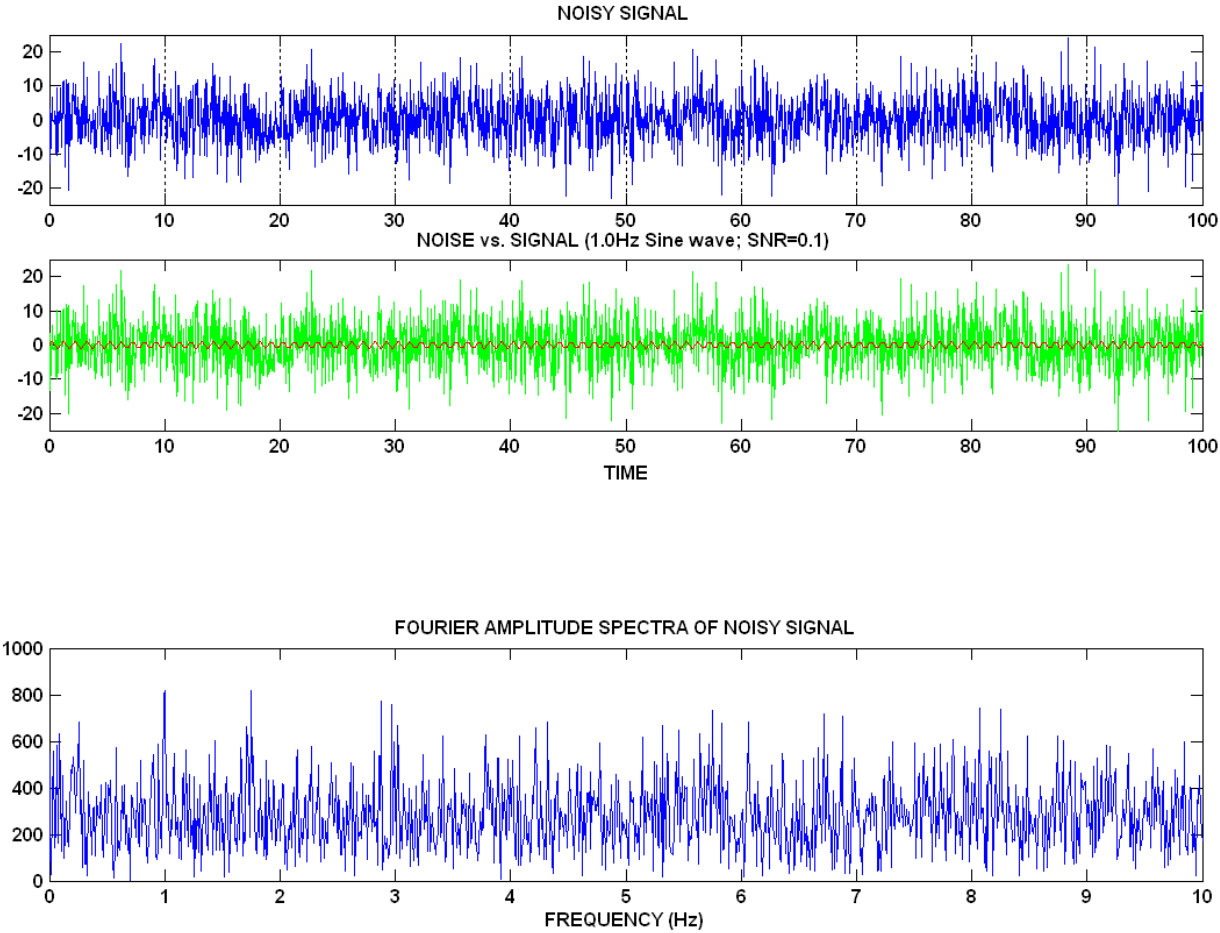
Autocorrelation function:
$$R(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x(t) \cdot x(t - \tau)$$

Power spectral density function:
$$S(f) = \sum_{k=0}^{N-1} R(\tau_k) \cdot e^{-i2\pi f \cdot \tau_k}$$

- Düşük genlikli, yüksek gürültülü kayıtlarda (örn. zemin ve alt-kat kayıtları) autocorrelation kayıttaki periyodik bileşenlerin (modların) genliğini artırır.
- Autocorrelation periyodik bileşenlerin periyodunu değiştirmez.

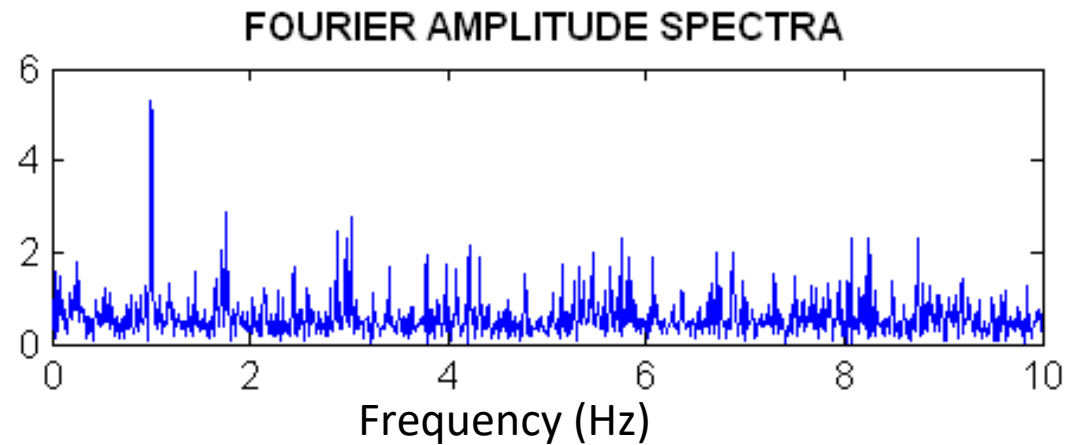
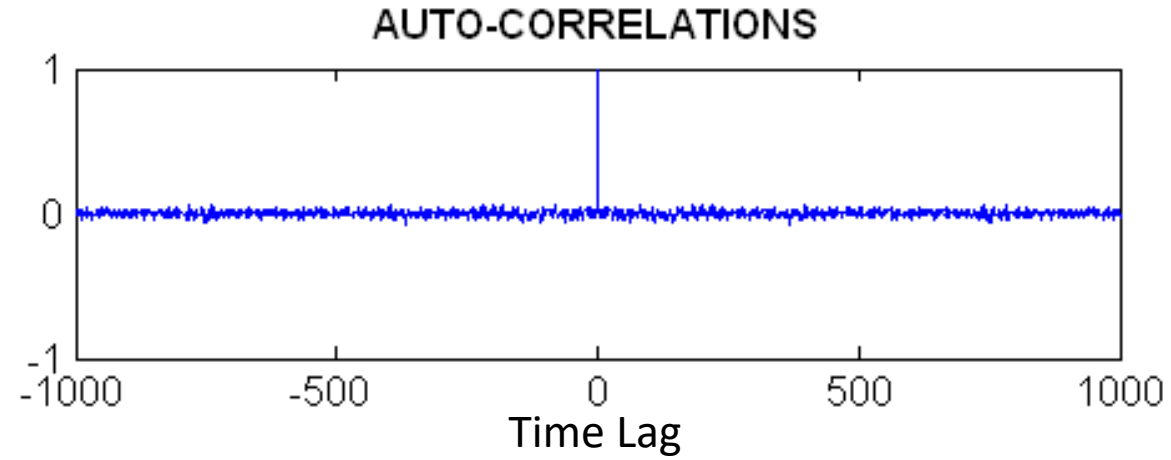


DÜŞÜK GENLİKLİ SİNÜSOİDLERİN GÜRÜLTÜ KAYITLARINDAN BULUNMASI





AUTOCORRELATION AND POWER SPECTRAL DENSITY



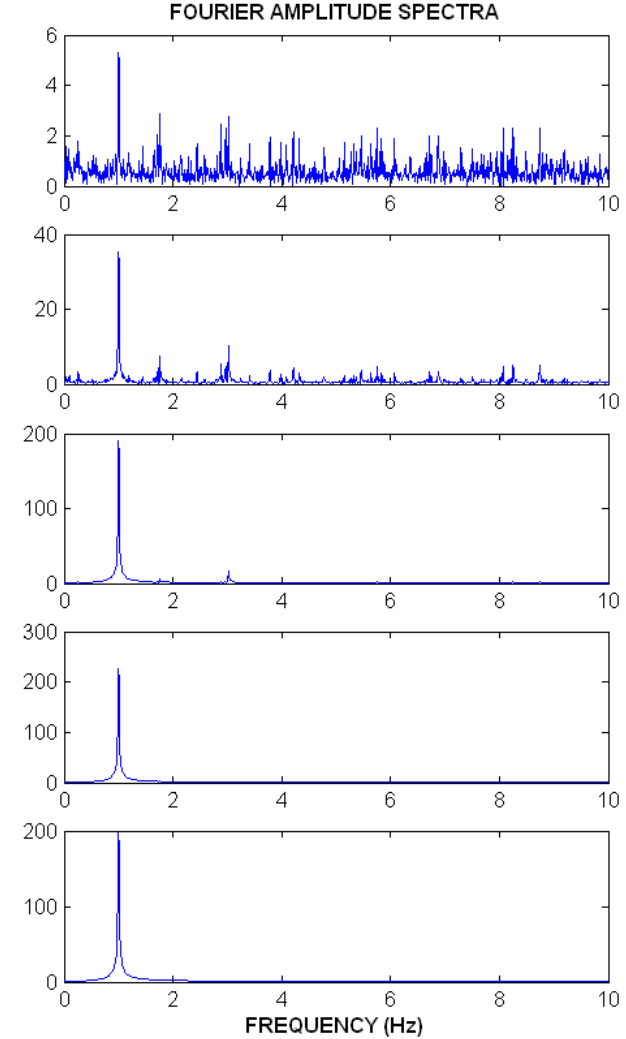
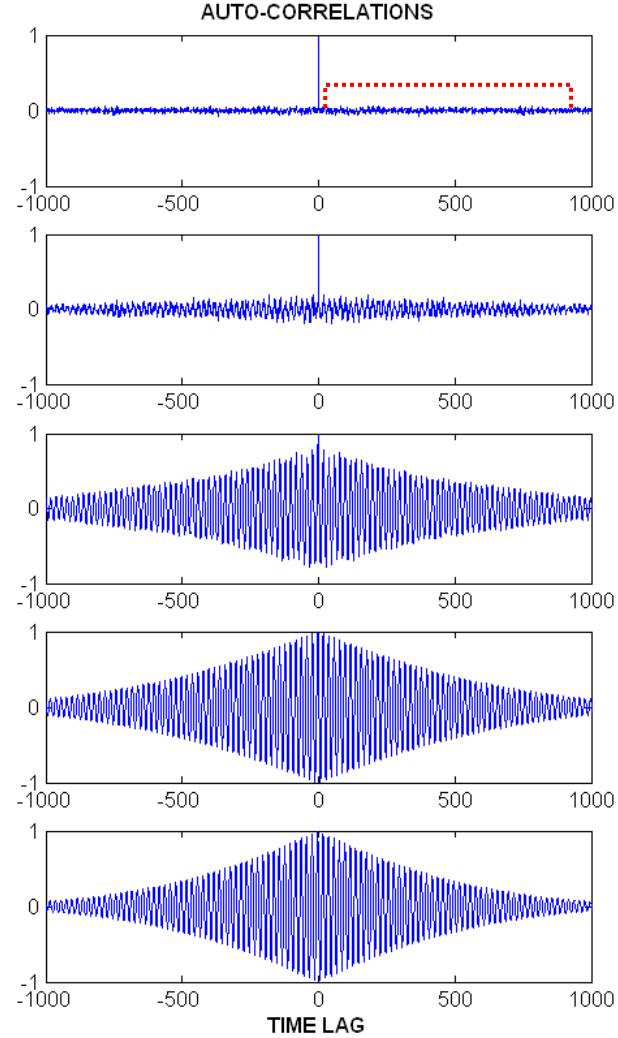


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



DÜŞÜK GENLİKLİ SİNÜSOİDLERİN GÜRÜLTÜLÜ KAYITTA BULUNMASI





GÜRÜLTÜNÜN KAYITLARININ FARKINI ALMADAKİ ETKİSİ

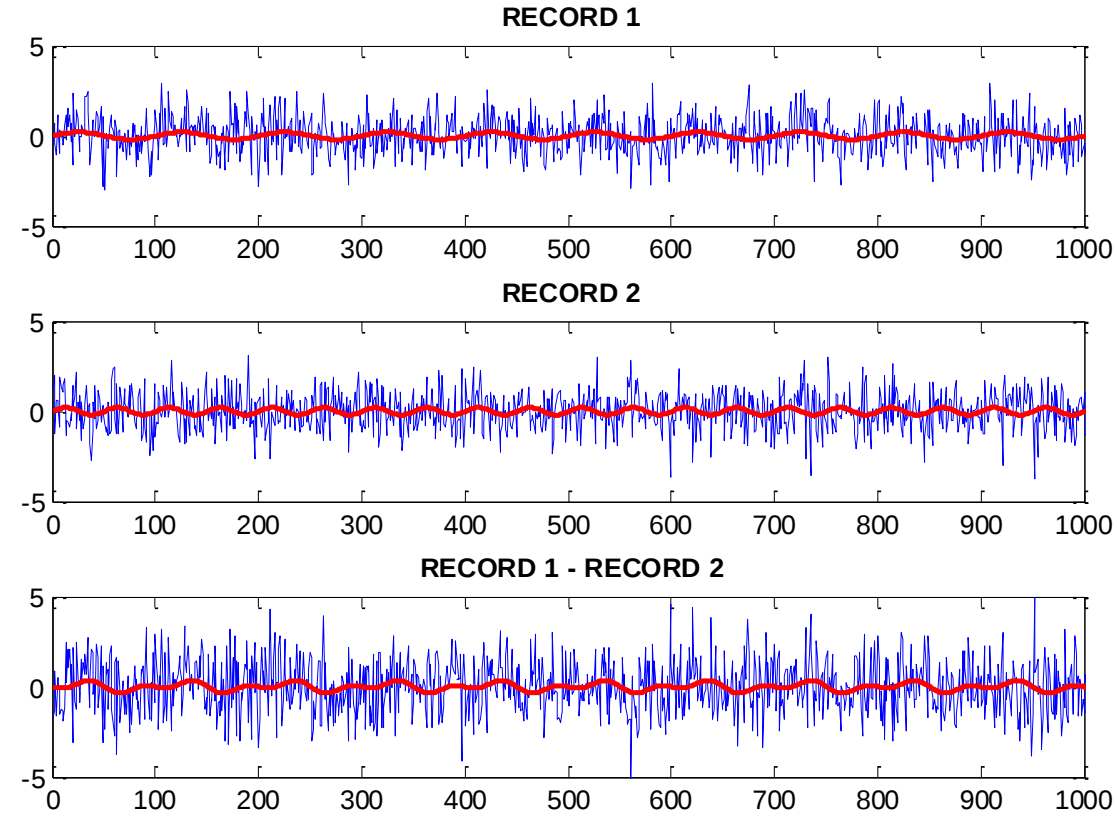
$$\begin{aligned}x_1(t) &= s_1(t) + n_1(t) \quad \text{with} \quad n_1(t) = N[0, s_1] \\x_2(t) &= s_2(t) + n_2(t) \quad \text{with} \quad n_2(t) = N[0, s_2]\end{aligned}$$

$$y(t) = x_1(t) - x_2(t) = [s_1(t) - s_2(t)] + \underbrace{[n_1(t) - n_2(t)]}_{m(t)} \quad \text{where} \quad m(t) = N[0, s_1^2 + s_2^2]$$

$$\frac{RMS(s_1 - s_2)}{s_1^2 + s_2^2} \ll \frac{RMS(s_1)}{s_1^2}, \frac{RMS(s_2)}{s_2^2}$$



ÖRNEK (Not: Şekillerdeki düşey eksen sınırları aynı)





GÜRÜLTÜNUN İNTEGRALE ETKİSİ

$$x(t) = s(t) + n(t) \quad \text{with} \quad n(t) = N[0, s]$$

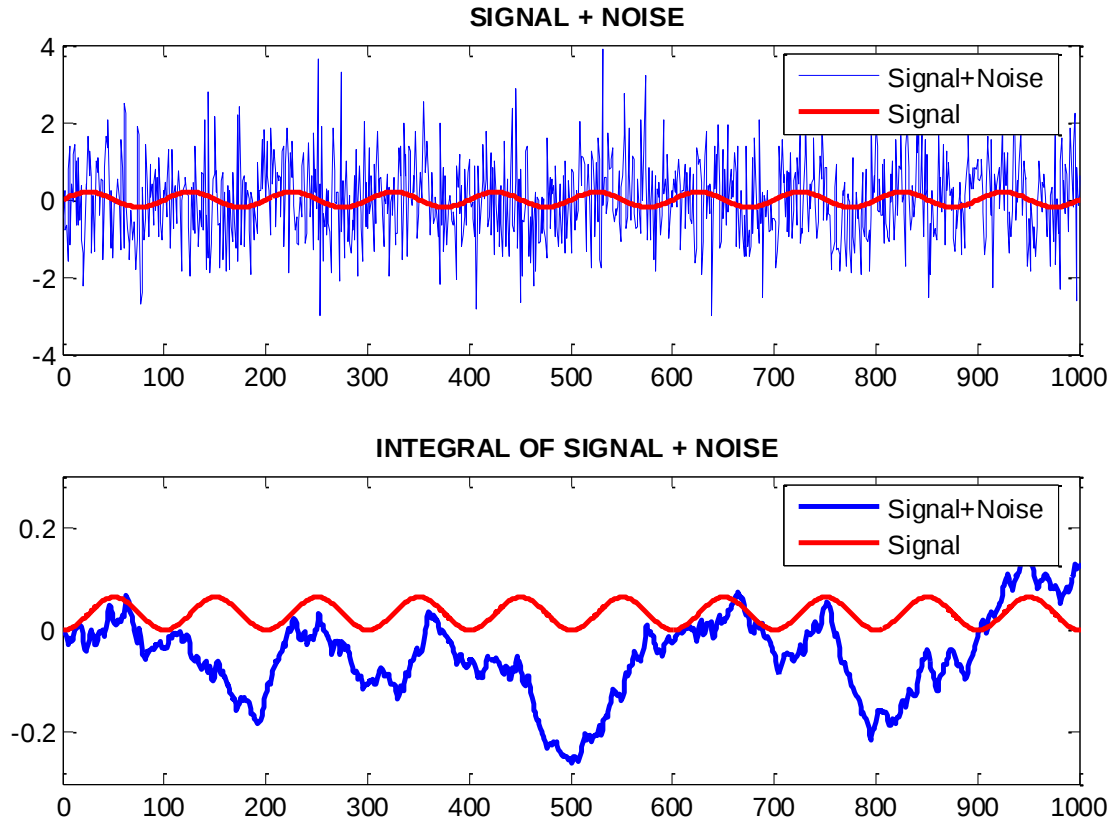
$$y(t) = \int_{k=0}^t s(k) \cdot dk + \underbrace{\int_{k=0}^t n(k) \cdot dk}_{\text{Brownian motion}}$$

Brownian motion

$$\text{Mean} = 0 \text{ and } \text{Var.} = t \cdot s^2$$

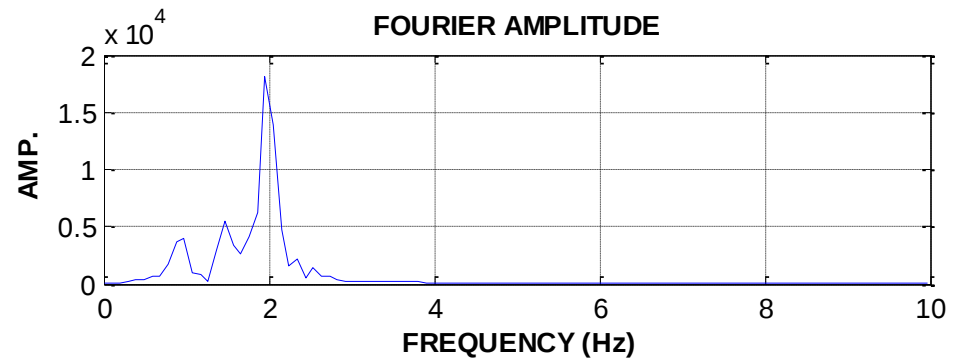
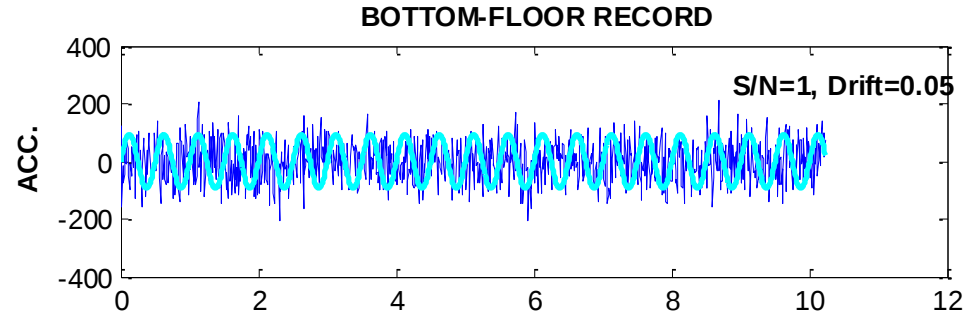
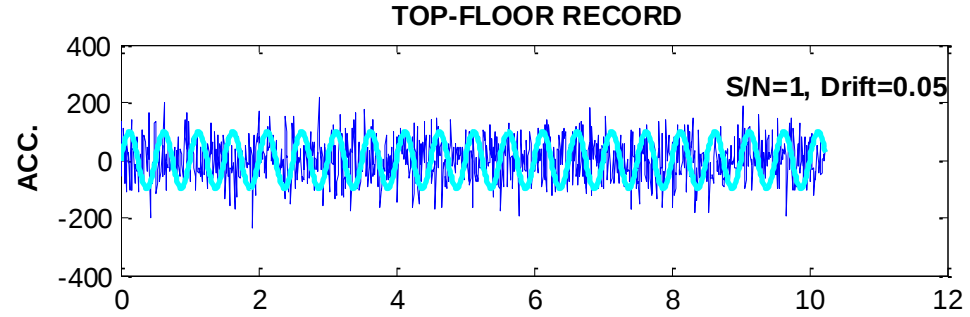
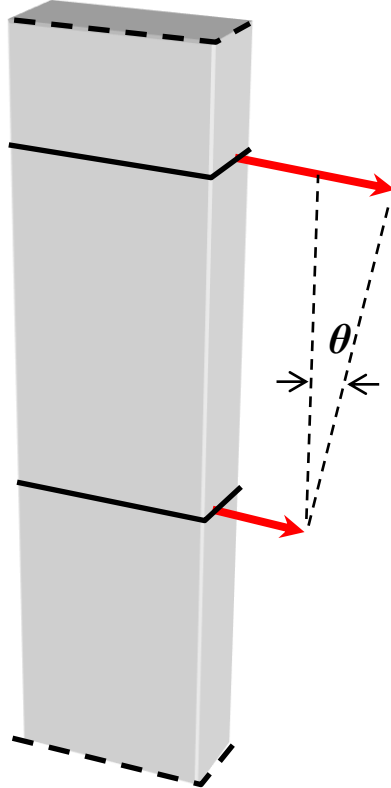


GÜRÜLTÜLÜ KAYITLARIN İNTEGRALI



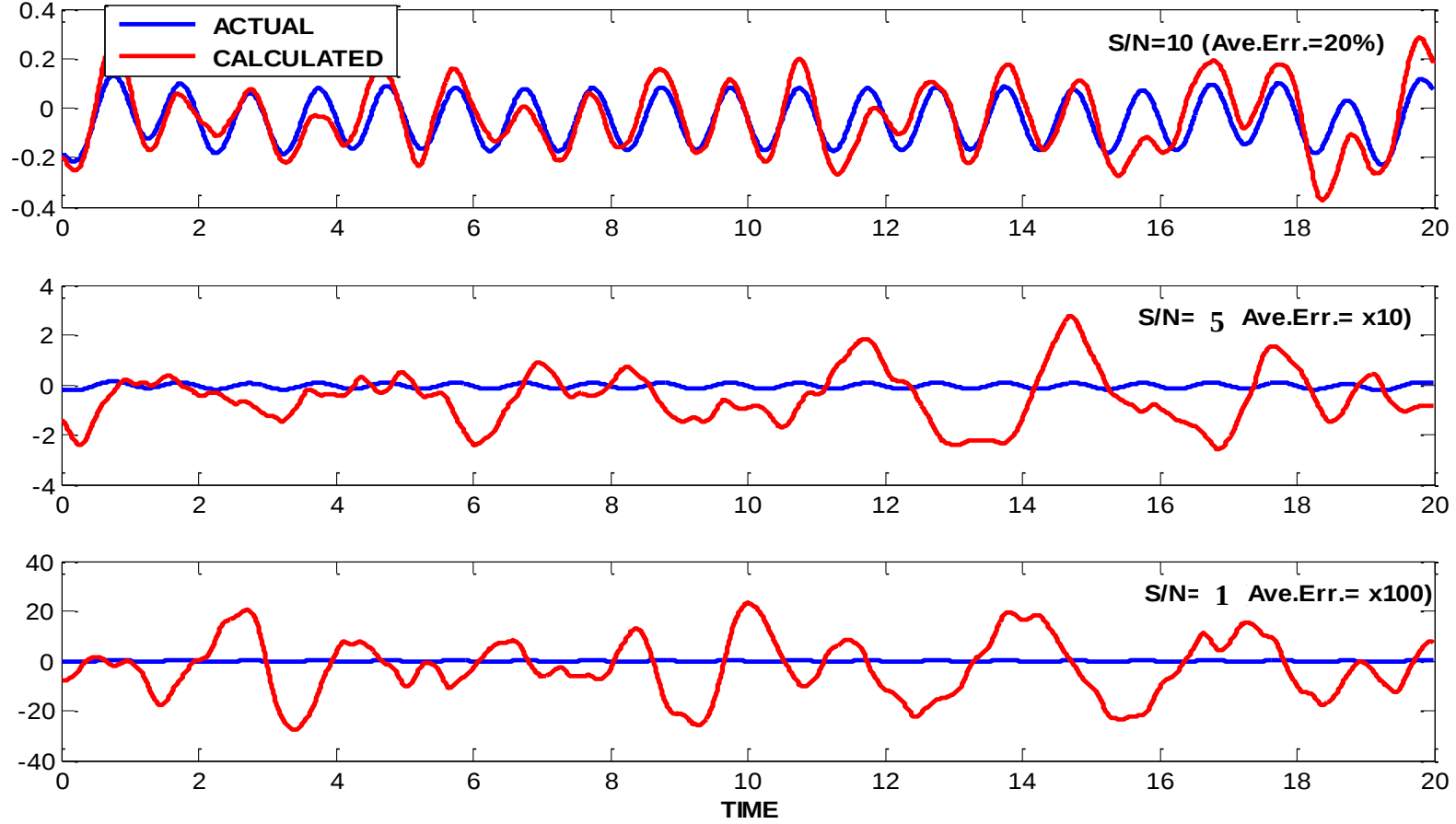


KAT-ARASI ÖTELEME (INTERSTORY DRIFT)



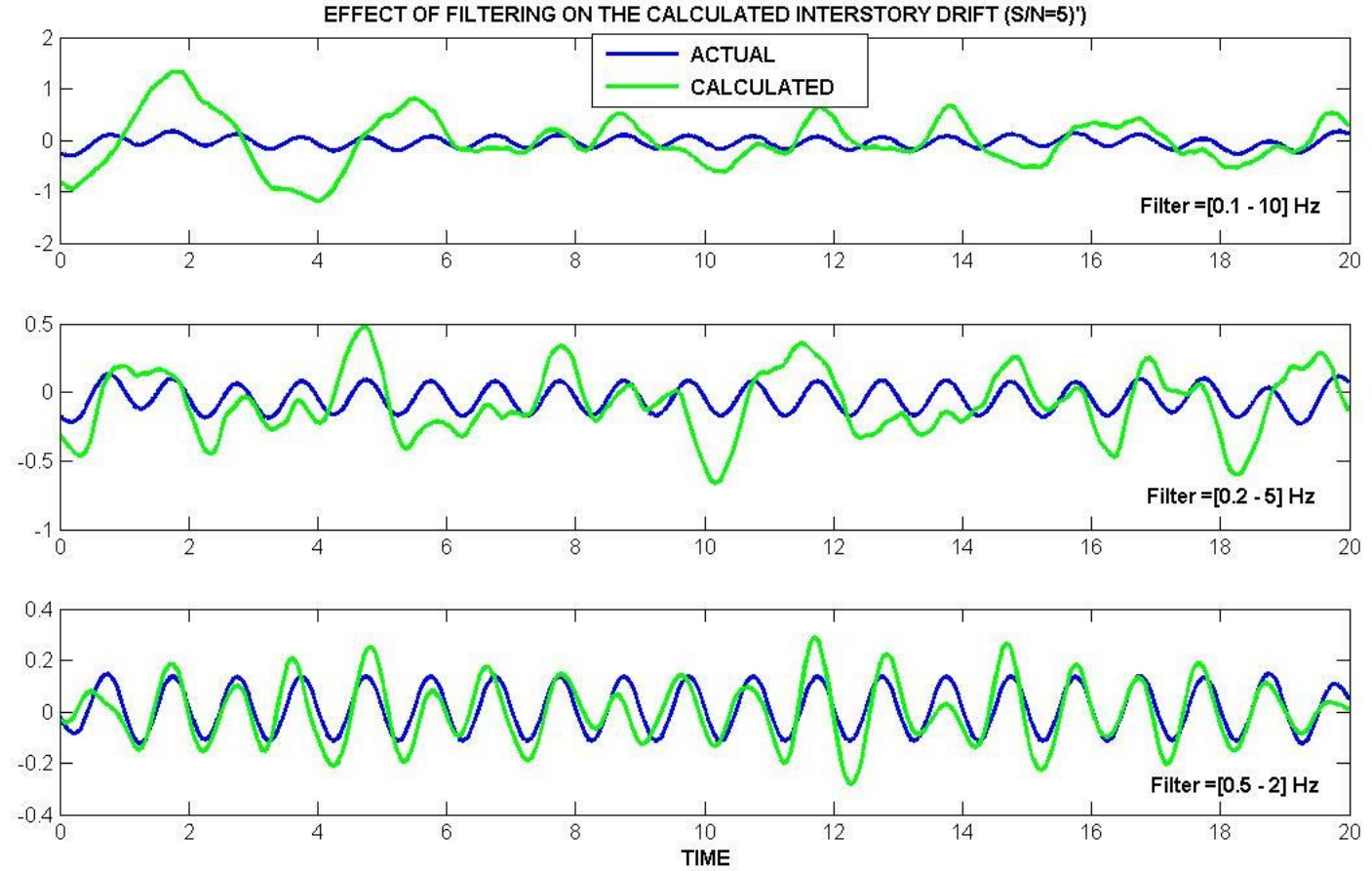


GÜRÜLTÜ SEVİYESİNİN (S/N) DRİFT HESAPLARINA ETKİSİ



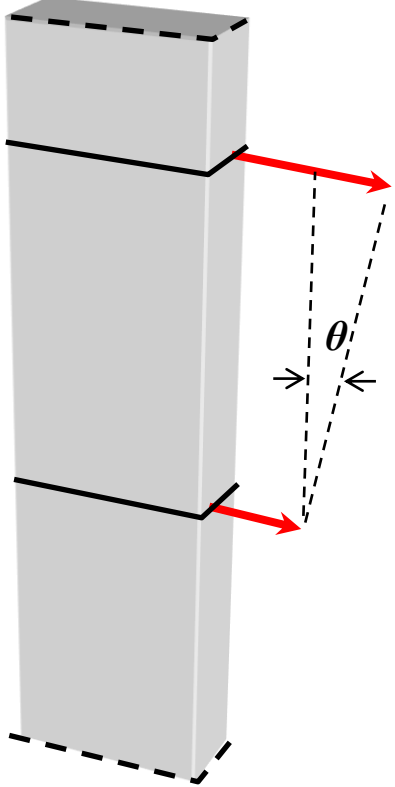


FİLTRELEMENİN DRİFT HESAPLARINA ETKİSİ (S/N=5)





KAT-ARASI ÖTELEMELERİN (INTERSTORY-DRIFT) HESABI



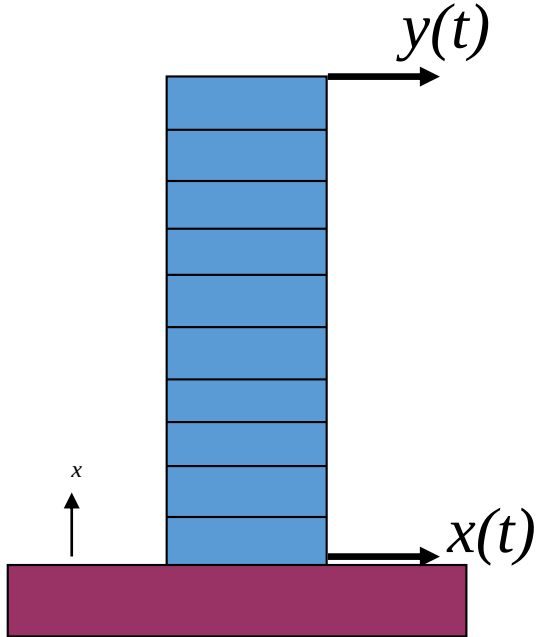
1. İvme kayıtlarını bulunan her modal frekans etrafında filtre et (bi-directional filtre).
2. Her mod için filtre edilmiş ivmeleri iki defa entegre ederek modal deplasmanları bul.
3. Modal kat deplasmanlarının farkını alarak modal interstory-drift leri bul.
4. Modal interstory driftleri toplayarak toplam kat-arası ötelemeleri bul.

Notlar:

- Kayıtların zaman senkronizasyonlu olması gerekir.
- Sensör olmayan katlardaki hareketler kaydedilen katlardakilerden hesaplanabilir.



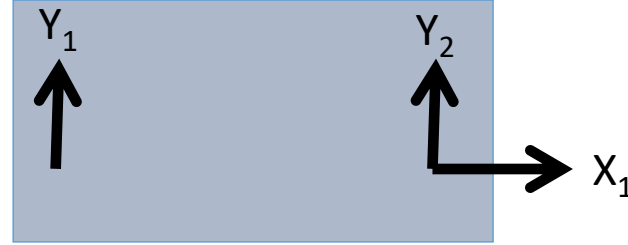
YAPI-ZEMİN ETKİLEŞİMİNİN (SSI) TAYİNİ



- Yapı-Zemin etkileşimi:
 - 1) Binanın hakim frekansını düşürür (periyodunu artırır)
 - 2) Deprem yer hareketindeki yüksek frekansları filtre eder
- $y(t)$ nin Fourier transformu, $Y(f)$, binanın yapı-zemin etkisi dahil hakim frekansını gösterir.
- $y(t)$ ve $x(t)$ nin Fourier transformlarının oranı, $Y(f)/X(f)$, binanın zemin etkisiz (i.e., fixed-base) hakim frekansını gösterir.
- Eğer $Y(f)$ ve $Y(f)/X(f)$ hakim frekansları çakışıyorsa SSI yoktur.



BURULMA HAREKETİNİN BULUNMASI



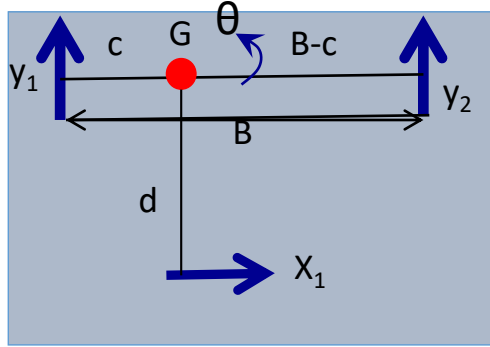
Prosedür:

1. X , Y_1 and Y_2 nun Fourier spektrumlarındaki ortak frekansı bul.
2. Y_1 ve Y_2 ivme kayıtlarını bu frekans etrafında önce filtre sonra iki defa entegre ederek burulma modu bileşenlerini bul.
3. Burulma deplasman time-history'yi Y_1 ve Y_2 deplasmanlarının farkını alarak bul.



BURULMA MERKEZİNİN HESABI

Hypothesis: At G , $|x_1(t) - d \cdot q(t)|$ and $|y_1(t) - c \cdot q(t)|$ are minimum.



$$e_x = \sum_{t=1}^N |x_1(t) - d \cdot q(t)|^2 \rightarrow \frac{de_x}{dd} = 0 \rightarrow 2 \sum_{t=1}^N q(t) \cdot |x_1(t) - d \cdot q(t)| = 0$$

$$e_y = \sum_{t=1}^N |y_1(t) - c \cdot q(t)|^2 \rightarrow \frac{de_y}{dc} = 0 \rightarrow 2 \sum_{t=1}^N q(t) \cdot |y_1(t) - c \cdot q(t)| = 0$$

$$\square \quad c = \frac{\sum_{t=1}^N y_1(t) \cdot q(t)}{\sum_{t=1}^N q^2(t)} ; \quad d = \frac{\sum_{t=1}^N x_1(t) \cdot q(t)}{\sum_{t=1}^N q^2(t)}$$

Prosedür:

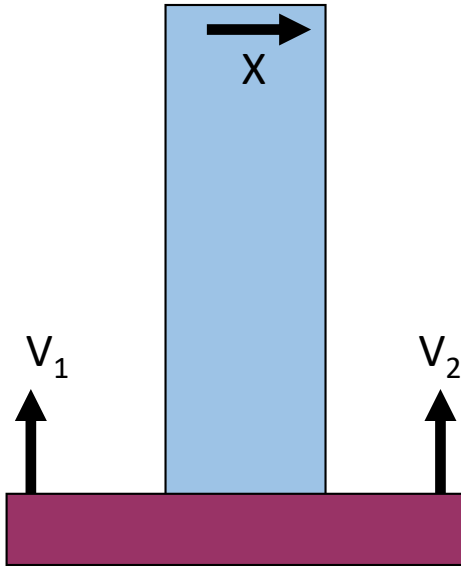
1. İki uçdaki yatay ivme kayıtlarındaki ortak frekansı bul.
2. X_1 , Y_1 ve Y_2 kayıtlarını bulunan frekans etrafında filtre et ve karşı gelen deplasmanları hesapla
3. Dönme merkezini veren c ve d değerlerini yukarıdaki denklemlerden hesapla.



TEMEL DÖNMELERİNİN (ROCKING MOTIONS) HESABI

Prosedür:

1. V_1 , V_2 , ve X in FAS'lerinde ortak frekans ara
2. V_1 and V_2 ivmelerini bulunan frekans etrafında filtre et ve karşı gelen deplasmanları hesapla.
3. Deplasmanların farkını alarak dönme hareketinin zamanla değişimini bul.



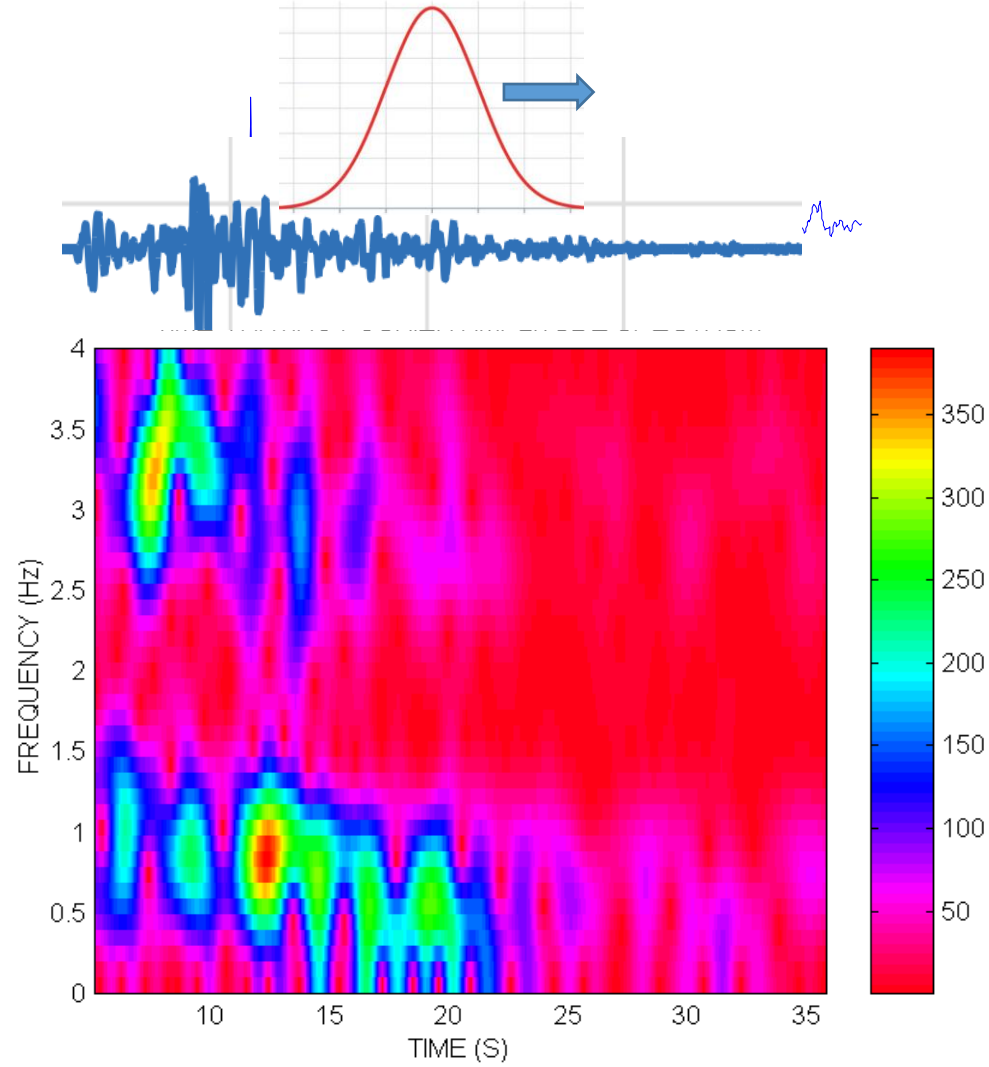


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



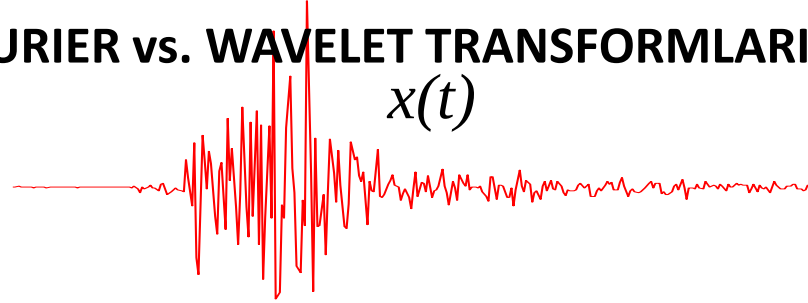
ZAMANLA-DEĞİŞEN FOURIER TRANSFORMLARI (SPECTROGRAM)



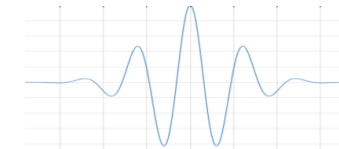
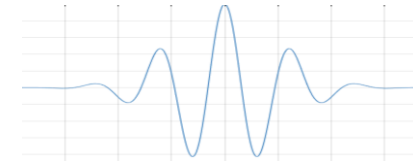
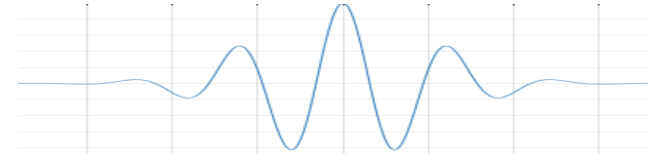
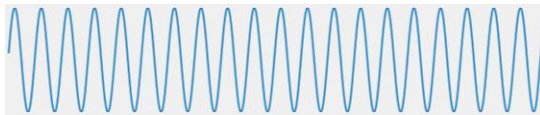
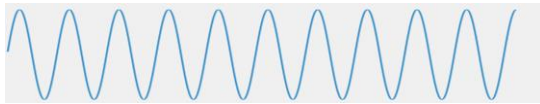
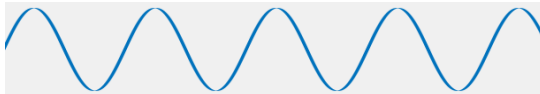


FOURIER vs. WAVELET TRANSFORMLARI

$x(t)$



$\Psi(0,0,t)$ – Base function



$$F(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) e^{-i\omega t} dt$$

$$C(s, p) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t) \Psi(s, p, t) dt$$



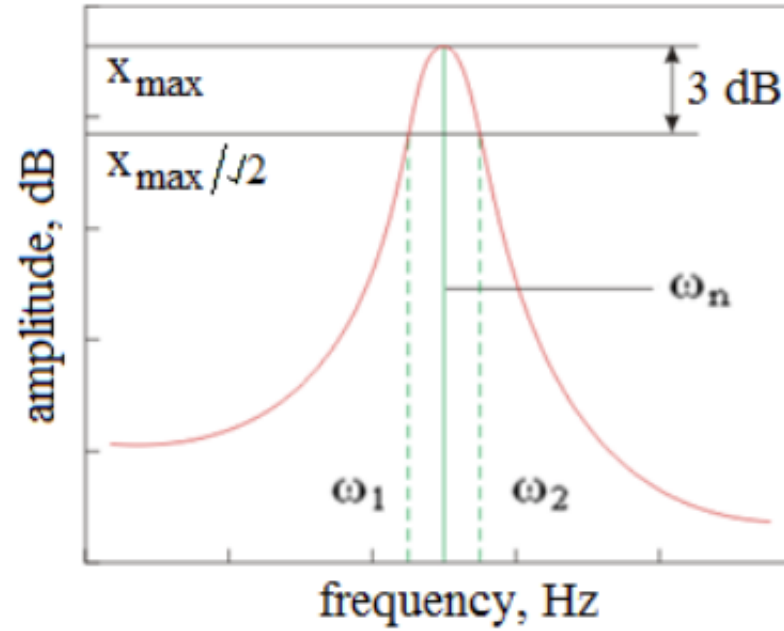
1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



MODAL SÖNÜM ORANLARININ HALF-POWER BANDWIDTH METODUYLA HESAPLANMASI

Not: Band-pass filtrelerle hesaplanmış modal deplasmanların FAS lerini kulan.



Modal damping ratio: $\chi = \frac{\omega_2 - \omega_1}{2\omega_n}$

Friction damping factor (i.e., *Quality factor*): $Q = \frac{1}{2\chi}$



MODAL SÖNÜM HESABI USING PSD: HALF-POWER BANDWIDTH METODU

Düşük genlikli ve gürültüsü fazla kayıtlarda orjinal kaydın Fourier transformu yerine kaydın auto-correlation'ının Fouier transformunu (Power Spectral Density) kullanılmalıdır.

Auto correlation function:
$$R(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N x(t) \cdot x(t-\tau)$$

Power spectral density function:
$$S(f) = \sum_{k=0}^{N-1} R(\tau_k) \cdot e^{-i2\pi f \cdot \tau_k}$$



GELİŞİGÜZEL TİTREŞİM KAYITLARINDAN MODAL SÖNÜM HESABI (AUTOCORRELATION FUNCTION'I KULLANARAK)

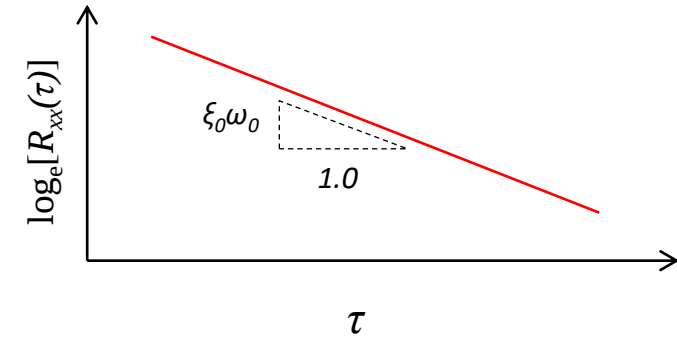
$$\ddot{x}(t) + 2\zeta_0\omega_0\dot{x}(t) + \omega_0^2x(t) = w(t); \quad w(t) = N(0, s)$$

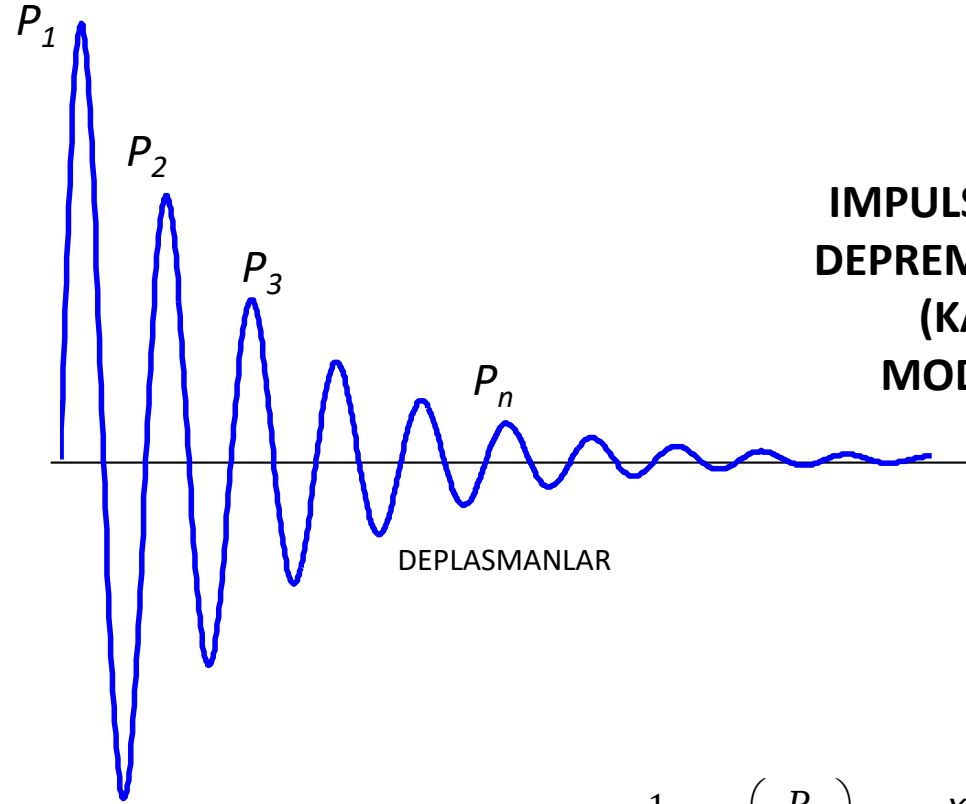
$$x(t) = \int_{s=0}^t w(t-s) \cdot h(s) \cdot ds$$

$$h(s) = \frac{1}{m\omega_d} \cdot e^{-\zeta_0\omega_0 s} \cdot \sin(\omega_d s); \quad \text{with} \quad \omega_d = \omega_0 \sqrt{1 - \zeta^2}$$

$$R_{xx}(t) = \frac{1}{N-t} \cdot \sum_{t=t+1}^N x(t) \cdot x(t-t) \rightarrow R_{xx}(t) \approx C \cdot e^{-\zeta_0\omega_0 t}$$

$$\log_e[R_{xx}(t)] = -\zeta_0\omega_0 t + \log_e(C) \rightarrow \text{Straight Line in Semi-Log plot with slope} = -\zeta_0\omega_0$$





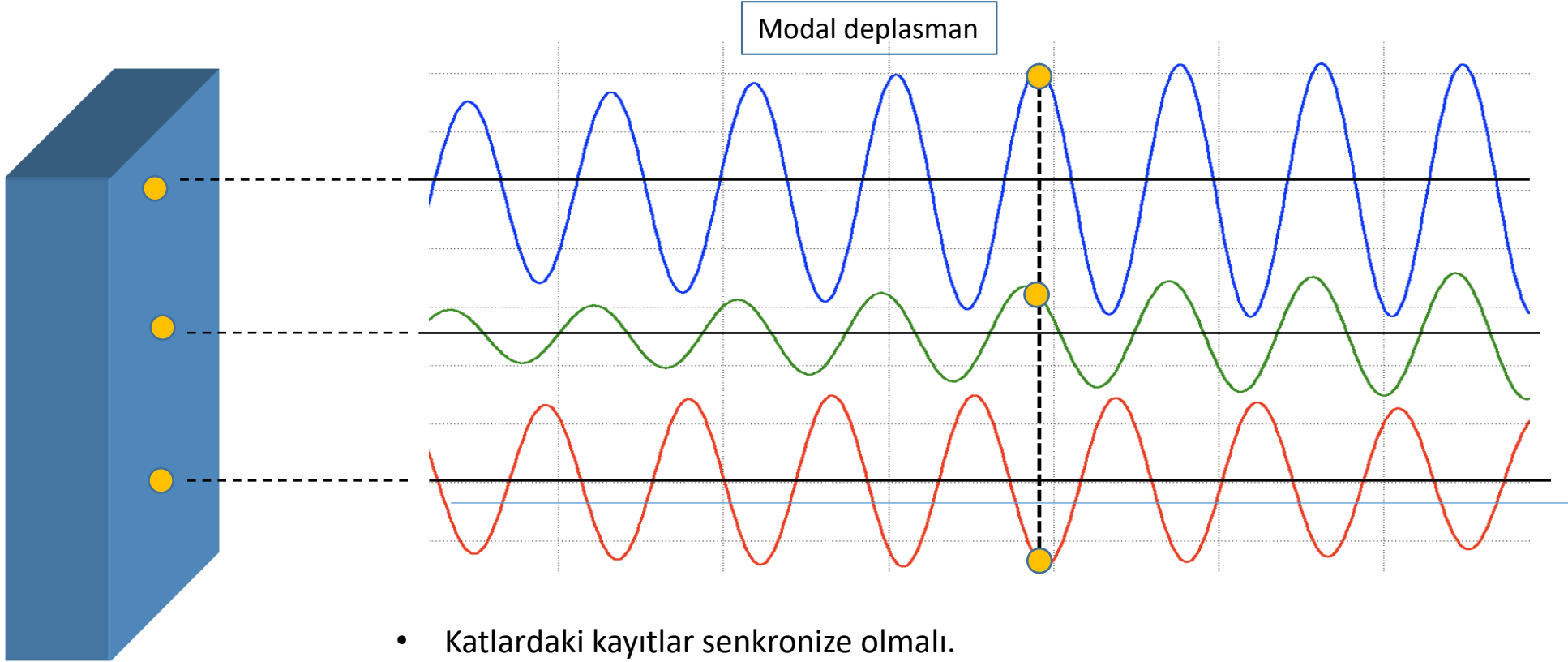
IMPULSE-RESPONSE KAYITLARI VEYA
DEPREM KAYITLARI SERBEST-TİTREŞİM
(KAYIT SONU) BÖLGESİNDEN
MODAL SÖNÜM ORANI HESABI

By using two successive positive (or negative) peaks: $\frac{1}{2\rho} \cdot \ln_e \left(\frac{P_k}{P_{k+1}} \right) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \approx x$ (for low values of x)

By using two n -cycle-apart positive (or negative) peaks: $\frac{1}{2\rho n} \cdot \ln_e \left(\frac{P_k}{P_{k+n}} \right) = \frac{x}{\sqrt{1-x^2}} \approx x$



MODE ŞEKİLLERİ VE ORANTILI SÖNÜM TESTİ



- Katlardaki kayıtlar senkronize olmalı.
- Modal deplasmanlar faz değişimini önlemek için iki-yönlü band-pass filtreler kullanarak bulunmalı.
- Eğer modal deplasmanların pikleri aynı zamanda değilse bu orantılı sönüm olmadığını ve klasik anlamda modlar olmadığını gösterir.

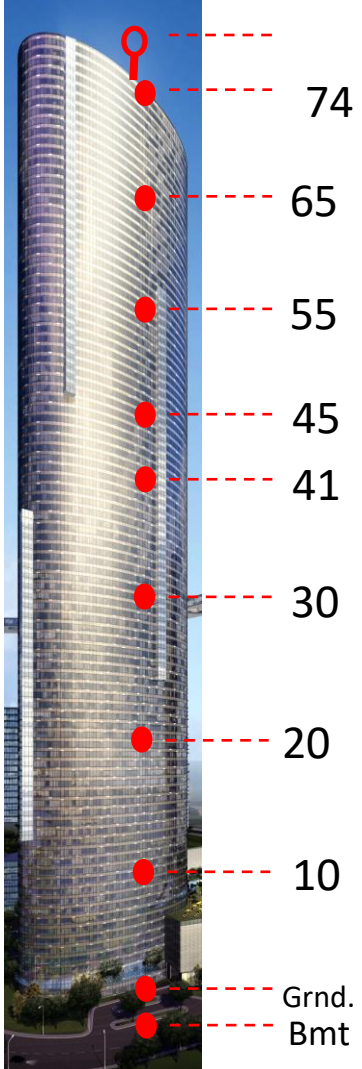


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

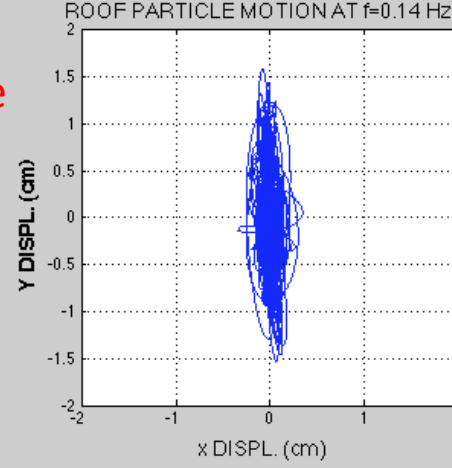
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



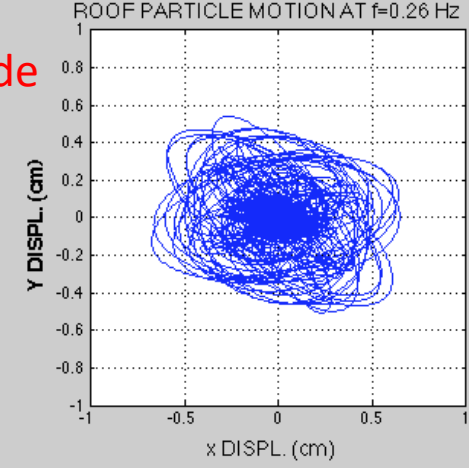
ROOF MODAL PARTICLE DEPLASMANLARINI KULLANARAK MODE ŞEKİLLERİNİN TAYİNİ



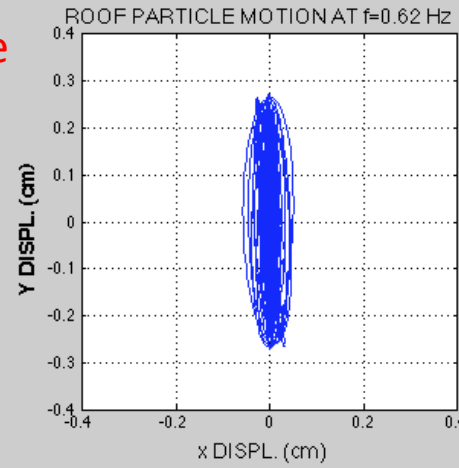
1st mode



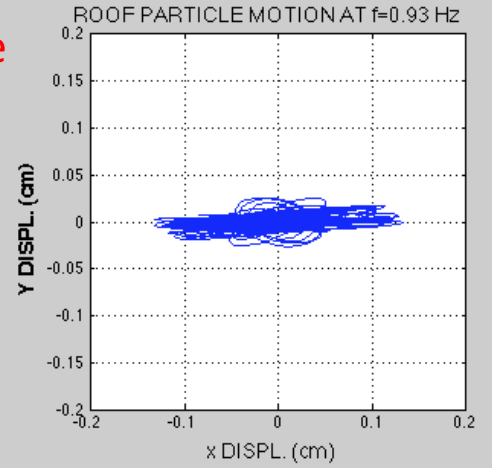
2nd mode



3rd mode



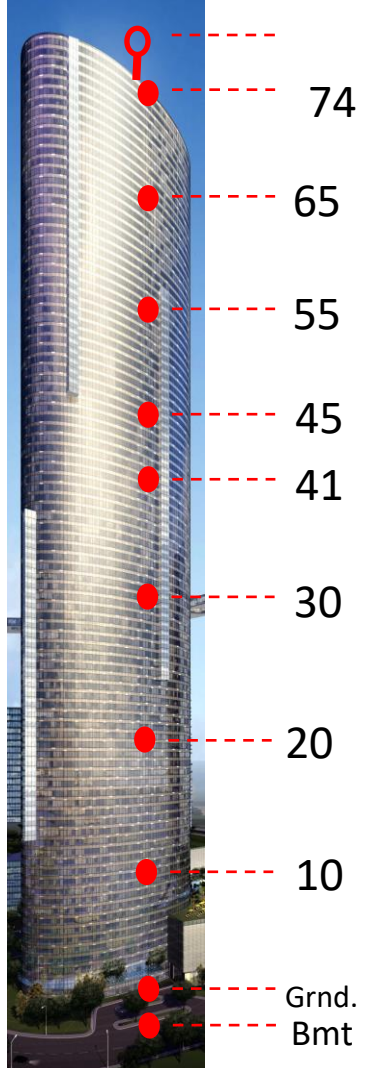
4th mode



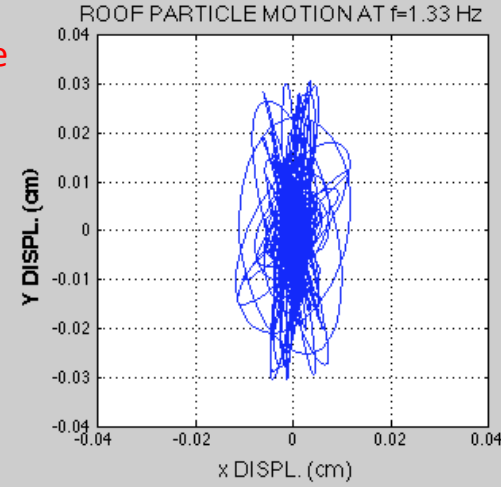


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

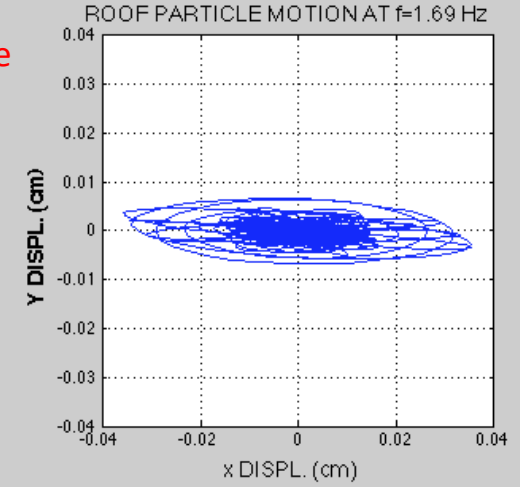
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



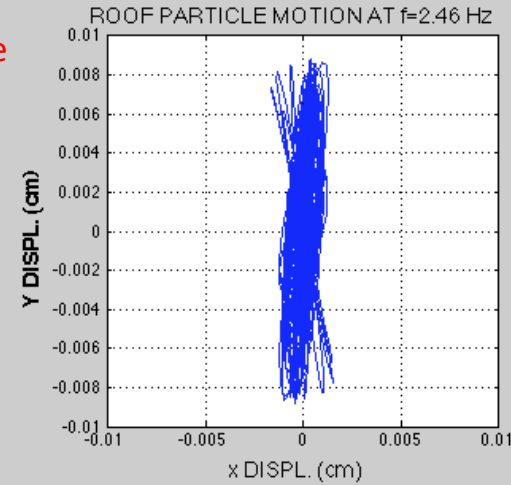
5th mode



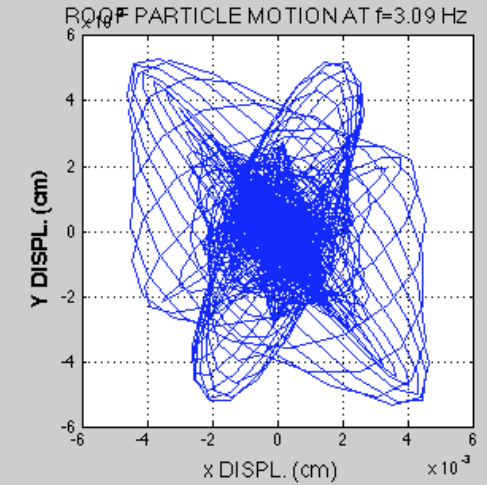
6th mode



7th mode



8th mode





1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

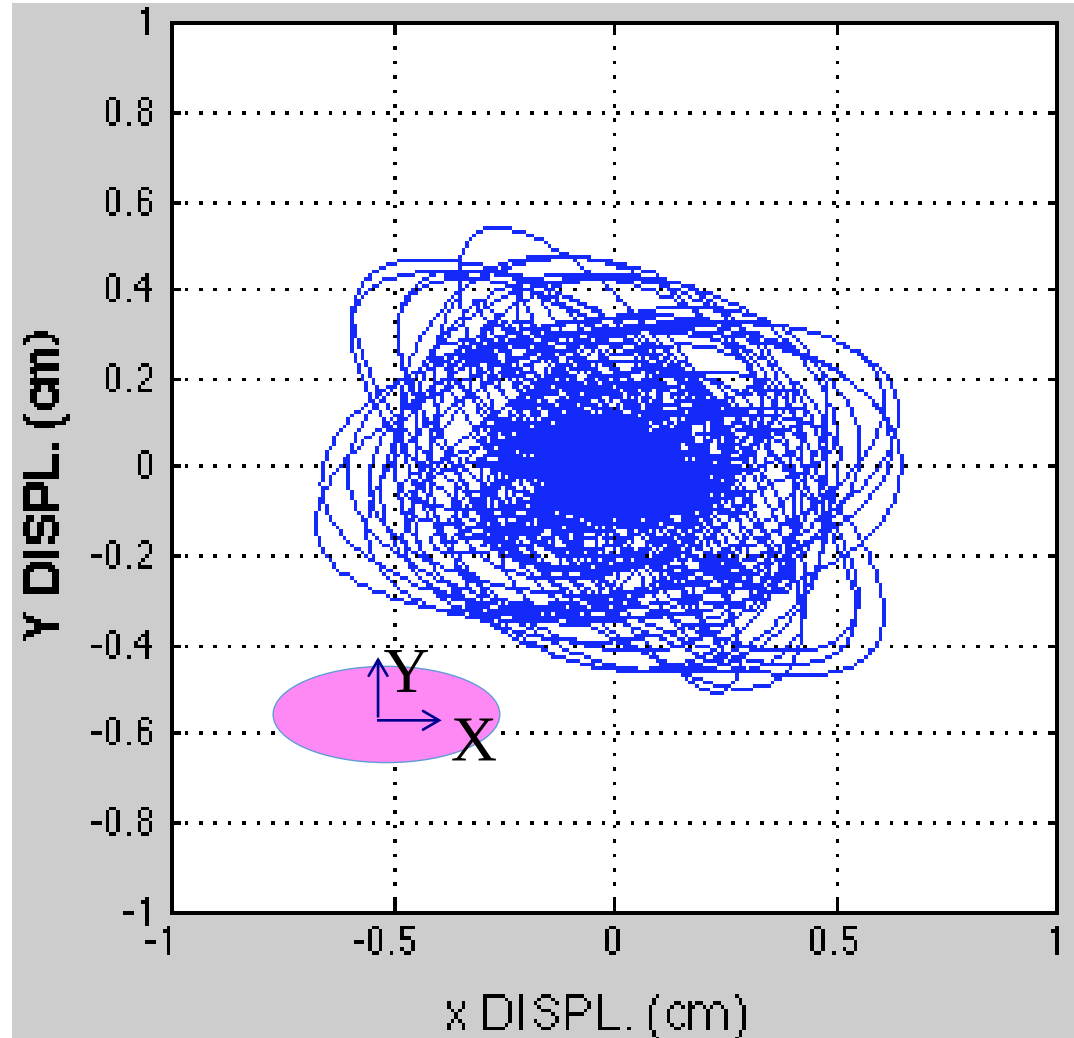
TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



ACİL MÜDAHALE VE ERKEN UYARI SİSTEMLERİ

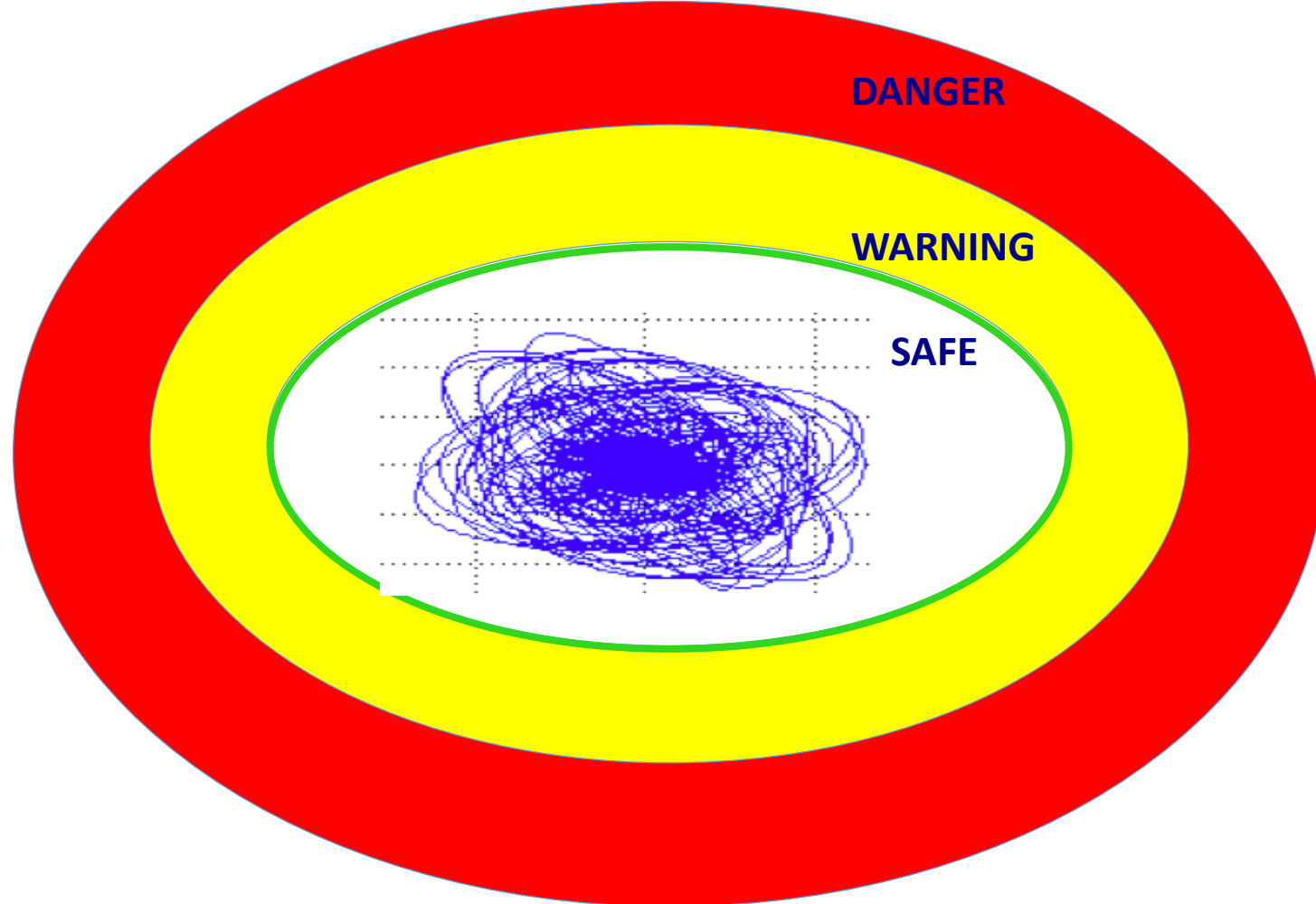


ÇATI-KATI MERKEZ DEPLASMANLARI (Particle Motions)





ÇATI DEPLASMANLARINI KULLANARAK YAPI GÜVENLİĞİ TAYİNİ





1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



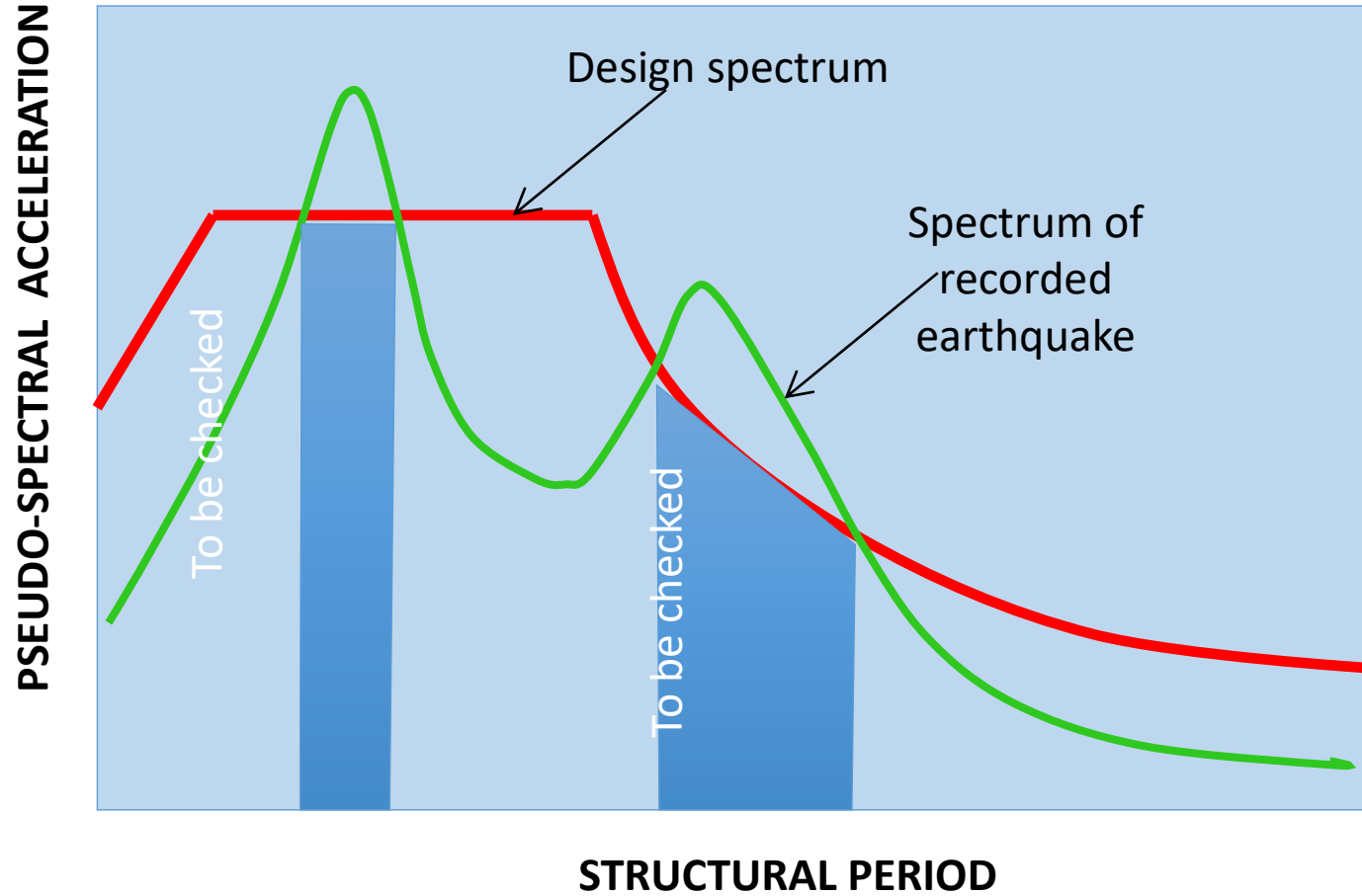
ENDÜSTRİYEL PLANTLAR İÇİN YAPISAL GÜVENLİK



YER İSTASYONU

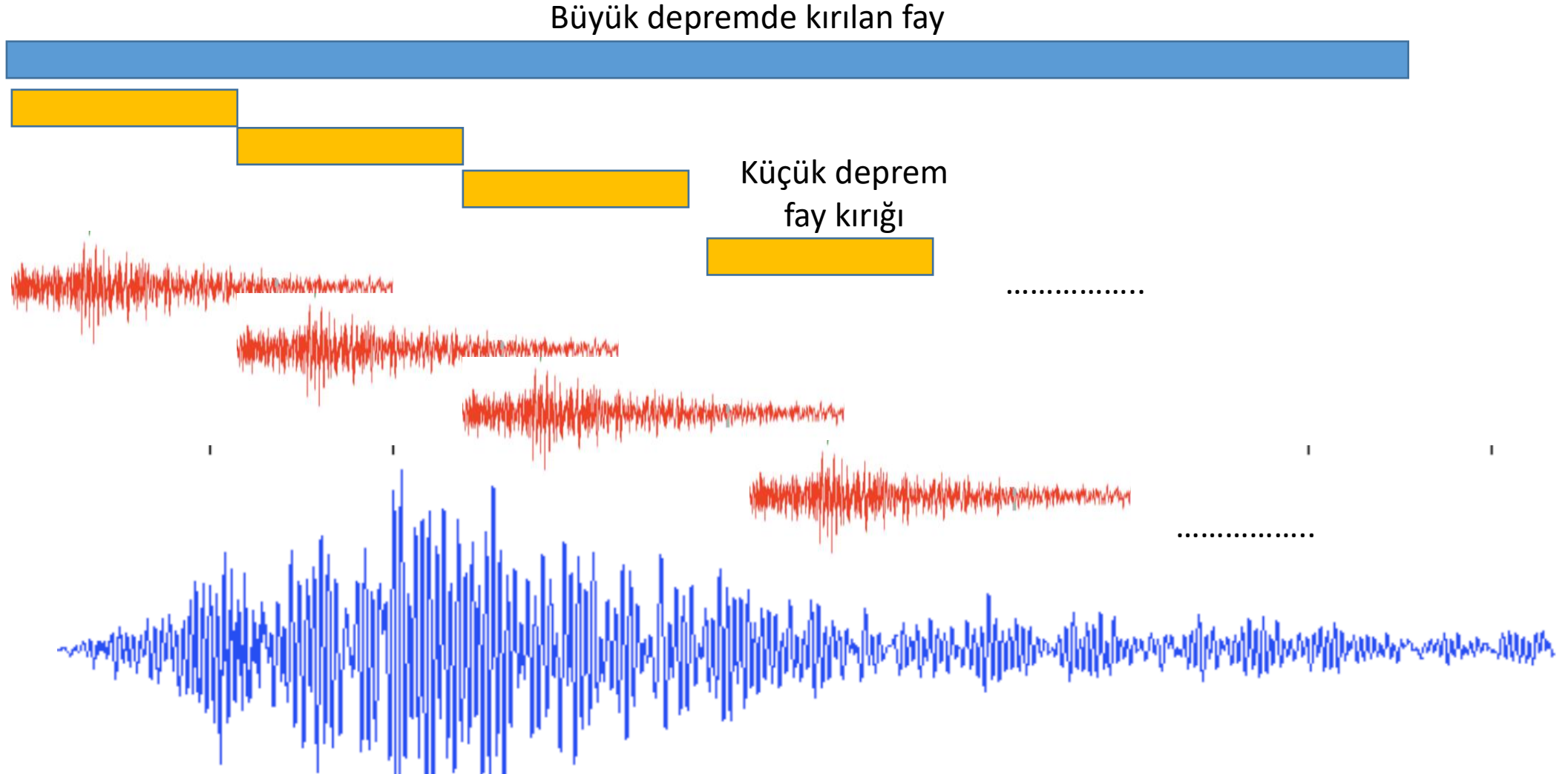


TEPKİ SPEKTRUMU (RESPONSE SPECTRUM)





KÜÇÜK DEPREM KAYITLARININ PRATİKTE KULLANIMI





GELİŞİGÜZEL TİTREŞİM VE KÜÇÜK DEPREM KAYITLARININ PRATİKTE KULLANIMI

- Binanın değişik büyüklükteki depremlerde ölçülen davranış parametreleri (örneğin tepe deplasmanı) ile depremin uzaklığı ve büyüklüğü arasındaki korelasyonları bul ve daha büyük depremler için extrapolasyon yap.
- Binanın lineer modelini 10-15 dakikalık gelişigüzel titreşim kayıtlarından bulunan dinamik parametrelerle (periyot, mod şekli, sönüm gibi) uyumlu olacak şekilde kalibre et; nonlinear davranışı ve hasarı kalibre edilmiş linner modeli başlangıç olarak alarak analitik yöntemlerle bul (data portatif aletlerle de alınabilir).

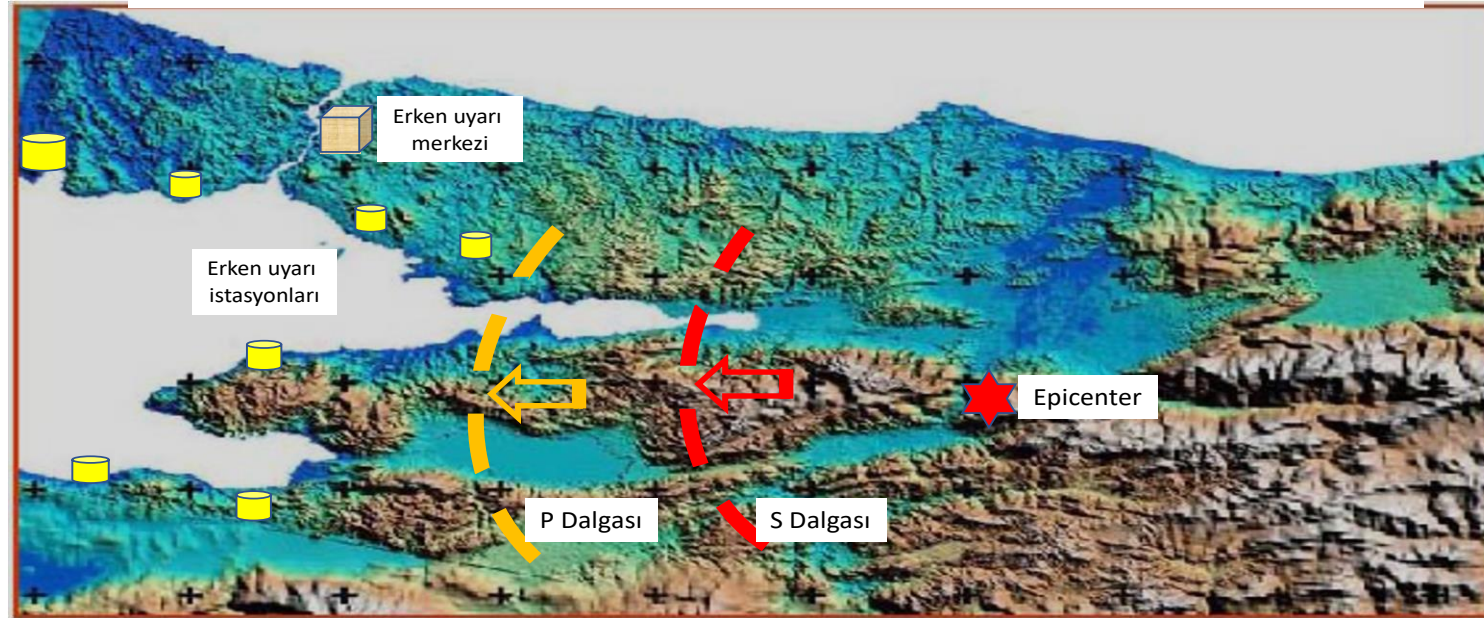
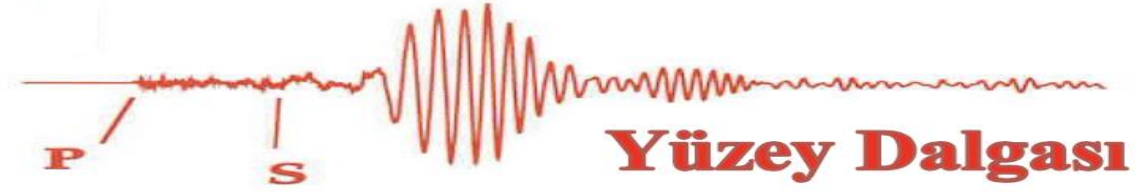


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



İSTANBUL İÇİN ERKEN UYARI SİSTEMİ



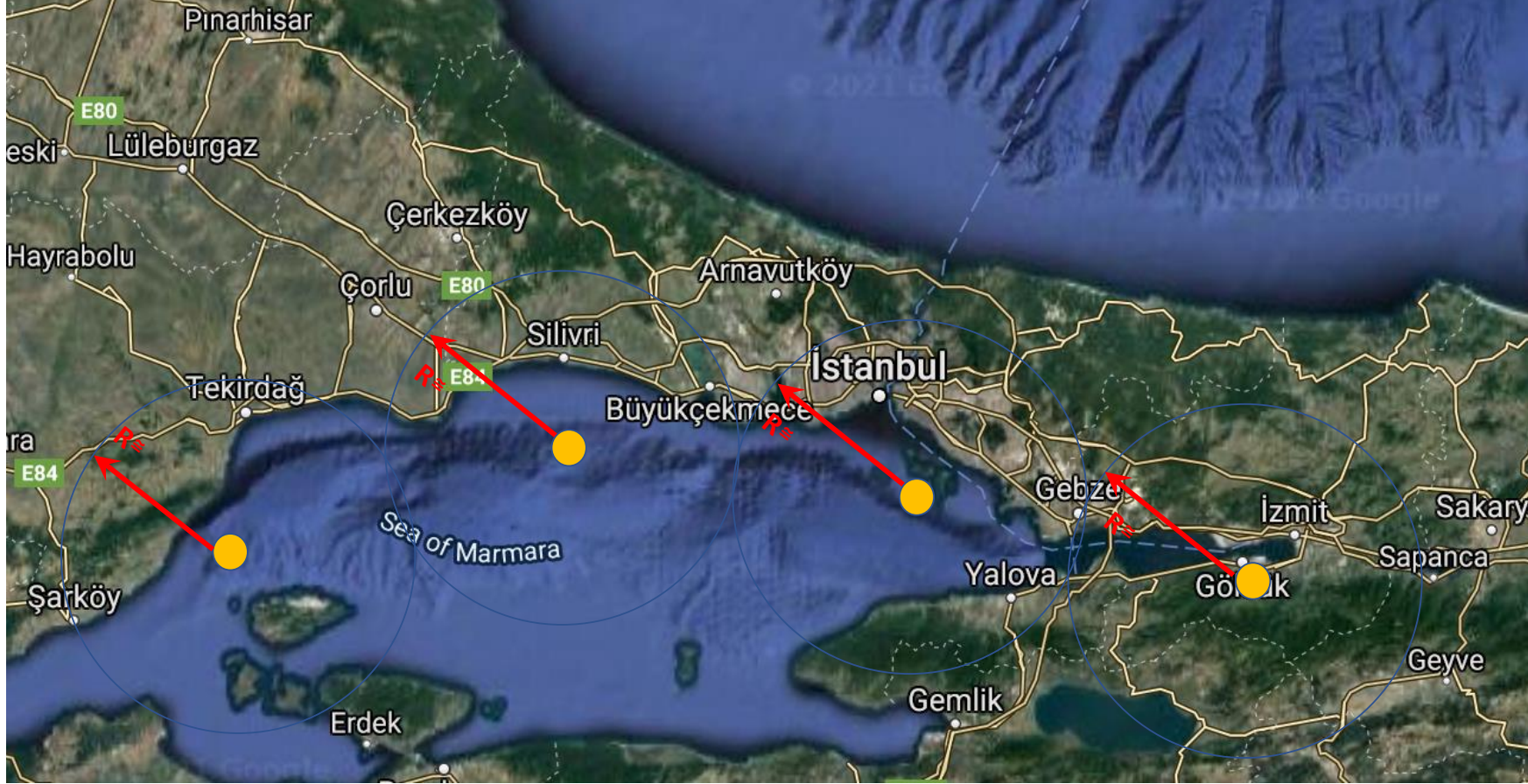


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



ERKEN UYARI SİSTEMİNDE ÖLÜ BÖLGELER

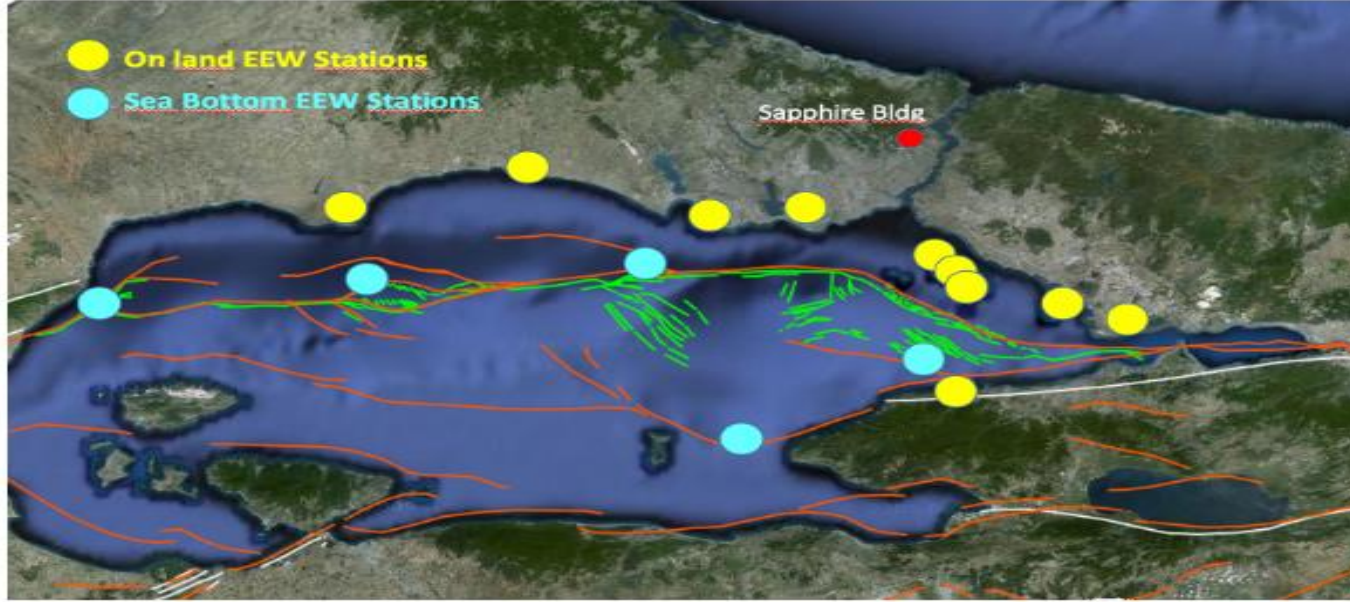


Marmara Bölgesi'nde, İzmit, İstanbul, Silivri ve Tekirdağ açıklarında olabilecek dört deprem için kör bölgeler



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



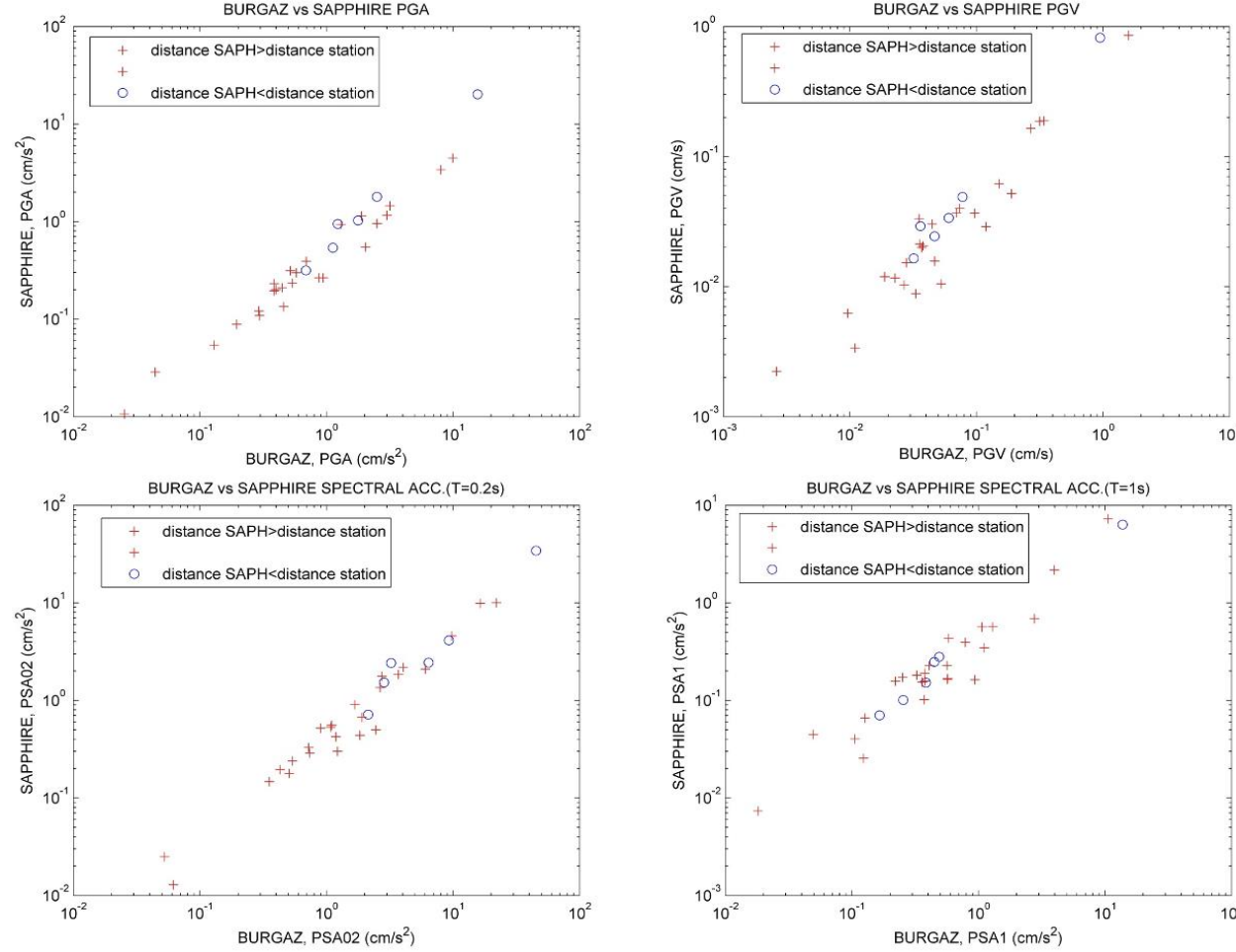
SAFİR BİNASI İÇİN ERKEN UYARI ALGORİTMASI ADIMLARI:

1. 35 deprem kaydını kullanarak her bir erken uyarı istasyonu için ölçülen yer hareketi parametreleri ile Safir davranışının kritik parametreleri arasındaki korelasyonları bul (tepe deplasmanı, kat-arası öteleme, taban kesme kuvveti gibi).
2. Safir davranış parametreleri için tasarımda kabul edilen eşik değerlerine ulaşmak için her bir erken uyarı istasyonunda ölçülmesi gereken yer hareketi parametrelerini bul.
3. Erken uyarı istasyonlarının herhangi birinde bu değere ulaşıldığında binaya uyarı gönder.



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI

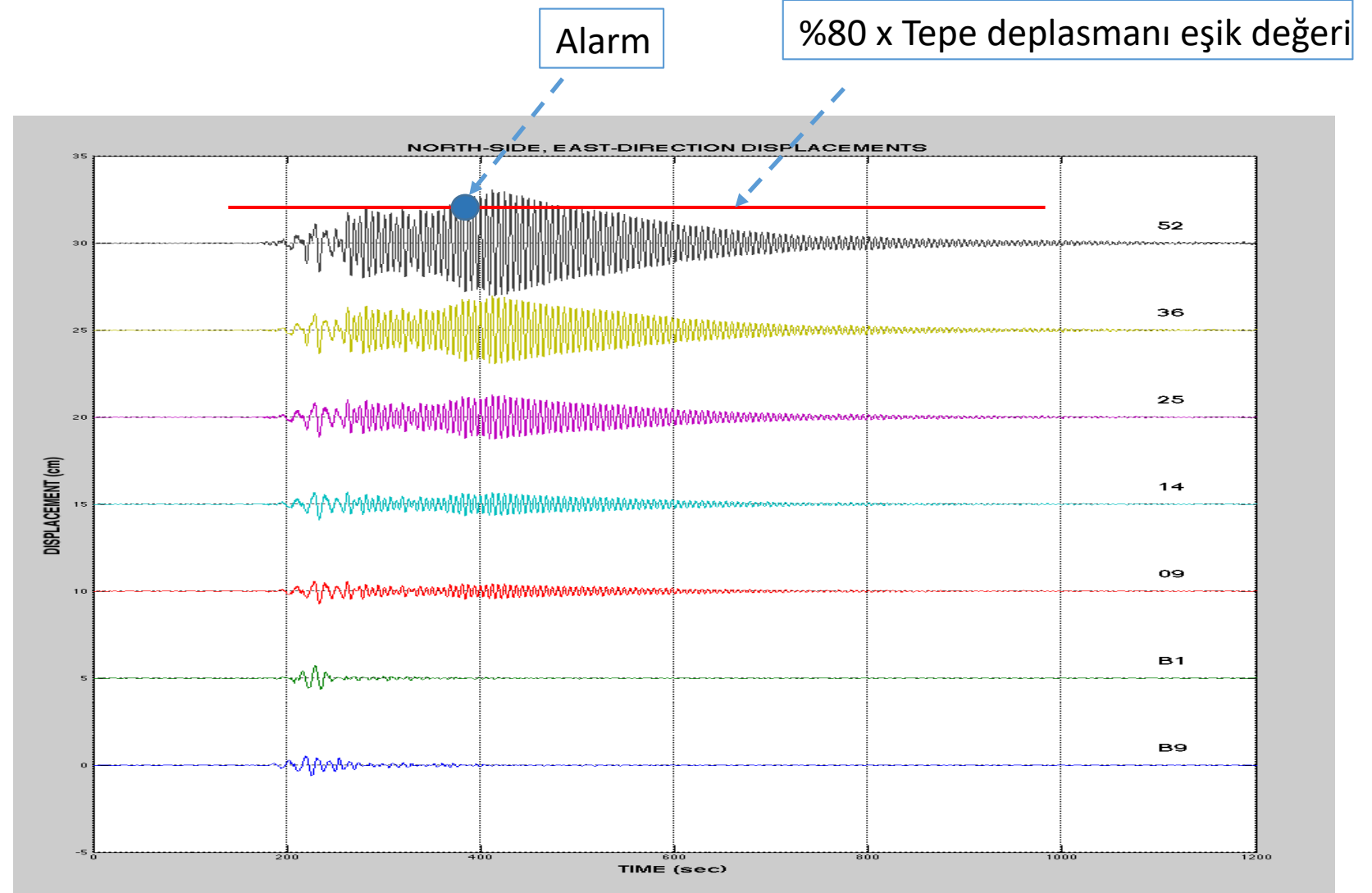


Burgaz erken uyarı istasyonu ile Safir tabanı yer hareketlerinin korelasyonu (from K. Şeşetyan)



1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



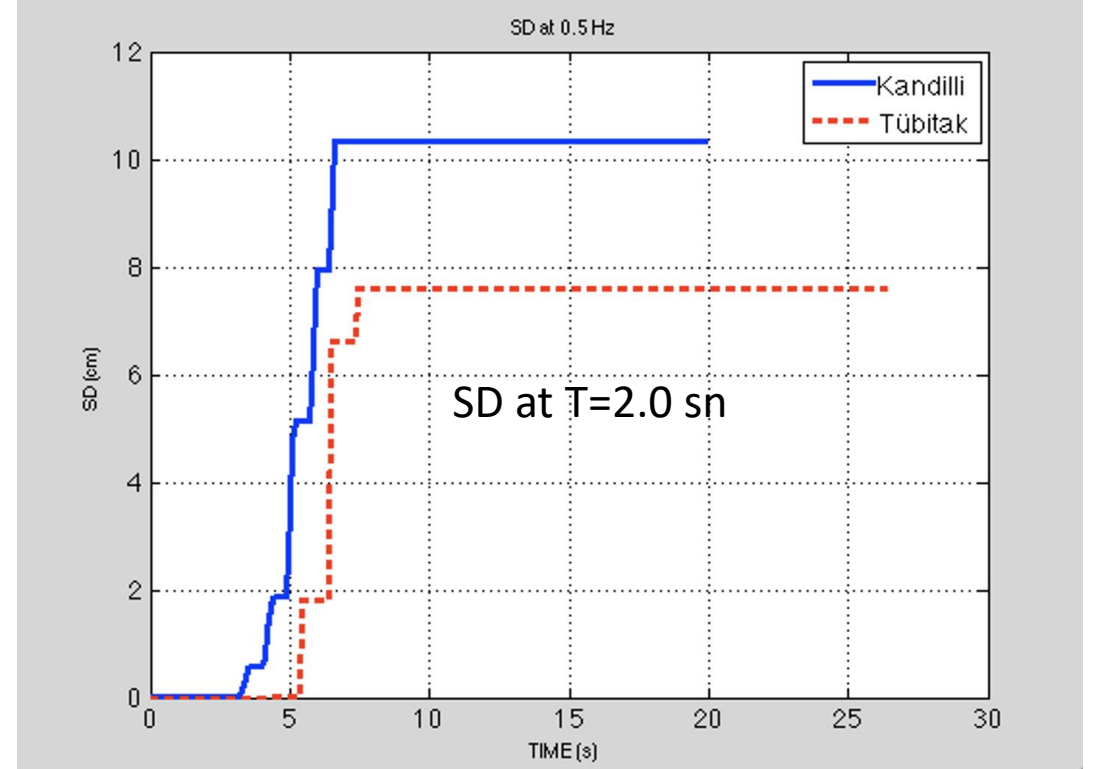
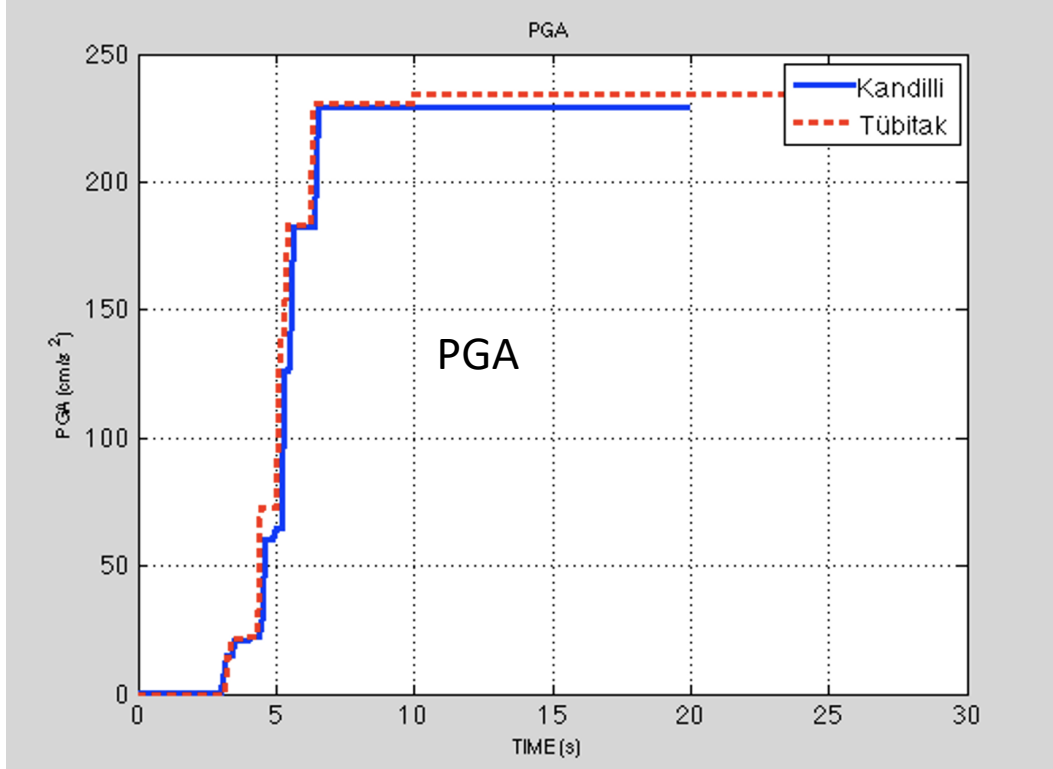
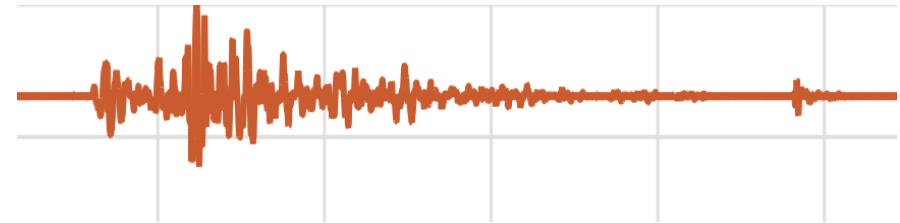
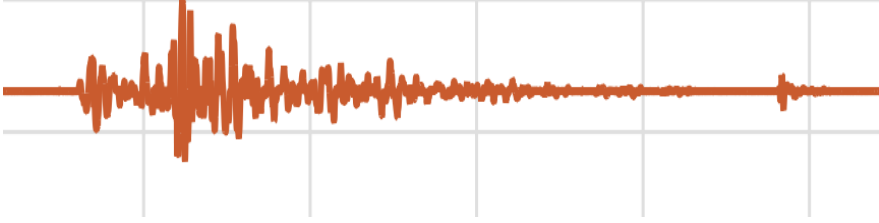


1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU 04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



YER HAREKETİ PARAMETRELERİNİN GERÇEK ZAMANLI HESAPLANMASI





1. YÜKSEK YAPILAR SEMPOZYUMU
04 – 05 MAYIS 2023 İSTANBUL

TMMOB
İNŞAAT MÜHENDİSLERİ ODASI



TEŞEKKÜRLER