

ORTAK YALITIM DÜZLEMİNDE BULUNAN SİSMİK YALITIMLI İKİ BAĞIMSIZ YAPININ KAPSAMLI PARAMETRİK İNCELENMESİ

Mücahit BEKİN



07.06.2018

- 1 GİRİŞ
- 2 TEORİK ALTYAPI
- 3 PARAMETRİK İNCELEME
- 4 SONUÇLAR

1

GİRİŞ

- Sismik Yalıtım
- Sismik Yalıtımlı Yapı Tasarım Yöntemleri
- Sismik Yalıtımlı Yapı Düzenlemesi
- Literatür Özeti
- Problemin Tanımı ve Çalışmanın Amacı
- Çalışmanın Kapsamı

2

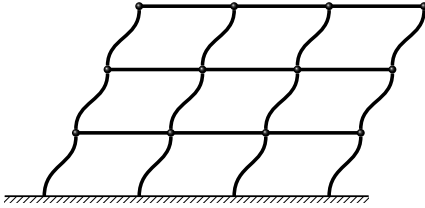
TEORİK ALTYAPI

3

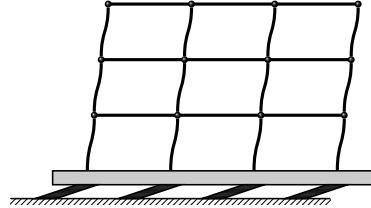
PARAMETRİK İNCELEME

4

SONUÇLAR



Konvansiyonel Yapı



Sismik Yalıtımlı Yapı



Japonya, Çin, Rusya, İtalya ve ABD başta olmak üzere 30 dan fazla ülkede 23.000'i aşkın bina, sismik izolasyon ve sönümleyiciler ile korunmaktadır (Martelli ve diğ, 2014)



Tan Tzu Sağlık Merkezi (Tayvan)

İzolatör Tipleri

Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör Robinson ve Tucker (1977).

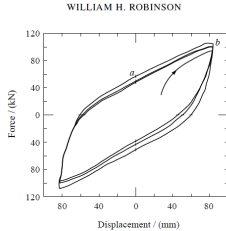
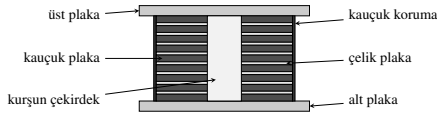
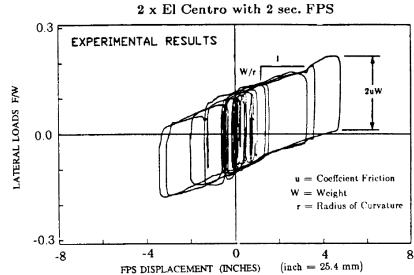
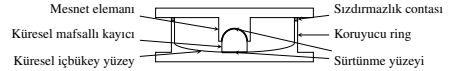
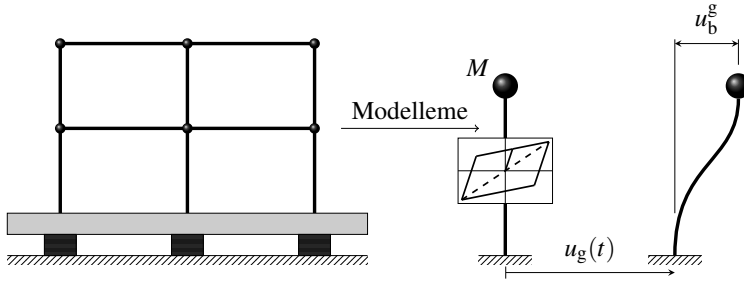


Figure 4. Force-displacement hysteresis loops for Waiotukupuna bearing with a vertical

Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Zayas ve diğ. (1990).



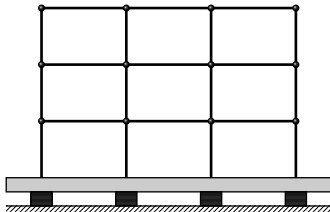
Eşdeğer Doğrusal Statik Analiz



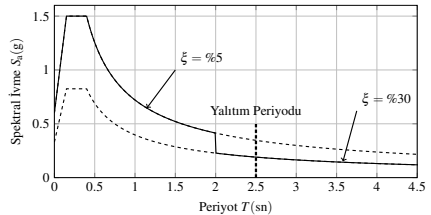
- Yapı, tek serbestlik dereceli sistem olarak modellenir.
- Yalıtım birimlerinin eşdeğer doğrusal özellikleri kullanılır.
- Burada ana amaç yalıtım birimi yer değiştirmesi, kesme kuvveti ve eksenel kuvvetlerin bulunmasıdır.
- Yalıtım birimi tasarımında, üst yapı ön tasarımında kullanılır.

Mod Birleştirme Yöntemi

3 Boyutlu Sonlu Elemanlar Modeli



Kompozit Spektrum



- Yapı, çok serbestlik dereceli sistem olarak modellenir.
- Yalıtım birimlerinin eşdeğer doğrusal özellikleri kullanılır.
- Üst yapı tasarımı ve yalıtım birimlerinin tasarımının teyidi için kullanılır.
- Yalıtım birimi ve üst yapı modları için spektral ivmeler bulunur.
- Kompozit tasarım spektrumu kullanılır.

Bağımsız Yalıtımlı Yapı Düzenlemesi

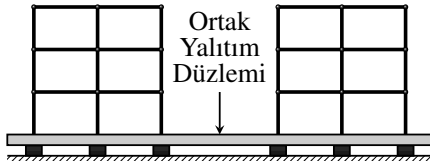
Bağımsız yalıtım düzleminde bulunan sistemler tipik izolatörlü yapı düzenidir.



- Örnek ⇨ Hastaneler, veri merkezleri, terminaller, konut yapıları.
- Yönetmelikler bu tip yapılar için hazırlanmıştır.

Ortak Yalıtımlı Yapı Düzenlemesi

- Bağımsız yalıtım düzleminde mimari detaylar karmaşık ve pahalıdır.
- Ortak yalıtım düzlemi pratikte uygulanan bir çözüm yöntemidir.



- Örnek ⇨ Türkiye'de son yıllarda yapılan hastane kampüsleri, Japonya ve İtalya'da bazı konut projeleri.
- **Bu tip yapılar için yönetmeliklerde bir bölüm bulunmamaktadır.**
- **Uygulamada her bir yapı bağımsız olarak tasarlanmaktadır.**
- **Üst yapıların dinamik etkileşimi göz ardı edilmektedir.**

Tsopelas ve diğ. (1994)

Part III binasının bağımsız ve ortak yalıtım düzleminde bulunma durumları karşılaştırılmıştır.

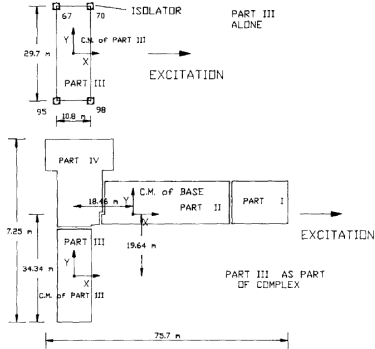


Fig. 5. Layout of isolated hospital complex.

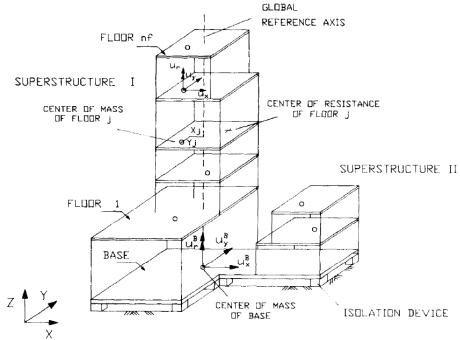
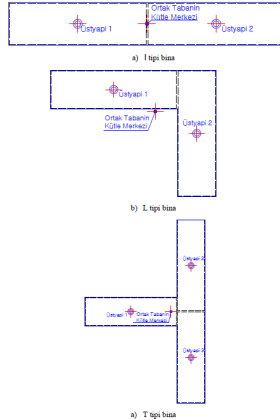


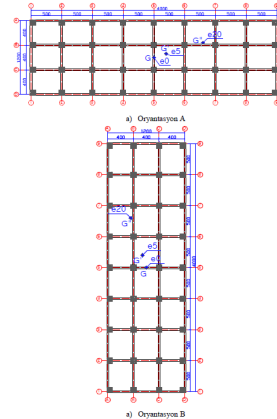
Fig. 1. Multiple building base-isolated structure.

Selek (2013)

Üç ve altı katlı iki yapı I, L ve T yapı düzenleri için %0, %5 ve %20 eksantrisite değerleri için üç farklı ivme kaydı altında incelenmiştir.



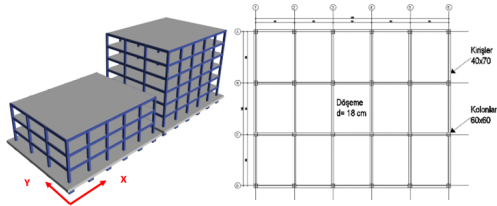
Şekil 3.10: I - L - T tipi binaların plandaki geometrik yerleşimi



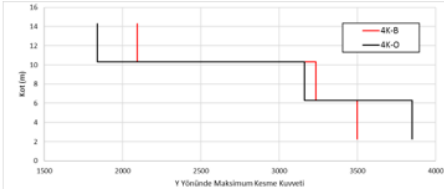
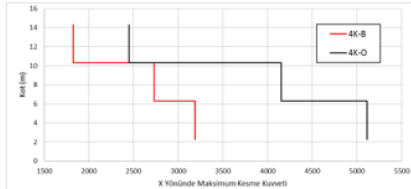
Şekil 3.9: Oryantasyon A ve Oryantasyon B için eksantrisite durumları

Güler ve diğ. (2017)

Ortak yalıtım düzleminde bulunan dört ve yedi katlı iki yapı bağımsız yalıtım düzleminde bulunmaları durumuna göre karşılaştırılmıştır.



Şekil 3. Ortak Yalıtım Düzlemine Sahip Yapılar için Analiz Modeli ve Tipik Kat Planı



Problemin Tanımı:

Ortak yalıtım düzleminde bulunan yapılar yönetmeliklerin kapsamı dışındadır. Bu sebeple uygulamada her bir yapının bağımsız yalıtım düzleminde bulunduğu varsayımı ile tasarım yapılmaktadır. Ancak üst yapı dinamik etkileşimi ihmal edilmektedir.

Çalışmanın Amacı:

Ortak yalıtım düzleminde bulunan iki yapı için kapsamlı parametrik inceleme yapılarak üst yapıların dinamik etkileşimi sebebiyle oluşan taban kesme kuvvetlerindeki amplifikasyonun irdelenmesi.

Kapsam

- Ortak yalıtım düzleminde bulunan iki yapı için kapsamlı parametrik inceleme yapılmıştır.
- Analizler, tez kapsamında geliştirilen MATLAB programı ile yapılmıştır.
- İncelenen yapılar, toplu kütleli ve elastik kayma çerçevesi kabulü kullanılan çok serbestlik dereceli sistemlerden oluşmaktadır.
- İzolatörler, çift doğrusal elemanlar kullanılarak modellenmiştir.
- Yapı katlarının kütle ve rijitlik değerleri tüm analizler için sabittir.
- İki yapıli parametrik inceleme için iki yapının da birden ona kadar değışen farklı kat sayıları için analizler yapılmıştır.
- Yalıtım birimi 1.5, 2.5 ve 4.0sn eşdeğer periyot ve %10, %20, %30 eşdeğer sönüm oranı için analizler tekrarlanmıştır.
- Analizler yapıların birlikte bulunduğu doğrultu için yapılmış olup, diğey yöndeki etkiler ve izolatörlerin iki yönlü etkileşimleri kapsam dışıdır.

1 GİRİŞ

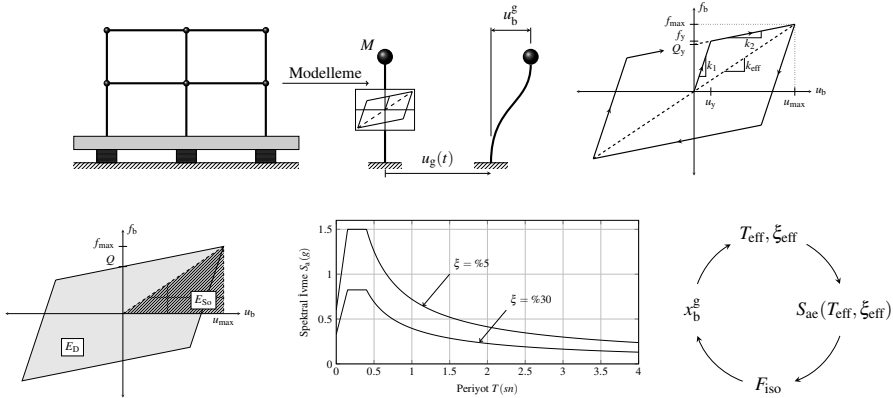
2 TEORİK ALTYAPI

- Eşdeğer Statik Yöntem
- Sismik Yalıtımlı Tek Yapıların Hareket Denklemleri
- Ortak Yalıtım Düzlemindeki Yapıların Hareket Denklemleri
- Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemleri
 - Newmark- β Yöntemi
 - Çift-Doğrusal Eleman
 - Newton-Raphson Yöntemi

3 PARAMETRİK İNCELEME

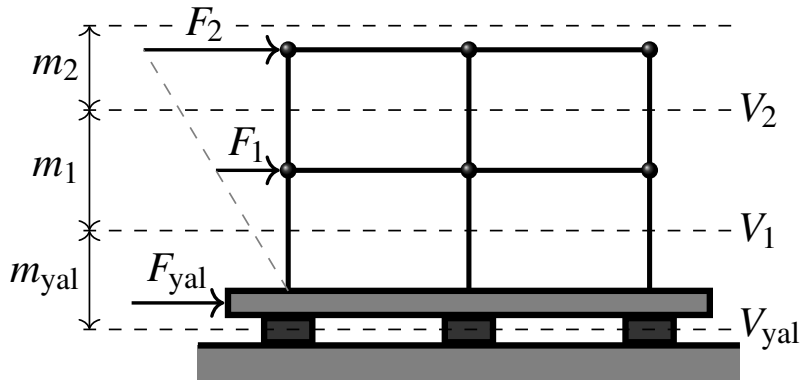
4 SONUÇLAR

Eşdeğer Statik Yöntem

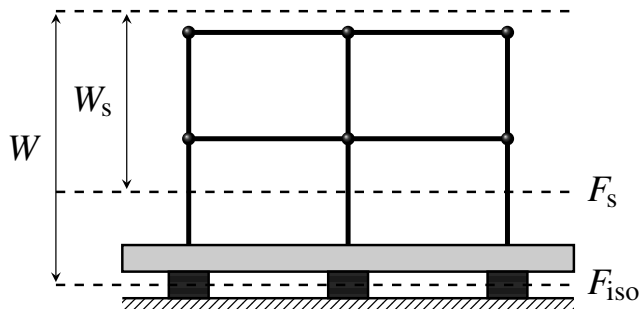


$$\xi_{eff} = \frac{1}{4\pi} \frac{E_D}{E_{So}} \quad T_{eff} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_{eff}}}$$

Eşdeğer Statik Yöntem - Üst Yapıya Dağılım

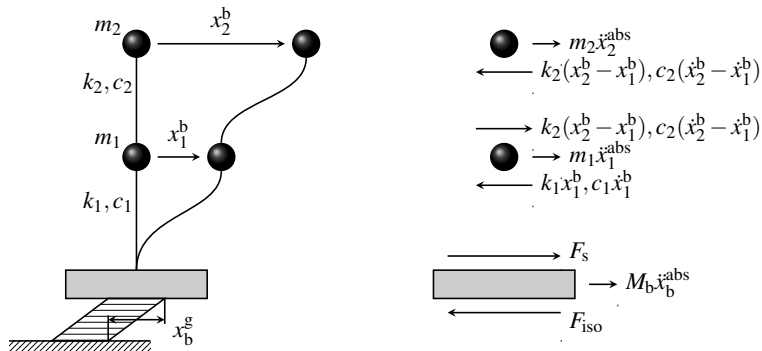


Eşdeğer Statik Yöntem - Taban Kesme Kuvveti Katsayısı



Tipik sismik yalıtımlı yapılar için $\frac{F_s}{W_s} = \frac{F_{iso}}{W}$

Tipik olmayan sismik yalıtımlı yapılar için $\frac{F_s}{W_s} = (2 \sim 3) \times \frac{F_{iso}}{W}$



Sismik yalıtımlı tek yapı hareket denklemi;

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{iso}^{NL} = -\mathbf{M}\mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{abs}$$

Sismik yalıtımlı tek yapı hareket denklemi;

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{\text{iso}}^{\text{NL}} = -\mathbf{M}\mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{\text{abs}}$$

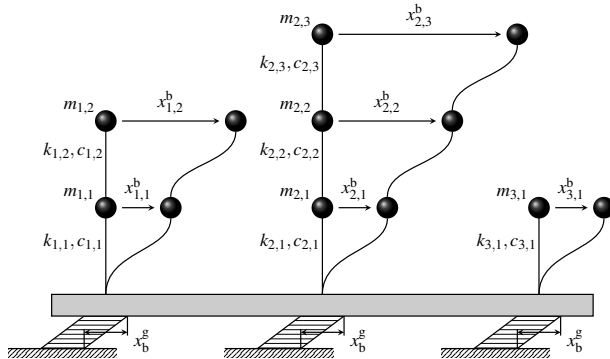
$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{M}_s = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & C_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}_s = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & K_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_s = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix}$$

$$\ddot{\mathbf{x}} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s^b \\ \ddot{x}_g^b \end{Bmatrix} \quad \ddot{\mathbf{x}}_s^b = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1^b \\ \ddot{x}_2^b \end{Bmatrix} \quad \dot{\mathbf{x}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_s^b \\ \dot{x}_g^b \end{Bmatrix} \quad \dot{\mathbf{x}}_s^b = \begin{Bmatrix} \dot{x}_1^b \\ \dot{x}_2^b \end{Bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{Bmatrix} x_s^b \\ x_g^b \end{Bmatrix} \quad \mathbf{x}_s^b = \begin{Bmatrix} x_1^b \\ x_2^b \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{S}_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \mathbf{R} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$



Ortak yalıtım düzlemindeki yapıların hareket denklemi;

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{\text{iso}}^{\text{NL}} = -\mathbf{M}\mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{\text{abs}}$$

Ortak yalıtım düzlemindeki yapıların hareket denklemi;

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K}\mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{\text{iso}}^{\text{NL}} = -\mathbf{M}\mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{\text{abs}}$$

$$\mathbf{M} = \begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{M}_s = \begin{bmatrix} M_{s,1} & 0 & 0 \\ 0 & M_{s,2} & 0 \\ 0 & 0 & M_{s,3} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} \mathbf{C}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & C_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}_s = \begin{bmatrix} C_{s,1} & 0 & 0 \\ 0 & C_{s,2} & 0 \\ 0 & 0 & C_{s,3} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K} = \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & K_b \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}_s = \begin{bmatrix} K_{s,1} & 0 & 0 \\ 0 & K_{s,2} & 0 \\ 0 & 0 & K_{s,3} \end{bmatrix}$$

$$\ddot{\mathbf{x}} = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_s^b \\ \ddot{x}_g^b \end{Bmatrix} \quad \ddot{\mathbf{x}}_s^b = \begin{Bmatrix} \ddot{x}_{s,1}^b \\ \ddot{x}_{s,2}^b \\ \ddot{x}_{s,3}^b \end{Bmatrix} \quad \dot{\mathbf{x}} = \begin{Bmatrix} \dot{x}_s^b \\ \dot{x}_g^b \end{Bmatrix} \quad \dot{\mathbf{x}}_s^b = \begin{Bmatrix} \dot{x}_{s,1}^b \\ \dot{x}_{s,2}^b \\ \dot{x}_{s,3}^b \end{Bmatrix} \quad \mathbf{x} = \begin{Bmatrix} x_s^b \\ x_g^b \end{Bmatrix} \quad \mathbf{x}_s^b = \begin{Bmatrix} x_{s,1}^b \\ x_{s,2}^b \\ x_{s,3}^b \end{Bmatrix}$$

$$\mathbf{S}_1 = \begin{Bmatrix} 0 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad \mathbf{R} = \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix}$$

Newmark- β Yöntemi

$$\mathbf{M}\Delta\ddot{\mathbf{u}}_i + \mathbf{C}\Delta\dot{\mathbf{u}}_i + \Delta\mathbf{F}_{s,i} = \Delta\mathbf{P}_i \quad (1)$$

Tez çalışmasında, $\beta = 1/4$ ve $\gamma = 1/2$ değerlerine karşı gelen sabit ortalama ivme durumu kullanılmıştır.

$$\dot{\mathbf{u}}_{i+1} = \dot{\mathbf{u}}_i + [(1 - \gamma)\Delta t]\ddot{\mathbf{u}}_i + (\gamma\Delta t)\ddot{\mathbf{u}}_{i+1} \quad (2)$$

$$\mathbf{u}_{i+1} = \mathbf{u}_i + (\Delta t)\dot{\mathbf{u}}_i + [(0.5 - \beta)(\Delta t)^2]\ddot{\mathbf{u}}_i + [\beta(\Delta t)^2]\ddot{\mathbf{u}}_{i+1} \quad (3)$$

Bu denklemler artımsal formda yazılarak hız ve ivme denklemleri elde edilir.

$$\Delta\dot{\mathbf{u}}_i = \frac{\gamma}{\beta\Delta t}\Delta\mathbf{u}_i - \frac{\gamma}{\beta}\dot{\mathbf{u}}_i + \Delta t(1 - \frac{\gamma}{2\beta})\ddot{\mathbf{u}}_i \quad (4)$$

$$\Delta\ddot{\mathbf{u}}_i = \frac{1}{\beta\Delta t^2}\Delta\mathbf{u}_i - \frac{1}{\beta\Delta t}\dot{\mathbf{u}}_i - \frac{1}{2\beta}\ddot{\mathbf{u}}_i \quad (5)$$

Denklem 4 ve 5, denklem 1'in yerine konulursa hareket denkleminin cebirsel formu aşağıdaki gibi elde edilir.

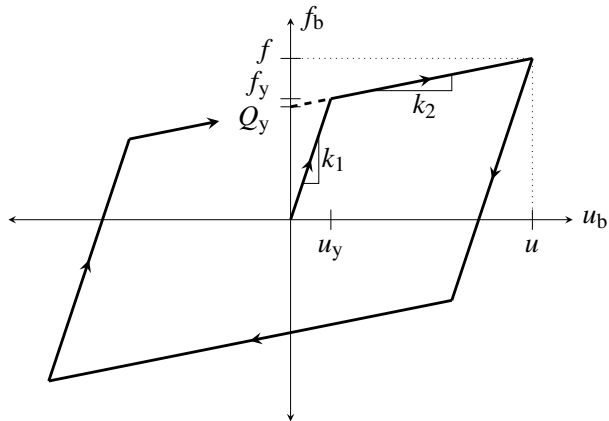
$$\mathbf{A}\Delta\mathbf{u}_i + \Delta\mathbf{F}_{s,i} = \Delta\hat{\mathbf{P}}_i \quad (6)$$

Burada $\mathbf{A}$ ve $\Delta\hat{\mathbf{P}}_i$ terimleri aşağıda belirtilmiştir.

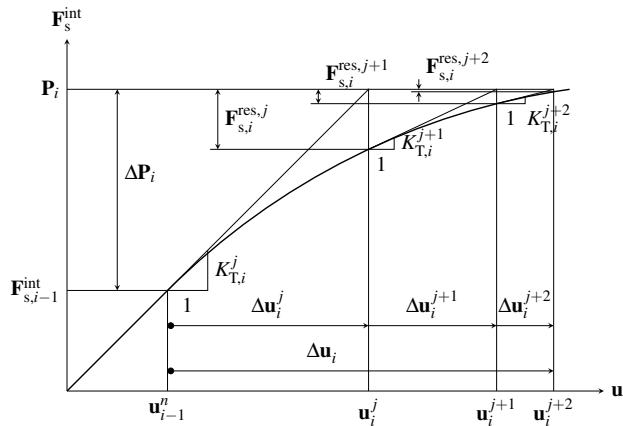
$$\mathbf{A} = \frac{1}{\beta\Delta t^2}\mathbf{M} + \frac{\gamma}{\beta\Delta t}\mathbf{C} \quad (7)$$

$$\Delta\hat{\mathbf{P}}_i = \Delta\mathbf{P}_i + (\frac{1}{\beta\Delta t^2}\mathbf{M} + \frac{\gamma}{\beta\Delta t}\mathbf{C})\mathbf{u}_i + [\frac{1}{\beta\Delta t^2}\mathbf{M} + \Delta t(\frac{\gamma}{2\beta} - 1)\mathbf{C}]\dot{\mathbf{u}}_i + [\frac{1}{2\beta}\mathbf{M} + \Delta t(\frac{\gamma}{2\beta} - 1)\mathbf{C}]\ddot{\mathbf{u}}_i \quad (8)$$

İzolatör Modellemesi



Newton-Raphson Yöntemi



1 GİRİŞ

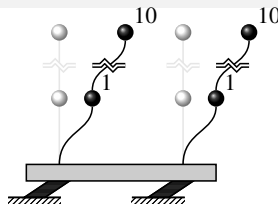
2 TEORİK ALTYAPI

3 PARAMETRİK İNCELEME

- Parametrik Analiz Detayları
- Analiz Metodolojisi
- Analiz Programı
- Depremsellik
- Ana Parametreler
- Ortak Yalıtım Düzlemindeki İki Yapının Parametrik İncelenmesi

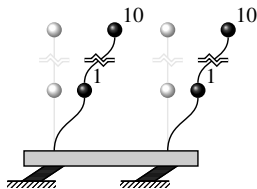
4 SONUÇLAR

Tüm Analizlerde Kullanılan Yapıların Özellikleri



Yapı #	Kat Adedi	T_1	ω_1	ω_n
1	1	0.1573	39.94	-
2	2	0.2546	24.68	64.62
3	3	0.3535	17.77	71.97
4	4	0.4530	13.87	75.06
5	5	0.5527	11.37	76.64
6	6	0.6526	9.63	77.56
7	7	0.7525	8.35	78.13
8	8	0.8525	7.37	78.52
9	9	0.9525	6.60	78.79
10	10	1.0526	5.97	78.98

Parametrik Analiz Varyasyonları



↻ $T_{\text{eff}} = 1.5, 2.5 \text{ ve } 4.0 \text{ sn}$

↻ $\xi_{\text{eff}} = \%10, \%20, \%30$

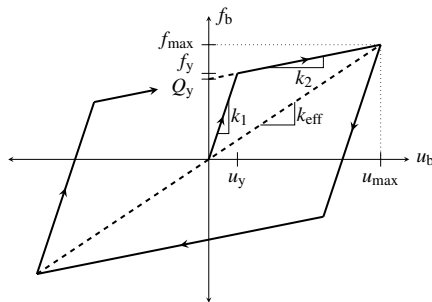
↻ 1. Yapı Kat = 1'den 10'a

↻ 2. Yapı Kat = 1'den 10'a

↻ 10 deprem kaydı

Durum #	T_{eff}	ξ_{eff}	1. Yapı #	2. Yapı #	Analiz Adedi
1	1.5	0.1	1~10	1~10	100
2	1.5	0.2	1~10	1~10	100
3	1.5	0.3	1~10	1~10	100
4	2.5	0.1	1~10	1~10	100
5	2.5	0.2	1~10	1~10	100
6	2.5	0.3	1~10	1~10	100
7	4.0	0.1	1~10	1~10	100
8	4.0	0.2	1~10	1~10	100
9	4.0	0.3	1~10	1~10	100

Normalizasyon Yöntemi



$$T_{\text{eff}} = 2\pi \sqrt{\frac{M}{k_{\text{eff}}}} \quad \omega_{\text{eff}} = \frac{2\pi}{T_{\text{eff}}}$$

$$Q = \frac{\pi \xi_{\text{eff}} k_{\text{eff}} u_{\text{max}}^2}{2(u_{\text{max}} - u_y)}$$

$$k_2 = \frac{k_{\text{eff}} u_{\text{max}} - Q}{u_{\text{max}}}$$

$$u_y = 1\text{cm}$$

Sismik yalıtımlı yapı eşdeğer periyot ve sönüm değerleri, York ve Ryan (2008) tarafından kullanılan yöntem ile istenilen değerlere sabitlenmektedir.

Yalıtım Birimi İskelet Eğrileri

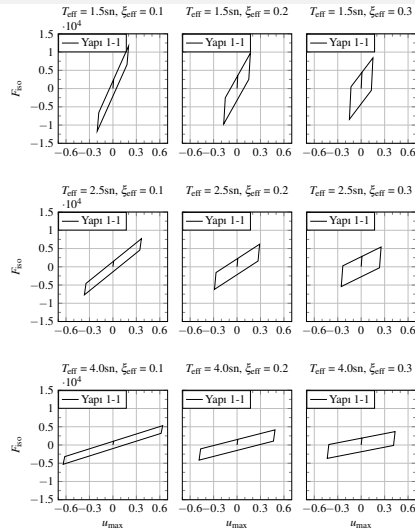
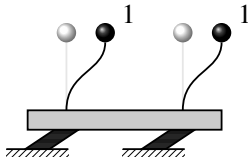
Sabitler:

1. Yapı Kat Sayısı $\nabla 1$ kat
2. Yapı Kat Sayısı $\nabla 1$ kat

Değişkenler:

$\nabla T_{\text{eff}} = 1.5, 2.5$ ve 4.0sn

$\nabla \xi_{\text{eff}} = \%10, \%20, \%30$



Yalıtım Birimi İskelet Eğrileri

Sabitler:

1. Yapı Kat Sayısı $\Rightarrow 1$ kat

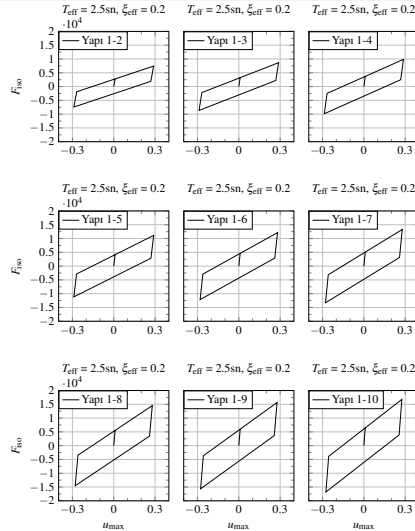
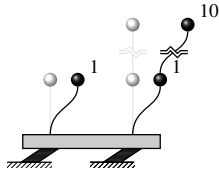
$$\Rightarrow T_{\text{eff}} = 2.5 \text{ sn}$$

$$\Rightarrow \xi_{\text{eff}} = \%20$$

Değişkenler:

2. yapı kat sayısı

$\Rightarrow 2$ 'den 10 'a



Yalıtım Birimi İskelet Eğrileri

Sabitler:

1. Yapı Kat Sayısı $\Rightarrow$ 1 kat

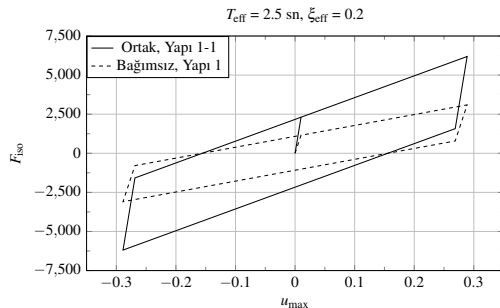
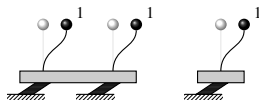
2. Yapı Kat Sayısı $\Rightarrow$ 1 kat

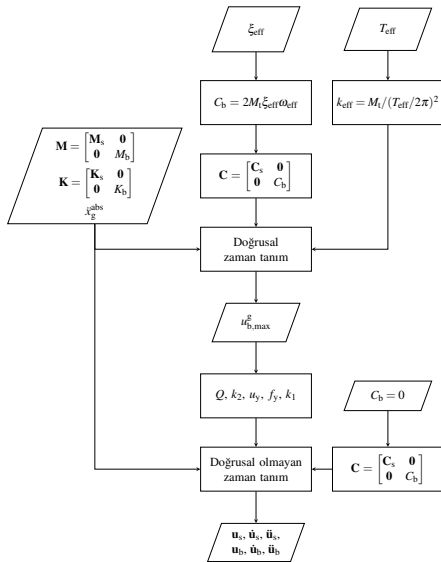
$\Rightarrow T_{\text{eff}} = 2.5 \text{ sn}$

$\Rightarrow \xi_{\text{eff}} = \%20$

Değişkenler:

Ortak ve bağımsız yalıtım düzlemi





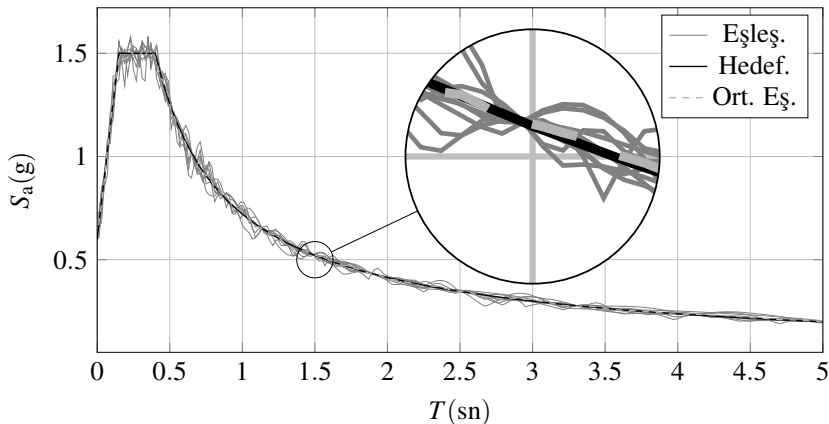
- 1 Eşdeğer periyot belirlenir.
- 2 Eşdeğer rijitlik hesaplanır.
- 3 Eşdeğer sönüm belirlenir.
- 4 Yalıtım düzlemi için sönüm hesaplanır.
- 5 Kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri kurulur.
- 6 Doğrusal zaman tanım analizi ile en büyük izolatör deplasmanı belirlenir.
- 7 Yalıtım birimi parametreleri belirlenir.
- 8 Yalıtım düzlemi için sönüm sıfırlanır.
- 9 Doğrusal olmayan zaman tanım analizi yapılır.
- 10 Sonuçlar.

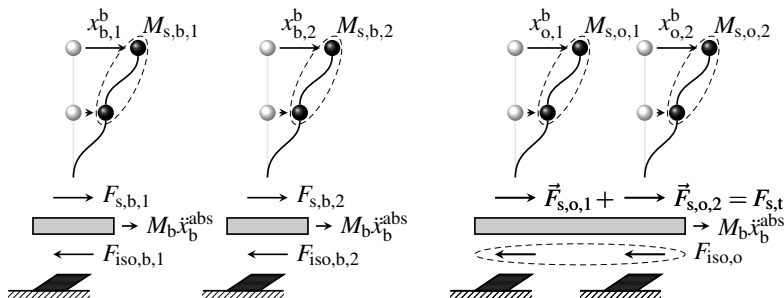
İvme kayıtları Fahjan (2008) tarafından yapılan çalışmadan alınmıştır.

Kayıt No	Deprem	Faya mesafe [km]	Kayıt süresi [s]	Faylanma mek.
P0017	Imperial Valley	18.2	39.0	SS
P0012	Imperial Valley	18.2	39.0	SS
P0730	Superstitt Hills(B)	13.30	40.0	SS
P0898	Northridge	47.4	35.0	RN
P0856	Landers	69.2	50.0	SS
P0967	Northridge	32.7	40.0	RN
P0003	Imperial Valley	1.0	39.3	SS
P0020	Imperial Valley	8.5	37.8	SS
P0856	Landers	88.5	50.0	SS
P0051	Imperial Valley	23.8	39.5	SS

Deprem kayıtları Atik ve Abrahamson (2010) tarafından önerilen yöntemle uygun olarak ETABS yapısal analiz programı yardımıyla tasarım spektrumuna eşleştirilmiştir.

50 yılda aşılma olasılığı %2 olan deprem yer hareketi düzeyi





Kesme kuvveti katsayıları;

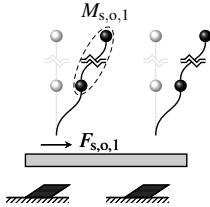
$$C_{s,o,1} = \frac{F_{s,o,1}}{W_{s,o,1}} \quad C_{s,b,1} = \frac{F_{s,b,1}}{W_{s,b,1}} \quad C_{s,t} = \frac{F_{s,t}}{W_{s,o,1} + W_{s,o,2}}$$

Bağıl hata formülleri;

$$C_{s,o,1,err} = \frac{C_{s,o,1} - C_{s,t}}{C_{s,t}} \quad C_{s,t,err} = \frac{(C_{s,o,1} + C_{s,o,2}) - 2C_{s,t}}{2C_{s,t}}$$

1. yapı taban kesme kuvveti katsayısı

$$C_{s,o,1} = \frac{F_{s,o,1}}{W_{s,o,1}} = \frac{F_{s,o,1}}{M_{s,o,1} \times g}$$

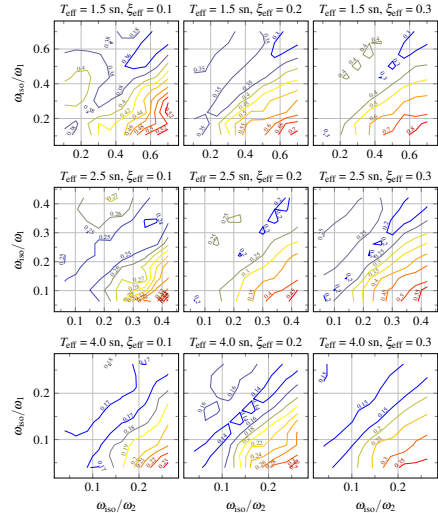


1. yapı $\phi 1$ 'den 10'a

2. yapı $\phi 1$ 'den 10'a

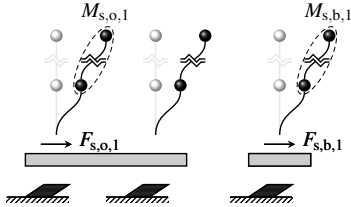
T_{eff} $\phi 1.5, 2.5$ ve 4.0 sn

ξ_{eff} $\phi 10\%, 20\%, 30\%$



1. yapı normalize taban kesme kuvveti katsayısı

$$C_{s,o,1}/C_{s,b,1} = \frac{F_{s,o,1}/W_{s,o,1}}{F_{s,b,1}/W_{s,b,1}} = \frac{F_{s,o,1}/(M_{s,o,1} \times g)}{F_{s,b,1}/(M_{s,b,1} \times g)}$$

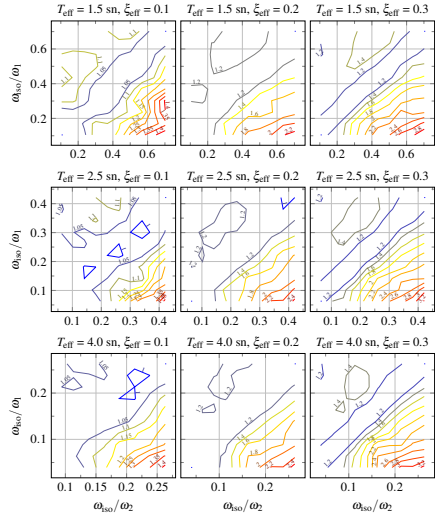


1. yapı $\phi 1$ 'den 10'a

2. yapı $\phi 1$ 'den 10'a

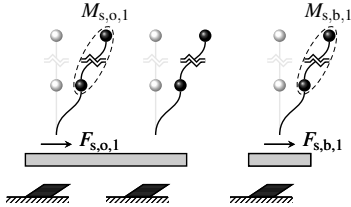
$T_{eff} \phi 1.5, 2.5$ ve 4.0 sn

$\xi_{eff} \phi \%10, \%20, \%30$



1. yapı normalize taban kesme kuvveti katsayısı

$$C_{s,o,1}/C_{s,b,1} = \frac{F_{s,o,1}/W_{s,o,1}}{F_{s,b,1}/W_{s,b,1}} = \frac{F_{s,o,1}/(M_{s,o,1} \times g)}{F_{s,b,1}/(M_{s,b,1} \times g)}$$

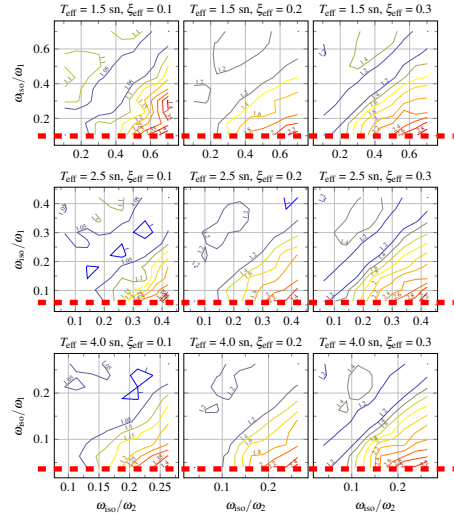


1. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

2. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

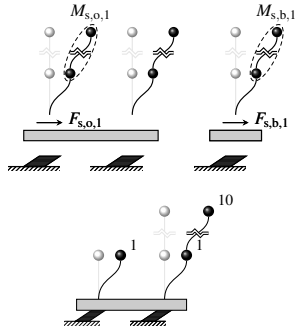
$T_{eff} \phi 1.5, 2.5$ ve $4.0sn$

$\xi_{eff} \phi \%10, \%20, \%30$



1. yapı normalize taban kesme kuvveti katsayısı

$$C_{s,o,1}/C_{s,b,1}$$

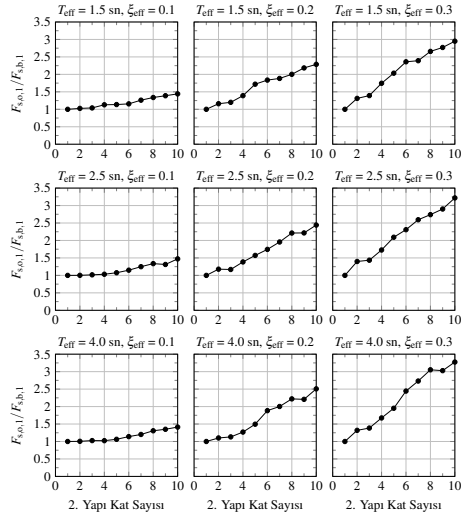


1. yapı $\phi 1$ katlı

2. yapı $\phi 1$ 'den 10'a

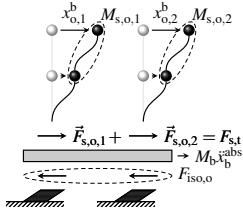
$T_{eff} \phi 1.5, 2.5$ ve 4.0 sn

$\xi_{eff} \phi \%10, \%20, \%30$



1. yapı taban kesme kuvveti katsayısı bağıl hatası

$$C_{s,o,1,err} = \frac{C_{s,o,1} - C_{s,t}}{C_{s,t}}$$

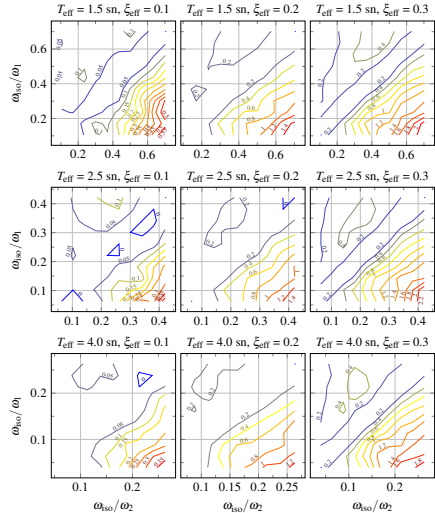


1. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

2. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

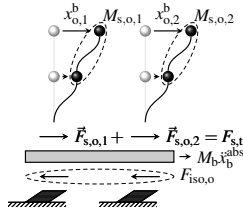
$T_{eff} \phi 1.5, 2.5$ ve $4.0sn$

$\xi_{eff} \phi \%10, \%20, \%30$



1. ve 2. yapı taban kesme kuvveti katsayıları bağıl hatası

$$C_{s,t,err} = \frac{(C_{s,o,1} + C_{s,o,2}) - 2C_{s,t}}{2C_{s,t}}$$

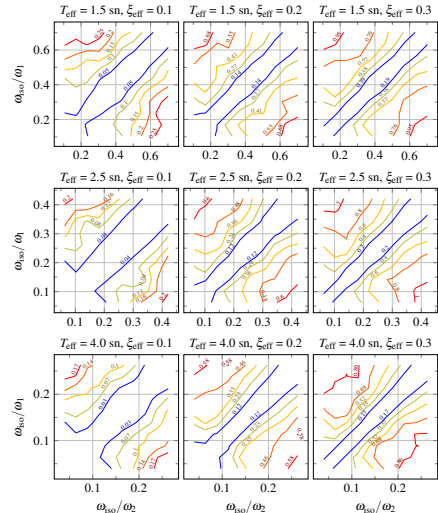


1. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

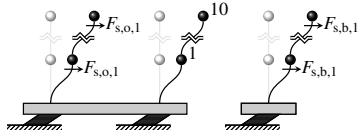
2. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

$T_{eff} \phi 1.5, 2.5$ ve 4.0 sn

$\xi_{eff} \phi \%10, \%20, \%30$



1. yapı normalize kat kesme kuvvetleri

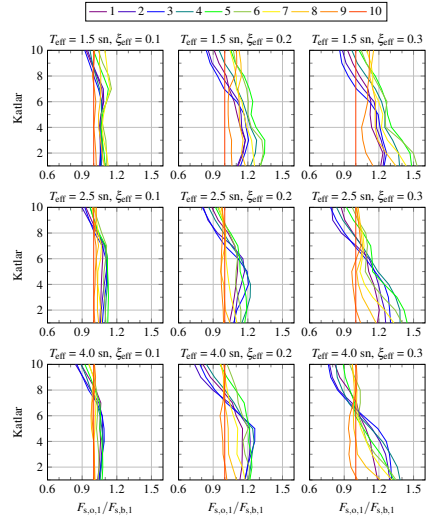


1. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

2. yapı $\phi 1'$ 'den $10'a$

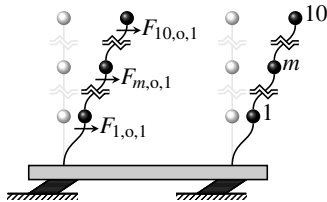
T_{eff} $\phi 1.5, 2.5$ ve 4.0 sn

ξ_{eff} $\phi \%10, \%20, \%30$



1. yapı kat kesme kuvveti katsayıları

$$C_{kat,o,1} = \sum_{i=m}^{10} F_{i,o,1} / \sum_{i=m}^{10} W_{i,o,1}$$

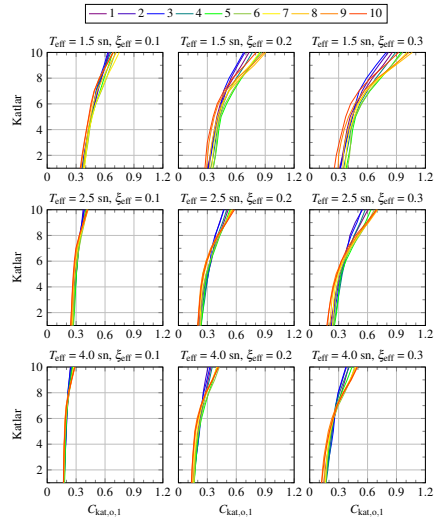


1. yapı 10 katlı

2. yapı 1'den 10'a

T_{eff} 1.5, 2.5 ve 4.0sn

ξ_{eff} 10%, 20%, 30%



- 1 GİRİŞ
- 2 TEORİK ALTYAPI
- 3 PARAMETRİK İNCELEME
- 4 SONUÇLAR**

Sonuçlar I

- 1 Yalıtım birimlerinin sahip olduğu histeretik sönüm nedeniyle meydana gelen yüksek mod etkisi doğrusal analizler ile bulunan sonuçların değişmesine neden olmaktadır.
- 2 Ortak yalıtım düzleminde bulunan ve farklı açısal frekanslara sahip yapıların şekil değiştirme ve iç kuvvetleri, bağımsız yalıtım düzleminde bulunan aynı yapılara kıyasla artış göstermektedir.
- 3 Yapı taban kesme kuvvetlerinin üst katlara dağılımının eşdeğer sönüm oranının artışı ile dikdörtgen formdan ters üçgen formuna doğru değiştiği görülmüştür. Ayrıca iki yapının açısal frekanslarına bağlı olarak bu değişimin artış veya azalışta olduğu tespit edilmiştir.
- 4 Deprem derz mesafelerinde doğrusal yöntemler ile bulunan değerlerin yeterli olduğu tespit edilmiştir.

Sonuçlar II

- 5 Ortak yalıtım düzleminde bulunan 1. yapı taban kesme kuvveti katsayısının toplam taban kesme kuvveti katsayısına göre bağıl hatasının en büyük değeri, 1 ve 10 katlı iki yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda ve $T_{\text{eff}} = 2.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için **2.20** olarak hesaplanmıştır.
- 6 Ortak yalıtım düzleminde bulunan yapıların taban kesme kuvveti katsayılarının toplam taban kesme kuvveti katsayısına göre bağıl hatasının en büyük değeri, 2 ve 10 katlı iki yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda ve $T_{\text{eff}} = 2.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için **1.20** olarak hesaplanmıştır.
- 7 Yalıtım birimi kesme kuvveti katsayısının ortak yalıtım düzleminde bulunan yapıların toplam taban kesme kuvveti katsayısına göre bağıl hatasının en büyük değeri, 1 ve 5 katlı iki yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda ve $T_{\text{eff}} = 2.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için **-0.218** olarak hesaplanmıştır.

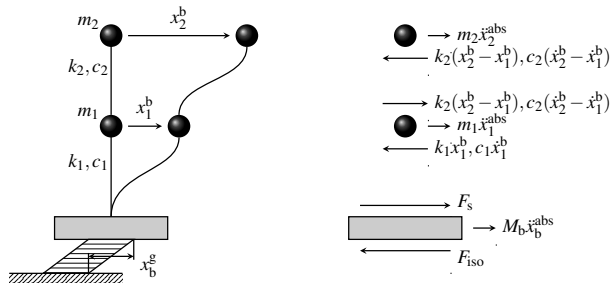
Sonuçlar III

- 8 1 ve 10 katlı iki yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda $T_{\text{eff}} = 4\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için, 1 katlı yapının kesme kuvveti kat ivmesi ve görelî kat ötelemesinin, bağımsız yalıtım düzleminde bulunması durumuna göre **3.27** katına çıktığı belirlenmiştir.
- 9 1 ve 10 katlı iki yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda 10 katlı yapının kat kesme kuvvetleri, bağımsız yalıtım düzleminde bulunması durumuna göre alt katlarda en büyük azalma $T_{\text{eff}} = 1.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için **%21.6** ve üst katta ise en büyük azalma $T_{\text{eff}} = 4\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.2$ değerleri için **%18.9** olarak tespit edilmiştir.
- 10 10 katlı yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda kat kesme kuvvetleri, bağımsız yalıtım düzleminde bulunması durumuna göre alt katlarda en fazla **%53.1** artış $T_{\text{eff}} = 1.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için 6 katlı yapı ile birlikte bulunması durumu için gerçekleşmiştir. Ayrıca üst katta en büyük azalma $T_{\text{eff}} = 4\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.2$ değerleri için 2 katlı yapı ile birlikte bulunmaları durumu için **%26.1** olarak saptanmıştır.

Sonuçlar IV

- 11 10 katlı yapının ortak yalıtım düzleminde bulunması durumunda göreceli kat ötelemeleri, bağımsız yalıtım düzleminde bulunması durumuna göre alt katlarda en fazla **%53.9** artış $T_{\text{eff}} = 1.5\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.3$ değerleri için 6 katlı yapı ile birlikte bulunması durumu için gerçekleşmiştir. Ayrıca üst katta en büyük azalma $T_{\text{eff}} = 4\text{sn}$ ve $\xi_{\text{eff}}=0.2$ değerleri için 2 katlı yapı ile birlikte bulunmaları durumu için **%26.4** olarak saptanmıştır.

Sabrınız için teşekkürler...



Birinci kata ait hareket denklemi;

$$-k_2 [x_2^b - x_1^b] + k_1 x_1^b - c_2 [\dot{x}_2^b - \dot{x}_1^b] + c_1 \dot{x}_1^b = -m_1 \ddot{x}_1^{abs} \quad (9)$$

İkinci kata ait hareket denklemi;

$$k_2 [x_2^b - x_1^b] + c_2 [\dot{x}_2^b - \dot{x}_1^b] = -m_2 \ddot{x}_2^{abs} \quad (10)$$

Mutlak kat ivmeleri;

$$\ddot{x}_1^{\text{abs}} = \ddot{x}_1^{\text{b}} + \ddot{x}_{\text{b}}^{\text{abs}} \quad \ddot{x}_2^{\text{abs}} = \ddot{x}_2^{\text{b}} + \ddot{x}_{\text{b}}^{\text{abs}} \quad (11)$$

Üst yapı hareket denklemi;

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_1^{\text{b}} \\ \ddot{x}_2^{\text{b}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 \\ -c_2 & c_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x}_1^{\text{b}} \\ \dot{x}_2^{\text{b}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_1^{\text{b}} \\ x_2^{\text{b}} \end{Bmatrix} = \\ - \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{x}_{\text{b}}^{\text{abs}} \end{aligned} \quad (12)$$

Mutlak yalıtım düzlemi ivmesi;

$$\ddot{x}_{\text{b}}^{\text{abs}} = \ddot{x}_{\text{b}}^{\text{g}} + \ddot{x}_{\text{g}}^{\text{abs}} \quad (13)$$

Üst yapı hareket denklemi kapalı formu;

$$\mathbf{M}_s \ddot{\mathbf{x}}_s^{\text{b}} + \mathbf{C}_s \dot{\mathbf{x}}_s^{\text{b}} + \mathbf{K}_s^{\text{b}} \mathbf{x}_s^{\text{b}} = -\mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{\mathbf{x}}_{\text{b}}^{\text{g}} - \mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{\mathbf{x}}_{\text{g}}^{\text{abs}} \quad (14)$$

Yalıtım düzlemi hareket denklemi;

$$F_s + F_{iso} = -M_b \ddot{x}_b^{abs} \quad F_s = -F_s^{internal} \quad (15)$$

Üst yapı taban kesme kuvveti;

$$F_s^{internal} = \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \ddot{\mathbf{x}}_s^b + \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{\mathbf{x}}_b^g + \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{\mathbf{x}}_g^{abs} \quad (16)$$

Yalıtım birimi kesme kuvveti;

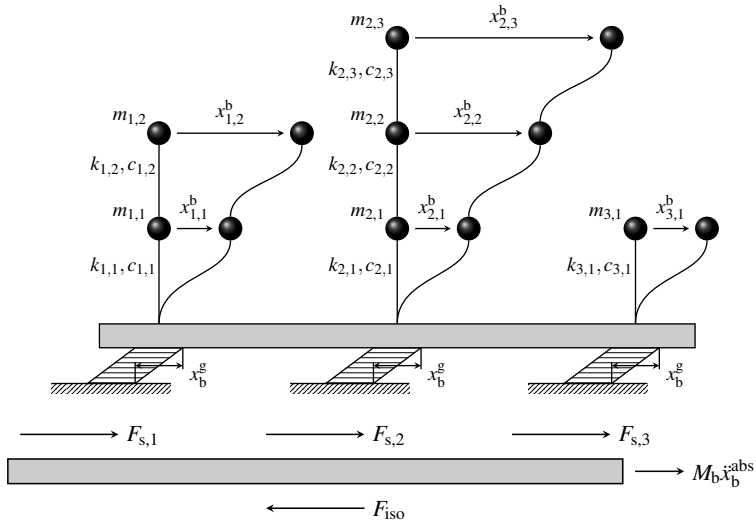
$$F_{iso} = F_{iso}^{NL} + K_b x_b^g + C_b \dot{x}_b^g \quad (17)$$

Sismik yalıtımlı tek yapı hareket denklemi;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{x}}_s^b \\ \ddot{x}_b^g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & C_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_s^b \\ \dot{x}_b^g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & K_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_s^b \\ x_b^g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ 1 \end{Bmatrix} F_{iso}^{NL} = - \begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{x}_g^{abs} \quad (18)$$

Sismik yalıtımlı tek yapı hareket denklemi kapalı formu;

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{iso}^{NL} = -\mathbf{M} \mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{abs} \quad (19)$$



Birinci yapı için hareket denkleminin kapalı hali;

$$\mathbf{M}_{s,1}\ddot{\mathbf{x}}_{s,1}^b + \mathbf{C}_{s,1}\dot{\mathbf{x}}_{s,1}^b + \mathbf{K}_{s,1}\mathbf{x}_{s,1}^b = -\mathbf{M}_{s,1}\mathbf{R}_1(\ddot{x}_b^g + \ddot{x}_g^{abs}) \quad (20)$$

İkinci yapı için hareket denkleminin kapalı hali;

$$\mathbf{M}_{s,2}\ddot{\mathbf{x}}_{s,2}^b + \mathbf{C}_{s,2}\dot{\mathbf{x}}_{s,2}^b + \mathbf{K}_{s,2}\mathbf{x}_{s,2}^b = -\mathbf{M}_{s,2}\mathbf{R}_2(\ddot{x}_b^g + \ddot{x}_g^{abs}) \quad (21)$$

Üçüncü yapı için hareket denkleminin kapalı hali;

$$M_{s,3}\ddot{x}_{s,3}^b + C_{s,3}\dot{x}_{s,3}^b + K_{s,3}x_{s,3}^b = -M_{s,3}R_3(\ddot{x}_b^g + \ddot{x}_g^{abs}) \quad (22)$$

Üst yapı için hareket denklemlerinin kapalı formu;

$$\mathbf{M}_s\ddot{\mathbf{x}}_s^b + \mathbf{C}_s\dot{\mathbf{x}}_s^b + \mathbf{K}_s\mathbf{x}_s^b = -\mathbf{M}_s\mathbf{R}(\ddot{x}_b^g + \ddot{x}_g^{abs}) \quad (23)$$

Üst yapılara ait taban kesme kuvvetleri;

$$F_s^{\text{internal}} = \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \ddot{\mathbf{x}}_s^b + \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{x}_b^g + \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} \ddot{x}_g^{\text{abs}} \quad (24)$$

Yalıtım birimi kesme kuvveti;

$$F_{\text{iso}} = F_{\text{iso}}^{\text{NL}} + K_b x_b^g + C_b \dot{x}_b^g \quad (25)$$

Yalıtım düzlemi hareket denklemi;

$$F_s + F_{\text{iso}} = -M_b \ddot{x}_b^{\text{abs}} \quad (26)$$

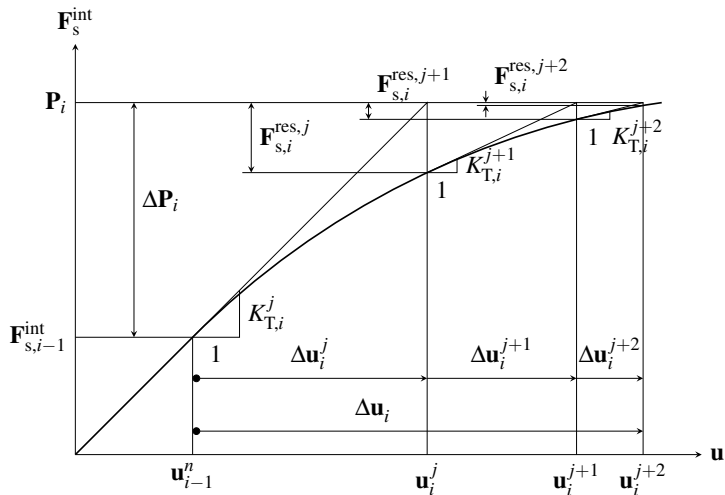
Sismik yalıtımlı çoklu yapıların hareket denklemi;

$$\begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{\mathbf{x}}_s^b \\ \ddot{x}_b^g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{C}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & C_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{x}}_s^b \\ \dot{x}_b^g \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} \mathbf{K}_s & \mathbf{0} \\ \mathbf{0} & K_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x}_s^b \\ x_b^g \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ 1 \end{Bmatrix} F_{\text{iso}}^{\text{NL}} = - \begin{bmatrix} \mathbf{M}_s & \mathbf{M}_s \mathbf{R} \\ \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s & \mathbf{R}^T \mathbf{M}_s \mathbf{R} + M_b \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{0} \\ 1 \end{Bmatrix} \ddot{x}_g^{\text{abs}} \quad (27)$$

Sismik yalıtımlı çoklu yapıların hareket denklemi kapalı formu;

$$\mathbf{M} \ddot{\mathbf{x}} + \mathbf{C} \dot{\mathbf{x}} + \mathbf{K} \mathbf{x} + \mathbf{S}_1 F_{\text{iso}}^{\text{NL}} = -\mathbf{M} \mathbf{S}_1 \ddot{x}_g^{\text{abs}} \quad (28)$$

Newton-Raphson



Newton-Raphson I

İterasyonun ilk adımında $\Delta \mathbf{u}_i^j$ yaklaşık olarak hesaplanır. Bu sebeple i zaman adımı için bilinen gerçek bünye denklemine teğet fiktif rijitlik matrisi $K_{T,i}^j$ oluşturulur. Burada j üst indisi Newton-Raphson adımlarını ifade etmektedir. Buna göre fiktif teğetsel rijitlik matrisi kullanılarak aşağıdaki eşitlik yazılır.

$$\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{fictive},j} = K_{T,i}^j \Delta \mathbf{u}_i^j \quad (29)$$

Denklem 6'de bulunan $\Delta \mathbf{F}_{s,i}$ terimi yerine denklem 29 konularak düzenlenirse aşağıda verilen eşitlik elde edilir ve $\Delta \mathbf{u}_i^j$ yaklaşık olarak hesaplanır.

$$\Delta \mathbf{u}_i^j = \Delta \hat{\mathbf{P}}_i (A + K_{T,i}^j)^{-1} \quad (30)$$

Newton-Raphson iterasyonunun j adımı için yaklaşık olarak hesaplanan yer değiştirmeler altında yapının oluşturacağı doğrusal ve doğrusal olmayan kuvvetlerin toplamı $F_{s,i}^{j,\text{int}}$ terimi

Newton-Raphson II

ile ifade edilir. Böylece j iterasyonuna ait dengelenmemiş kuvvet aşağıda verilen denklem ile bulunur.

$$\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{res},j} = \Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{fictive},j} - \mathbf{F}_{s,i}^{\text{int},j} \quad (31)$$

Dengelenmemiş kuvvet, i zaman adımı içinde yapıya dış kuvvet olarak aktarılır. Böylece Newton-Raphson iterasyonunun $j + 1$ adımı için çözülmesi gereken denklem aşağıda verilmiştir.

$$\mathbf{A} \Delta \mathbf{u}_i^{j+1} + \Delta \mathbf{F}_{s,i}^{j+1} = \Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{res},j+1} \quad (32)$$

Denklem 29'ta belirtildiği gibi $j + 1$ iterasyonu için de denklem 33 yazılır.

$$\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{fictive},j+1} = K_{T,i}^{j+1} \Delta \mathbf{u}_i^{j+1} \quad (33)$$

Böylece dengelenmemiş kuvvetin oluşturacağı yer değiştirme aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\Delta \mathbf{u}_i^{j+1} = \Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{res},j+1} (\mathbf{A} + K_{T,i}^{j+1})^{-1} \quad (34)$$

Newton-Raphson III

$j + 1$ iterasyon adımına ait dengelenmemiş kuvvet aşağıdaki denklem ile bulunur.

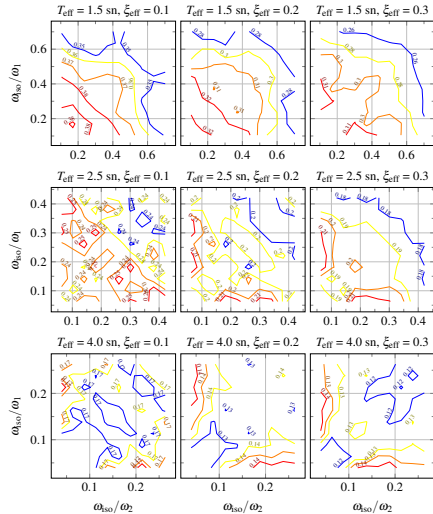
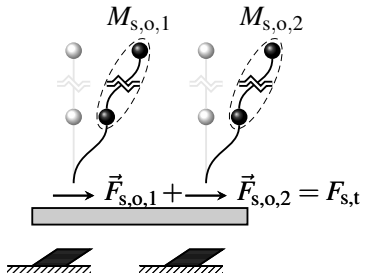
$$\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{res},j+1} = \Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{fictive},j+1} - \mathbf{F}_{s,i}^{\text{int},j+1} \quad (35)$$

Burada $\mathbf{F}_{s,i}^{j+1,\text{int}}$ terimi $\Delta \mathbf{u}_i^{j+1}$ yer değiştirmesine karşılık gelen yapının oluşturduğu içsel kuvvetlerin toplamını ifade etmektedir. Newton-Raphson iterasyonları $\Delta \mathbf{u}_i^j$ veya $\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{res},j}$ terimleri belirlenen hata sınırları içinde kalana kadar devam ettirilir. İterasyonlar sonucunda i zaman adımına ait yer değiştirme ve kuvvet terimleri aşağıdaki formüller ile bulunur.

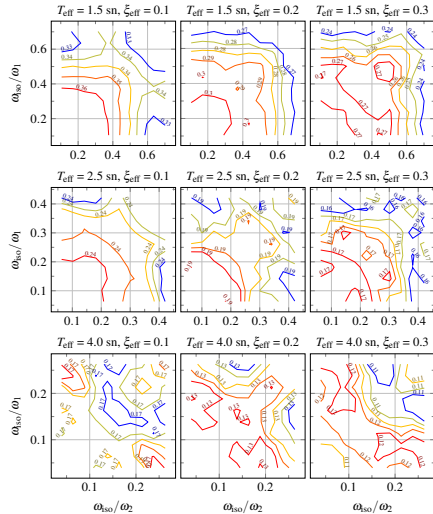
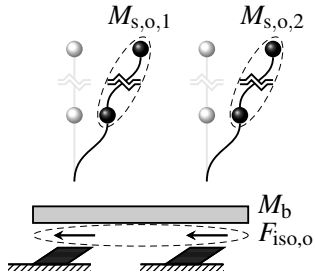
$$\Delta \mathbf{u}_i = \sum_{j=1}^n \Delta \mathbf{u}_i^j \quad (36)$$

$$\Delta \mathbf{F}_{s,i}^{\text{int}} = \sum_{j=1}^n \mathbf{F}_{s,i}^{\text{int},j} \quad (37)$$

$$C_{s,t} = \frac{F_{s,t}}{W_{s,o,1} + W_{s,o,2}} = \frac{F_{s,t}}{M_{s,o,1} \times g + M_{s,o,2} \times g}$$



$$C_{\text{iso},0} = \frac{F_{\text{iso},0}}{W} = \frac{F_{\text{iso},0}}{M \times g} = \frac{F_{\text{iso},0}}{(M_{\text{s},0,1} + M_{\text{s},0,2} + M_{\text{b}}) \times g}$$



$$C_{\text{iso},0,\text{err}} = \frac{C_{\text{iso},0} - C_t}{C_t}$$

