# BİNALARDAKİ DEPREM TİTREŞİMLERİNİ AZALTMAYA YÖNELİK X-Y FLEXURE MEKANİZMASI TASARIMI VE ANALİZİ

**Doç. Dr. Cihan DEMİR**
Y.T.Ü. Makine Fakültesi
**Öğr. Gör. Haydar ERDEM**
Halic University
**Oğuzhan DENİZ**
Y.T.Ü. Makine Fakültesi
**Niyazi GEZER**
Y.T.Ü. Makine Fakültesi
İSTANBUL

## ÖZET
Bu çalışmada yedi katlı bir bina modeli oluşturularak doğal frekans değerleri ve titreşim biçimleri ANSYS programı yardımıyla hesaplanmıştır. Yapının laboratuvar ortamında çekiç darbe testi ile doğal frekans değerleri ölçülmüş ve sayısal yöntem sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Sonrasında plastik (PLA) malzemenin mekanik özellikleri programa tanımlanarak Esnek Mekanizma modellenmiştir. Bu mekanizma bina üzerinde konumlandırılarak doğal frekanslar tekrar hesaplanmıştır. Bu temel veriler kullanılarak X-Y esnek mekanizması bina modeli üzerinde farklı katlarda, farklı tasarımlarda, ek kütle ilavesi, farklı bağlantı tipleri ile binaya montajlanarak analizler yapılmıştır. Bu analizlerde KOBE depreminden elde edilen veriler bina modeline giriş olarak uygulanmıştır. Nihayetinde esnek mekanizmanın depremin yarattığı titreşimleri sönümleme durumları incelenmiştir. Araştırılan sönümleme durumlarını sıralayacak olursak; esnek mekanizmanın kelepçesiz olarak birinci kattan yedinci kata kadar sırasıyla montajlanması, kelepçeli ve ortadan bağlı olarak montajlanması, kelepçeli ve ortadan bağlı olmadığı durum, kelepçesiz zemin bağlı, ortadan bağlı olarak yay ve sönümleme elemanı uygulanması, ortadan bağlı olarak birden fazla kata uygulanması, mekanizmaya ek kütle eklenmesi, mekanizmanın ortasında boşluk meydana getirerek hafifletilmesi, farklı yay uzunlukları ile katlara uygulanması şeklinde sıralayabiliriz.
***Anahtar Kelimeler:*** *Esnek Mekanizma, İzolasyon, KOBE depremi, Sonlu Elemanlar Yöntemi*

## SUMMARY
In this study, a seven-storey building model was created and natural frequency values and vibration patterns were calculated with the help of ANSYS program. The natural frequency values of the building were measured by hammer impact test in the laboratory environment and compared with the results of the numerical method. Afterwards, the mechanical properties of the plastic (PLA) material were defined in the program and the Flexible Mechanism was modeled. This mechanism was positioned on the building and natural frequencies were calculated again. Using this basic data, the X-Y flexible mechanism was assembled on the building model at different floors, in different designs, with additional mass addition and different connection types and analyzed. In these analyses, the data obtained from the KOBE earthquake were applied as input to the building model. Finally, the damping of the vibrations caused by the earthquake by the flexible mechanism was investigated. If we list the damping cases investigated, we can list them as follows; mounting of the flexible mechanism from the first floor to the seventh floor without clamps, mounting with clamps and center connected, clamped and not center connected, floor connected without clamps, spring and damping element application with center connected, application to more than one floor with center

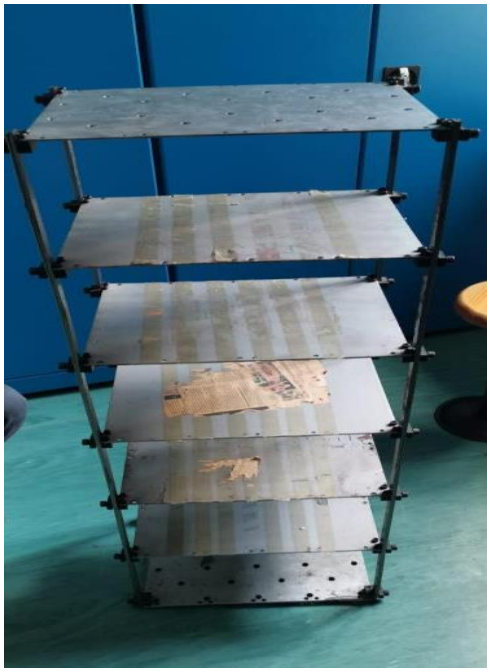
connected, adding additional mass to the mechanism, lightening by creating a gap in the middle of the mechanism, application to floors with different spring lengths.
***Keywords***: *Flexible Mechanism, Flexure, KOBE earthquake, FEM*

## 1. GİRİŞ

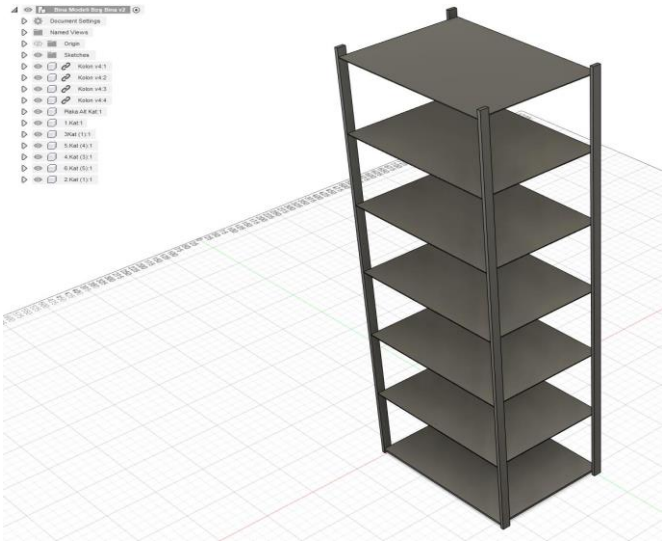
Ülkemizde ve Dünyada her gün meydana gelen irili ufaklı yer hareketleri ve meydana gelen Depremler ülkemizin de içinde bulunduğu coğrafyada kimi zaman yıkıcı sonuçlara sebebiyet vermektedir. Meydana gelen bu depremlerin etkisini azaltmak için sismik izolatör, raylı sistemler, dinamik sönümleyiciler gibi uygulamalar yapılmaktadır. Ancak bu sistemlerin hepsi pahalı sistemlerdir ve bazıları bina yapılırken uygulanmalıdır.

Yukarıda bahsedilen sebepler yüzünden deprem etkisini azaltabileceği ve maliyetinin az, uygulanmasının kolay olacağı düşüncesiyle bir Esnek Mekanizma (X-Y Flexure) tasarlanarak binalara uygulanabilirliği araştırılmıştır. Bu tür mekanizmalar uzuvlar arasında yatak ve mafsal bağlantılarına yer vermediği için hareket kontrolünde ve algılayıcılarda kullanılmaktadır. Günümüzde böyle bir esnek mekanizma uygulaması bulunmamaktadır. İleride yaşanması muhtemel depremlerde can ve mal kaybının yaşanmaması yahut hiç değilse en aza indirilmesi için çözüm üretme motivasyonuyla hareket edilmiştir.

Deprem sonucu meydana gelen titreşimlerin etkisini incelemek üzere tasarlanan “Deneysel model” Şekil 1 ve “Bina CAD modeli” Şekil 2’de gösterilmiştir.



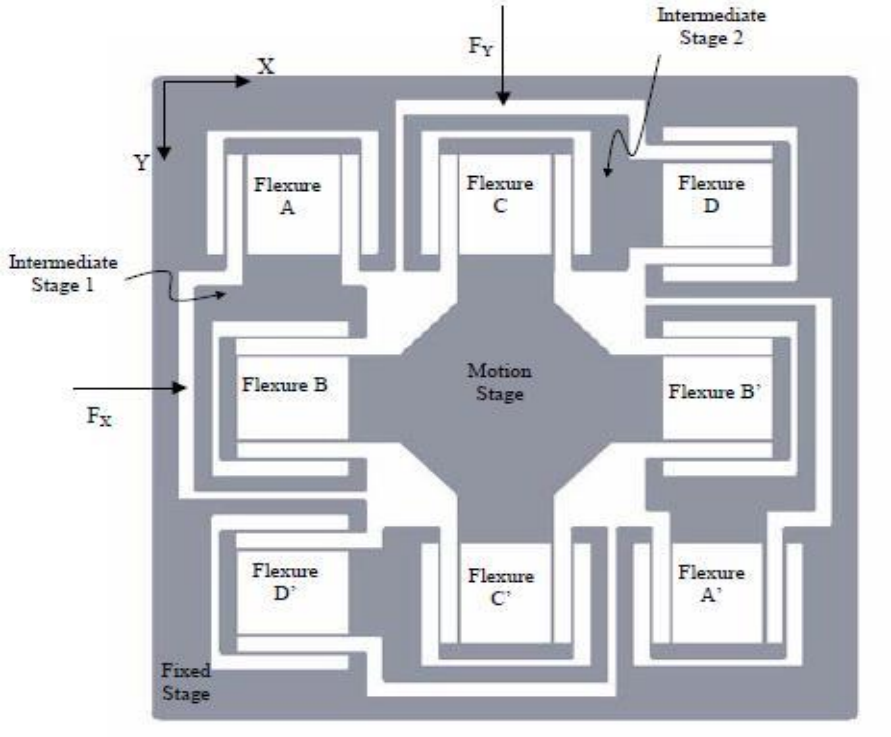
***Şekil 1. Deneysel Model***



*Şekil 2. Bina CAD Modeli*

### 1.1. Esnek Mekanizma Modelleri

Tasarlanan model; orta kısım hareketli bölge, dış çerçeve sabit bölge, yayların birbirine bağlandığı dört ayrı bölge olmak üzere Şekil 1.4 te gösterilmiştir.



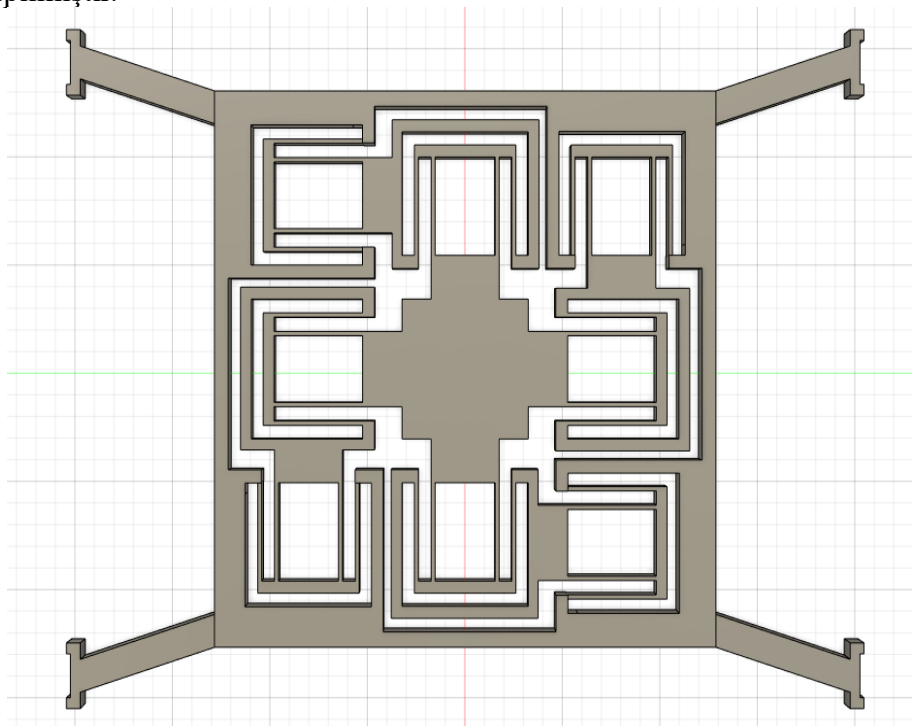

*Şekil 3. X-Y Esnek Mekanizma*

Bu ana tasarım üzerinden yay uzunluğu ve yay kalınlığı farklı değerlerde olmak üzere yeni tasarımlar yapılmıştır. Bu değerler Tablo 1'de listelenmiştir.

*Tablo 1. Farklı Tasarımlar İçin Ölçüler*

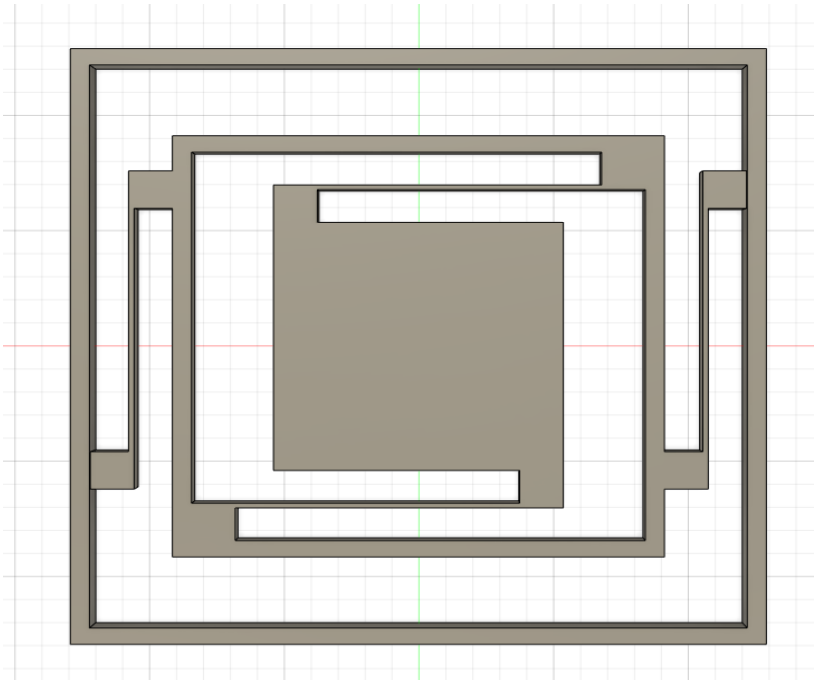
| Birimler | XY 40 (mm) | XY 35 (mm) | XY 45 (mm) | XY 104 (mm) |
|---|---|---|---|---|
| **l** | 40 | 35 | 45 | 104 |
| **h** | 2 | 2,5 | 2 | 2 |
| **b** | 11 | 11 | 11 | 11 |
| **En x Boy** | 254x254 | 254x254 | 254x254 | 254x254 |
| **Plaka Kalınlığı** | 15 | 15 | 15 | 15 |

Ayrıca kelepçeler yardımıyla mekanizma kolonlara bağlanmış ve bu bağlantı tipiyle de analizler yapılmıştır.



*Şekil 4. Kelepçe Bağlantısına Sahip Mekanizma*

Daha sade ve daha basit yapıya sahip (XY 104 mm) başka bir mekanizma da kullanılmıştır.



*Şekil 5. Basit Mekanizma (104 mm)*

Son olarak ekstra ağırlık yardımıyla titreşimin aktarılması için mekanizmanın orta kısmına 10x74x74 mm ölçülerinde çelik malzemeler eklenmiştir.
Ayrıca bazı analizlerde mekanizmanın orta kısmına Ø30, Ø50, Ø70 mm çaplarında boşaltmalar yapılarak (hafifletilerek) analizler yapılmıştır.

## 2. MODAL ANALİZLER

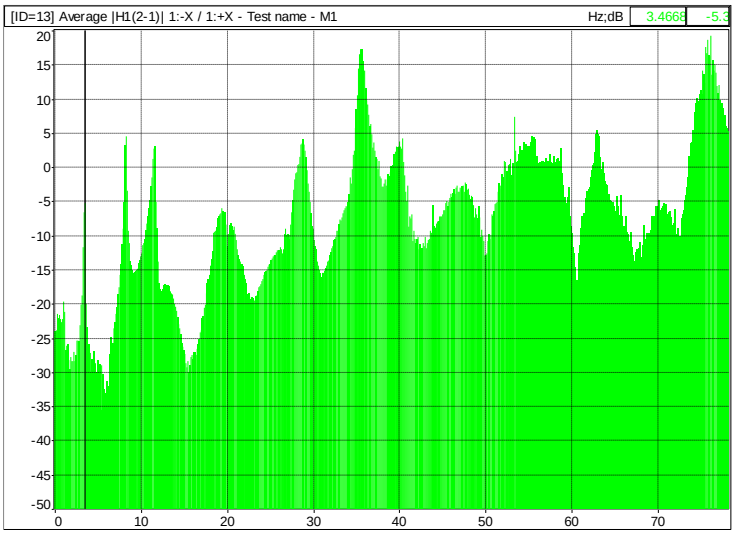
### 2.1. Deneysel Doğal Frekans Analizi

Deneysel Model üzerinde yapılan titreşim testi ve Bina CAD Modeli üzerinde (ANSYS yardımıyla) yapılan hesaplamalara göre kıyaslamalı doğal frekans değerleri Tablo 1'de gösterilmiştir.

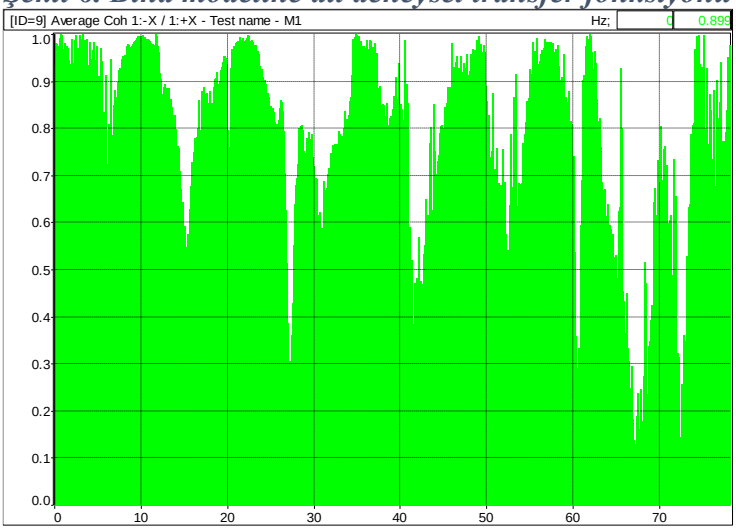
*Tablo 2. Deneysel model ve ANSYS kıyaslaması*

| *Deneysel Model* | | *ANSYS Modeli* | | *FARK (%)* |
|---|---|---|---|---|
| *Mode* | *Frekans (Hz)* | *Mode* | *Frekans (Hz)* | |
| 1 | 3,4668 | 1 | 3,4684 | -0,04615 |
| 2 | 8,25195 | 2 | 6,0027 | 27,2572 |
| 3 | 11,5723 | 3 | 10,931 | 5,54168 |

Tablo 2'den görüleceği üzere birinci ve üçüncü doğal frekans değerleri kabul edilebilir yaklaşım gösterirken, ikinci doğal frekans değerleri arasında farklılık büyüktür. Bu durumun bağlantılardan kaynaklı olduğu düşünülmekte olup binanın burulma titreşimlerine denk gelmektedir. Deneysel çalışmalara ait transfer ve tutarlılık fonksiyonları Şekil 6 ve Şekil 7'de görülmektedir.



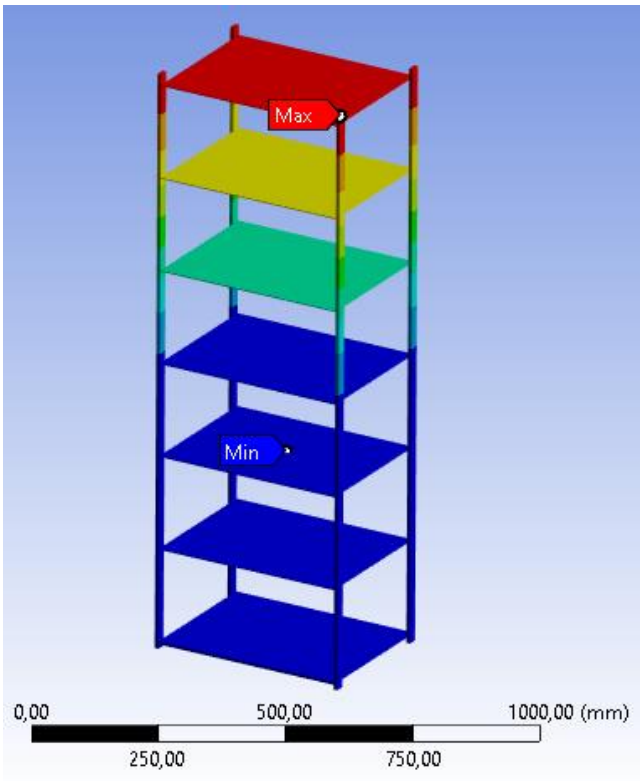

*Şekil 6. Bina modeline ait deneysel transfer fonksiyonu*




*Şekil 7. Bina modeline ait deneysel tutarlılık fonksiyonu*

## 2.2. Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Doğal Frekans Analizi

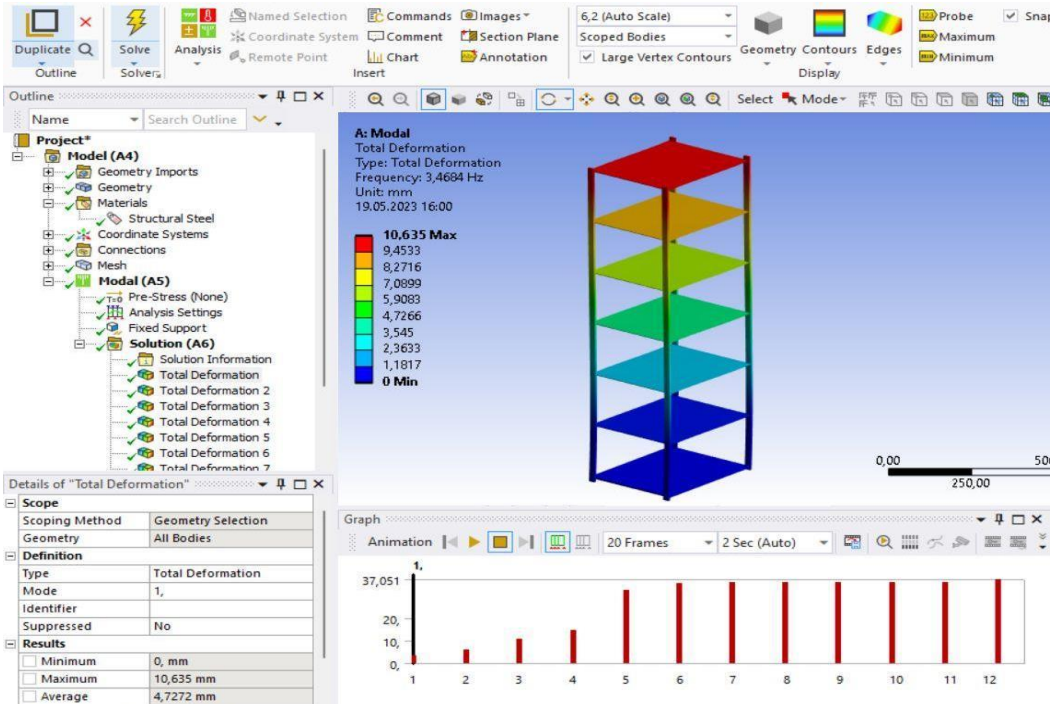
Bu bölümde aşağıdaki bilgileri verebiliriz.
NOD Sayısı: 80878
Eleman Sayısı: 30011
Serbestlik Dereceleri: 242586




*Şekil 8. Boş Bina Modeli*

### 2.2.1. Bina Doğal Frekans Analizi

İlk olarak bina üzerinde herhangi bir mekanizma yokken binanın doğal frekans değerleri hesaplanmıştır.




*Şekil 9. Boş Bina Doğal Frekans Değerleri*

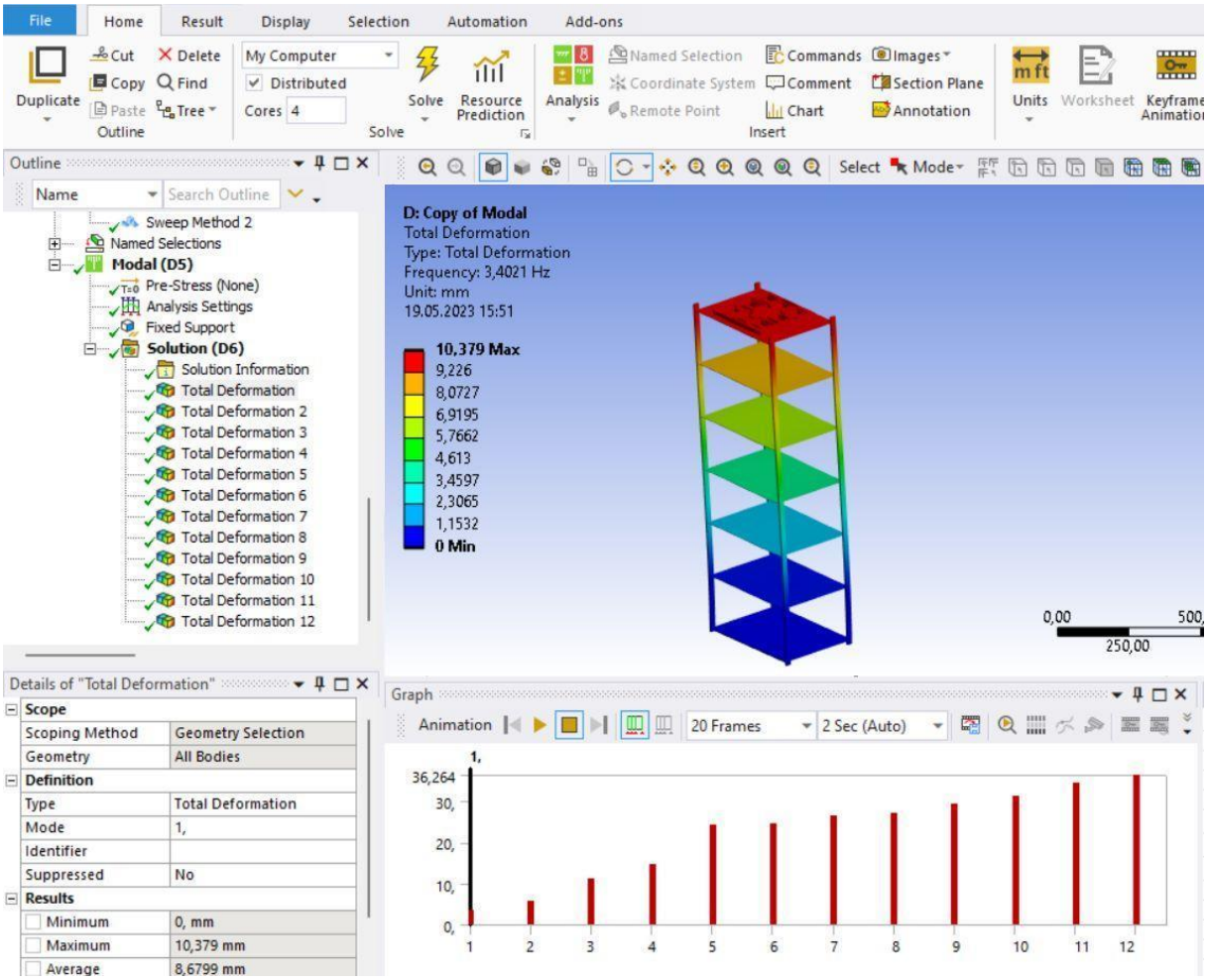
*Tablo 3. Boş Bina Doğal Frekans Değerleri*

| Mode | Frekans [Hz] |
|---|---|
| 1 | 3,4684 |
| 2 | 6,0027 |
| 3 | 10,931 |
| 4 | 14,834 |
| 5 | 32,362 |
| 6 | 35,399 |

| Mode | Frekans [Hz] |
|---|---|
| 7 | 35,65 |
| 8 | 35,774 |
| 9 | 35,843 |
| 10 | 35,898 |
| 11 | 35,91 |
| 12 | 37,051 |

### 2.2.2. Yedinci Kata Bağlı 40 mm Esnek Mekanizma (Kelepçesiz)

Bu analizde binanın en üst katına sabitlenen mekanizma yardımıyla titreşim miktarının ne kadar değiştiği bulunmuştur. Bu değerlere göre bütün değerler azalmıştır ve ayrıca modal analizde ilk üç mod değeri önemli olduğu için birinci mod frekansını 3,4684 Hz değerinden 3,4021 Hz değerine (%1,94 oranında) düştüğü de gözlenmiştir.




*Şekil 10. Yedinci Kata Bağlı 40 mm Kelepçesiz Modal Analiz Değerleri*

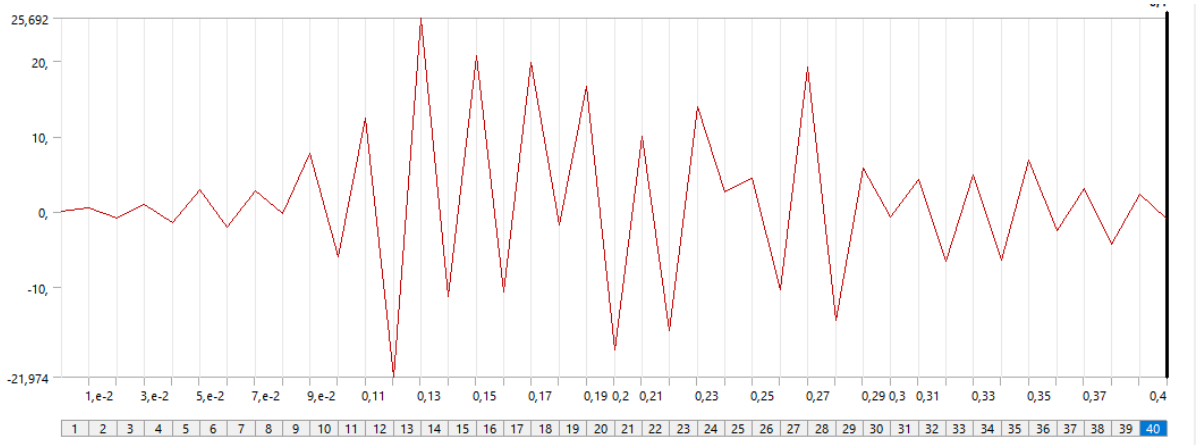
*Tablo 4. 7. Kata Bağlı 40 mm Doğal Frekans Değerleri*

| Mode | Frekans [Hz] |
|---|---|
| 1 | 3,4021 |
| 2 | 5,8311 |
| 3 | 10,997 |
| 4 | 14,551 |
| 5 | 24,088 |
| 6 | 24,39 |

| Mode | Frekans [Hz] |
|---|---|
| 7 | 26,338 |
| 8 | 27,054 |
| 9 | 29,226 |
| 10 | 31,184 |
| 11 | 34,385 |
| 12 | 36,264 |

## 3. GEÇİCİ DURUM CEVAP ANALİZLERİ

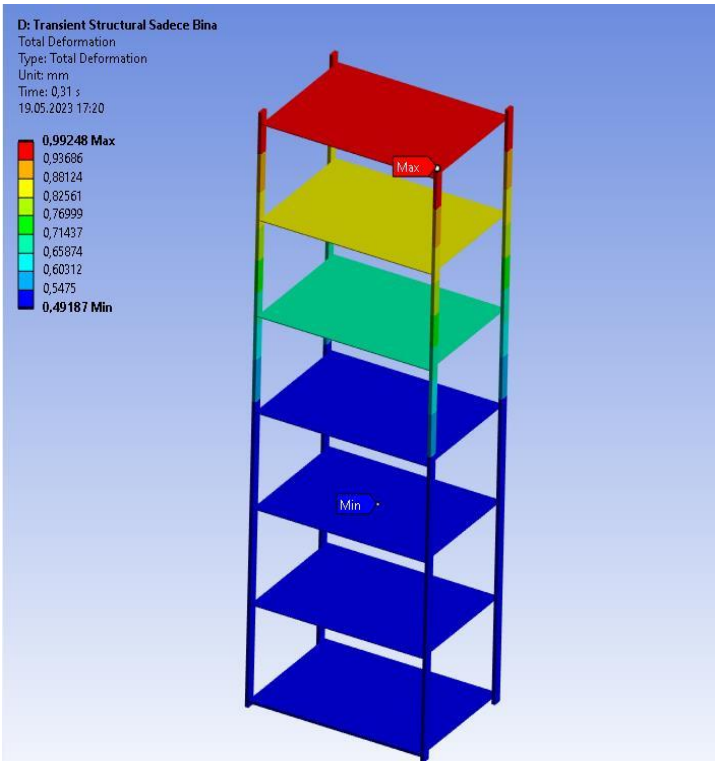
Zamanla değişen yükler altında veya belirli frekans değerlerinde makine elemanlarının davranışını anlamak amacıyla yapılan analizlere Transient analiz denir. Bu bölümde 17 Ocak 1995 tarihinde gerçekleşen Kobe depremi verileri kullanılmıştır.



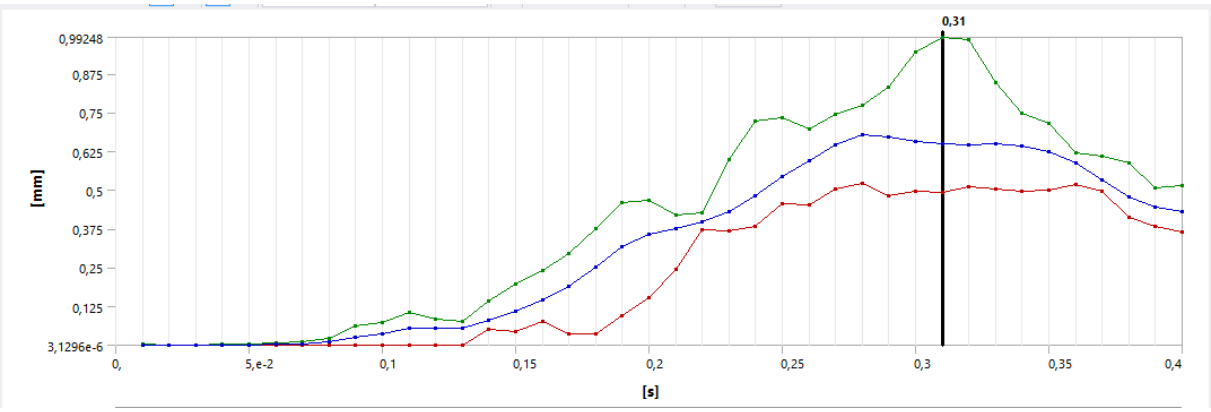

*Şekil 11. Deprem Girdisi Hız Grafiği*

### 3.1. Boş Bina Geçici Durum Cevap Analizi

Tasarımı yapılan esnek mekanizmanın uygulama sonucu etkisini görebilmek için boş binanın analizinin yapılması gereklidir. Buna göre toplam deformasyon ve eşdeğer gerilme değerleri;



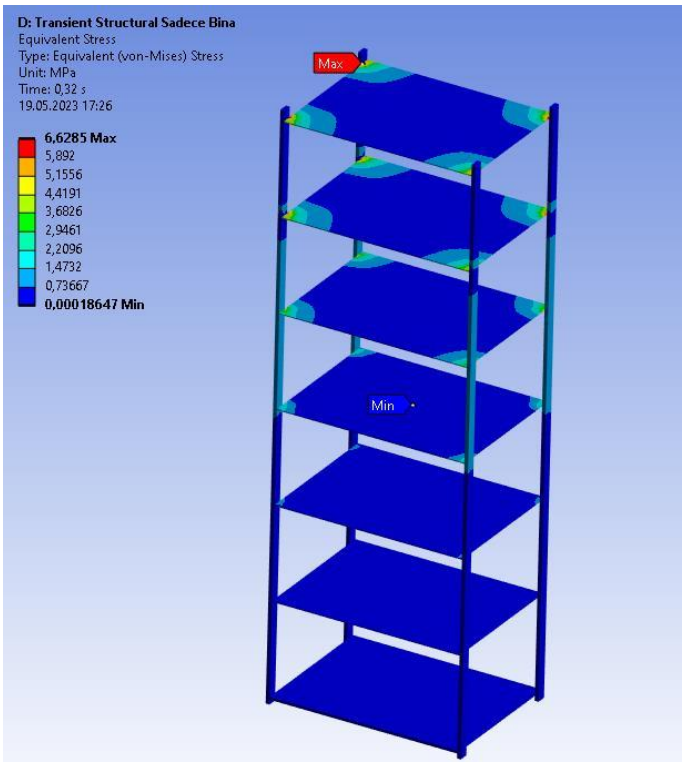

*Şekil 12. Boş Bina Toplam Deformasyon Görseli*



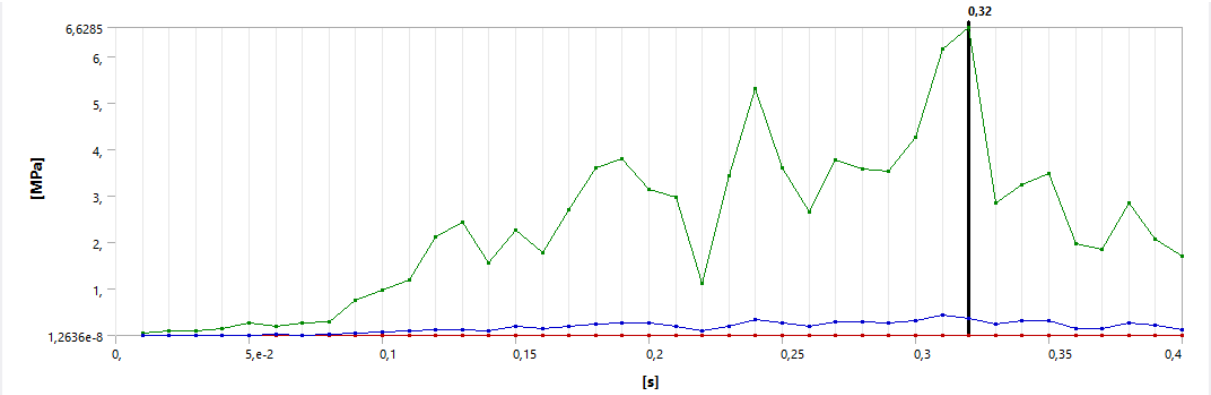

*Şekil 13. Boş Bina Toplam Deformasyon Grafiği*

*Tablo 5. Boş Bina Toplam Deformasyon Değerleri*

| Maksimum (mm) | Minimum(mm) | Ortalama (mm) | Adım |
|---|---|---|---|
| 0,99248 | 0,49187 | 0,64908 | 31 |




*Şekil 14. Boş Bina Eşdeğer Gerilme Görseli*




*Şekil 15. Boş Bina Eşdeğer Gerilme Grafiği*

*Tablo 6. Boş Bina Eşdeğer Gerilme Değerleri*

| Maksimum (MPa) | Minimum (MPa) | Ortalama (MPa) | Adım |
|---|---|---|---|
| 6,6285 | 1,8647 E-4 | 0,36808 | 32 |

## 4. ESNEK MEKANİZMANIN UYGULANMASI

Bu bölümde esnek mekanizmanın farklı katlara uygulanması ile elde edilen verilerden bahsedilecektir. Bu değerlere göre mekanizmadan elde edilen veriler tablolar halinde sunulacaktır.

### 4.1. Kelepçesiz Mekanizma Ortadan Bağlantı Uygulaması

Bu bağlantı tipinde mekanizmanın orta kısmının kalınlığı 2 mm kadar fazla tutulmuş, katlara temas etmesi sağlanarak analizler yapılmıştır.

Yay uzunluğu 40 mm olan mekanizmanın uygulanması ile elde edilen sonuçları tablo halinde sunulmuştur.

*Tablo 7. Kelepçesiz Esnek Mekanizma Uygulama Verileri (Yay Boyu: 40 mm)*

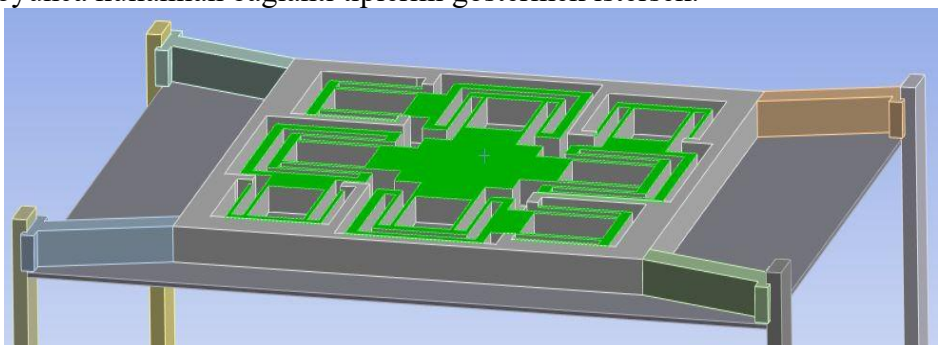
| | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Ortadan Bağlı 40 mm Mekanizma** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** |
| **Boş Bina** | 0,99248 | 0,49187 | 0,64908 | 6,6285 | 1,8647 e -004 | 0,36808 |
| **7. Kat Kelepçesiz** | 1,0193 | 0,50533 | 0,91355 | 7,4866 | 7,7673 e -006 | 0,10445 |
| **6. Kat Kelepçesiz** | 0,99805 | 0,51005 | 0,78008 | 6,6782 | 1,0299 e-005 | 0,10271 |
| **5. Kat Kelepçesiz** | 1,0048 | 0,50857 | 0,66882 | 6,8829 | 1,1543 e-005 | 0,10345 |
| **4. Kat Kelepçesiz** | 1,015 | 0,50656 | 0,56384 | 7,2829 | 2,4939 e-005 | 0,11188 |
| **3. Kat Kelepçesiz** | 1,0047 | 0,44179 | 0,51858 | 7,0476 | 3,0463 e-005 | 0,11496 |
| **2. Kat Kelepçesiz** | 0,98797 | 0,46334 | 0,52622 | 6,6583 | 5,0371 e-006 | 0,10417 |
| **1. Kat Kelepçesiz** | 0,98383 | 0,50986 | 0,55406 | 6,6253 | 5,4544 e-006 | 0,09752 |

Toplam deformasyon yönünden Tablo 7'deki sonuçlara bakılırsa boş binada oluşan maksimum toplam deformasyon değeri baz alınarak kıyaslama yapılırsa; ilk iki katta mekanizmayı kullanmanın deformasyonu küçük miktarlarda azalttığı, üçüncü kattan yedinci kata kadar uygulama yapıldığında ise deformasyonu arttırdığı görülmüştür.

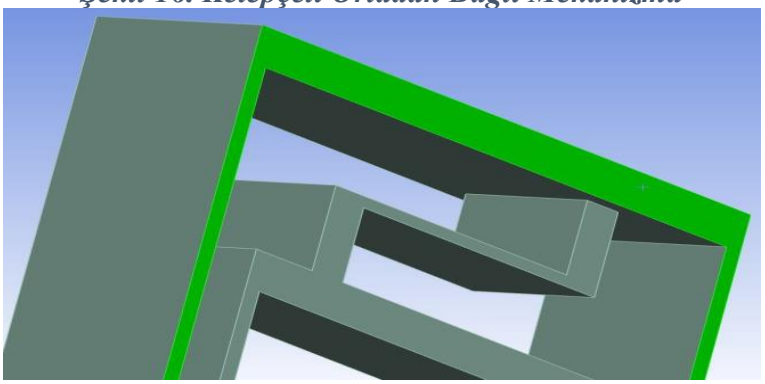
Eşdeğer gerilme yönünden bakılırsa bütün katlardaki uygulamaların olumsuz yönde artışa neden olduğu görülmüş, ortadan bağlı sistemin uygunsuz olduğu sonucuna varılmıştır. Bu yüzden farklı bağlantı tiplerinin nasıl sonuçlar vereceğini irdelemek için analizler yapılmıştır.

### 4.2. Mekanizmanın Farklı Bağlantı Tipleri ile Uygulanması

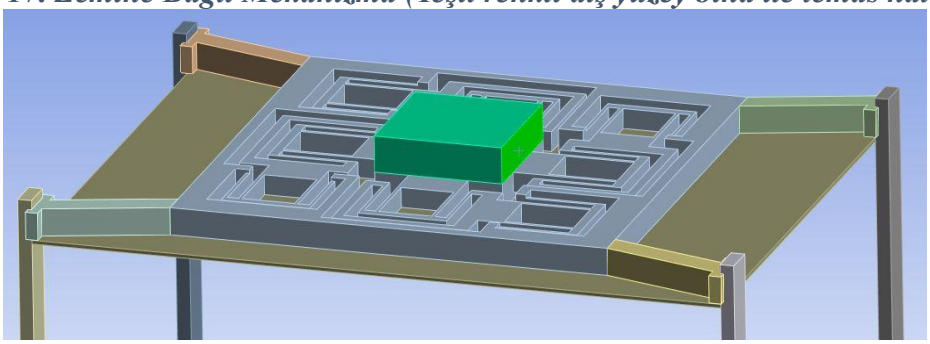
Çalışma boyunca kullanılan bağlantı tiplerini göstermek istersek.



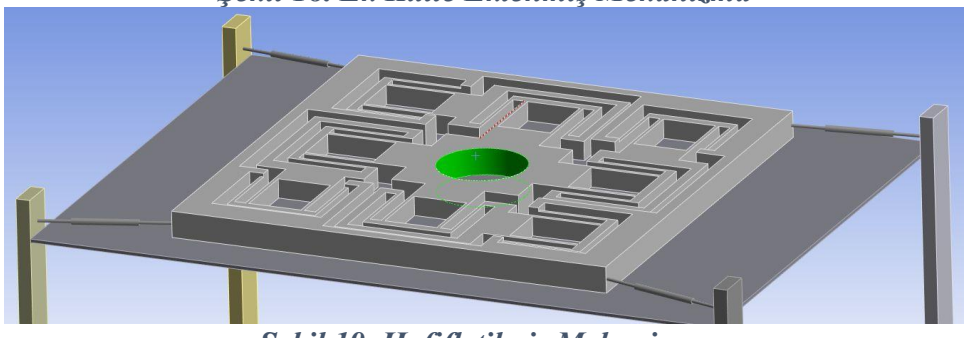
*Şekil 16. Kelepçeli Ortadan Bağlı Mekanizma*



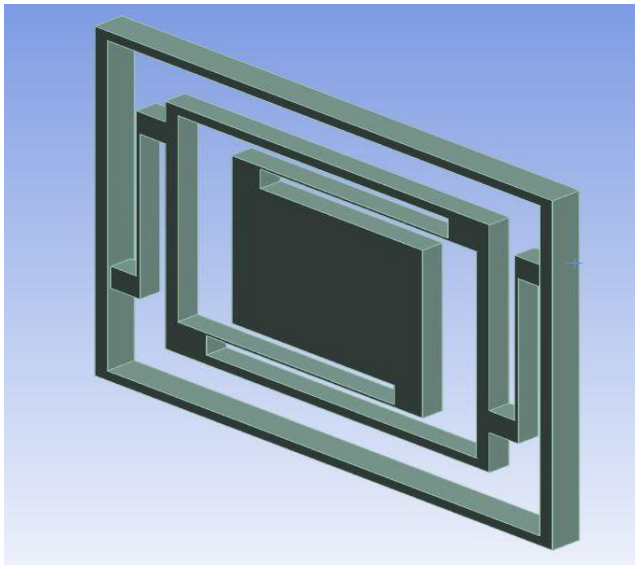
*Şekil 17. Zemine Bağlı Mekanizma (Yeşil renkli dış yüzey bina ile temas halinde)*



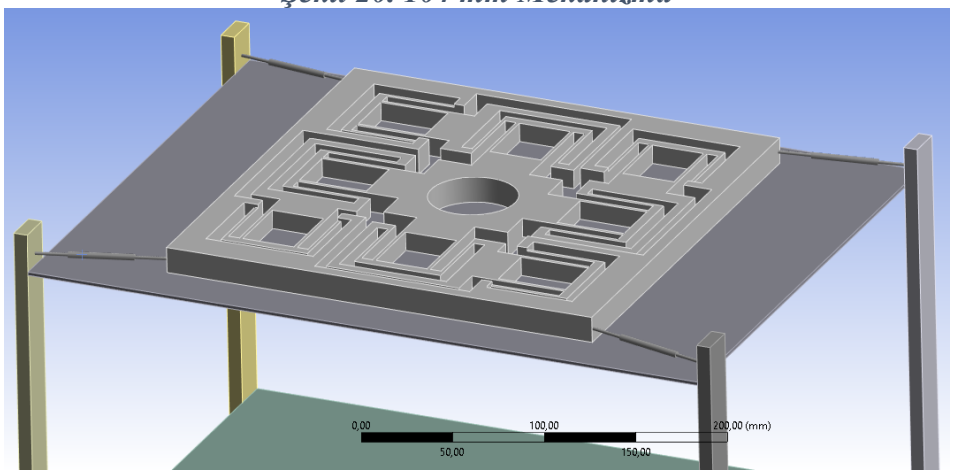
*Şekil 18. Ek Kütle Eklenmiş Mekanizma*



*Şekil 19. Hafifletilmiş Mekanizma*



*Şekil 20. 104 mm Mekanizma*




*Şekil 21. Yaylı Mekanizma*

Farklı tiplerde yapılan bütün bağlantılar yedinci kata uygulanmıştır. Kelepçeli, kelepçesiz, ortadan bağlı, zemine bağlı (dış çerçeve), yay ve sönüm eklemeli olmak üzere çalışmalar yapılmıştır. Buna göre elde edilen veriler Tablo 8'de gösterilmiştir. Yaylı mekanizmada kolonlarla mekanizma arasındaki bağlantıda kelepçe kullanılmamış, bunun yerine yay ve sönüm tanımlaması yapılarak sistemi nasıl etkileyeceği irdelenmiştir.

*Tablo 8. Farklı Bağlantı Tipleriyle Elde Edilen Veriler*

| | **Toplam Deformasyon [mm]** | | | **Eşdeğer Gerilme [MPa]** | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **7. Kat Uygulama 40 mm Mekanizma** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** |
| **Boş Bina** | 0,9925 | 0,4919 | 0,6491 | 6,6285 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **Kelepçesiz Ortadan Bağlı** | 1,0193 | 0,5053 | 0,9136 | 7,4866 | 7,7673 e-6 | 0,10445 |
| **Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,9478 | 0,4999 | 0,8668 | 5,7959 | 1,6016 e-5 | 0,10301 |
| **Kelepçeli Ortadan Bağlı Değil** | 0,9779 | 0,4999 | 0,875 | 5,7394 | 2,8042 e-6 | 0,10694 |
| **Kelepçesiz Zemin Bağlı** | 1,0126 | 0,508 | 0,9019 | 7,9069 | 2,4261 e-6 | 9,5279 e-2 |
| **Ortadan Bağlı Yaylı (k=1 N/mm, c=0,1 N.s/mm)** | 0,9756 | 0,5059 | 0,8535 | 5,8328 | 4,9459 e-5 | 0,1104 |

Buradaki verilere göre kelepçesiz bağlantılar ve zemin (dış çerçeve) bağlantılar olumsuz yönde etki etmiştir. Özellikle eşdeğer gerilme değeri zemin bağlı analizde %19 kadar yükselmiştir. Bu sonuçlar zemin bağlı ve kelepçesiz bağlı sistemlerin uygulanmaması gerektiğini göstermektedir. Kelepçeli tiplerde ve ortadan bağlı yaylı sistemde toplam deformasyon ve eşdeğer gerilmeler azalmıştır.

### 4.3. Farklı Katlara Birlikte Uygulanan Kelepçeli Mekanizma Ortadan Bağlı

Esnek mekanizmanın aynı anda uygulanması durumunda elde edilecek değerlerin nasıl olacağı irdelendiğinde Tablo 9'daki veriler elde edilmiştir.

*Tablo 9. Farklı Katlara Birlikte Uygulanan Kelepçeli Mekanizma Verileri*

| | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kelepçeli Ortadan Bağlı 40 mm Mekanizma** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** |
| **Boş Bina** | 0,9925 | 0,4919 | 0,6491 | 6,629 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **7. ve 6. Kat Kelepçeli** | 0,91504 | 0,49439 | 0,77245 | 4,9955 | 5,5199 e-6 | 8,2094 e-2 |
| **7. ve 5. Kat Kelepçeli** | 0,9066 | 0,4968 | 0,7745 | 4,843 | 1,4254 e-5 | 6,1413 e-2 |
| **7. ve 4. Kat Kelepçeli** | 0,9071 | 0,4895 | 0,6991 | 5,548 | 1,3007 e-5 | 6,4207 e-2 |
| **7. ve 3. Kat Kelepçeli** | 0,9142 | 0,4777 | 0,682 | 5,639 | 3,3323 e-6 | 6,4765 e-2 |
| **7. ve 2. Kat Kelepçeli** | 0,9284 | 0,4845 | 0,6947 | 5,687 | 1,288 e-5 | 6,261 e-2 |
| **7. ve 1. Kat Kelepçeli** | 0,9193 | 0,4932 | 0,6973 | 5,237 | 4,4335 e-6 | 5,6562 e-2 |
| **7. 4. ve 1. Kat Kelepçeli** | 0,9043 | 0,4908 | 0,6869 | 5,495 | 5,3168 e-6 | 5,7967 e-2 |

Buna göre kelepçeli ve ortadan bağlı tiplerde toplam deformasyon ve eşdeğer gerilme değerleri düşüş göstermiştir. Yedinci kat üzerine gelen titreşim genlikleri tüm sistem üzerinde en büyük değerlere sahip olduğu için yedinci katla beraber diğer katlara uygulamalar yapılmıştır. Toplam deformasyonda 5. ve 4. katlara, eşdeğer gerilmede 6. ve 5. katlara yapılan uygulamalar olumlu etki göstermiştir. Aynı anda üç farklı kat uygulaması ise maliyet artışı da düşünülerek bu sistem için verimli olmamıştır.

### 1.1. Mekanizmaya Ek Kütle Eklenmesiyle Yapılan Analizler

Bu analizler yapılırken mekanizmanın orta kısmına 74x74 mm ölçüsünde, farklı kalınlıklarda (10, 20, 30 mm) yapı çeliği eklenmiştir. Bu uygulamanın ortaya çıkan yer değiştirmeleri ve gerilmeleri nasıl etkileyeceği irdelenmiştir. Buna göre elde edilen veriler Tablo 10'da gösterilmiştir. Verilerden görüleceği üzere kütle arttıkça meydana gelen toplam deformasyon miktarı ve eşdeğer gerilme değeri yükselmiştir. Ayrıca ikinci ve son satırdan görüleceği üzre mekanizmanın tabanı veya ortası bağlı değilken, mekanizmanın bağlı olduğu duruma göre deformasyon miktarı daha fazla artmıştır.

*Tablo 10. Ek Kütleli Mekanizma Verileri*

| | | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Kalınlık** | | **Max.** | **Min.** | **Ort.** | **Max.** | **Min.** | **Ort.** |
| | **Boş Bina** | 0,99248 | 0,4919 | 0,6491 | 6,6285 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **0** | **7. Kat Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,94776 | 0,4999 | 0,8668 | 5,7959 | 1,6016 e-5 | 0,10301 |
| **10** | **7. Kat Kelepçeli Ek Kütleli Ortadan Bağlı** | 0,96121 | 0,4971 | 0,8771 | 5,9443 | 2,6818 e-5 | 0,10681 |
| **20** | **7. Kat Kelepçeli Ek Kütleli Ortadan Bağlı** | 0,97329 | 0,5101 | 0,8879 | 6,0113 | 2,2745 e-5 | 0,10408 |
| **30** | **7. Kat Kelepçeli Ek Kütleli Ortadan Bağlı** | 0,98864 | 0,5085 | 0,8907 | 6,3549 | 5,2617 e-5 | 0,1039 |
| **10** | **7. Kat Kelepçeli Ek Kütleli Ortadan Bağlı Değil** | 1,1258 | 0,509 | 0,9146 | 5,8941 | 0,5357 e-6 | 0,10556 |

### 1.2. Farklı Yay Uzunluk ve Yay Kalınlık Değerlerine Sahip Mekanizma Uygulaması

Bu bölümde 35 mm uzunluğa ve 2,5 mm kalınlığa sahip mekanizma ile 40 ve 45 mm uzunluklara ve 2 mm kalınlığa sahip mekanizmalar boş binadan elde edilen veriler ile kıyaslanmıştır.

Tablodaki verilerden anlaşılacağı üzere 35 mm boy 2,5 mm kalınlığa sahip mekanizma ile eşdeğer gerilme değeri en düşük değeri almıştır. Buradaki değişim %39,40 değerindedir ve bu değer oluşan gerilmeleri istenilen bir şekilde azaltmıştır. 45 mm boy ve 2 mm kalınlığa sahip mekanizma ise en düşük deformasyon değerini vermiştir. Kelepçesiz olan mekanizmalar ise negatif yönde etki etmiş, eşdeğer gerilmeleri yükseltmiştir.

*Tablo 11. Farklı Yay Uzunluk ve Kalınlık Değerlerine Sahip Mekanizma Verileri*

| | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max. | Min. | Ort. | Max. | Min. | Ort. |
| **Boş Bina** | 0,9925 | 0,4919 | 0,6491 | 6,6285 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **7. Kat 35 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,9487 | 0,4997 | 0,8734 | 4,7549 | 4,7579 e5 | 8,1447 e-2 |
| **7. Kat 40 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,9478 | 0,4999 | 0,8668 | 5,7659 | 1,6016 e-5 | 0,10301 |
| **7. Kat 45 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,9475 | 0,4999 | 0,8656 | 5,7611 | 1,5945 e-5 | 9,9514 e-2 |
| **7. Kat 35 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı Değil** | 0,9511 | 0,4998 | 0,8768 | 4,8534 | 2,1336 e-6 | 8,1642 e-2 |
| **7. Kat 40 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı Değil** | 0,9779 | 0,4999 | 0,875 | 5,7394 | 2,8042 e-6 | 0,10694 |
| **7. Kat 45 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı Değil** | 0,9911 | 0,4991 | 0,8748 | 5,7467 | 1,0316 e-5 | 0,10765 |
| **7. Kat 35 mm Kelepçesiz Ortadan Bağlı** | 1,0207 | 0,5066 | 0,9052 | 7,6109 | 1,8986 e-5 | 9,976 e-2 |
| **7. Kat 40 mm Kelepçesiz Ortadan Bağlı** | 1,0193 | 0,5053 | 0,9136 | 7,4866 | 7,7673 e-6 | 0,10445 |
| **7. Kat 45 mm Kelepçesiz Ortadan Bağlı** | 1,044 | 0,4941 | 0,9233 | 7,4226 | 3,7327 e-5 | 0,11037 |

### 1.3. Basit Yapıda Bir Mekanizma Uygulaması

Bu analizde 104 mm yay boyuna sahip basit bir başka mekanizma ile analizler yapılmıştır. Mekanizma simetrik yapıda olmadığı için mekanizma 90 derece döndürülerek aynı analizler tekrar yapılmıştır. Sonuçlardan görüleceği üzere kelepçesiz olan bağlantı yine olumsuz değerler vermiştir. Kelepçeli ve ortadan bağlı mekanizmalar olumlu sonuçlar vermiştir. 90 derece döndürülmüş sistem (tabloda 6. sırada) toplam deformasyonda %13,50, eşdeğer gerilmede %59,50' lik iyileşme sağlamıştır. Ayrıca daha önce analizleri yapılan 35 ve 40 mm uzunluktaki yaylara sahip sistemlerle kıyaslandığında yeni mekanizmanın (104 mm) daha verimli olduğu anlaşılmıştır. 35 mm olan tasarıma göre toplam deformasyon %8,52 eşdeğer gerilme ise %14,47 oranında azalmıştır.

*Tablo 12. Yay Uzunluğu 104 mm Olan Mekanizma Verileri*

| Hspsi 7. Kata Uygulanmıştır | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max. | Min. | Ort. | Max. | Min. | Ort. |
| **Boş Bina** | 0,99248 | 0,4919 | 0,64908 | 6,6285 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **104 mm Kelpçesiz Ortadan Bağlı** | 1,1113 | 0,4833 | 0,87641 | 6,947 | 1,9879 e-5 | 0,12062 |
| **104 mm Kelepçesiz Ortadan Bağlı 90 Derece Döndürülmüş** | 1,1568 | 0,5024 | 0,75499 | 6,9016 | 5,6696 e-5 | 0,12642 |
| **40 mm Kelepçesiz Ortadan Bağlı** | 1,0193 | 0,5053 | 0,91355 | 7,4866 | 7,7673 e-6 | 0,10445 |
| **104 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,95738 | 0,4978 | 0,86325 | 5,8679 | 1,1 e-5 | 0,11269 |
| ***104 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı 90 Derece Döndürülmüş*** | *0,87415* | *0,4959* | *0,79612* | *4,1536* | *6,5844 e-6* | *8,537 e-2* |
| **40 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,94776 | 0,4999 | 0,86677 | 5,7959 | 1,6016 e-5 | 0,10301 |
| **35 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı** | 0,94868 | 0,4997 | 0,87338 | 4,7549 | 4,7579 e-5 | 8,1447 e-2 |

### 1.4. Rijitlik ve Sönüm Değerleri Farklı Olan Yay Bağlantısı Analizleri

Bu analiz çalışmasında 7. Kata uygulanan mekanizma yay bağlantısı yardımıyla farklı rijitlik ve sönüm değerlerinde analizler yapılmıştır. Buna göre ilk olarak rijitlik değeri sabit tutularak sönüm oranları ikişer kat arttırılarak veriler elde edilmiştir. Tablodan görüleceği üzere sönüm değerinin artması sistemdeki deformasyon ve gerilmeler üzerinde olumlu yönde etki etmemiştir ve doğrusal olmadığı gözlenmiştir. Ayrıca sönüm oranının sabit tutularak yay katsayısının yükseltilmesi de sonuçlarda kayda değer bir farklılığa yol açmamıştır.

*Tablo 13. Rijitlik ve Sönüm Değerleri Farklı Olan Yaylı Bağlantı Verileri*

| Hepsi 7. Kata Uygulanmıştır 40 mm | Toplam Deformasyon [mm] | | | Eşdeğer Gerilme [MPa] | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Max. | Min. | Ort. | Max. | Min. | Ort. |
| **Boş Bina** | 0,99248 | 0,4919 | 0,6491 | 6,6285 | 1,8647 e-4 | 0,36808 |
| **Ortadan Bağlı k=1 N/mm c=0,1 Ns/mm** | 0,97556 | 0,5059 | 0,8535 | 5,8328 | 4,9459 e-5 | 0,1104 |
| **Ortadan Bağlı k=1 N/mm c=0,2 Ns/mm** | 0,9687 | 0,5091 | 0,8554 | 5,7352 | 7,1577 e-7 | 0,10026 |
| **Ortadan Bağlı k=1 N/mm c=0,4 Ns/mm** | 0,98109 | 0,5021 | 0,8482 | 5,9516 | 3,8216 e-5 | 0,12057 |
| **Ortadan Bağlı k=1 N/mm c=0,1 Ns/mm** | 0,97684 | 0,505 | 0,8546 | 5,8577 | 4,6872 e-5 | 0,11089 |
| **Ortadan Bağlı k=2 N/mm c=0,1 Ns/mm** | 0,9693 | 0,5088 | 0,739 | 5,7476 | 7,1515 e-7 | 0,1003 |
| **Ortadan Bağlı k=4 N/mm c=0,1 Ns/mm** | 0,97935 | 0,5034 | 0,8536 | 5,9068 | 4,4495 e-5 | 0,11703 |
| **Kelepçeli 40 mm Ortadan Bağlı** | 0,94776 | 0,4999 | 0,8668 | 5,7959 | 1,6016 e-5 | 0,10301 |
| **104 mm Kelepçeli Ortadan Bağlı 90 Derece Döndürülmüş** | 0,87415 | 0,4959 | 0,79612 | 4,1536 | 6,5844 e-6 | 8,537 e-2 |

## 2. SONUÇLAR

Bu çalışmada depremlerin binalarda meydana getirdiği deformasyonları ve gerilmeleri bir esnek mekanizma (X-Y Flexure) yardımıyla azaltmaya yönelik araştırma yapılmıştır. İlk olarak esnek mekanizma tasarlanmış, binaya olan bağlantıları değiştirilmiş, mekanizma birden fazla farklı katlara uygulanmış, mekanizma üzerine ek kütle eklenmiş, mekanizma yay kalınlıkları ve boyları değiştirilmiş, mekanizma-bina kolonları arasındaki yay-sönüm değerleri değiştirilmiş ve ayrıca daha basit bir tasarıma sahip (104 mm yay boyu) mekanizma uygulaması yapılarak sonuçlar irdelenmiştir.

Kelepçesiz bağlantılar her kat için ayrı ayrı uygulandığında iyi sonuçlar vermemiştir. Katlar arasındaki fark yok denecek kadar azdır. Ayrıca eşdeğer gerilmeler 7. 5. 4. Ve 3. katlarda yükselmiş, diğer katlar neredeyse hiç etkilenmemiştir. Bu sonuçlara göre kelepçesiz bağlantının olumlu yönde etkili olmadığı görülmüştür.

Kelepçeli bağlantılarda ise eşdeğer gerilmeler ve toplam deformasyonlarda olumlu yönde azalmalar görülmüştür. Boş binaya göre kelepçeli bağlantılarda eşdeğer gerilme değerinde ortalama %13 iyileşme görülmüştür. Boş binaya göre kelepçeli ve ortadan bağlı mekanizmalarda toplam deformasyonda %3,07 eşdeğer gerilmede ise %4,5 iyileşme görülmüştür.

Zemine bağlı (dış çerçeve) mekanizmada ise değerler olumsuz yönde olmuştur.
Mekanizma birden fazla katlara uygulandığı zaman genel olarak tek başına uygulamadan daha olumlu sonuçlar vermiştir. Binanın üst katlarına çıkıldıkça genlikler arttığı için 7. ve 6. Katlara, 7. ve 5. katlara ayrı ayrı uygulanan mekanizmalar olumlu sonuçlar vermiştir. Binanın dördüncü katı bir düğüm noktası olduğu için bu kata uygulanan mekanizmanın faydasız olması sürpriz değildir. Eşdeğer gerilme açısından üç farklı kata uygulanan mekanizmalar, iki farklı kata uygulanan senaryoya göre verimli olmamıştır.
Mekanizmaya ek kütle ekleyerek yapılan analizlerde ise olumlu sonuçlar alınmamıştır.
Mekanizmanın yay ölçüleri değiştiği zaman rijitlik değişecektir. Yay boyu arttırıldığı zaman kayda değer bir değişim olmamıştır fakat yay boyu kısaltıldığı zaman eşdeğer gerilmede azalma görülmektedir. (35 mm ile 40 mm karşılaştırıldığında değerlerdeki değişim; eşdeğer gerilme %17,53 azalmıştır. Boş binaya göre ise bu değer %28,26 olmuştur.) Ancak 35 mm'den daha kısa yay boyu mekanizmanın rijitliğini çok yükseltecektir.
Bunların haricinde daha basit tasarımlı 104 mm uzunluklu yaya sahip başka bir mekanizma ile çalışmalar yapılmıştır. Ayrıca asimetrik yapısından dolayı bu mekanizma kendi etrafında 90 derece döndürülerek sonuçlara bakılmıştır. Buna göre döndürülmüş mekanizma boş binaya nazaran deformasyon açısından %11,92, eşdeğer gerilme açısından %37,33 oranında fayda sağlamıştır ki bu değerler analizler arasındaki en iyi sonuçlardır.
Mekanizma kolonlara yay ile bağlandığında boş binaya göre daha iyi sonuçlar vermiştir fakat bu verim artışı kelepçeli ve ortadan bağlı tiplere kıyasla göz ardı edilecek düzeydedir.
Genel olarak uygun bağlantı tipi, uygun malzeme seçimi, uygun tasarım ile X-Y Esnek Mekanizması (X-Y Flexure) bina titreşimlerinin izolasyonu bakımından olumlu sonuçlar vermiştir.

## 3. KAYNAKLAR

[1] Deniz, O., Gezer.,N.: Binalardaki Deprem Titreşimlerini Azaltmaya Yönelik XY Flexure Mekanizması Tasarımı ve Analizi, Yıldız Teknik Üniversitesi, 2023
[2] Howell, L.L.: Compliant Mechanisms, First Edition, John Wiley, New York, 2001.
[3] Sarı, A.E., Mikro Esnek Bağlantılı Kuvvet Artımı Mekanizmalarının Tasarımı ve Sentezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, 2009
[4] Howell, L.L., Midha, A., and Norton, T.W.: Evaluation of Equivalent Spring Stiffness for Use in a Pseudo-Rigid-Body Model of Large Deflection Compliant Mechanisms, ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 118., 1996.
[5] Acer, M, Esnek Bağlantılı Bir Mekanizmanın Tasarımı ve Modellenmesi, Elektronik Mühendisliği ve Bilgisayar Bilimi, Yüksek Lisans Tezi, 2007
[6] Sridhar Kota, Joel Hetrick, Zhe Li, Steve Rodgers and Thomas Krygowski: Synthesizing high-performance compliant stroke amplification systems for MEMS, IEEE., 2000.
[7] Chun, H., Guo, X., Kim, J.S., Lee, C.B.: A Review: Additive Manufacturing of Flexure Mechanism For Nanopositioning System, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 110, 681-703, 2020.
[8] Awtar, S., Slocum, A.H.: Desing Of Parallel Kinematic XY Flexure Mechanisms, ASME 2005 International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference, 11, 2005, Long Beach, California USA
[9] Belfiore N.P., Scaccia M., Di Vasta A., Ianniello F., "Dynamic Performance of Micro-Compliant Platforms: Experimental Analysis",Robotics in Alpe-Adria- Danube Region (RAAD), 2006.
[10] Yu, J., Lu, D., Xie, Y.: "Constraint Design Principle of Large-Displacement Flexure Systems", 2014 International Conference on Manipulation, Manufacturing and Measurement on the Nanoscale (3M-NANO), 6, 2014, Taipei

[11] Xu, Q.: “Design and Development of a Compact Flexure-Based XY Precision Positioning System With Centimeter Range”, IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 61, No. 2, February 2014
[12] Howell, L.L., Magleby, S.P., Olsen B.M.: Handbook of Compliant Mechanisms, John Wiley and Sons Ltd., 2013
[13] Awtar, S, Synthesis and Analysis of Parallel Kinematic XY Flexure Mechanisms, Department of Mechanical Engineering, Doctor of Science Thesis in M.I.T., February 2004
[14] Awtar, S., Slocum, A.H., Sevincer, E.: Characteristics of Beam Based Flexure Modules, ASME 2007 Journal of Mechanical Design, June 2007, Vol. 129/639