

KAUÇUK MESNETLİ BİNALARIN DİNAMİK ANALİZİ

DYNAMIC ANALYSIS OF ELASTOMERIC ISOLATED BUILDING STRUCTURES

Şevket ATEŞ¹, A.Aydın DUMANOĞLU²

¹Araş. Gör., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

²Prof. Dr., Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon.

ÖZ

Bu çalışmada, kauçuk mesnetli binaların dinamik analizleri incelenmiştir. Zemin ile yapı arasında varolan etkileşimi kısmen birbirinden ayırmak amacıyla yapılan izolasyon tekniği ile güçlü deprem etkilerinin binalar üzerinde meydana getirebileceği etkiler azaltılabilmektedir. Bu düşünceyle çeşitli izolasyon teknikleri geliştirilmiştir. Uygulama amacıyla kauçuk mesnetler ile izolasyonu yapılan 5 katlı bir binanın dinamik analizleri yapılmıştır. 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşeni yer hareketi olarak seçilmiştir. Elde edilen sonuçlar aynı binanın ankastre olması durumu ile karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler : Taban izolasyonu, Kauçuk mesnet, Dinamik Analiz

ABSTRACT

In this study, dynamic analysis of base isolated building structure is investigated by using elastomeric bearing systems. The aim of this study is to reduce the effects of the earthquake on buildings using variety isolation techniques which isolate buildings from the ground. A building structure with 5 stories is chosen as a numerical example. The north-south component of 18 May 1940 El-Centro earthquake is an earthquake record in the time history analysis. The dynamic responses obtained from fixed and base isolated buildings are compared with each other.

Keywords: Base isolation, Elastomeric bearing, Dynamic analysis

GİRİŞ

Depremden korunmak amacıyla ilk kauçuk mesnet Yugoslavya'nın Skopje şehrinde üç katlı betonarme bir okul binasında kullanılmıştır (Jangid ve Datta, 1995). Mesnet sistemi olarak doğal kauçuk bloklardan faydalanılmıştır. Kauçuk içerisine çelik plakalar yerleştirilmediğinden düşey yönde istenen rijitlik elde edilememiştir. Dolayısıyla, kauçuk blokların yanlara doğru şişmesi söz konusu olmuştur. Sistemin düşey yöndeki rijitliği yaklaşık olarak yatay yöndeki rijitliğe eşit olduğundan deprem hareketi esnasında bina ileriye veya geriye doğru sallanıp yukarıya doğru sıçrayabilmektedir. Mesnetler çelik plakalarla takviye edilerek karşılaşılan bu zorlukların üstesinden gelinmiştir. Bu tecrübeler ışığında, modern anlamda taban izolasyonuna sahip yapılar, yapının temeli ve tabanı arasında yerleştirilen, yatay yönde esnek ve düşey yönde ise rijit olan taşıyıcılarla yapılabilmektedir. Bu taşıyıcılar, izolatör sistemleri olarak bilinmektedir.

Sismik izolasyon sisteminde kullanılmak amacıyla, uygun özelliklere sahip olan kauçuklar geliştirilmiştir. Taban izolasyonu için gerekli kauçuklar ve bu kauçukların özellikleri Kadir (1982) ve Roeder ve Stanton (1983) tarafından araştırılmıştır. Ayrıca, kauçuk mesnetlerin stabilitesi, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak analiz edilmiştir (Simo ve Kelly, 1984, Stanton ve Scroggins, 1990).

Taban izolasyonlu yapılar üzerinde zemin yapı etkileşiminin dinamik davranışları pek çok araştırmacı tarafından çalışılmıştır (Siddiqui ve Constantinou, 1989, Malagone ve Ferraioli, 1998, Constantinou ve Kneifati, 1988). Constantinou vd. (1988, 1987), kauçuk mesnetli bir yapının analizinde zemin-yapı etkileşiminin ele alınışı sadece üst yapı frekansının taban izolasyonu frekansına oranının 15'ten küçük olması ve deprem dalgası parametrelerinin 10'dan küçük olması durumları için izin verilebileceği gösterilmektedir. Bununla birlikte, taban izolasyonlu yapılarda zemin-yapı etkileşimi ankastre tabanlı yapılarda etkili olduğu kadar önemli olmamaktadır.

Nagarajaiah vd (1991), 3-boyutlu taban izolasyonlu yapıların lineer olmayan dinamik analizlerini gerçekleştirmişlerdir. Ayrıca, bu amaçla 3D-BASIS (Nagarajaiah vd., 1991) isimli bir bilgisayar programı da üretmişlerdir. İki doğrultuda yer hareketine maruz taban izolasyonlu yapıların davranışları Jangid ve Datta (1994) tarafından incelenmiştir. Kauçuk mesnetler kullanılarak üç serbestlik dereceli bir sistemin davranışını değerlendirmişlerdir. Üst yapıda ve taban izolasyonunda, rijitlik merkezi ile kütle merkezi arasındaki farktan dolayı meydana gelen eksantirisiteyi dikkate alan çalışmalar yapılmıştır (Jangid ve Datta, 1994, Dumanoglu ve Ateş, 1999).

KAUÇUK MESNET MATEMATİK MODELİ

Kauçuk izolasyon modeli; kauçuk levhalar arasına çelik plakalar koyularak elde edildiğinden, düşey yönde oldukça rijit ve yatay yönde ise oldukça esnek özellik gösterir. Bu tür mesnetler, tabakalı kauçuk mesnet sistemleri olarak isimlendirilir. Yapıya, deprem hareketinin düşey bileşeni nispeten değişmeden aktarılırken, buna karşılık yatay bileşenin etkileri bu kauçuk mesnetler tarafından kısmen absorbe edilmektedir; böylece yapı deprem etkilerine karşı korunmaktadır (Ateş ve Dumanoglu, 2000). Düşey ivmeler normal olarak çoğu binalar için bir sorun meydana getirmemektedir. Kauçuk mesnedin katı cisim mod periyodu,

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{W}{Kg}} \quad (1)$$

olarak ifade edilebilir (Nagarajaiah vd.,1991). Burada W normal kuvveti veya mesnedin taşıdığı ağırlığı, K mesnedin plastik rijitliğini ve g yerçekimi ivmesini göstermektedir. Elastik rijitlik ise,

$$K_o = \frac{F^Y}{Y} \quad (2)$$

şeklinde ifade edilebilir (Tsopelas vd, 1994). Burada F^Y akma kuvvetini ve Y ise akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. İzolasyon modelinin başlangıç elastik rijitliği izolasyonsuz yapının rijitliğine eşit olmaktadır. Modelin plastik rijitliği, izolatörün etkisini ve yapının esnekliğinin birleşimini içermektedir.

KAUÇUK MESNETLERİN İKİ EKSENLİ MODELİ

Bir kauçuk mesnedin hareketi halinde enine ve boyuna doğrultuda oluşan kuvvetler,

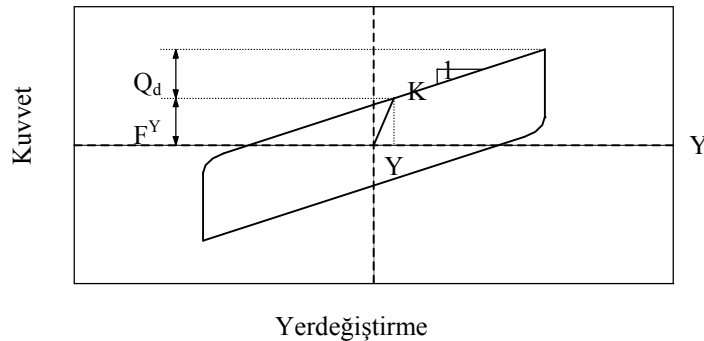
$$F_x = \alpha \frac{F^Y}{Y} U_x + (1-\alpha) F^Y Z_x \quad (3a)$$

$$F_y = \alpha \frac{F^Y}{Y} U_y + (1-\alpha) F^Y Z_y \quad (3b)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada F_x ve F_y sırasıyla enine ve boyuna doğrultudaki kuvvetleri, α plastik rijitliğin elastik rijitliğe oranını, F^Y akma kuvvetini, Y akma yerdeğiştirmesini göstermektedir. Z_x ve Z_y değerleri,

$$\begin{Bmatrix} \dot{Z}_x Y \\ \dot{Z}_y Y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A\dot{U}_x \\ A\dot{U}_y \end{Bmatrix} - \begin{bmatrix} Z_x^2 (\gamma \text{Sign}(\dot{U}_x Z_x) + \beta) & Z_x Z_y (\gamma \text{Sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta) \\ Z_x Z_y (\gamma \text{Sign}(\dot{U}_x Z_x) + \beta) & Z_y^2 (\gamma \text{Sign}(\dot{U}_y Z_y) + \beta) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{U}_x \\ \dot{U}_y \end{Bmatrix} \quad (4)$$

denkleminde verilmiş olup histeretik kuvvetlerin iki eksenli etkileşimiyle ilgili boyutsuz değerlerdir. Kauçuk mesnetlerde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi lineer olmayan bir davranış sergilemektedir. Bu durumu ifade edebilmek amacıyla; W mesnede gelen toplam ağırlığı veya normal kuvveti göstermek üzere akma kuvveti $F^Y=0.055W$ ve akma seviyesi $Q_d=0.045W$ olarak hesaplanabilir. Ayrıca bu eğride Y , akma yerdeğiştirmesini ve K plastik rijitliği ifade etmektedir.



Şekil 1. Kauçuk mesnet sistemlerinde kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi

HAREKET DENKLEMİ

Üst yapının hareket denklemi,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{u}} + \mathbf{K}\mathbf{u} = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{\mathbf{u}}_g \quad (5)$$

yazılabilir. Burada, \mathbf{M} , \mathbf{C} , \mathbf{K} sırası ile kütle, sönüm, rijitlik matrislerini ve \mathbf{r} deprem etki vektörünü ifade etmektedir. $\ddot{\mathbf{u}}$, $\dot{\mathbf{u}}$ ve \mathbf{u} ise sırası ile temele göre yapının ivme, hız ve yerdeğiştirme vektörleridir. m_b , k_b ve c_b sırasıyla izolasyonlu temelin kütle, rijitliğini ve sönümünü göstermek üzere üst yapıyla süperpoze edilerek hareket denklemi,

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{C}\dot{\mathbf{v}} + \mathbf{K}\mathbf{v} = -\mathbf{M}\mathbf{r}(\ddot{\mathbf{u}}_g + \ddot{\mathbf{v}}_b) \quad (6)$$

elde edilir. Burada \mathbf{v} izolasyonlu temele göre yapının yerdeğiştirmesini ve \mathbf{v}_b yere göre izolasyonlu temelin yerdeğiştirmesini ifade etmektedir. İzolasyonlu temel ile binayı kapsayan hareket denklemi ise,

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M}(\ddot{\mathbf{v}} + \mathbf{r}\ddot{\mathbf{v}}_b + \mathbf{r}\ddot{\mathbf{u}}_g) + m_b(\ddot{\mathbf{v}}_b + \ddot{\mathbf{u}}_g) + c_b\dot{\mathbf{v}}_b + k_b\mathbf{v}_b = 0 \quad (7)$$

olarak elde edilir. Tekrar düzenlenirse,

$$\mathbf{r}^T \mathbf{M}\ddot{\mathbf{v}} + (m + m_b)\ddot{\mathbf{v}}_b + c_b\dot{\mathbf{v}}_b + k_b\mathbf{v}_b = -(m + m_b)\ddot{\mathbf{u}}_g \quad (8)$$

halini alır. Burada, $m + m_b$ izolasyonlu mesnedin taşıdığı toplam küttür. Denklem (8) matris formda;

$$\mathbf{M}^* \ddot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{C}^* \dot{\mathbf{v}}^* + \mathbf{K}^* \mathbf{v}^* = -\mathbf{M}\mathbf{r}\ddot{\mathbf{u}}_g \quad (9)$$

yazılabilir. Burada,

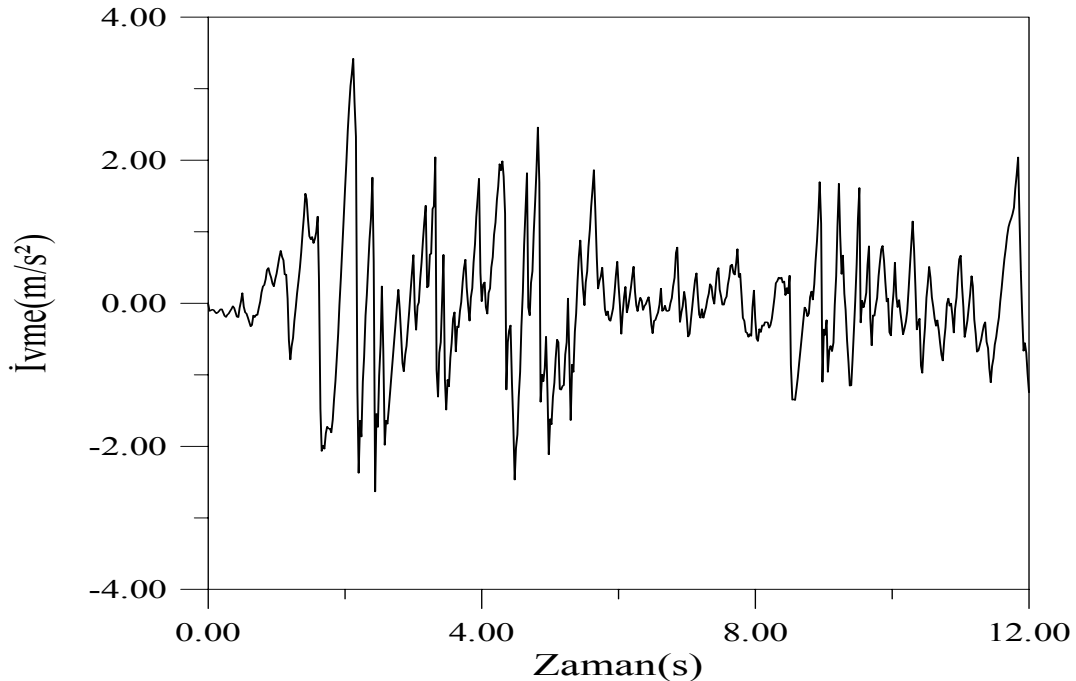
$$\mathbf{M}^* = \begin{bmatrix} m + m_b & \mathbf{r}^T \mathbf{M} \\ \mathbf{M}\mathbf{r} & \mathbf{M} \end{bmatrix} \quad \mathbf{C}^* = \begin{bmatrix} c_b & 0 \\ \mathbf{0} & \mathbf{C} \end{bmatrix} \quad \mathbf{K}^* = \begin{bmatrix} k_b & 0 \\ \mathbf{0} & \mathbf{K} \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{r}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{I} \\ \mathbf{0} \end{bmatrix} \quad \mathbf{v}^* = \begin{bmatrix} \mathbf{v}_b \\ \mathbf{v} \end{bmatrix}$$

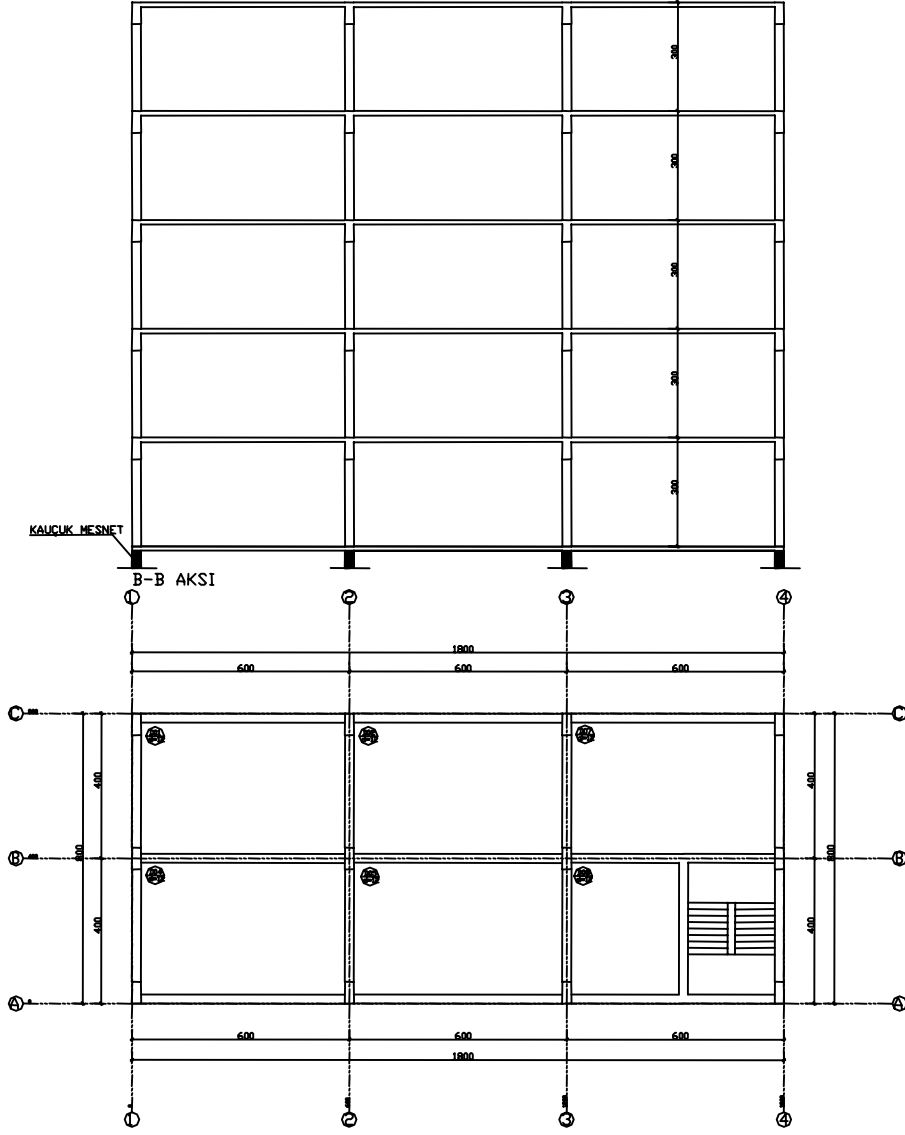
olarak ifade edilmektedir.

SAYISAL UYGULAMA

Sayısal uygulama olarak, dinamik analizleri yapılmak üzere Şekil 3'de verilen 5 katlı bina modeli seçilmiştir. Bu modelde, tüm kolon ve kiriş kesitleri 25 cm/60 cm ve elastisite modülü 28×10^6 kN/m² olarak tasarlanmıştır. Yer hareketi olarak 18 Mayıs 1940 El-Centro denkleminin kuzey-güney bileşeni (Şekil 2) alınarak zaman tanım aralığında dinamik analizler SAP2000 (1997) bilgisayar programıyla yapılmıştır. Mod sayısı ankastre mesnetli binada 5 iken kauçuk mesnetli binada 6 olarak tercih edilmiştir. Yer hareketi binaya her iki yatay doğrultuya aynı anda etki edilmiştir.

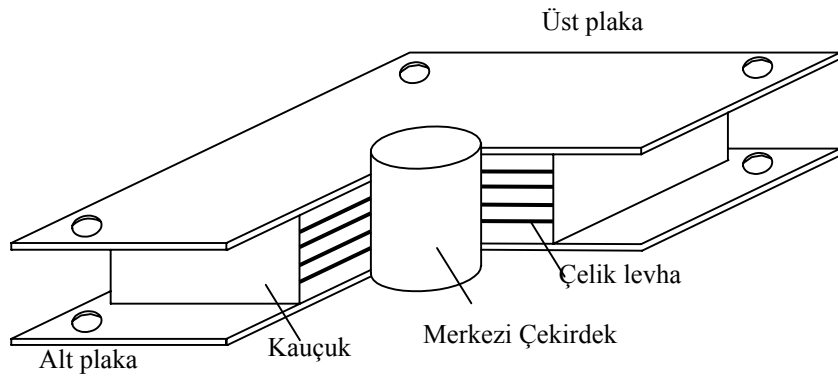


Şekil 2. 18 Mayıs 1940 El-Centro depreminin kuzey-güney bileşeni



Şekil 3. Analizi yapılan binanın plan ve kesiti

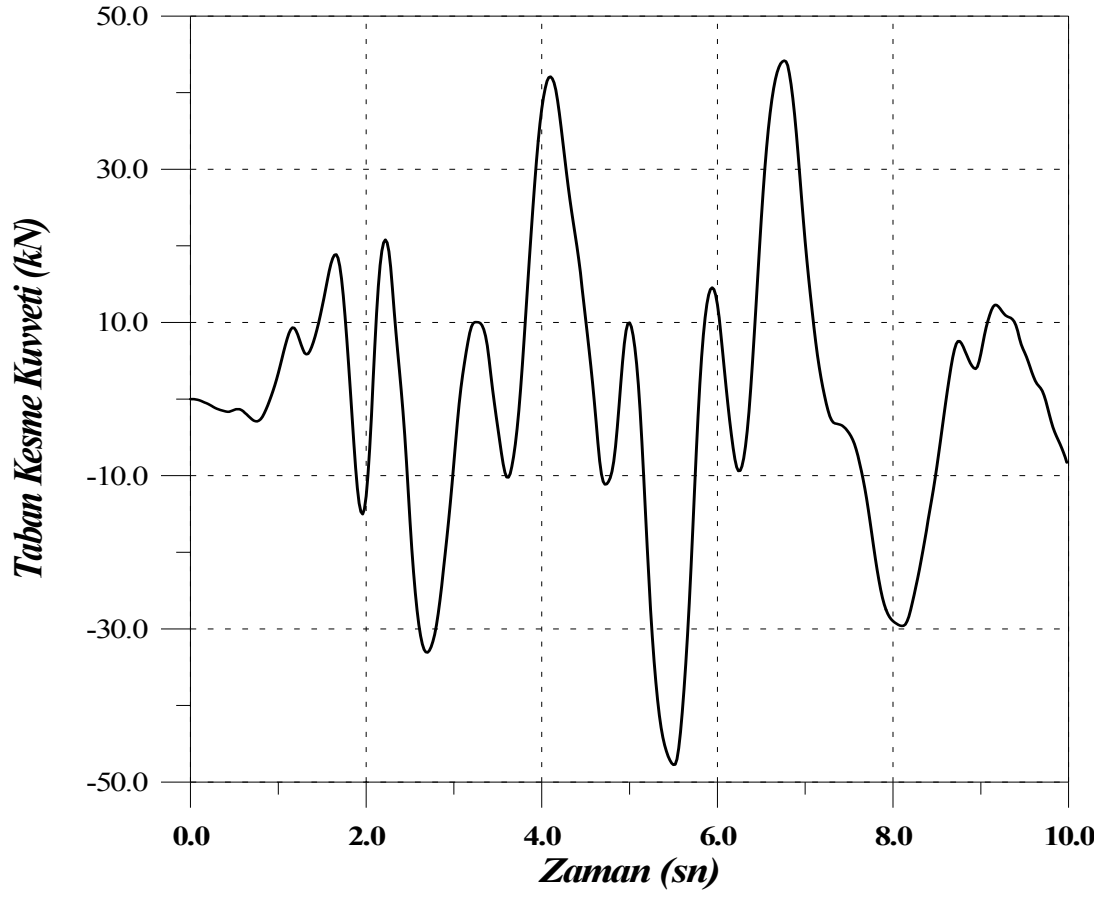
Çalışmada kullanılan kauçuk mesnetlerin yapısı Şekil 4’de ve mekanik özellikleri Tablo 1’de verilmiştir. Zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda elde edilen kauçuk mesnede ait taban kesme kuvveti Şekil 5’de, taban yerdeğiştirmesi Şekil 6’da ve taban kesme kuvveti ile yerdeğiştirme arasındaki histeritik döngü Şekil 7’de verilmiştir. Ayrıca elde edilen mod şekilleri karşılaştırılmalı olarak Tablo 2’de sunulmuştur.



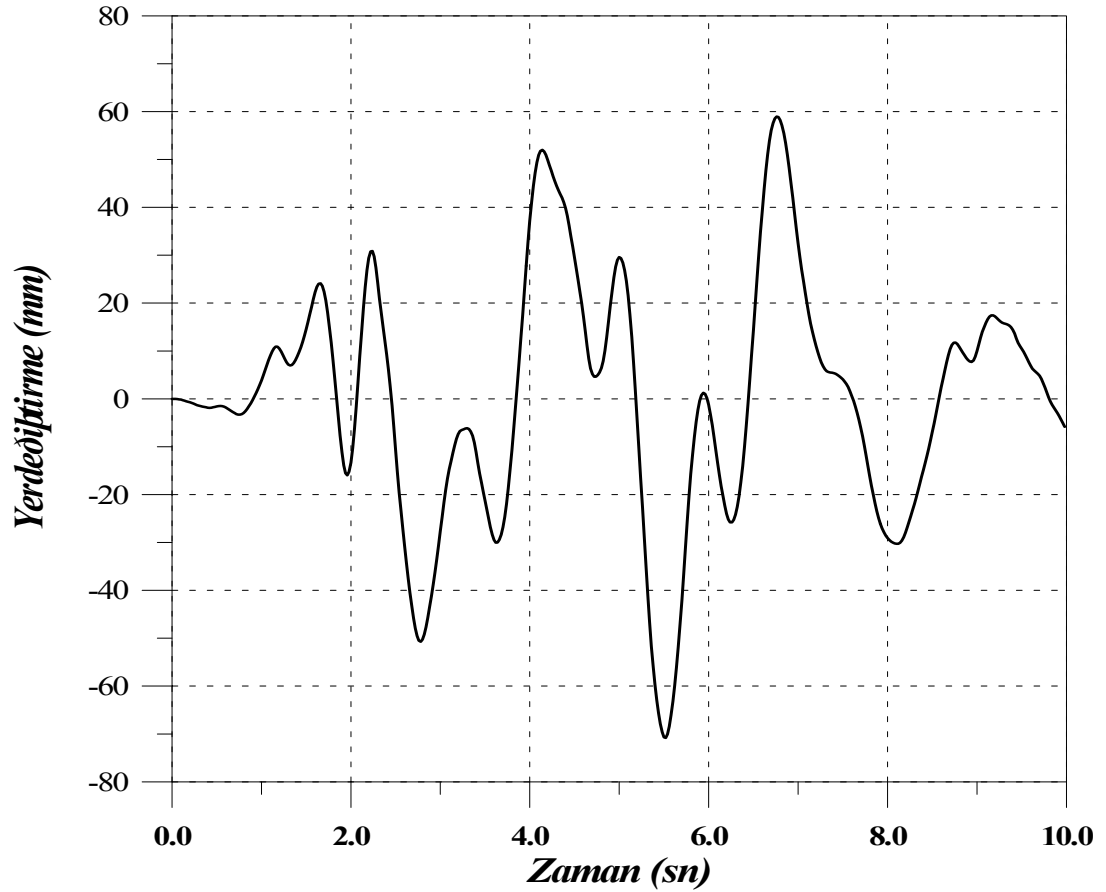
Şekil 4 . Kauçuk mesnedin kesit ve bileşimi

Tablo 1. Çalışmada kullanılan kauçuk mesnetlerin mekanik özellikleri

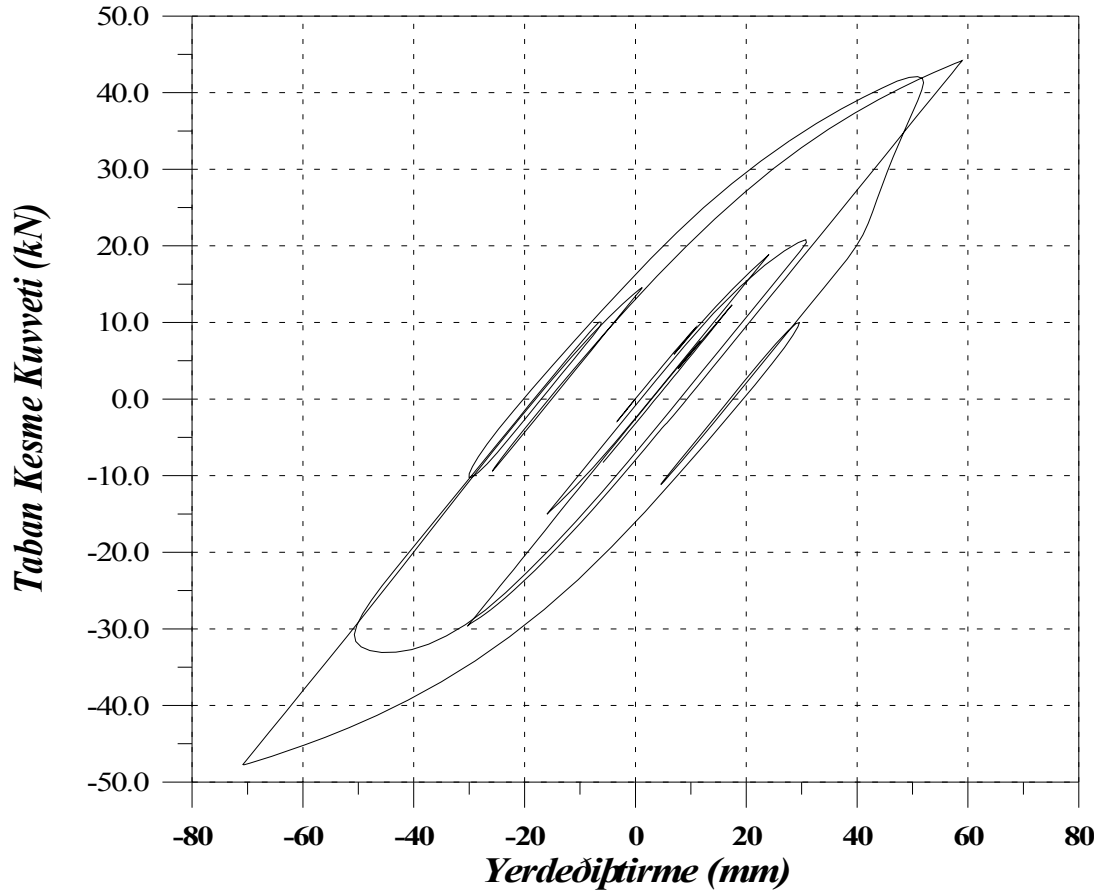
| Özellikler | Orta Temeller | Kenar Temeller | Köşe Temeller |
|--|---------------|----------------|---------------|
| Plan boyutları (mm) | 600x600 | 540x540 | 380x380 |
| Mesnet yüksekliği (mm) | 220 | 220 | 220 |
| Merkezi çekirdek çapı (mm) | 100 | 90 | 70 |
| Kauçuk tabaka sayısı (adet) | 13 | 13 | 13 |
| Kauçuk tabaka kalınlığı (mm) | 9.5 | 9.5 | 9.5 |
| Mesnedin taşıdığı ağırlık, W , (kN) | 882.15 | 441.07 | 220.54 |
| Akma kuvveti, $F^y=0.055W$ (kN) | 48.52 | 24.26 | 12.13 |
| Plastik rijitlik, K , (kN/m), $T=2\text{sec}$. | 887.51 | 443.75 | 221.88 |
| Elastik rijitlik, K_o , (kN/m) | 6383.96 | 3191.98 | 1595.99 |
| Plastik rijitlik / Elastik rijitlik, α | 0.139 | 0.139 | 0.139 |
| Akma yer değiştirmesi, Y , (mm) | 7.06 | 7.06 | 7.06 |



Şekil 5. Kauçuk mesnet taban kesme kuvvetinin zamanla değişimi



Şekil 6. Kauçuk mesnet yer değiştirmesinin zamanla değişimi



Şekil 7. Taban kesme kuvveti -yer deęiřtirme grafięi

Tablo 2. Ankastre ve kauçuk mesnetli binanın mod şekilleri

| Ankastre Mesnetli | | Kauçuk Mesnetli | |
|-------------------|-------------|-----------------|-------------|
| Mod numarası | Period (sn) | Mod numarası | Period (sn) |
| - | - | 1 | 3.8454 |
| 1 | 0.7105 | 2 | 2.2521 |
| 2 | 0.4215 | 3 | 1.2974 |
| 3 | 0.4155 | 4 | 1.0626 |
| 4 | 0.3017 | 5 | 0.5918 |
| 5 | 0.2784 | 6 | 0.4564 |

SONUÇ

5 katlı bir binanın hem ankastre hem kauçuk mesnetli olarak dinamik analizleri gerçekleştirilmiştir. Bina, zemin kat kolonları alt uçları ile temel pabuçları arasına yerleştirilen kauçuk mesnetler ile depreme karşı izole edilmiştir. Üst yapı lineer elastik iken kauçuk mesnetlerin davranışı lineer olmayan bir şekilde düşünülmüştür. Ayrıca, aynı binanın ankastre mesnetli olması durumunda da dinamik tepkiler elde edilerek, karşılaştırılmıştır. Bu çalışmanın temel amacı kauçuk mesnetli binanın dinamik tepkilerini ortaya koymaktır. Sonuç olarak, kauçuk mesnetli binaların dinamik tepkileri ankastre mesnetli binalara göre oldukça azaldığı yapılan analizlerden görülmektedir.

KAYNAKLAR

- Jangid, R., Datta, T. (1985). Seismic Behaviour of Base Isolated Buildings: A State of Art Review, *Proc. Instn Civil Engineers Structures and Buildings*, **110**, 186-203.
- Kadir, A. (1982). Rubber Properties Important in the Design of Bearings, *International Conference on Natural Rubber for Earthquake Protection of Building and Vibration Isolation*, Kuala Lumpur, 211-227.

- Roeder, C., W., Stanton, F., J. (1983). Elastomeric Bearings: State of Art, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **109**, 2853-2871.
- Simo, J., C., Kelly J. (1984). M., Finite Element Analysis of the Stability of Multi-layer Elastomeric Bearings, *Engineering Structures*, **6, 3**, 162-174.
- Stanton, J., F., Scroggins, G., Taylor, (1990). Stability of Laminated Elastomeric Bearings, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **116**, 1351-1371.
- Siddiqui, F., M., A., Constantinou, M., C. (1989). Simplified Analysis Method for Multistorey Base-Isolated Structures on Viscoelastic Halfspace, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **18**, 163-77.
- Malangone, P., Ferraioli, M., A. (1998). Model Procedure for Seismic Analysis of Nonlinear Base-Isolated Multistorey Structures, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **17**, 397-412.
- Constantinou, M., C., Kneifati M., C. (1988) Dynamic of Soil-Base-Isolated-Structure Systems, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **114**, 211-221.
- Constantinou, M., C. (1987). A Simplified Analysis Procedure for Base-Isolated Structures on Flexible Foundation, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, **15**, 963-983.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M. (1991). Constantinou, M., C., Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **117** 2035-2054.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M. (1991). Constantinou, M., C., 3D-BASIS, Nonlinear Dynamic Analysis of Three Dimensional Base Isolated Structures : Part II, *Technical Report, NCEER-91-0005*, State University of New York at Buffalo.
- Jangid, R., S., Datta T., K. (1994). Nonlinear Response Torsionally Coupled Base Isolated Structure, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **120**, 1-22.
- Dumanoğlu, A., A., Ateş, Ş. (1999). Dynamic Response Analysis of 3D-Base Isolated Asymmetric Building Structures, *European Association of Earthquake Engineering Task Group 8, Asymmetric and Irregular Structures*, **Volume 1**, 181-194, İTÜ, İstanbul.
- Ateş, Ş., Dumanoğlu, A., A. (2000). Nonlinear Dynamic Analysis of 3D-Base Isolated Buildings, *Advances in Civil Engineering*, **Vol. 3**, 1259-1267, Gazimağusa, Kıbrıs.
- Nagarajaiah, S., Reinhorn, A., M., Constantinou, M., C. (1991). Nonlinear Dynamic Analysis of 3D Base-Isolated Structures, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, **117**, 2035-2054.
- Tsopelas, P., C., Nagarajaiah, S., Constantinou, M., C., Reinhorn, A.,M. (1994). Nonlinear Dynamic Analysis of Multiple Building Base Isolated Structures, *Computers and Structures*, **50**,1, 47-57.
- SAP2000** (1997). Integrated Finite Element Analysis and Design Structures, *Computers and Structures, Inc.*, Berkeley, California.