

ÇOK KATLI BETONARME YAPILARDA TEMEL YALITIM SİSTEMLERİNİN PARAMETRİK İNCELEMESİ

Turan Karabörk*

Aksaray Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 68100 Aksaray

Özet

Basit bir içeriğe sahip olan temel yalıtımında, bina temeli ile üstyapısı arasına yerleştirilen, yatay rijitlikleri oldukça düşük olan yapısal elemanlar kullanılarak binayı deprem etkilerinden korumak amaçlanmıştır. Bu çalışmada 2 boyutlu betonarme çerçeve yapılar için uygun temel yalıtım sistemi araştırılmıştır. 2, 3 ve 4 açıklıklı yapı sistemleri farklı yapı yükseklikleri için modellenmiştir. Bu modellere temel yalıtım sistemleri uygulanarak klasik yapı modelleri ile karşılaştırılmıştır. Burada, düzensiz yapılar dikkate alınmamıştır. Modeller 1999 Marmara deprem verileri kullanılarak Zaman-Tanım Alanı hesap yöntemi ile SAP2000 bilgisayar programında çözümlenmiştir. Tüm modeller için elde edilen taban kesme kuvvetleri, yapı göreceli yer değiştirmeleri, yapı periyotları ve yapı ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Açıklık sayısının ve kat yüksekliğinin değişimi ile uygun temel yalıtım sistemi seçimi belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Temel yalıtımı, yüksek sönümlü kauçuk yatak, zaman-tanım alanı yöntemi, titreşim kontrol sistemleri

PARAMETRIC INVESTIGATION OF BASE ISOLATION SYSTEMS IN MULTI-STOREY REINFORCED BUILDINGS

Abstract

Base isolation, having quite simple contents, aims to protect the buildings from earthquake induced damages by installing structural components between substructure and superstructure. An appropriate base isolation system for 2-D reinforced concrete frame is investigated in this study. Irregular structures were not investigated. For different structural heights, the structural systems of 2, 3 and 4 bays are modeled by applying base isolation systems and results are compared with classical structural systems. 1999 Marmara earthquake data are used in analyzing the model by time history method in SAP2000 program. Results of various parameters such as base shears, structure drift ratios, structure periods and superstructure accelerations for all models are discussed. An appropriate base isolation systems were defined for different number of bays and structural heights.

Keywords: Base isolation, high damping rubber bearing, time history method, vibration control systems

* E-posta: turankarabork@gmail.com

1. Giriş

Klasik bir yapı tasarımında, yapının inşa edileceği bölgede zemin koşulları uygun özellikler göstermeli, üstyapı olabildiğince hafif, temel ise ağır olmalıdır. Bunun yanında yapı hedeflenen dayanım, rijitlik ve süneklikte olmalıdır. Aynı zamanda yapının doğal periyodu, beklenen depremin hakim periyodundan farklı olması sağlanmalıdır. İyi bir tasarımın temel görevi, yapı sahip olduğu yüksek enerji tüketme kapasitesi ile deprem etkisini azaltacak özellikte olmalıdır. Bu koşullar pratikte her zaman mümkün olmamaktadır. Bölgede zemin sıvılaşması, büyük oturmalar veya farklı oturmalar meydana gelebilir. Ağırlık ve dayanım ile ilgili koşullar ise “yapının dayanımı/yapının ağırlığı” oranı yüksek olmalıdır ifadesi ile özetlenebilir. Yapıda bu dengelerin kurulması oldukça karmaşık ve zordur. Ayrıca klasik yapı tasarımında, büyük ölçekli deprem etkisinde yapıların sadece yıkılmaması ana ilkesi üzerine kurulmuştur. Yapıya etkiyen büyük yatay kuvvetler ile elemanların çatlaması ve enerji tüketilmesi istenir. Duvarların yıkılması veya yapı içindeki eşyaların zarar görmesi gibi durumlar göz önüne alınmaz [1].

Depreme dayanıklı titreşim kontrol sistemleri ise deprem kuvvetlerinin etkisini azaltmak ilkesine dayanır. Yapılarda deprem kuvvetlerinin etkisini azaltmak amacıyla, enerji yutan ve sismik yalıtım yoluyla yapının titreşimlerini kontrol altına alan özel yapısal elemanlar kullanılmaktadır. Temel ile üstyapı arasına yerleştirilen yapısal elemanlarla binayı büyük zemin hareketlerinin yatay etkilerinden korumak yoluna gidilmiştir. Bu yapısal elemanlar yapıya temel bir frekans vermektedir. Bu frekans, zemin hareketinin hakim frekansından ve binanın temel frekansından çok küçüktür [2,3]. Bu amaçla geliştirilmiş bir çok temel yalıtım malzemesi vardır. Bunlardan yaygın olarak kullanılanlar; kurşunlu kauçuk yataklar [4-9], sürtümlü sarkaç yataklar [10-15] ve bu çalışmada da kullanılan yüksek sönümlü kauçuk yataklardır [16-20].

Bu çalışmada, çok katlı betonarme yapı sistemlerinde temel yalıtım sistemlerinin uygunluğu araştırılmıştır. Bu amaçla farklı özelliklerde temel yalıtım modelleri oluşturularak karşılaştırmalar yapılmıştır.

2. Materyal ve yöntem

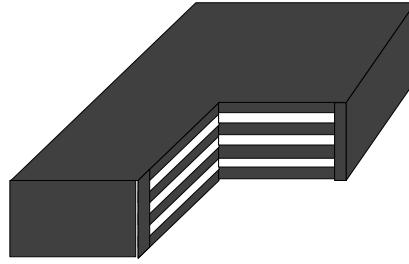
2.1. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar

1982 yılında “Malezya Kauçuk Üreticileri Araştırma Birliği” tarafından doğal kauçuk yatakların sönüm özelliği artırılarak yeni bir malzeme geliştirilmiştir. Doğal kauçuk yataklara, rafine edilmiş karbon bloklar ve reçine gibi maddeler ilave edilerek sönüm artışı sağlanmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk yatakların sönüm oranı %100 olduğu zaman şekil değiştirme %10-%20 arasında olmaktadır. %20’den daha çok kesme şekil değiştirmesi için malzeme doğrusal olmayan davranış göstermektedir. Böylece, düşük büyüklükteki deprem etkileri veya rüzgar etkilerine karşı yüksek rijitlik ve sönüm özelliği göstermektedir. Büyük şekil değiştirmelerinde ise kauçuk kristalleşme özelliği gösterdiği için enerji yutuşu artmaktadır. Yüksek sönümlü kauçuk yataklardaki sönüm viskoz sönüm ve histerik sönüm arasında bir davranış göstermektedir [21, 22].

Yüksek sönümlü kauçuk yataklar sahip oldukları düşük yatay rijitlik sayesinde katmanlı kauçuk yataklarda olduğu gibi yanal hareket yaparak yapı sisteminin periyodunu uzatır. Aynı zamanda sahip oldukları sönüm özelliği sayesinde bir sönümleyici gibi çalışarak deprem enerjisini yutarlar.

2.2. Yüksek sönümlü kauçuk yatakların mekanik özellikleri

Kauçuk büyük miktarda basınç yükü taşır ve kaymada bir ya da daha fazla harekete eşlik eder. Kauçuk düşük kayma modülüne sahiptir. Bu nedenle içerisine çelik plakalar yerleştirilerek kauçuğun burulma serbestliği azaltılır ve bu plakalar ile kayma rijitliği bir miktar artar. Birkaç mm ya da cm kalınlığında rulo biçiminde üretilen kauçuk, daire şeklinde kesilir ve aralarına birkaç mm kalınlığında çelik levhalar konulur. Çelik levhaların lastiğe iyi yapışması için metal yüzeyler parlatılır ve yapıştırıcı sürülür. İstenilen sayıda lastik ve levhalar ardı ardına ağır bir çelik kalıba konulduktan sonra, en alt ve en üst tabaka lastik olmak üzere 135°C’ de 14 saat bekletilerek kauçuk-çelik kompozit yatak üretilir [23]. Bu şekilde elde edilen kauçuk-çelik kompozit yatak aşağıdaki Şekil-1’de gösterilmiştir.



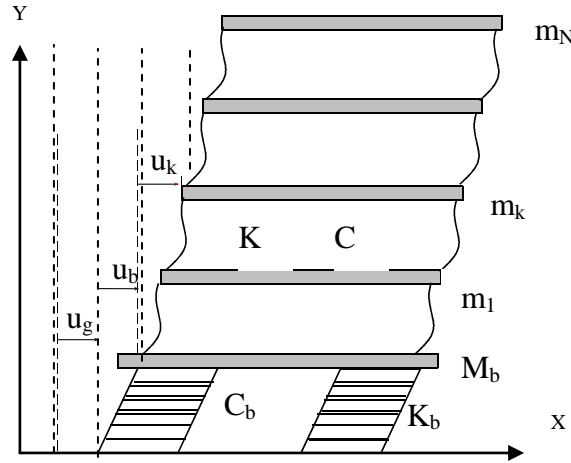
Şekil 1. Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak

Çelik plakalar yüksek sönümlü kauçuk yatağın düşey yük taşıma kapasitesini artırır, sonuçta düşey rijitlik yatay rijitlikten daha büyük olur. Yatay rijitlik kauçuk levhaların sayısına ve kalınlığına bağlıdır. Her bir değerdeki artış rijitliği azaltır. Yüksekliğin artmasıyla burkulma meydana gelebilir. Bu yüzden yükseklik sınırlı tutulur [24, 25, 26].

Sistemin çözümünde doğrusal çözüm ve doğrusal olmayan çözüm olmak üzere iki temel yöntem vardır. Bu çalışmada doğrusal olmayan çözüm kullanılmıştır. Sistem önce tek serbestlik dereceli olarak tanımlanmış daha sonra çok serbestlik dereceli sistemler için matris formunda yazılarak çözüm yöntemi ifade edilmiştir.

2.3. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılarak temeli yalıtılmış yapıların hareket bağıntıları

Yüksek sönümlü kauçuk yataklar doğrusal olmayan davranış gösterirler, üstyapı davranışı ise elastiktir. Hareket bağıntılarının çözümünde B-Spline karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır [1]. Bu yöntem farklı integral bağıntıları kullanarak bir çözüm algoritması sunmaktadır. Temeli yalıtılmış N katlı bir yapının temel hareket bağıntıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir. Kullanılan matematiksel model Şekil 2’de gösterilmiştir [1, 27, 28].



Şekil 2. Temeli Yalıtılmış Çok Katlı Yapıların Matematiksel Modeli

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr(\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) \quad (1)$$

$$r^T M\ddot{u} + \left(r^T Mr + M_b \right) \ddot{u}_b + C_b \dot{u}_b + K_b u_b = - \left(r^T Mr + M_b \right) \ddot{u}_g \quad (2)$$

Elde edilir. Burada; M: Üstyapı kütlesi, C: Üstyapı sönümü, K: Üstyapı rijitlik matrisi, Mb: Temel yalıtım sisteminin kütlesi, Cb: Temel yalıtım sisteminin sönümü, Kb: Temel yalıtım sisteminin rijitlik matrisi, r: Etki matrisi ve \ddot{u}_g : x eksenindeki yatay zemin ve ivme vektörüdür.

İki boyutlu yapı sistemi basitleştirilerek katlar rijit diyafram ve yapı kütleleri kat seviyelerinde yoğunlaştırılmış kütle olarak kabul edilebilir. Bu kabullere göre N katlı üstyapının kütle ve rijitlik matrisleri şu şekilde ifade edilebilir:

$$M = \text{diag}[M_k] \quad k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (3)$$

$$K = \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & & & & \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 & & & \\ & \dots & \dots & \dots & & \\ & & & -K_{N-1} & K_{N-1} + K_N & -K_N \\ & & & & -K_N & K_N \end{bmatrix} \quad (4)$$

olur. Burada, $[M_k]$ k'inci kat için kütle matrisi ve $[K_k]$ rijitlik matrisi olmak üzere:

$$M_k = \begin{bmatrix} m_k & 0 & -y_{kc} m_k \\ 0 & m_k & x_{kc} m_k \\ -y_{kc} m_k & x_{kc} m_k & j_{kc} + (x_{kc}^2 + y_{kc}^2) m_k \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$K_k = \sum_i T_{ki}^T \begin{bmatrix} k_{kix} & 0 \\ 0 & k_{kiy} \end{bmatrix} T_{ki} \quad (6)$$

olup, burada; M_k : kat kütlesi, x_{kc} ve y_{kc} : kütle merkezinin x ve y koordinatları, J_{kc} : kütle merkezinin düşey eksenini etrafındaki dönme atalet momenti, k_{kix} ve k_{kiy} : k-1 ve k'inci katlar arasındaki i'inci kolonun x ve y eksenlerindeki yatay rijitliği ve T_{ki} : dönüşüm matrisidir.

Aynı şekilde temel yalıtım sistemi için kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri yazılabilir:

$$M_b = \begin{bmatrix} m_b & 0 & -y_{bc} m_b \\ 0 & m_b & x_{bc} m_b \\ -y_{bc} m_b & x_{bc} m_b & j_{bc} + (x_{bc}^2 + y_{bc}^2) m_b \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$K_b = \sum_i T_{bi}^T \begin{bmatrix} K(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) & 0 \\ 0 & K(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) \end{bmatrix} T_{bi} \quad (8)$$

$$C_b = \sum_i T_{bi}^T \begin{bmatrix} C(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) & 0 \\ 0 & C(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) \end{bmatrix} T_{bi} \quad (9)$$

2.4. SAP2000 paket programında yüksek sönümlü kauçuk yatakların çözüm yöntemi

SAP2000 paket programında, yüksek sönümlü kauçuk yatakların zaman tanım alanında doğrusal olmayan çözümü için Wilson tarafından geliştirilen "Hızlı Doğrusal Olmayan Çözümleme Yöntemi" kullanılır. Bu yöntem sınırlı sayıda tanımlanmış doğrusal elemanlar ile yapı sistemlerinin çözümünde kullanılır. SAP2000 paket programı kauçuk yatakları Nllink adı verilen doğrusal olmayan elemanlar olarak tanımlar [29].

Dinamik denge bağıntıları yazılırsa;

$$K_L u + C \dot{u} + M \ddot{u} + r_N = r \quad (10)$$

elde edilir. Burada; K_L : Nllink elemanlar dışındaki elemanların rijitlik matrisi, C : sönüm matrisi, M : diyagonal kütle matrisi, r_N : Nllink elemanların doğrusal olmayan serbestlik derecesine bağlı olarak oluşan kuvvet vektörleri, u, \dot{u}, \ddot{u} : zemine göre oluşan göreceli yer değiştirme, hız ve ivmeler ve r : etki matrisidir.

Bu çözümlemede, doğrusal olmayan elemanların her bir serbestlik derecesi için bir doğrusal etkili rijitlik tanımlanmıştır. Doğrusal olmayan serbestlik derecesindeki etkili rijitlik isteğe bağlı olarak değişebilir, ancak genelde maksimum doğrusal olmayan rijitlik ile sıfır arasında değişir. Bu durumda genel denge bağıntıları yeniden yazılırsa;

$$K u \dot{} + C \dot{u} + M \ddot{u} = r - \mathbf{I}_N K_N u \quad (11)$$

$$K = K_L + K_N \quad (12)$$

olur. Burada; K_L : tüm doğrusal elemanların ve Nlink elemanların doğrusal serbestlik derecelerindeki rijitlikleri ve K_N : tüm doğrusal olmayan serbestlik dereceleri için doğrusal etkili rijitlik matrisidir. Bu çözümleme sırasında Ritz-vektör yöntemi kullanılır. Standart teknikler kullanılarak denge bağıntıları modal formda yazılırsa[30]:

$$\mathbf{I} \ddot{Y} + \Lambda \dot{Y} + \Omega^2 Y = F - F_N \quad (13)$$

elde edilir. Burada, Ω^2 : yapısal frekansı veren diyagonal matristir.

$$u = \Phi Y \quad \dot{u} = \Phi \dot{Y} \quad \ddot{u} = \Phi \ddot{Y} \quad (14)$$

$Y(t)$: Modal yer değiştirme vektörü ve Φ : Mod şekilleri matrisidir.

$$\Omega^2 = \Phi^T \bar{K} \Phi \quad (15)$$

Λ : Diyagonal modal sönüm matrisidir.

$$\Lambda = \Phi^T C \Phi \quad (16)$$

\mathbf{I} : Birim matristir.

$$\Phi^T M \Phi = \mathbf{I} \quad (17)$$

\mathbf{I} : Etki matrisidir.

$F(t)$: Modal yük vektörleridir.

$$F = \Phi^T \bar{R} \quad (18)$$

$F_N(t)$: Doğrusal olmayan elemanlar için modal kuvvet vektörleridir.

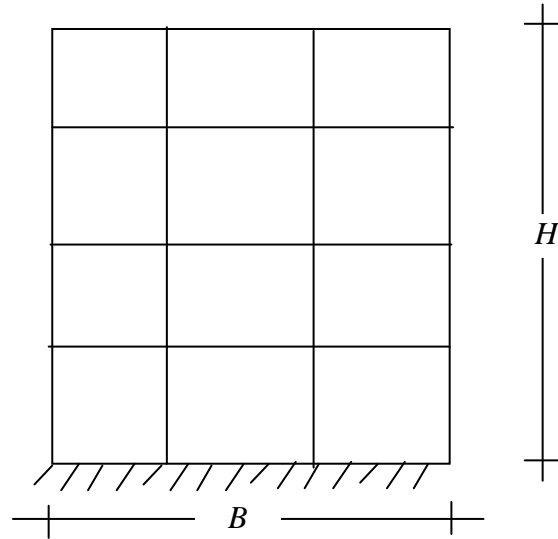
$$F_N = \Phi^T \mathbf{I}_N K_N u \quad (19)$$

Çözümleme sırasında doğrusal olmayan modal bağıntılar her adımda çözülür. Program, bağıntının sağ tarafındaki ifadeleri her adım aralığı için doğrusal değiştirmesini kabul eder. Bu bağıntılar her iterasyonda kapalı form integrasyonu ile çözülür. İterasyon işlemine, çözüme yakınsama sağlanana kadar devam edilir. Eğer yakınsama sağlanamaz ise, program zaman adımlarını alt adımlara bölerek yakınsamayı sağlamaya çalışır [30].

3. Sayısal Çözümleme

Bu çalışmada 2 boyutlu betonarme çerçeve yapılar için uygun temel yalıtım sistemi araştırılmıştır. Burada düzensiz yapılar dikkate alınmamıştır. Bu amaçla tüm modeller zaman-tanım alanı yöntemi kullanılarak SAP2000 paket programında çözümlenmiştir.

Ele alınan çerçeve yapının taban genişliği $B=12$ m olmak üzere 2, 3 ve 4 açıklıklı olarak modellenmiştir (Şekil 3). Modellerin tamamında kolon kesitleri 40×40 cm, kiriş kesitleri 25×60 cm ve kat yükseklikleri 3 m olarak seçilmiştir. Yapı yüksekliğinin taban genişliğine oranı (Yapı Narinliği) H/B değiştirilerek modeller hazırlanmıştır. $H/B=1, 2$ ve 3 için 12m, 24m ve 36 m yüksekliklerinde yapı modelleri oluşturulmuştur. Analizlerde, 17 Ağustos 1999 Marmara depremi Yarımca-Petkim K-G ivme bileşeni kayıtları kullanılmıştır. 3 farklı temel yalıtım sistemi ve klasik yapı modelleri oluşturularak bu deprem kayıtları için zaman-tanım yöntemi ile dinamik analizler yapılmıştır. Yüksek sönümlü kauçuk yatak davranışı doğrusal olmayan, üst yapı ise doğrusal olarak kabul edilmiştir. Kullanılan yüksek sönümlü kauçuk yatakların doğrusal ve doğrusal olmayan fiziksel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Kullanılan yüksek sönümlü kauçuk yatağın yatay rijitlik özelliğine göre 3 farklı malzeme tanımlanmıştır. Oluşturulan modeller ise Tablo 2’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Dinamik Analizi Yapılan İki Boyutlu Çerçeve Modeli

Çizelge 1. Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatakların Karakteristik Özellikleri [21]

Rijitlik	Düşey Rijitlik (kN/m)	Başlangıç Rijitliği (kN/m)	Etkili Rijitlik (kN/m)	Akma Kuvveti (kN)	Son Rijitlik/İlk Rijitlik Oranı	Kütle (kg)
Düşük	$1751 \cdot 10^3$	1.751	263	22,24	0,2	175,5
Orta	$1373 \cdot 10^3$	7.786	1.079	77,87	0,043	175,5
Yüksek	$2746 \cdot 10^3$	12.454	1.863	124,54	0,055	175,5

Çizelge 2. Oluşturulan Modeller

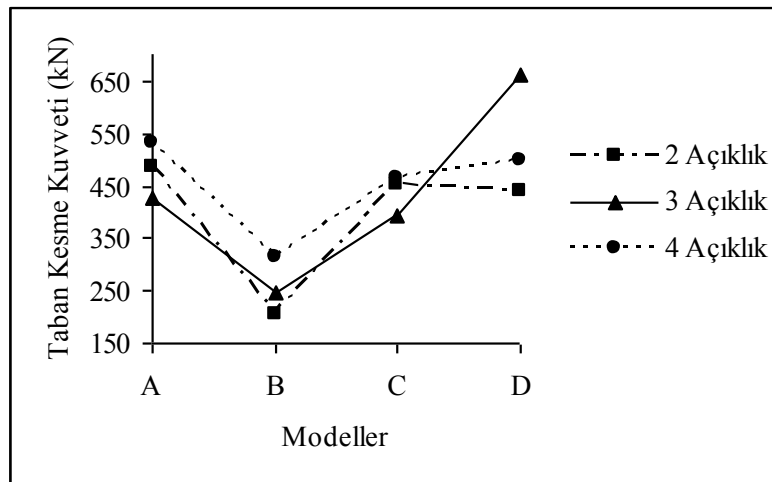
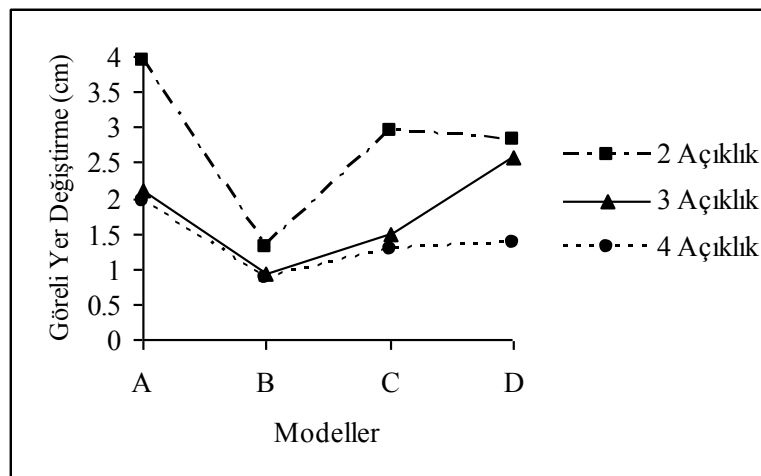
H/B (B=12 m)	Açıklık Sayısı	Yapı Türü	Model Adı
1-2-3	2-3-4	Klasik Yapı	A
		Düşük Yatay Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak	B
		Orta Yatay Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak	C
		Yüksek Yatay Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak	D

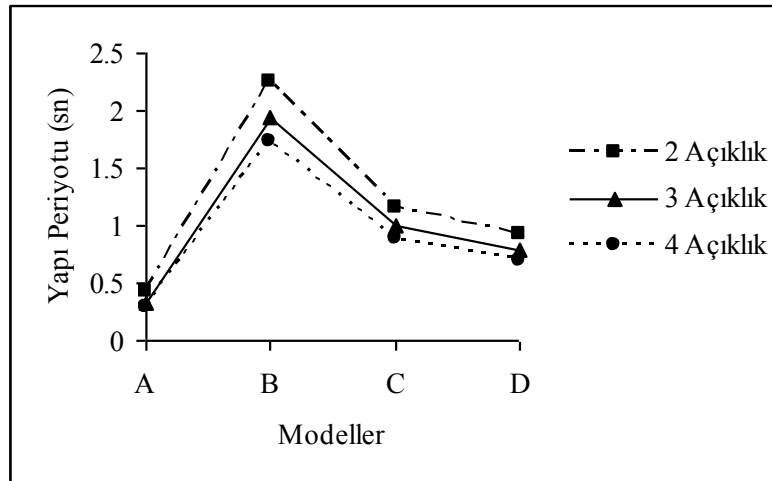
Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için Tablo 3’de verilen kriterler dikkate alınmıştır.

Çizelge 3. Modellerde İncelenen Parametreler

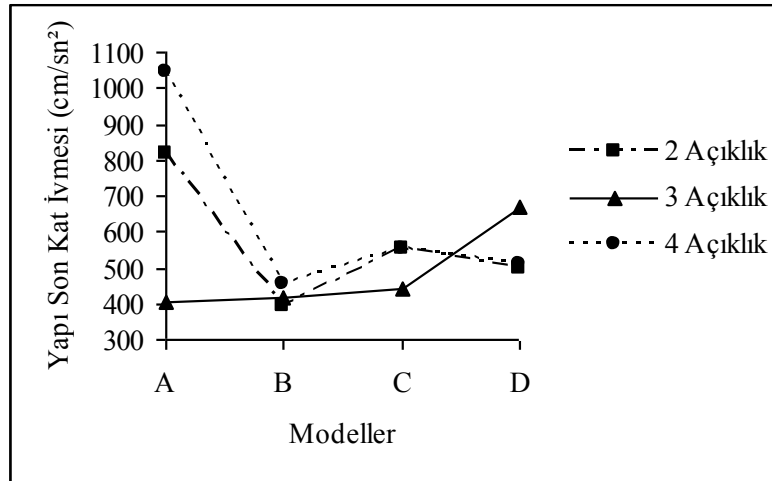
Taban Kesme Kuvveti	$V_{\text{temel max}}$
Yapı En Üst Kat ve Temel Seviyesi Arasındaki Görelî Yer Değiş-tirmeler	$(\delta_{\text{üst max}} - \delta_{\text{temel max}})$
Yapı Periyodu	T
Yapı Son Kat İvmesi	$a_{\text{üst max}}$

Çözümleme sonucunda (H/B)=1 için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti, en büyük yapı görelî yer de-ğiştirmesi, yapı periyotları ve en büyük yapı son kat ivme de-ğerleri Şekil 4-7’de gösterilmiştir.

**Şekil 4.** (H/B)= 1 için Taban Kesme Kuvveti**Şekil 5.** (H/B)= 1 için Yapı Görelî Yer Değiş-tirmesi



Şekil 6. (H/B)=1 için Yapı Periyodu



Şekil 7. (H/B)=1 için Yapı Son Kat İvmesi

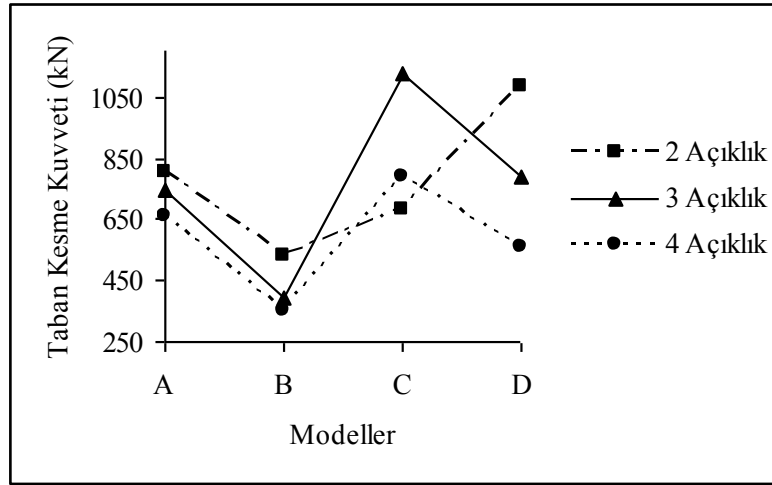
Az katlı yapı modellerinde ((H/B)=1) düşük rijitlikli yüksek sönümlü kauçuk yatak modelinde (B Modeli) 2 ve 3 açıklıklar için taban kesme kuvveti, yapı görelî yerdeğiştirmesi ve yapı son kat ivmesi oldukça azalmış, yapı periyodu ise artmıştır. 4 açıklıklı sistemlerde ise yüksek rijitlikli yüksek sönümlü kauçuk yatak modeli (D Modeli) etkili olmuştur.

(H/B)=2 için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti, en büyük yapı görelî yer değiştirmesi, yapı periyotları ve en büyük yapı son kat ivme değerleri Şekil 8-11'de gösterilmiştir.

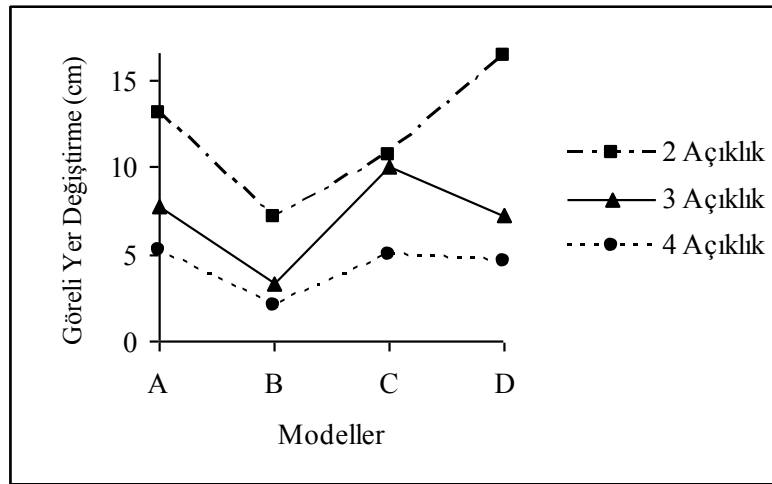
Orta yükseklikteki yapı modellerinde ((H/B)=2) düşük rijitlikli yüksek sönümlü kauçuk yatak modelinde (B Modeli) tüm açıklıklar için taban kesme kuvveti, yapı görelî yerdeğiştirmesi ve yapı son kat ivmesi oldukça azalmış, yapı periyodu ise artmıştır.

(H/B)=3 için elde edilen en büyük taban kesme kuvveti, en büyük yapı görelî yer değiştirmesi, yapı periyotları ve en büyük yapı son kat ivme değerleri Şekil 12-15'de gösterilmiştir.

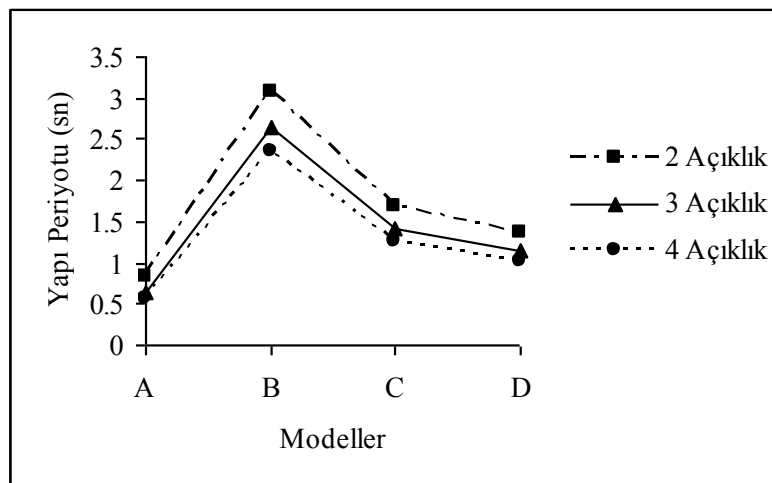
Çok katlı yapı modellerinde ((H/B)=2) orta rijitlikli yüksek sönümlü kauçuk yatak modelinde (C Modeli) 2 ve 3 açıklık için taban kesme kuvveti, yapı görelî yerdeğiştirmesi ve yapı son kat ivmesi oldukça azalmış, yapı periyodu ise artmıştır. 4 açıklıklı modellerde yüksek sönümlü kauçuk yatak modelleri istenilen seviyede iyileştirme yapamamıştır.



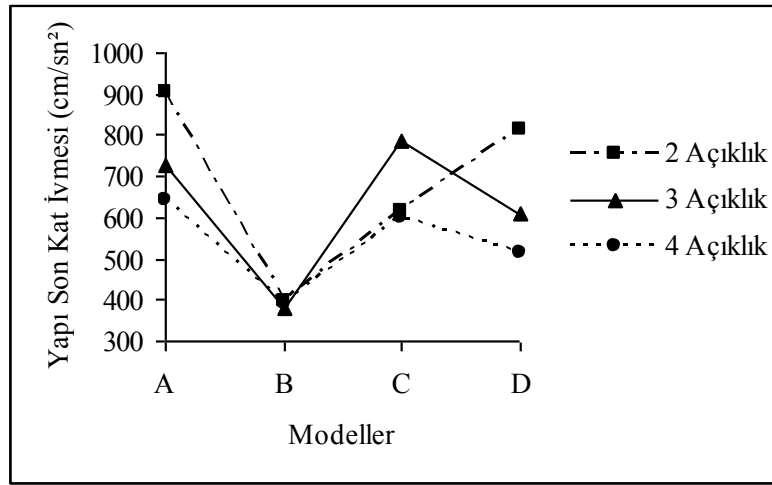
Şekil 8. (H/B)=2 için Taban Kesme Kuvveti



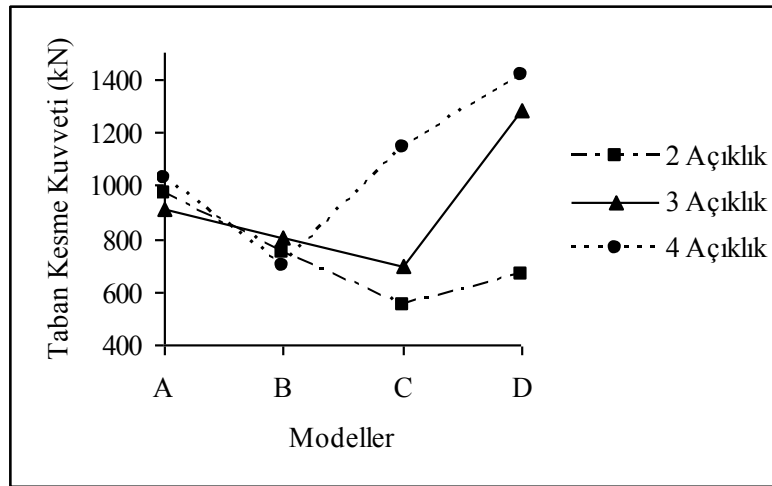
Şekil 9. (H/B)=2 için Yapı Görelî Yer Değişirnesi



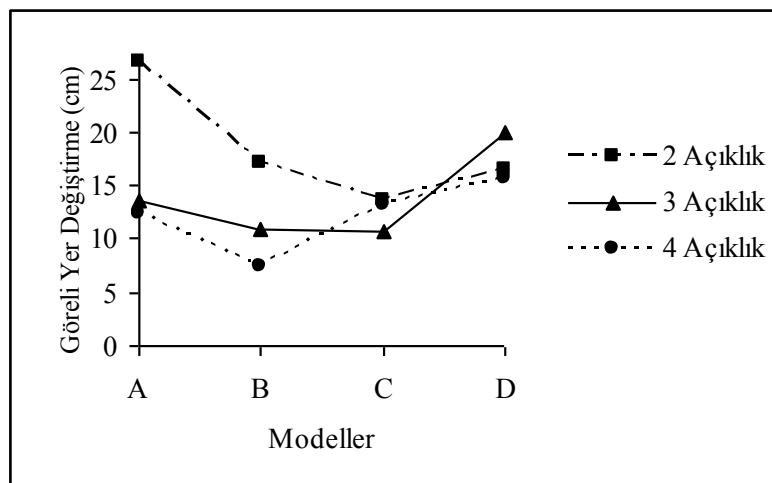
Şekil 10. (H/B)=2 için Yapı Periyodu



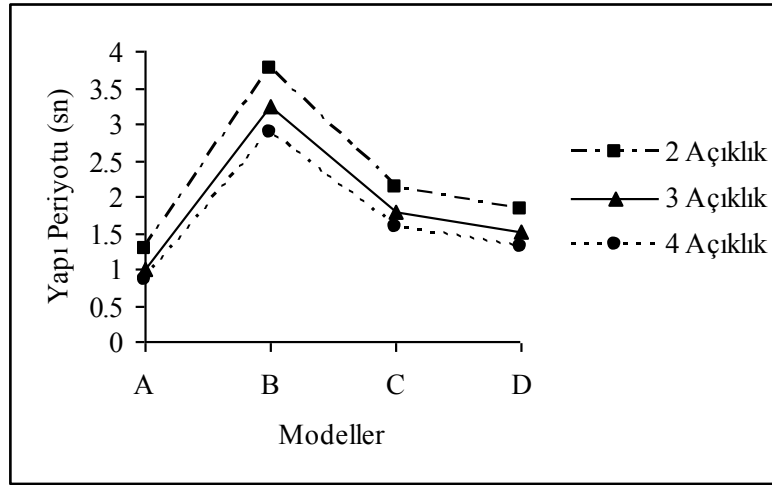
Şekil 11. (H/B)= 2 için Yapı Son Kat İvmesi



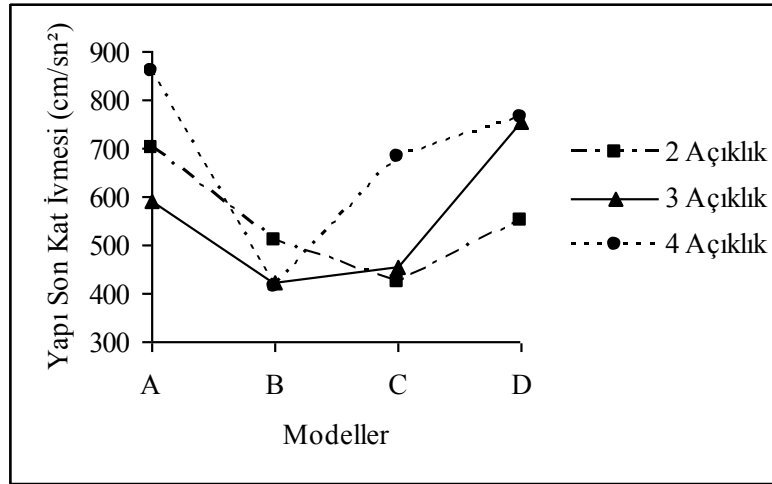
Şekil 12. (H/B)= 3 için Taban Kesme Kuvveti



Şekil 13. (H/B)= 3 için Yapı Görelî Yer Değişirmesi



Şekil 14. (H/B)= 3 için Yapı Periyodu



Şekil 15. (H/B)= 3 için Yapı Son Kat İvmesi

4. Sonuçlar

2 boyutlu çerçeve sistemler için uygun yalıtım sistemleri araştırılmış ve klasik yapı davranışı ile karşılaştırılarak aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

Az katlı yapı modellerinde, açıklık sayısının artmasıyla periyot ve buna bağlı olarak görelî yer değiştirmeler azalmaktadır. Bu durum kullanılan temel yalıtım sistemine bağlı değildir. Az açıklıklı modellerde yüksek rijitliğe sahip kauçuk yataklar etkili olurken, çok açıklıklı modellerde yumuşak rijitlikli kauçuk yataklar etkili olmaktadır.

Orta yükseklikteki çerçeve sistemlerde, açıklık sayısından bağımsız olarak düşük rijitlikli kauçuk yataklar etkili olmaktadır. Yüksek rijitlikli kauçuk yatak kullanımında ise temel yalıtım sisteminin klasik yapı tasarımına göre etkinliği ortadan kalkmaktadır.

Çok katlı çerçeve sistemlerde, orta rijitlikteki kauçuk yataklar 2 ve 3 açıklıklı sistemlerde etkili olurken, daha fazla açıklıklı sistemlerde temel yalıtım sisteminin etkinliği ortadan kalkmaktadır. Bu durumda ilave sönümleyiciler kullanılmalıdır.

Kaynaklar

- [1] Karabörk T., “**Titreşim Kontrol Sistemleri ve Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları**”, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2001.
- [2] Karabörk T., “**Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Çelik Yapıların Deprem Davranışı**”, **2. Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu**, 2007.
- [3] Ristic, D., “Control of Structural Behaviour and Passive Structural Control”, **Lectures for the International Post Graduate Studies**, 1993.
- [4] Turkington, D.H., Carr A.J., Cooke, N., Moss, P.J., “Seismic Design of Bridges on Lead-Rubber Bearings”, **Journal of Structural Engineering ASCE**, 115: 3000–3016, 1988.
- [5] Asher, J.W., Hoskere, S.N., Ewing, R.D., Mayes, R.L., Button, M.R., Van Volkinburg, D.R., “Performance of Seismically Isolated Structures in The 1994 Northridge and 1995 Kobe Earthquakes”, **Proceedings of Structures Congress ASCE**, vol. XV, 1997.
- [6] Nagarajaiah, S., Sun, X., “Response of Base Isolated USC Hospital Building in Northridge Earthquake”, **Journal of Structural Engineering ASCE**, 126: 1177–86, 2000.
- [7] Nagarajaiah, S., Sun, X., “Base Isolated fcc Building Impact Response in Northridge Earthquake”, **Journal of Structural Engineering ASCE**, 127: 1063–74, 2001.
- [8] Jangid, R.S., “Optimum Lead–Rubber Isolation Bearings for Near-Fault Motions”, **Engineering Structures**, 29: 2503–2513, 2007.
- [9] Providakis, C.P., “Effect of LRB Isolators and Supplemental Viscous Dampers on Seismic Isolated Buildings under Near-Fault Excitations”, **Engineering Structures**, 30: 1187–1198, 2008.
- [10] Lin, T.W., Hone, C.C., “Base Isolation by Free Rolling Rods under Basement”, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 22:261-73, 1993.
- [11] Lee, G.C., Liang, Z., “A Sloping Surface Rolling Bearing its Lateral Stiffness Measurement”, **In Proceedings of the 19th Us-Japan Bridge Engineering Workshop**, p.27-9, 2003.
- [12] Lee, G.C., Liang, Z., Niu, T.C., “**Seismic Isolation Bearings**”, US Patent Application Publication, Pub. No. us2003/0099413 a1, 2003.
- [13] Wu, S.Y., Lee, S.N., Tsai, M.H., Chang., K.C., “Seismic Isolation Test of a Bridge Model using Rolling Type Seismic Isolation Bearings”, **In: Proceeding of the 17th Kkenn Symposium on Civil Engineering**, 2004.
- [14] Wang, J., “**Seismic Isolation Analysis of a Roller Isolation System**”. Ph.D. Dissertation, Ny:Department Of Civil, Structural and Environmental Engineering, State University of New York at Buffalo, 2005.
- [15] Jangid, R.S., “Response of Pure Friction Sliding Structures to Bi-Directional Harmonic Ground Motion”, **Eng. Struct.**, 19(2):97-104, 1997.
- [16] Amin, A.F.M.S., Alam, M.S., Okui, Y., “An Improved Hyperelasticity Relation in Modeling Viscoelasticity Response of Natural and High Damping Rubbers in Compression: Experiments, Parameter Identification And Numerical Verification”, **Mech. Mater.**, 34: 74-95, 2002.
- [17] Fujita, T., Fujita, S., Tazaki, S., Yoshiwaza, T., Suzuki, S., “Research, Development and Implementation of Rubber Bearings for Seismic Isolations”, **JSME Int. J.**, 33: 394-403, 1990.
- [18] Yoshida, J., Abe, M., Fujino, Y., “Constitutive Modelling for High-Damping Rubber Materials”, **J. Eng. Mech. ASCE**, 130: 129-141, 2004.
- [19] Dall’Asta, A. DeziI, Giacchetti, R., Leoni, G., Ragni, I., “Application of Hdr Devices for the Seismic Protection of Steel Concrete Composite Frames: Experimental Results”, **In: Proceedings of Stessa 2006-5th International Conference on the Behaviour of Steell Structures in Seismic Areas**, 587-92, 2006.
- [20] Pan, T.C., Yang, G., “Non-Linear Analysis of Base-Isolated MDOF Structures”, **11 th World Conference on Earthquake Engineering**, Paper No 1534, 1996.
- [21] Elmas, M., Karabörk, T. ve Mercan, D., “Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Orta Yükseklikteki Yapıların Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi”, **5. Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi**, 2002.
- [22] Skinner, R.I., Robinson, W.H. and Mcverry, G.H., “**An Introduction to Seismic Isolation**”, DSIR Physical Sciences, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [23] Bayülke N., “Yapı Temellerinin Deprem Titreşimlerinden Lastik Takozlarla Yalıtımı”, **Deprem Araştırma Bülteni**, Sayı:71, 1993.
- [24] Soberon, C., Colunga, A. and Loustaunau, A., “Analytical Study on Seismic Isolation of Two Irregular Buildings at the Mexican Pacific Coast”, **11 th World Conference on Earthquake Engineering**, 1996.
- [25] Kelly, J.M., “**The Role of Damping in Seismic Isolation**”, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 1999.

- [26] Akkar, D.S., “Influence of Base Isolation Stiffness on The Optimum Base Isolation Design”, **4.üncü Ulusal Deprem Konferansı**, ODTÜ, 1994.
- [27] Pan, T.C. and Yang, G., “Non-linear Analysis of Base-Isolated MDOF Structures”, **11 th World Conference on Earthquake Engineering**, Paper No 1534, 1996.
- [28] Naeim, F., Kelly, J.M., “**Design of Seismic Isolated Structures**”, John Willey&Sons, inc., 1999.
- [29] Computers & Structures, Inc., “**SAP2000 – Integrated Software for Structural Analysis& Design**”, Technical Reference Manual.
- [30] Wilson, E.L., “**Three Dimensional Static and Dynamic Analysis of Structures A Physical Approach With Emphasis on Earthquake Engineering**”, Computers and Structures, Inc., 1995.