

## DÜŞEYDE DÜZENSİZ BİNALARDA TEMEL YALITIM UYGULAMASI

Şebnem DEMİRCAN

**Özet** – Bu çalışmada deprem etkisi altında kalan düşeyde düzensiz bir yapının temeli elastomer esaslı malzemeler ile yalıtılarak yapının yalıtımdan önceki ve yalıtım sonucu davranışı incelenmiştir. Yapının temelinin yalıtılmasında yüksek rijitlikli ve düşük rijitlikli olmak üzere iki tip kurşun çekirdekli kauçuk sistemler kullanılmış ve bu sistemlerin düşeyde düzensiz bir yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler** - Titreşim kontrol sistemleri, temel yalıtım sistemleri, yüksek sönümlü kauçuk yataklar, sönümleyiciler, pasif kontrol sistemleri, yapısal kontrol, elastomer, sismik izolasyon, düzensiz yapılar

**Abstract** – In this study, the base of a vertically irregular building which is under earthquake effect is isolated by means of elastomeric materials and the behaviours of the building before and after isolation are observed. In the base isolation of the building two different type of rubber/lead systems such as high-rigid and low-rigid are used and the effect of these systems on a vertically irregular building is searched.

**Keywords** – Vibration control systems, base isolation systems, high damping rubber bearings, dampers, passive control systems, structural control, elastomer, seismic isolation, irregular building.

### 1.GİRİŞ

Deprem önceden bir uyarı olmadan meydana gelmesi yönünden doğal afetlerin en önemlilerinden biridir. Deprem etkisi sonucu meydana gelen can ve mal kaybını azaltmanın en etkin yolu yapıları depreme karşı dayanıklı inşa etmek ve yapıyı deprem etkilerine karşı yalıtımdır. Depremlerden sonra yapılan incelemelerde taşıyıcı sistem düzensizliklerinden dolayı da pek çok hasarın meydana geldiği görülmüştür. Bu amaçla deprem riski olan

ülkelerde, deprem yönetmeliklerinde düzensiz yapılar için özel şartlar getirilmiştir. Bu şekilde depremin zararlı etkilerinden korunma amaçlanmıştır. Doğal afetlerin en önemlilerinden olan deprem, yer kabuğunun bir titreşimi olduğu için yapıların mesnetlerinde zamana bağlı bir yer değiştirme hareketi doğurarak dinamik bir etki oluşturur. Rüzgar ve deprem gibi sürekli değişen dinamik yüklere maruz kalan yapıların titreşimini azaltmak amacıyla yapıya kontrol kuvvetleri adı verilen bir takım kuvvetler etki ettirilmesine yapı kontrolü adı verilmektedir. Bu kuvvetler yapıya ilave olarak konulan elemanların kendi iç bünyeleri ile sağlarsa bu tip kontrole taban izolasyonu ve pasif kontrol sistemleri adı verilmektedir. Taban izolasyonu var olan binaların, köprülerin ve endüstriyel tesislerin deprem sonucu hasarlarını azaltmak için bir alternatiftir. Yapının temeline sağlam ve şekil değiştirme özelliğine sahip malzemeler yerleştirilmesi taban izolasyon sisteminin temelini oluşturur. Taban izolasyon sistemi in amacı, yapı periyotlarını uzatarak, depremlerde yapılara gelen yatay yükleri azaltmak ve buna bağlı olarak deprem hasarlarını azaltmaktır.

Taban izolasyon sisteminin esnekliği ve enerji yutma özelliği ile, deprem sonucu meydana gelen enerjinin bir kısmı yapıya iletilmeden önce yalıtım sistemince yutulur. Böylece yapıya iletilen kuvvet, önemli ölçüde azalmakta ve depremin etkisinden bina korunmaktadır. Günümüzde taban izolasyonunda yatay deplasmanları ve giriş enerjisini azaltmak için elastik mesnetler ve kayıcı plakalar gibi enerji yutucu cihazlar kullanılmaktadır. Elastik mesnetler aralarında çelik plakalar bulunan elastomerik kauçuklardan tabakalı olarak yapılmış mesnetlerdir. Bu mesnetler düşey doğrultuda sert, yatay doğrultuda esnektir. Kayıcı plakalar ise, genelde tek başına kullanılmayıp, elastik mesnetlerle birlikte kullanılmaktadırlar. Bu şekilde kullanılan kayıcılar sisteme ek bir koruma sağlamaktadır.

Yapı temelinde yatay yüklere karşı rijitliği çok az olan yalıtım sistemleri yerleştirilerek, yapı periyodunun uzatılması, yapıyı kesin anlamda deprem titreşimlerinden

“yalıtılmaz”, ancak yapı dinamik özellikleri nedeni ile daha az zorlanacağı bir konuma gelir. Bir temel yalıtımı aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

- Yapının yüklerini azaltan, titreşim periyodunu uzatan elastik bir davranış göstermelidir
- Yapı deplasmanlarını denetlemek için sönümleyici veya enerji açığa çıkarıcı olmalıdır.
- Yapı rüzgar ve hafif deprem yüklerine karşı yeterli dayanım göstermelidir.

Yüksek binalarda temel yalıtımının yapının dengesini bozarak devrilmesine sebep olabilmesi, ayrıca büyük yatay deplasmanlardan dolayı depremlerden sonra kalıcı deformasyonlar oluşabilmesi ve deformasyonların zamanla birikerek sistemi kullanılmaz hale getirebilmesi durumları temel yalıtımının olumsuz yönleridir. Temel yalıtım sistemi uygulanacak yeni binalarda, binanın toplam maliyetini yalıtım sistemi, projeye bağlı olarak arttıracaktır. Fakat bina fonksiyonunun önemini (hastaneler, polis istasyonları, okullar, vb.) ve içeriğinin değerini (bilgi işlem merkezleri, hastaneler, laboratuvarlar, yarı iletken fabrikaları, vb.) düşünürsek bu oran deprem sonrası hasarlar ve fonksiyon kaybı yanında çok küçük kalacaktır. Temel yalıtım sistemleri ile ilgili çalışmaların bir kısmı şöyle özetlenebilir :

Kelly ve Naeim [ 1 ], kullanılan yalıtım malzemelerinin karakteristik özelliklerini ve yalıtım sistemlerinin çalışma prensiplerini incelemişlerdir. Örnek bir proje üzerinde temeli yalıtılmış yapıların tasarımında dikkat edilmesi gereken hususları açıklamışlardır. Ayrıca, temeli yalıtılmış sistemlerin çözümleri için kullanılan bilgisayar paket programları ve bu programların kullanılabilirlik özelliklerini araştırmışlardır. Mazotti, Cecolli ve Savoia [ 2 ], yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak temeli yalıtılmış betonarme yapıların doğrusal olmayan dinamik davranışlarını incelemişlerdir. Yüksek sönümlü kauçuk yataklarda oluşan büyük şekil değiştirme davranışını açıklamak için yeni bir histerik model geliştirmişler ve betonarme elemanlar için “histerik park modeli” kullanmışlardır. “Newton-Rapson” iteratif yöntemi kullanılarak zaman tanım aralığında dinamik bağıntılan çözümlenmişlerdir. Birkaç örnek üzerinde betonarme yapılarda elastik olmayan şekil değiştirmenin, yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılarak azaltılmasını araştırmışlardır. Temel yalıtım sisteminin bu çalışma sonucunda yüksek frekanslı ve kısa süreli depremlerde oldukça etkili olduğunu bulmuşlardır. Temel yalıtım sisteminin düşük frekanslı ve uzun süreli depremlerde belirli bir oranda etkin olmadığını açıklamışlardır.

Kelly [ 3 ], temeli yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak yalıtılmış yapıların zemin seviyesinde yaptıkları büyük yer değiştirmelerin komşu binalarda meydana getirdiği hasarları incelemiştir. Bunun sonucunda, yalıtım sistemlerinin yaygınlaşmasının engellendiğini ifade etmiştir. Tasarım aşamasında

hesaplanan taban kesme kuvvetlerinin ve büyük yer değiştirmelerin azaltılabilmesi için ilave sönümleyicilerin kullanılması gerektiğini açıklamıştır. Bunun sonucunda ise, maximum ivme değerlerinin ve her kat seviyesindeki yatay yer değiştirmelerin arttığını tespit etmiştir.

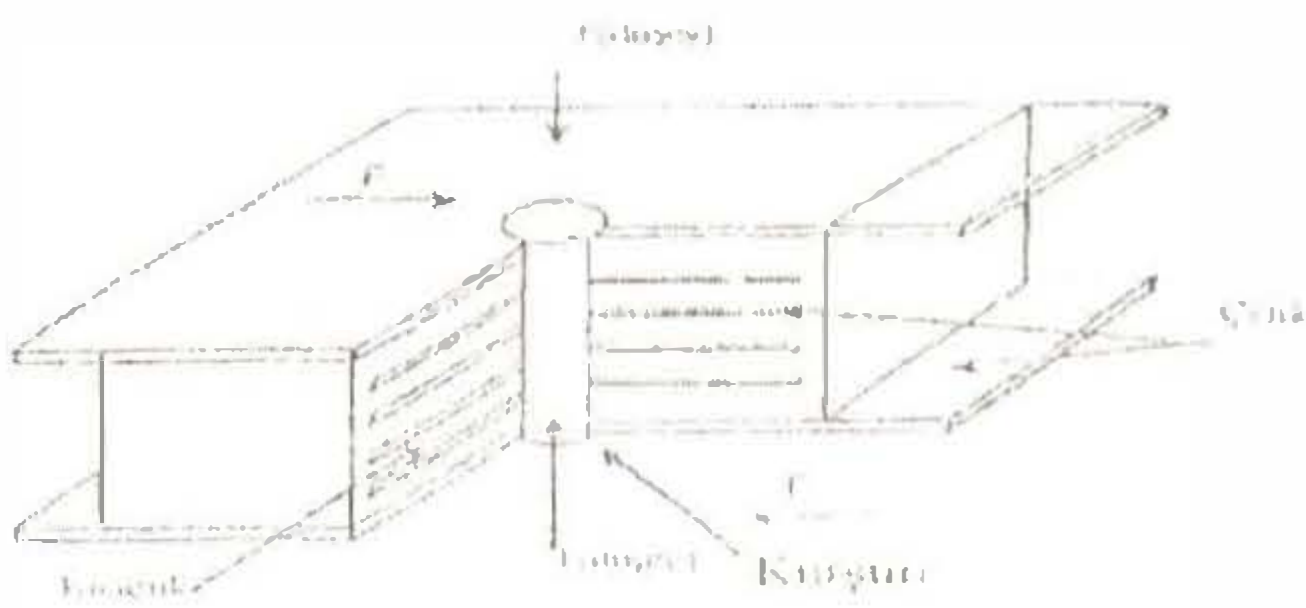
Mosqueda ve Villaverde [ 4 ], yapmış oldukları çalışmalarında çatı yalıtım sistemini, yapıların sismik davranışını azaltmak amacıyla incelemişlerdir. Bu çalışma için titreşim masası deneyi ile 5 katlı çelik çerçeve sistemini test etmişlerdir. Yalıtım malzemesi olarak en üst kat ile çatı arasına katmanlı kauçuk yatak yerleştirmişlerdir. Bunun yanı sıra, viskoz sönümleyicileri, çatıya yeterli sönümü sağlayabilmek için yerleştirmişlerdir. Yapılan deneysel çalışmalar ve hesaplamalar sonucunda deprem etkisini bu sistemin azalttığını gözlemlemişlerdir. Ancak sistemin komşu binalar tarafından kısıtlanmadığı durumda ve 15 katlı yapılara kadar sistemin etkili olabildiğini açıklamışlardır. Bakioğlu ve Aldemir [ 5 ], yapı davranışını sismik kuvvetler altında azaltan büyük bir kuvveti optimal kontrol yöntemlerini geliştirmek için tanımlamışlardır. Deprem etkisine maruz kalan yapıların kontrolünde uygulanan doğrusal regülatör problemin sayısal çözümünü; önceden tanımlanan yapısal kontrolün tüm optimal kontrollerini, sıradan optimalite şartlarına bağlı olmasına rağmen gerekli optimalite şartlarını kullanarak elde etmişlerdir.

Lizuka [ 6 ], katmanlı kauçuk yatakların büyük yer değiştirme yapan davranışını incelemek için büyük ölçekli bir model geliştirmiştir. Bu geliştirdiği model, doğrusal olmayan ve sonlu yer değiştirme özelliğine sahiptir. Bu modele farklı eksenel kuvvetler uygulayarak yay karakteristiklerindeki değişimleri gözlemlemiştir. Bu deneyler sonucunda, büyük şekil değiştirme özelliği olan katmanlı kauçuk yatakların burulma ve sertleşme davranışlarını belirlemiştir.

Nagarajah ve Sun [ 7 ], taban izolasyonlu yangın komuta ve kontrol binasının sismik performansının darbe etkisini, 1994 Los Angeles Northridge depremi sırasında araştırmışlardır. Darbe etkisine maruz kalmış bu taban izolasyonlu binayı incelemek için farklı analitik modelleme şekilleri geliştirmişlerdir ve geliştirdikleri bu tekniğin doğruluğunu incelemişlerdir. Binanın darbeli ve darbesiz davranışını tanımlamışlardır. Darbe etkilerinin yapının davranışı üzerindeki etkilerini değerlendirmişlerdir. Binanın ankastre tabanlı olması durumundaki davranışı ile binanın taban izolasyonlu davranışını sismik performans değerlendirmeleri bakımından karşılaştırarak tanımlamasını yapmışlardır.

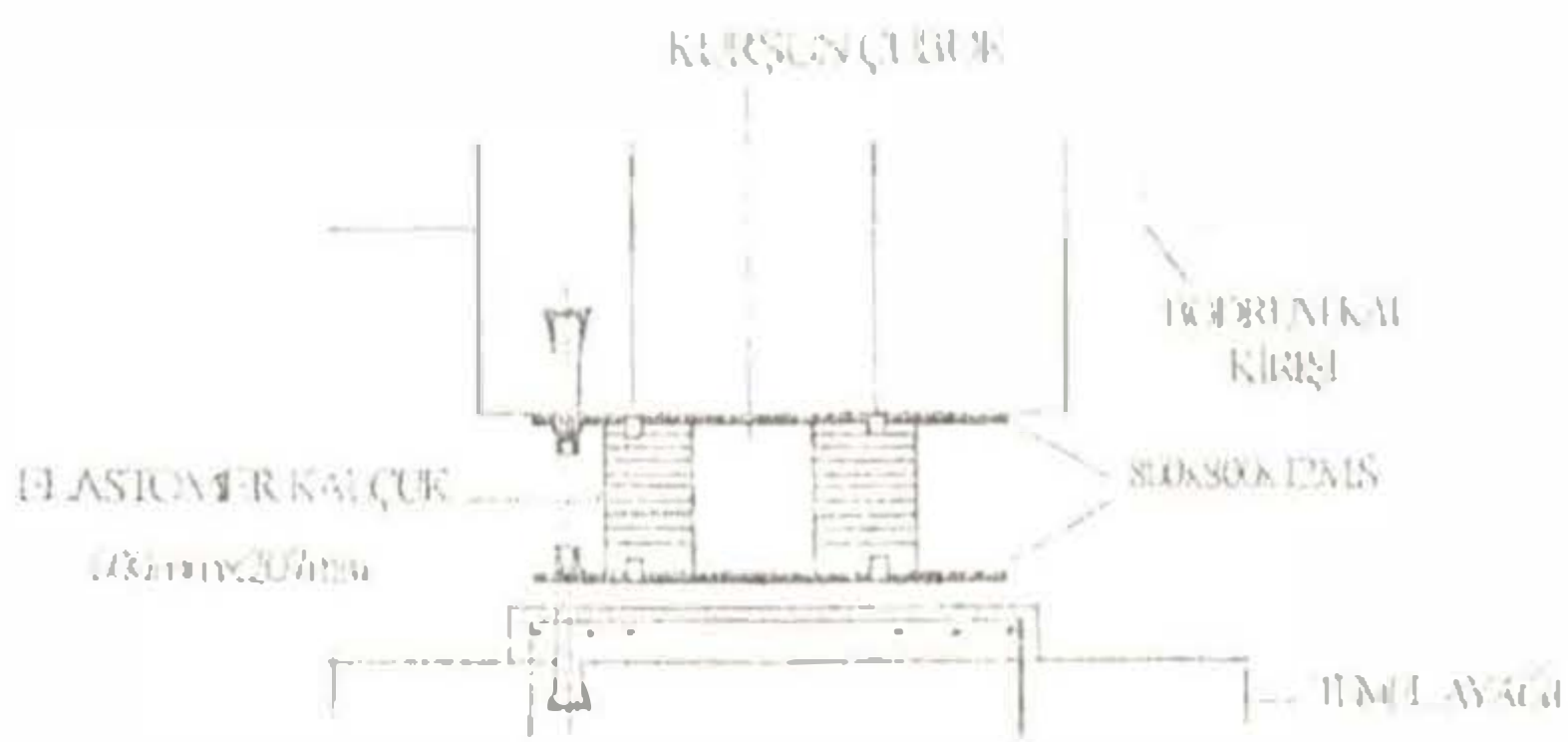
### 1.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk Sistemler:

Kurşun Çekirdekli Kauçuk Sistemler ilk kez 1975 yılında Yeni Zelanda'da Dr. Bill Robinson tarafından geliştirilmiştir. Kauçuk Sistemlerin yutma kapasitesini arttırmak amacı ile çeşitli malzemeler ile kombinasyonu araştırılmıştır. İlk olarak çelik çubuklar ile kombinasyon denenmiş fakat iyi sonuçlar alınmamıştır. Daha sonra etkili sönüm ve ekonomiklik silindirik kurşun çubuklar ile sağlanmıştır. Kauçuk sistemlerin merkezine bir kurşun çubuk yerleştirilerek kurşunlu kauçuk sistemler oluşturulur. Yatağın enerji yutma kapasitesini bu kurşun çubuk arttırmaktadır. Diğer bir deyişle kurşun çubuk histerik enerji yutucu görevi yaparak sisteme ek dönüm sağlamaktadır [8].



Şekil 1- Kurşun çekirdekli kauçuk sistem

Kurşunlu kauçuk sistemlerin yapı sisteminde yerleştirilmiş durumu Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 2- Kurşun çekirdekli kauçuk sistemin yapıya yerleştirilmesi

Kurşun çubuklu plastik şekil değiştirme yaparken sönüm sağlamaktadır. Kurşunlu kauçuk sistemlerin içindeki çelik tabakalara ek olarak merkezdeki kurşun çubuk, uygulanan düşey yükün taşınmasını sağlar. Aynı zamanda kauçuk sistemler ile yapının ağırlığı taşınırken, kurşun çubuk plastik şekil değiştirme ile enerji yutulmasını sağlamaktadır. Kurşun çubuğun çapı, yerleştirildiği delikten biraz daha büyüktür ve kuvvet uygulanarak yerleştirilir [9].

Kurşun çekirdekli kauçuk sistemlerin mekanik özellikleri üç parametreye bağlıdır. Bu parametreler  $K_1$ ,  $K_2$  ve  $Q$ 'dur. Elastik rijitlik olan ( $K_1$ )'i ölçmek için, son akma rijitliğinin ( $K_2$ )'nin bir ampirik çarpanla çarpılmasıyla hesaplanır.

Gerilme Karakteristiği ( $Q$ ) histerik eğride kurşunun akma gerilmesi ve kurşun çubuk alanı ile hesaplanır. ( $K_{eff}$ ) etkili rijitliği ise, yer değiştirme azalırken maksimum yükler için tanımlanır. Etkili rijitlik ( $K_{eff}$ ) aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$K_{eff} = K_2 + Q / D \quad D \geq D_y$$

Bu ifadede ( $D_y$ ) akma yer değiştirmesini ifade eder. Doğal frekans ( $w$ ) ise

$$w = \sqrt{K_{eff} \cdot g / W} = \sqrt{w_0^2 + v \cdot g / D}$$

olarak ifade edilir. Burada;

$$v = Q / W \quad w_0^2 = \sqrt{K_2 \cdot g / W}$$

olur. Etkili periyot ( $T_{eff}$ ) ise;

$$2\pi$$

$$T_{eff} = \frac{2\pi}{W}$$

olarak ifade edilir. Etkili sönüm ( $\beta_{eff}$ )  $D \geq D_y$  olmak üzere

Histerik Eğri Alanı

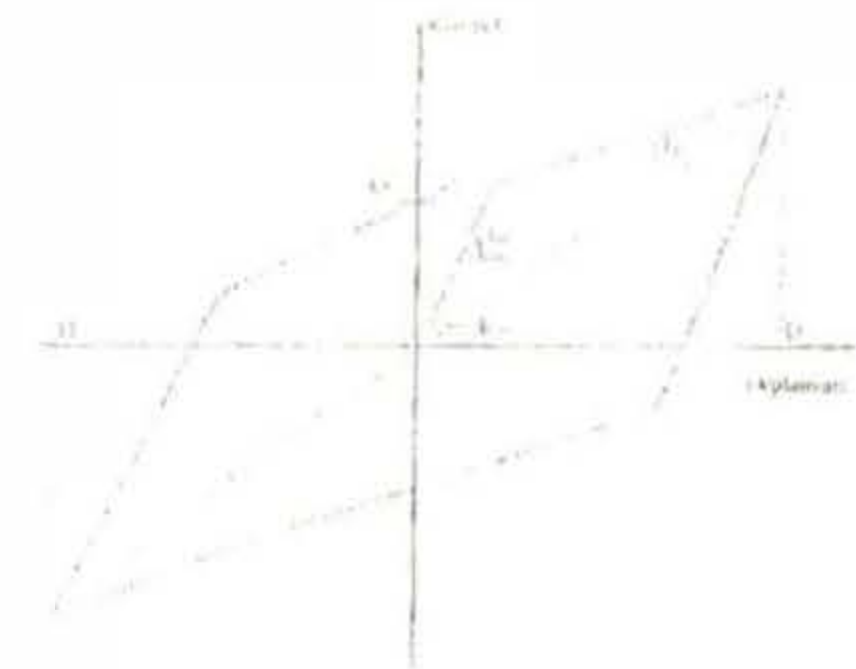
$$\beta_{eff} = \frac{2\pi K_{eff} D^2}{4Q(D-D_y)}$$

ifade edilir.

Histerik Eğri Alanı :  $4Q(D-D_y)$   $D_y = F_y / K_1$  ve  $F_y = Q + K_2 \cdot D_y$  olmak üzere,

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(D-D_y)}{2\pi(K_2 D + Q)}$$

olarak tanımlanır.



Şekil 3- Kurşunlu kauçuk izolatörlerin kuvvet-yer değiştirme eğrisi

Genel olarak elastik rijitlik  $K_1 = 10 K_2$  alınabilir. Böylece;

$$D_y = \frac{Q}{9K_2} \quad \text{ve} \quad \beta_{eff} = \frac{4Q(D - \frac{Q}{9K_2})}{2\pi(K_2 D + Q)D}$$

olur. Kurşun çekirdekli kauçuk sistemler son elastik rijitlik ( $K_d$ ) ve elastik yüksüz rijitlik ( $K_u$ ) olmak üzere iki kesme rijitliğine sahiptir. Son erime rijitliği ( $K_d$ ) ile kesme rijitliği ( $K_s$ ) arasındaki ilişki tüm boyutlarda aynıdır.

$$K_d = K_r \frac{1+12A_p}{A_r} \quad \text{ve} \quad K_r = K_s \frac{A_r}{A_s}$$

Burada;  $A_p$  : kurşun çubuğun kesit alanı,  $A_r$  : kurşun çubuk olmaksızın net alan,  $A_g$  : toplam alandır. Yüksüz rijitlik  $K_u=6,5 K_d$ 'dir. İlk erime yükünün yerini alan geçiş yükü olan kesme yükü ( $F_{YL}$ ) aşağıdaki şekilde ifade edilir:

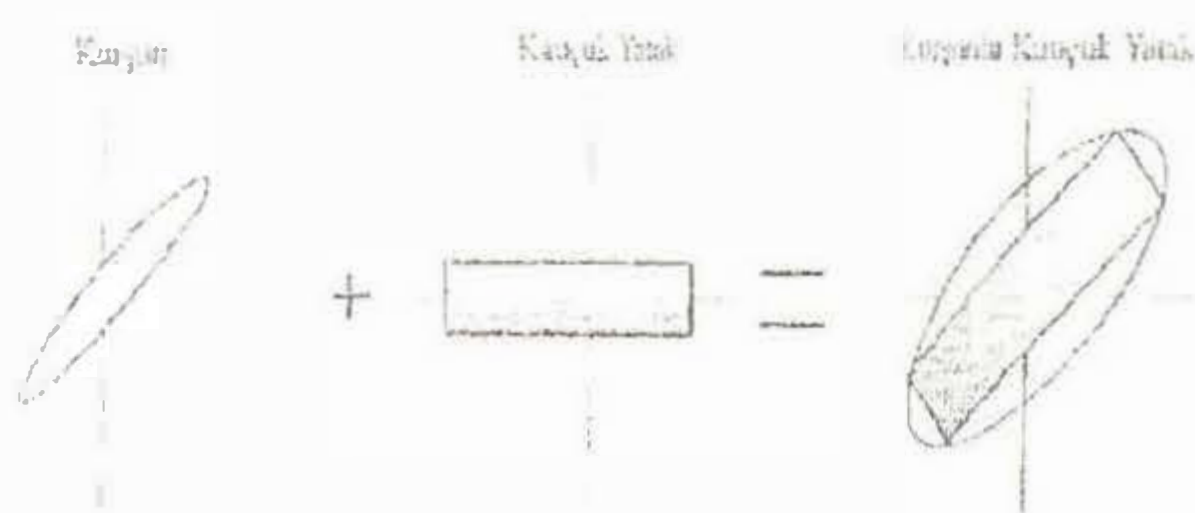
$$F_{YL} = 1,182Q_d \quad Q_d = A_g q_0 \text{ dir.}$$

Burada;  $Q_d$ : %0 kesme şekil değiştirmesindeki kesme akına dayanımı ve  $q_0$ : sistemin % kesme şekil değiştirmesinde kurşunun kesme akma gerilmesidir. Kurşunlu çekirdekli kauçuk sistemin son elastik rijitliği ( $K_d$ ) ve kesme şekil değiştirmesindeki maksimum kesme kuvveti ( $F$ ) ise;

$$K_d = \frac{F - Q_d}{U_{BE}} \quad F = A_r G_r + A_p q_1$$

Burada;  $q_1$ : kurşunun kesme akma gerilmesi,  $U_{BE}$ : kurşun çekirdekli kauçuk sistemin etkili tasarım yer değiştirmesi,  $G_r$ : kurşun çekirdekli kauçuk sistemin kesme modülü ve ( $U$ ): kurşun çekirdekli kauçuk sistemin birim şekil değiştirmesidir [10].

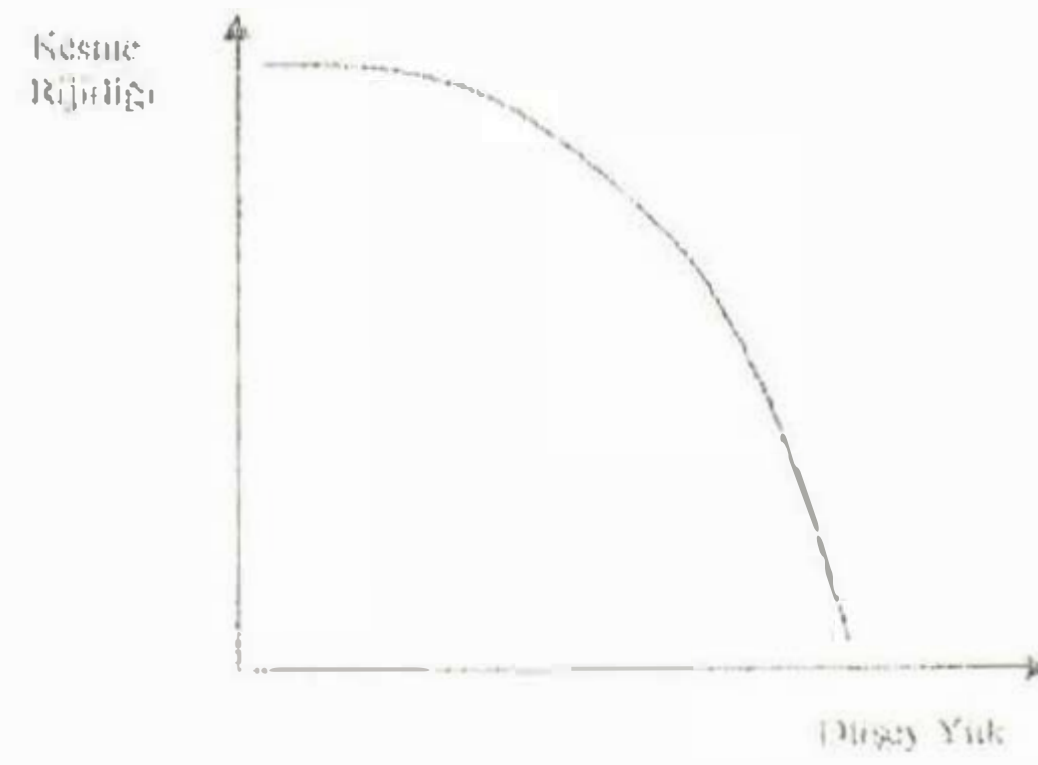
Kurşun Çekirdekli Kauçuk Sistemlerin davranışı, deprem uyarımları altındaki yapı davranışına bağlı olarak bir çok parametreye bağlıdır. Bir kurşun kauçuk sistemin performans faktörü; kuvvet yer değiştirme ilişkisinin çevrimi alanının, iki yönlü doğrusal davranış gösterdiği kabul edilen paralel kenarın dış çember alanına oranı olarak tanımlanır. bir deneysel çalışmada, King tarafından 0,67'lik bir performans faktörü önerilmiştir. Performans faktörü genellikle sistemin detaylarına bağlıdır. Bununla beraber, daha önceki analizlerin çoğu bu tip yataklamalarda kuvvet-yer değiştirme için iki yönlü doğrusal davranış kabulü göz önüne alınmıştır.



Şekil 4- Kurşun ve kauçuk sistem kombinasyonu

Kurşun çekirdekli kauçuk sistemlere yüksek yatay yük etkimesi durumunda ise, önce kurşun çubuk erimekte ve yatay rijitlik önemli derecede azaltılmaktadır. Böylece yapı sisteminin periyodu artmaktadır. Düşey yüklerden yüksek yüklere geçiş oldukça düzgündür. Kurşun çubuk eridiği zaman yükler kauçuk tarafından taşınır.

Kurşun çekirdekli kauçuk sistemlerin rijitliği üzerinde eksenel kuvvet büyük rol oynamaktadır. Şekil 5'de görüldüğü gibi düşey kuvvet arttıkça sistemin rijitliği azalmaktadır. Kurşun çubuktaki bu yumuşama yalıtılmış yapıda periyodun artmasına neden olmaktadır. Bu sistemler çok katlı yapılarda, köprülerde ve depremde hasar görmüş yapıların güçlendirilmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu sistem ilk kez 1989 yılında William Clayton binasında uygulanmıştır[9].



Şekil 5. Kesme rijitliği ve düşey yük arasındaki ilişki

## II.ÇALIŞMANIN AMAÇ VE KAPSAMI

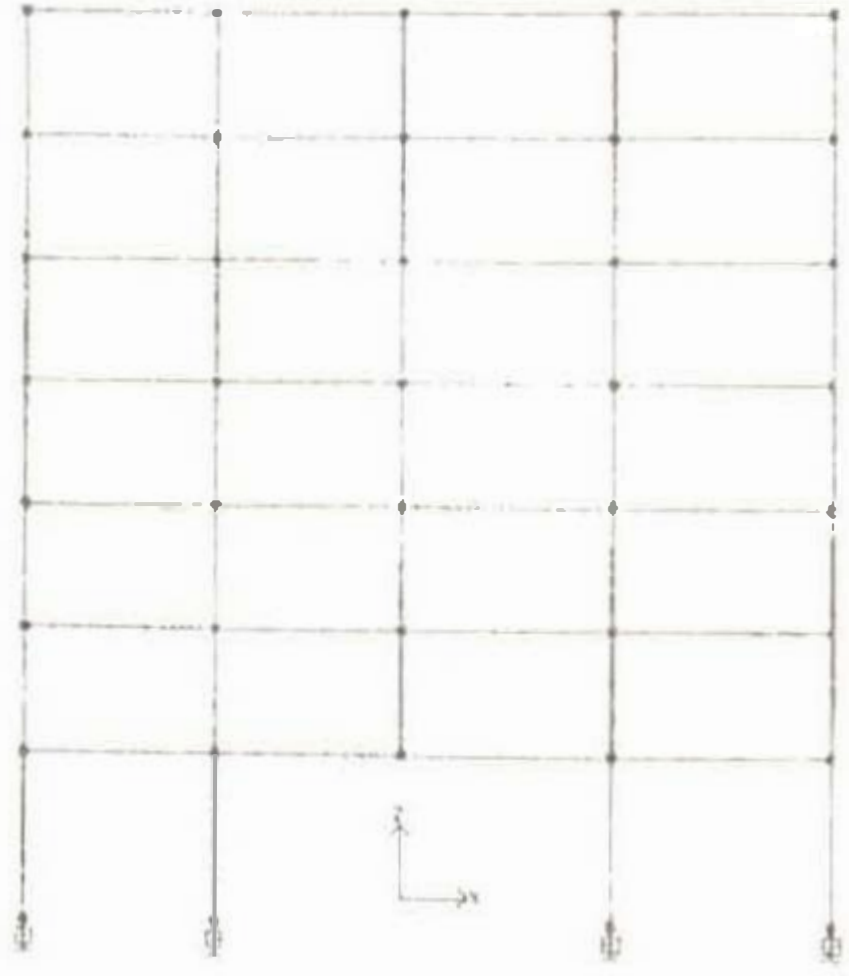
Deprem sonucu meydana gelen yıkımlar günümüzde insan hayatını olumsuz yönde etkilemektedir. Yapı tasarımı aşamasında, küçük şiddetteki depremlerde hasar görmeyecek şekilde, orta şiddetteki depremlerde oluşan hasarların onarılabilecek nitelikte, büyük şiddetteki depremlerde ise yapı hasar görebilecek fakat göçmemesi ve can kaybı olmamasını sağlayacak şekilde projelendirilmelidir. Deprem etkisinin önüne geçilemeyeceği için bu etkiyi azaltma yöntemleri geliştirilmeye çalışılmaktadır.

Bu amaçla yapının temelinde deprem dalgalarını sönmüleyici özelliğe sahip malzemeler yerleştirilerek, yapının elastik davranış göstermesini sağlamak ve enerji yutma kapasitesini arttırmak için temel yalıtım sistemleri geliştirilmiştir. Yatay yüklere karşı rijitliği çok az olan bu yalıtım sistemleri yapı periyodunu uzatarak yapının daha az zorlanacağı bir konumda olmasını sağlar.

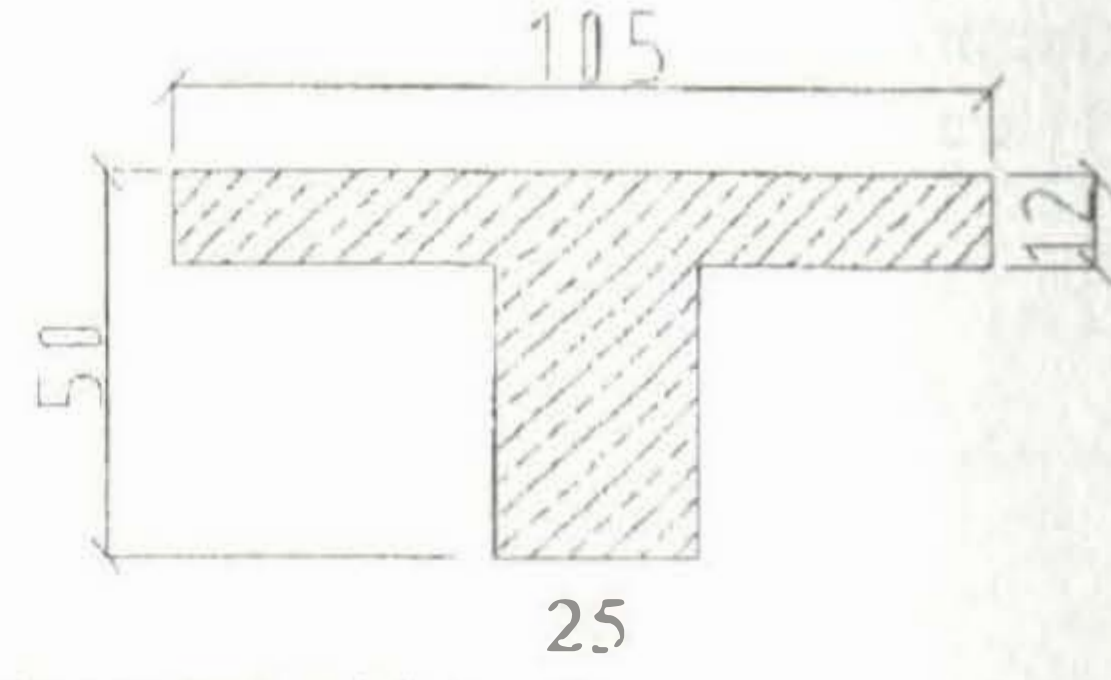
Temel yalıtım sisteminin kullanılması ile deprem sırasında yapıya iletilen enerjideki kayıplar ve yapının esnekliğinin artması sonucu taşıyıcı elemanlarda (kolon, kiriş) plastik mafsallar oluşur ve meydana gelen elastik olmayan deformasyonlar plastik mafsal bölgesinde kalır. Böylece deprem sırasında yapıya iletilen enerjinin çoğu yatay kuvvetlere karşı dirençli yapı sistemi tarafından yutulur.

Temeli kurşun çekirdekli kauçuk mesnet sistemi ile yalıtılmış Şekil 6'da kesiti verilen 7 katlı 4 açıklıklı ve düseyde düzensiz olan 3 boyutlu bir binanın analizleri düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemi, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemi ve ankastre mesnet sistemi olarak 3 ayrı modelde yapılmıştır. Çıkan sonuçlar birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Tüm kolon kesitleri 50/50 cm, tüm kirişler tablo olarak boyutları Şekil 7'de görüldüğü gibi boyutlandırılmıştır. Tüm katlarda döşeme kalınlığı 12 cm alınmış olup, kat yüksekliği ilk kat için 400 cm. iken diğer katlarda 300 cm.' dir.

Binanın dinamik analizinde yer hareketi olarak 16 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Marmara Depremi'nin kuzey-güney ve doğu-batı bileşenleri kullanılmıştır. Marmara Depremi'nin zaman artımı 0.01 sn'dir. Deprem hareketinin binaya x doğrultusunda etkidiği varsayılmıştır. Binanın adı geçen deprem etkisi altındaki dinamik analizleri SAP 2000 Nonlinear 6.11 versiyonu paket programında Zaman Artımı yöntemi (Time History) kullanılarak yapılmıştır. Binanın sönüm oranı her bir mod için 0.05 olarak alınmış olup, özvektörler için mod sayısı 7 seçilmiştir. Bu çalışmada yapının temeline yerleştirilen kurşun çekirdekli kauçuk mesnetler, kauçuk tabakaların arasına çelik tabakalar yerleştirilmek suretiyle, kükürtle sertleştirilerek, kauçuk sistemlerin merkezine bir kurşun çubuk yerleştirilmesi sonucu oluşturulmuştur. Bu sisteme Yeni Zelanda Mesnet Sistemi de denilmektedir.



Şekil 6- Üç boyutlu temeli yalıtılmış binanın kesiti

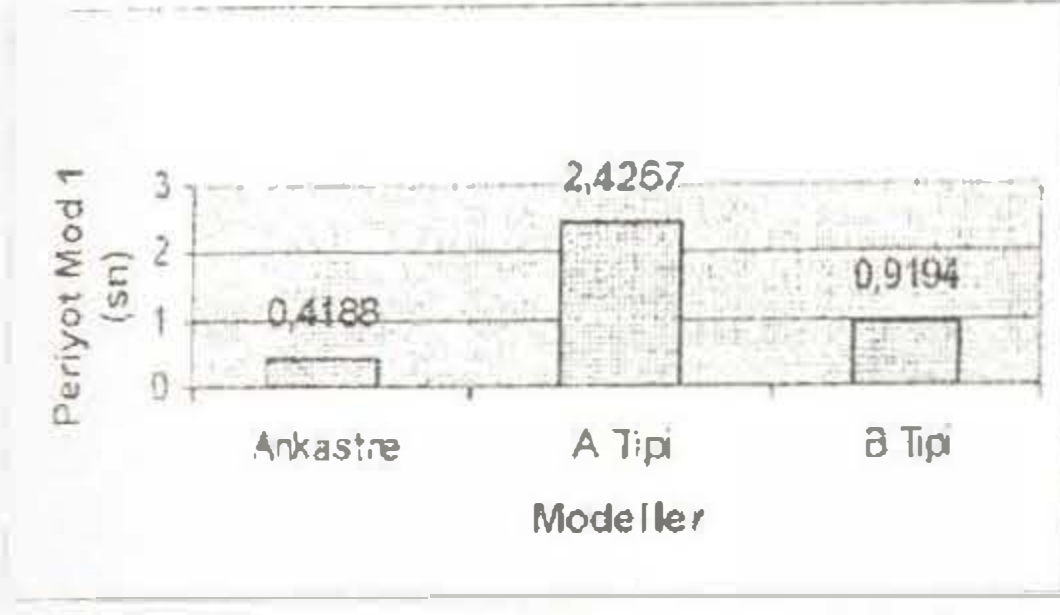


Şekil 7- Tablalı kiriş kesiti

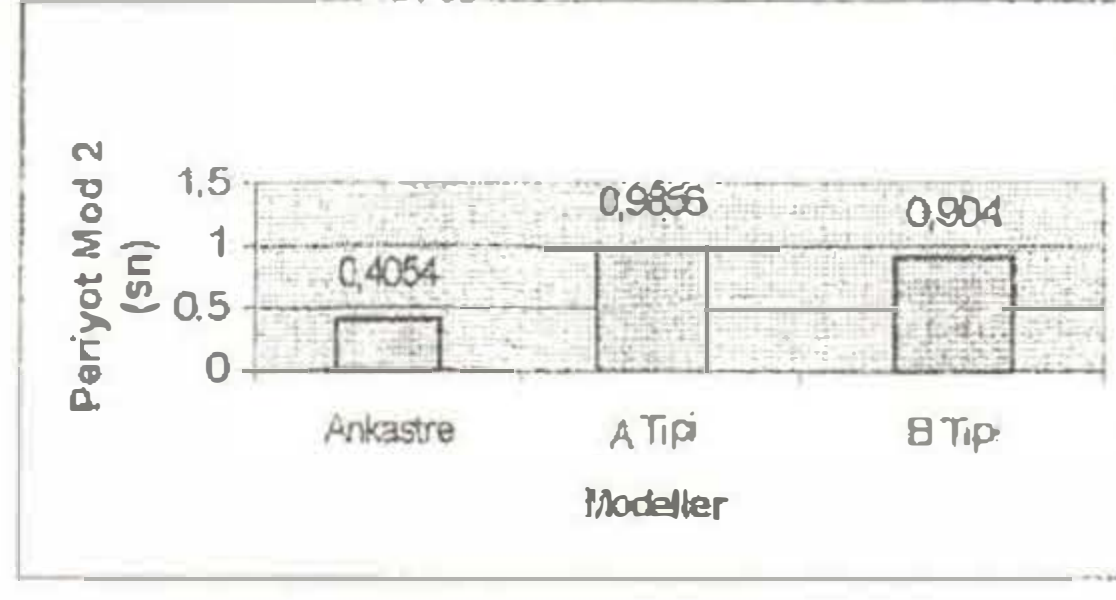
Tablo 1. Kauçuk mesnetlerin karakteristik özellikleri

	Kütle (kg)	Elastik Rijitlik (t/m)	Akma Kuvveti (t)	Etkili Rijitlik (t/m)	Plastik R. Elastik R. Oranı
A Tipi Kauçuk Mesnet	338,33	346,9	2,449	1053,67	0,129
B Tipi Kauçuk Mesnet	254,32	682,3	12,74	247884	0,1

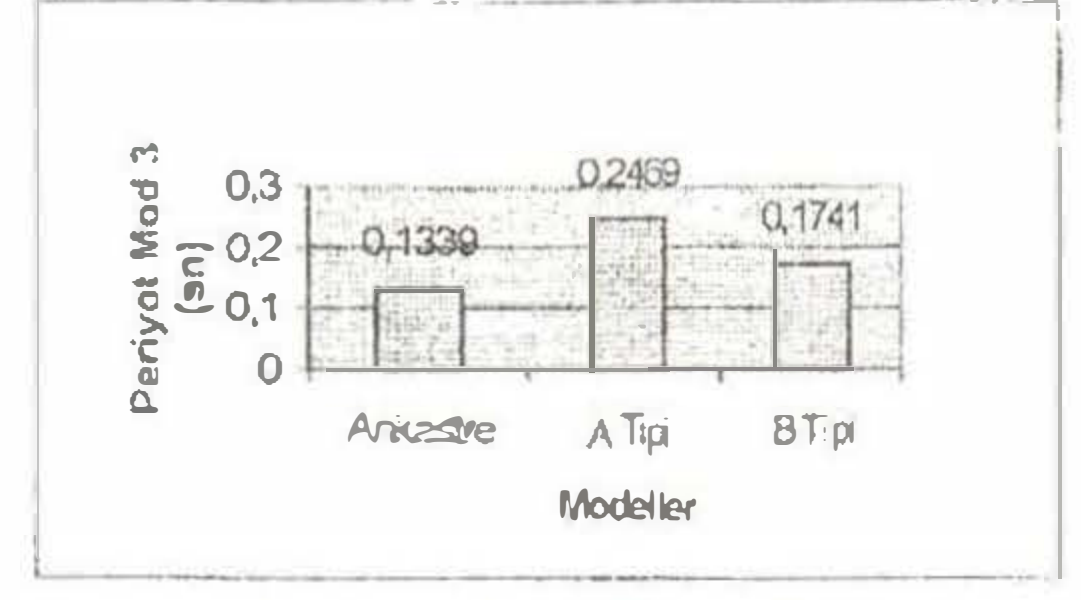
## II.1. Çözümü Yapılan Modellerin Karşılaştırılması



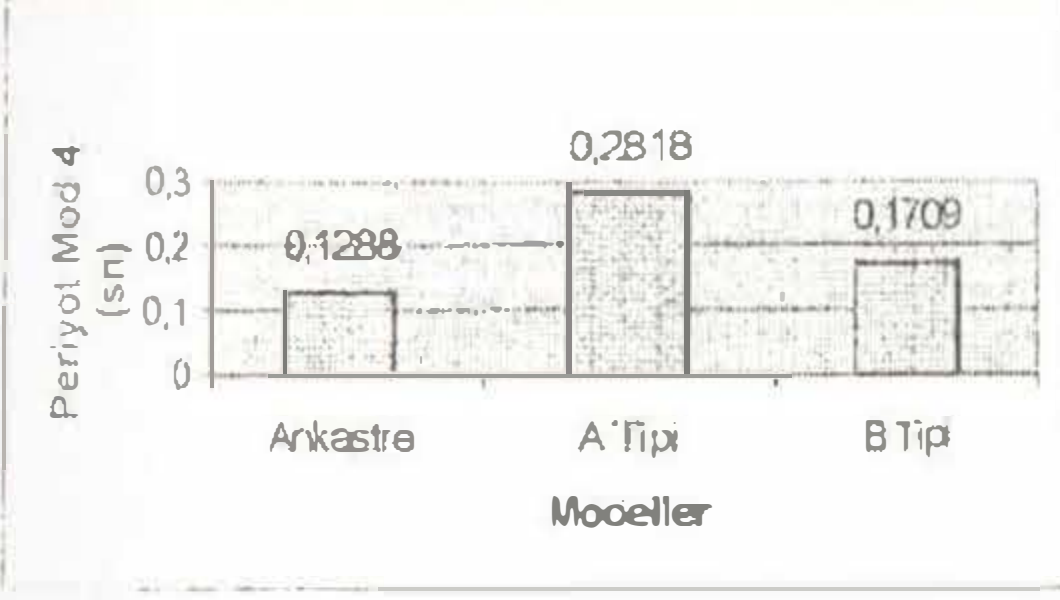
Şekil 8 – Yapının 1. Moduna Ait Periyot



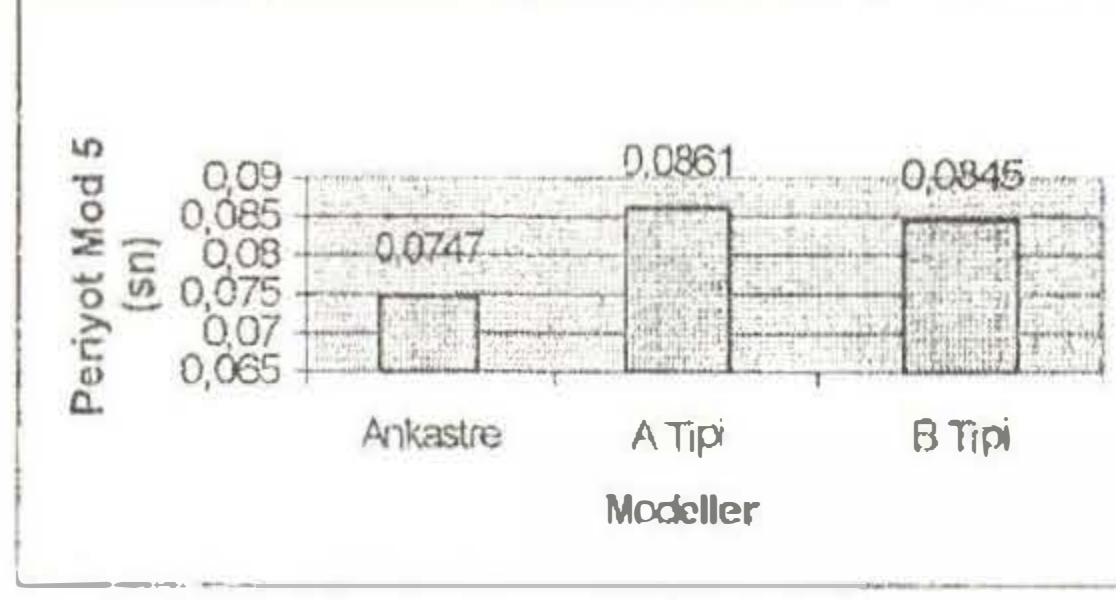
Şekil 9 – Yapının 2. Moduna Ait Periyot



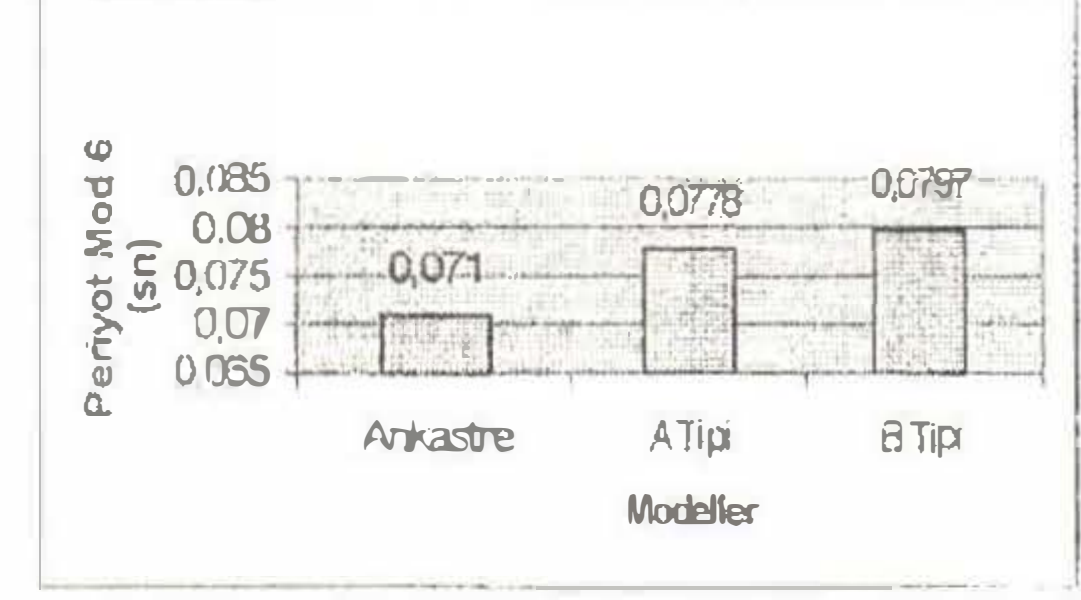
Şekil 10 – Yapının 3. Moduna Ait Periyot



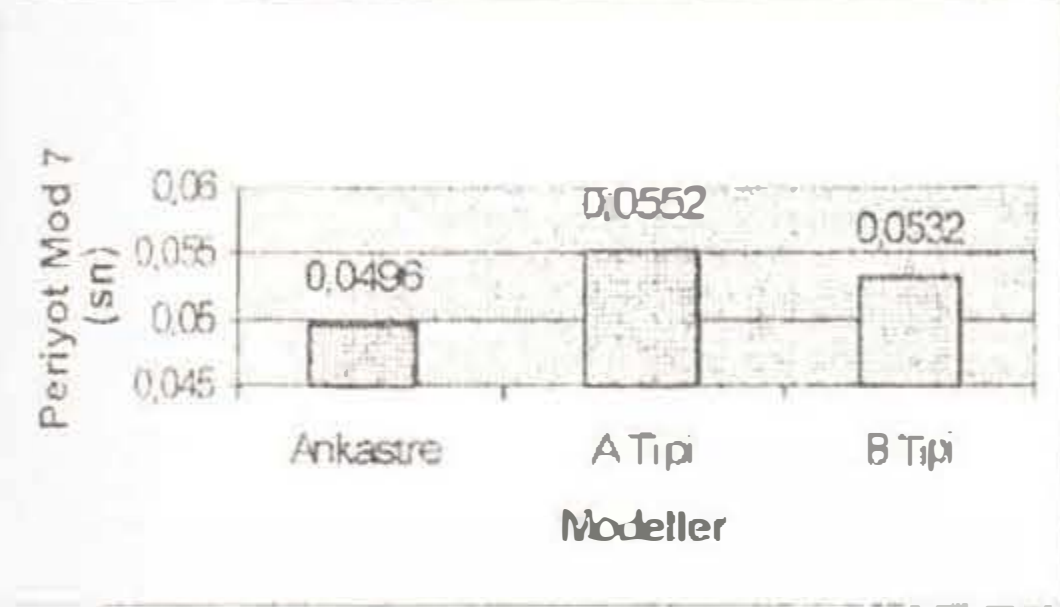
Şekil 11 – Yapının 4. Moduna Ait Periyot



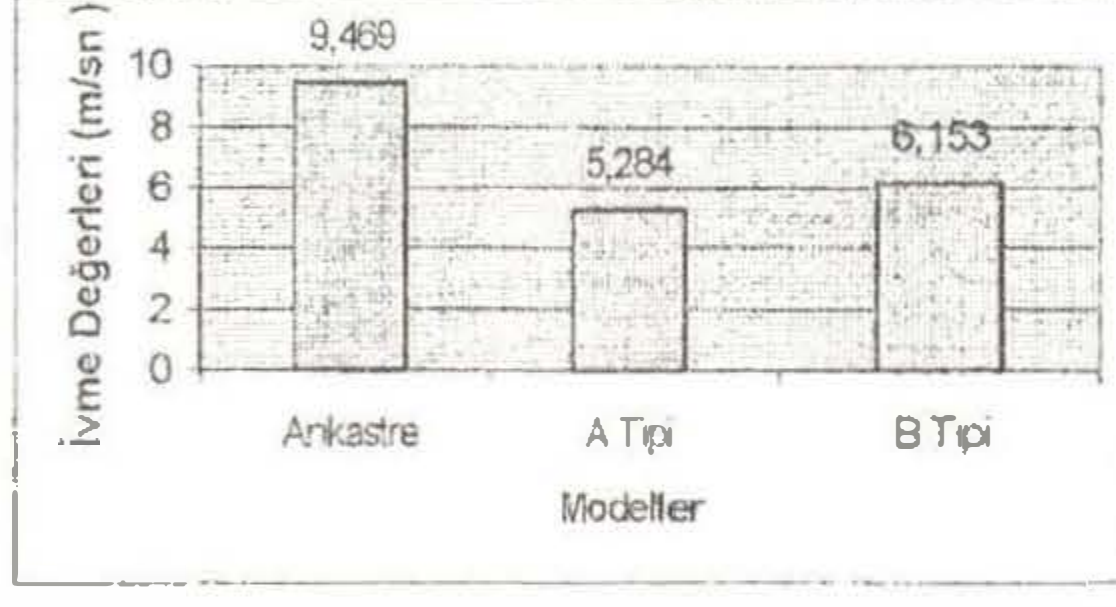
Şekil 12 – Yapının 5. Moduna Ait Periyot



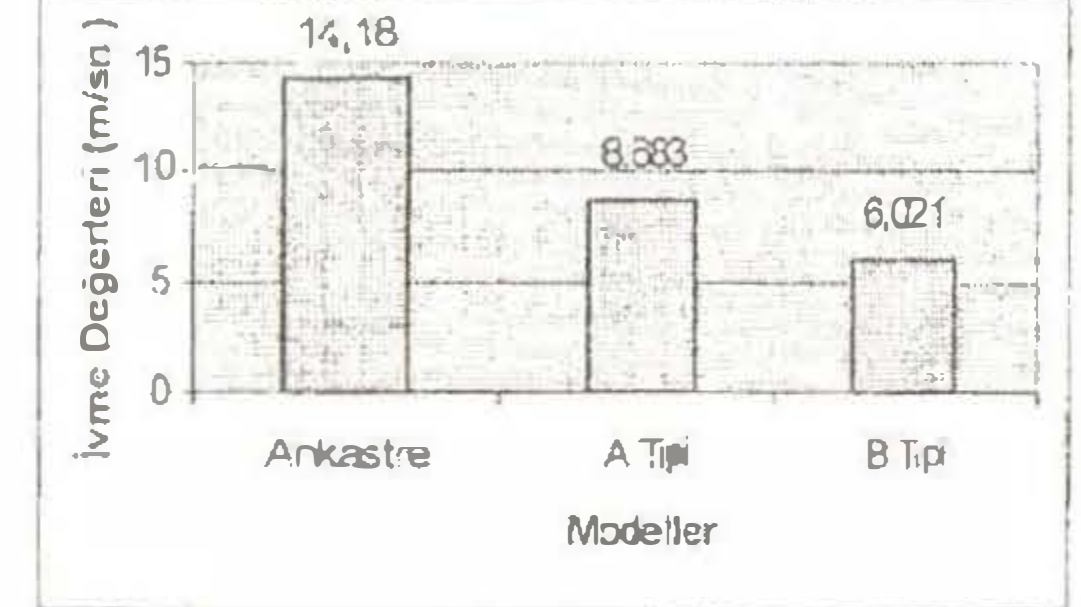
Şekil 13 – Yapının 6. Moduna Ait Periyot



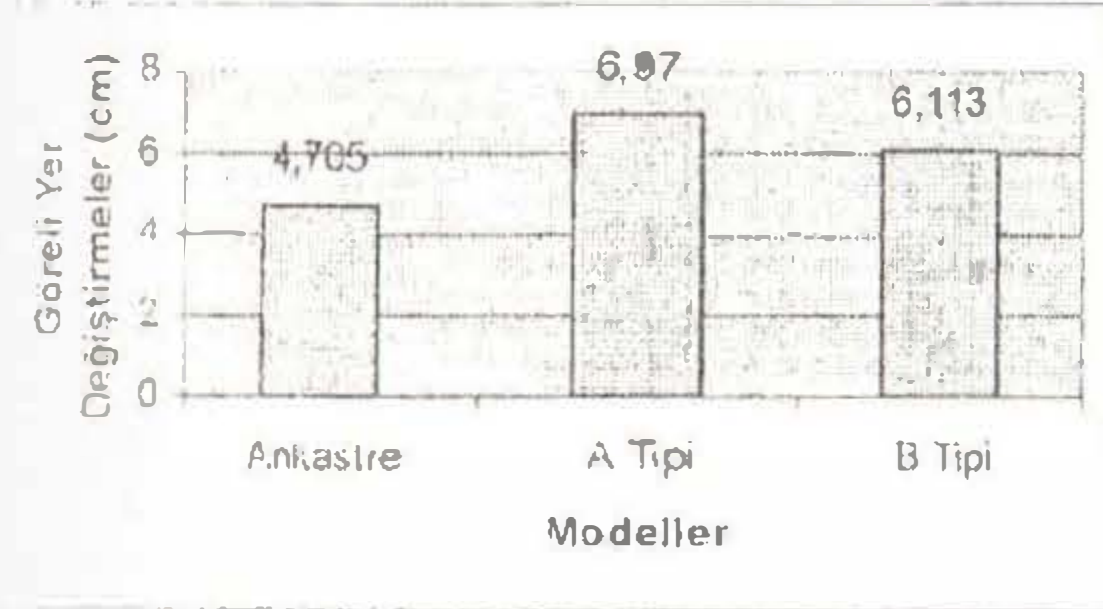
Şekil 14 – Yapının 7. Moduna Ait Periyot



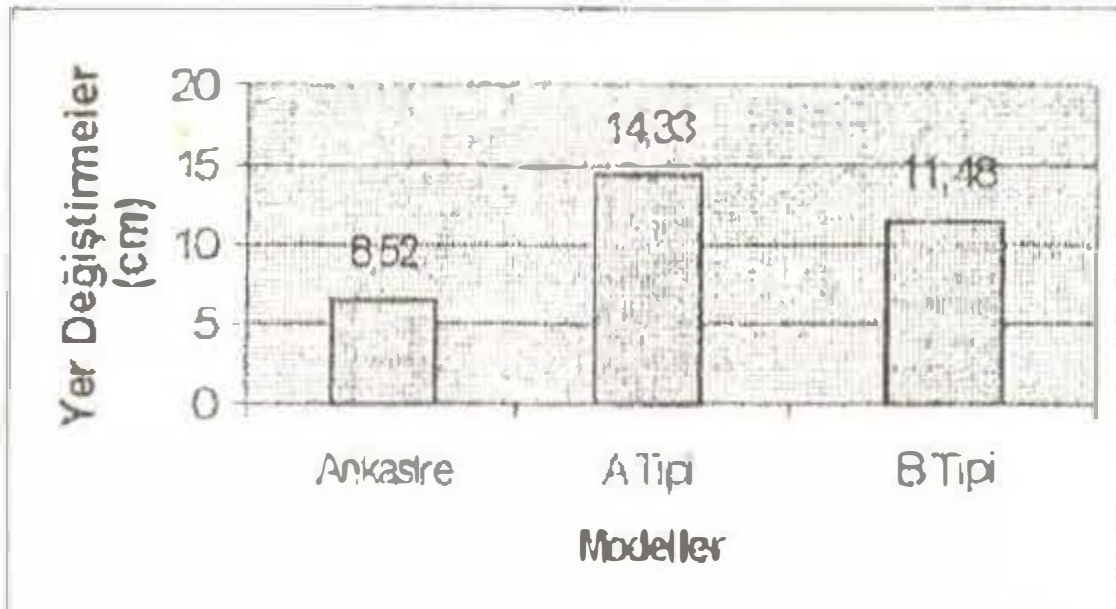
Şekil 15 – Yapının En Üst Katında X Eksemi Yönündeki Maximum İvme



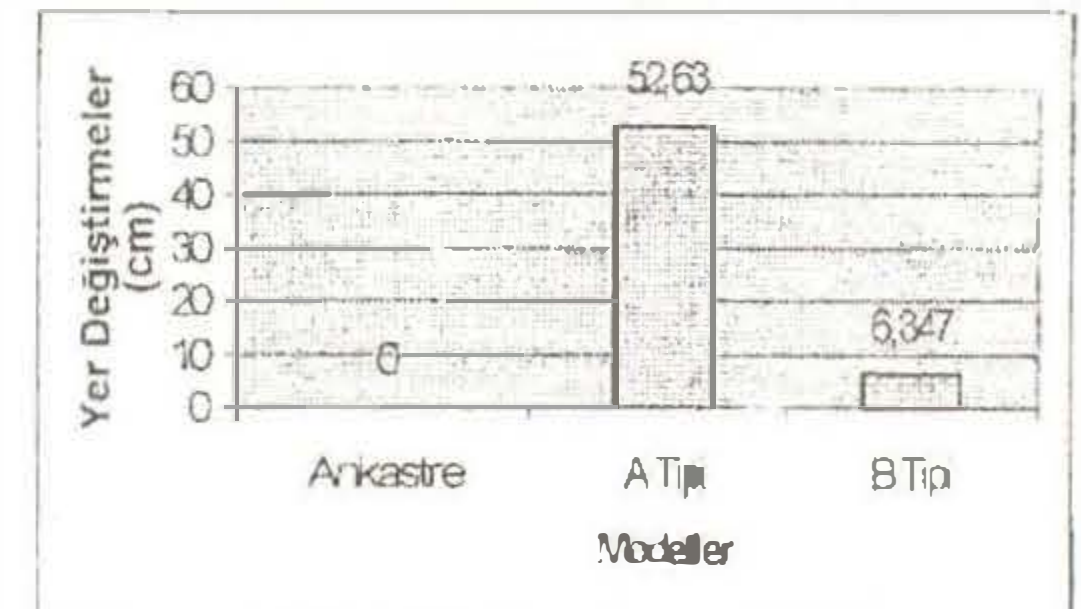
Şekil 16 – Yapının En Üst Katında Y Eksemi Yönündeki Maximum İvme



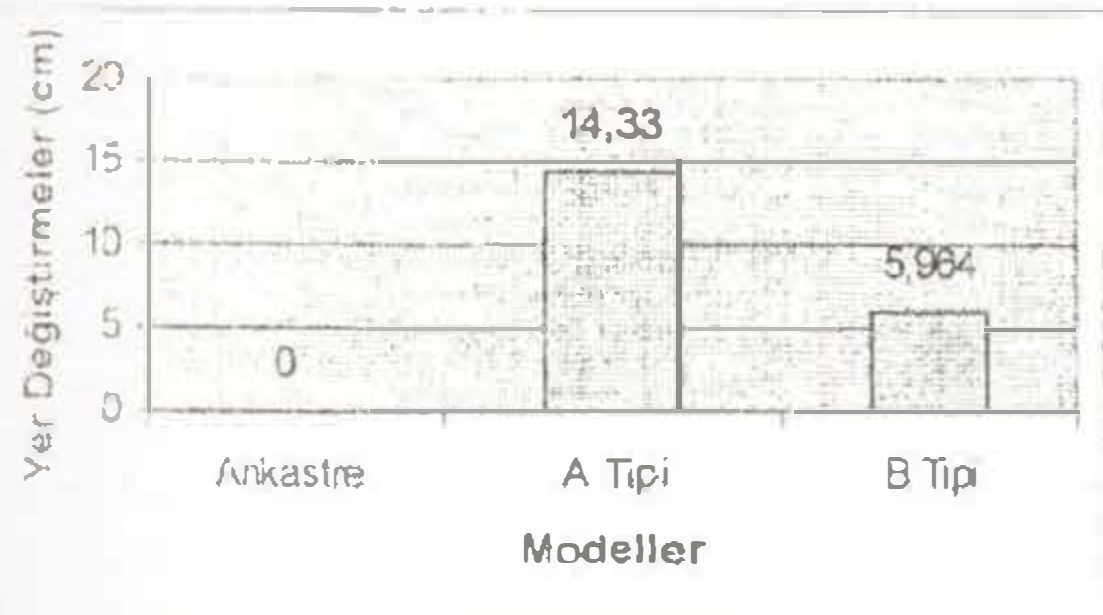
Şekil 17 – Yapının En Üst Katında X Eksemi Yönündeki Maximum Yer Değiştirme



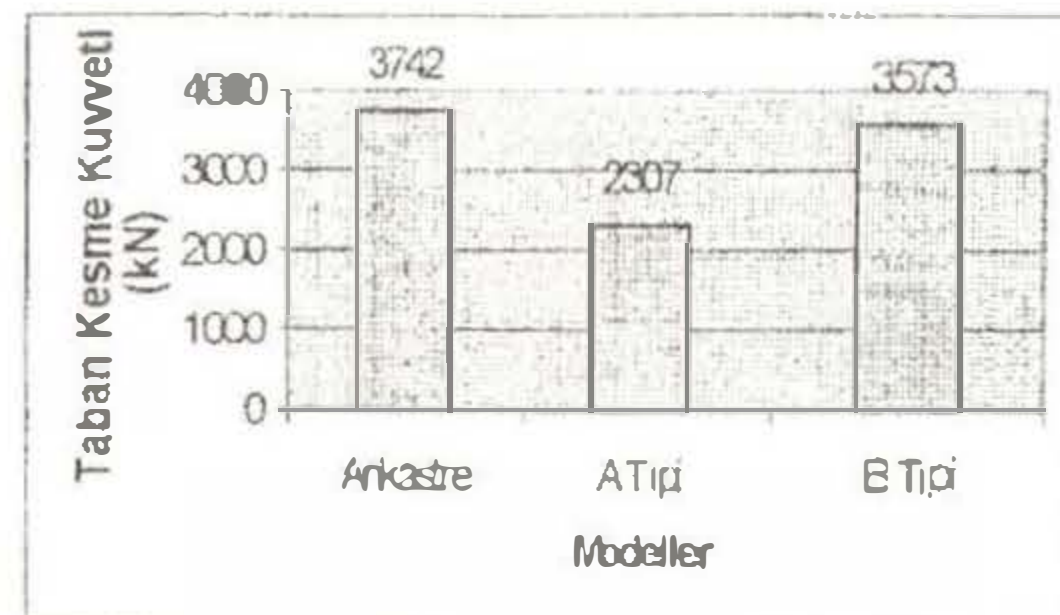
Şekil 18 – Yapının En Üst Katında Y Eksemi Yönündeki Maximum Yer Değiştirme



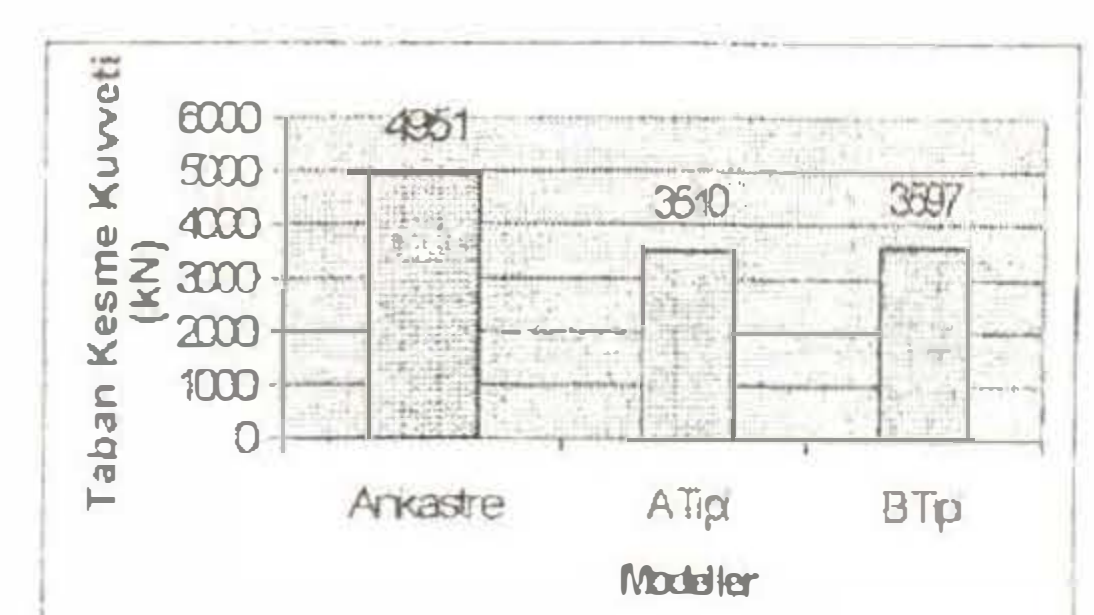
Şekil 19 – Yapının Temel Seviyesinde X Eksemi Yönündeki Maximum Yer Değiştirme



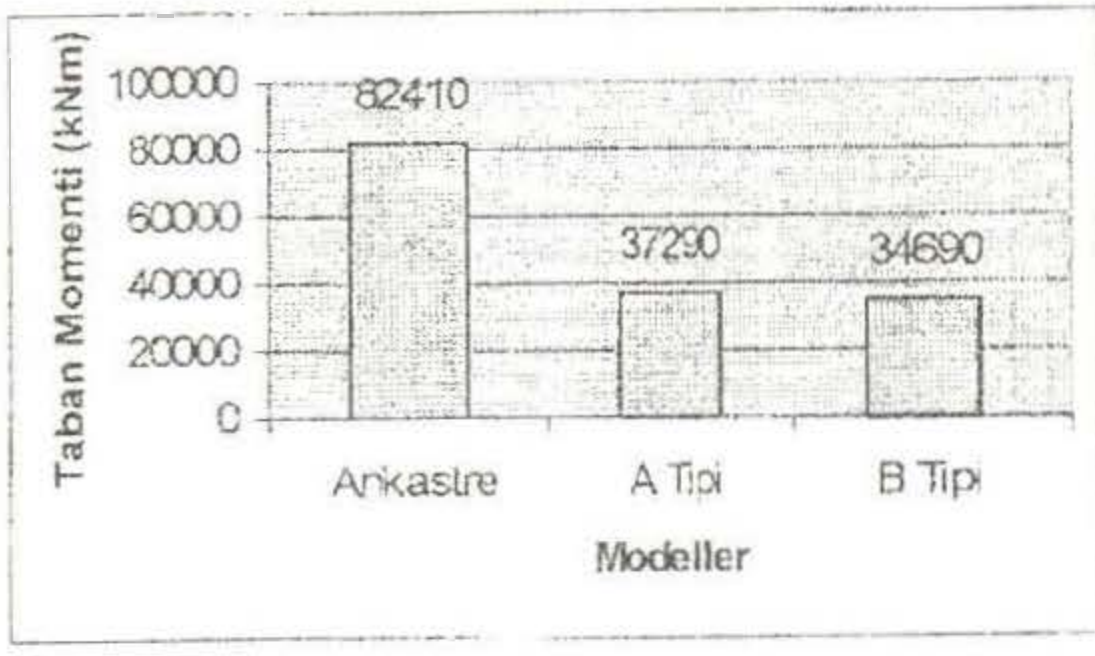
Şekil 20 – Yapının Temel Seviyesinde Y Eksemi Yönündeki Maximum Yer Değiştirme



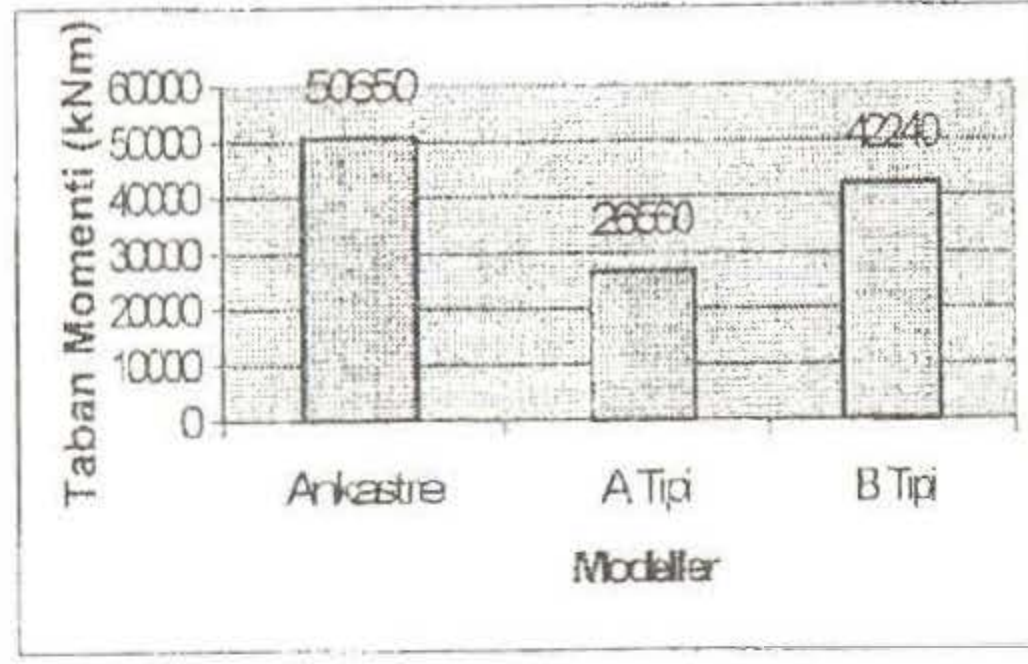
Şekil 21 – Yapının X Eksemi Yönündeki Taban Kesme Kuvveti



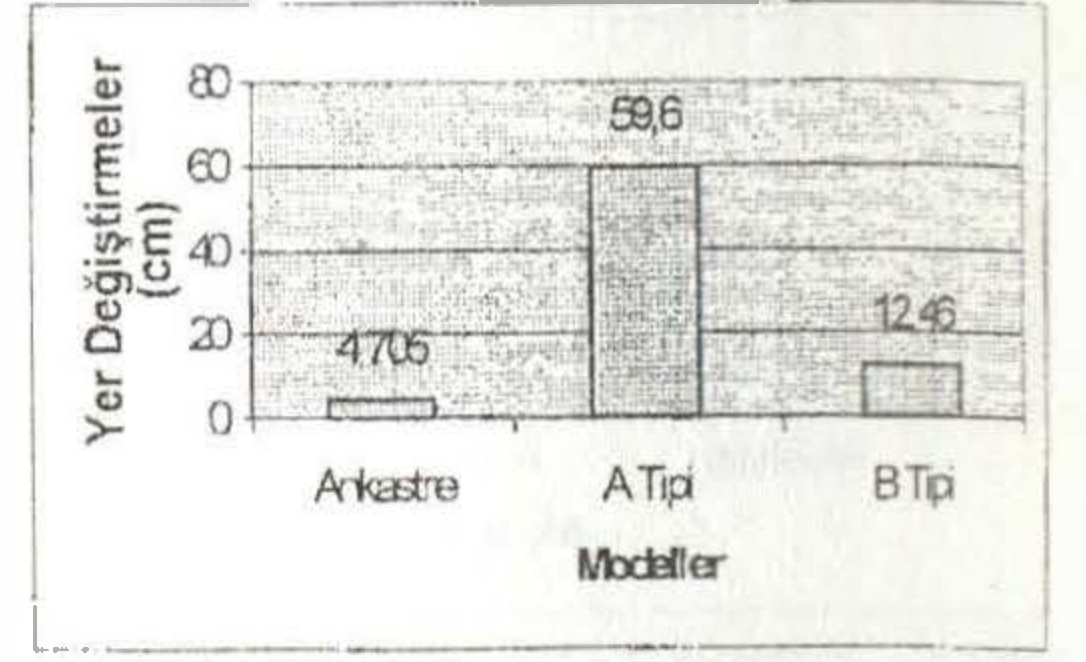
Şekil 22 – Yapının Y Eksemi Yönündeki Taban Kesme Kuvveti



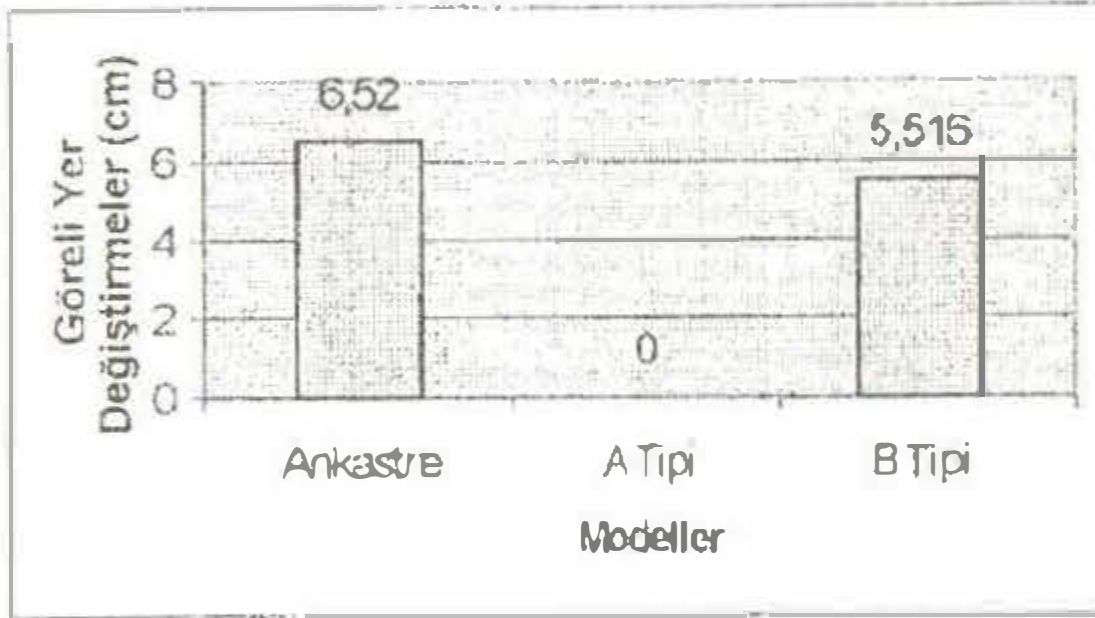
Şekil 23 - Yapının X Eksenini Yönlündeki Maximum Taban Momenti



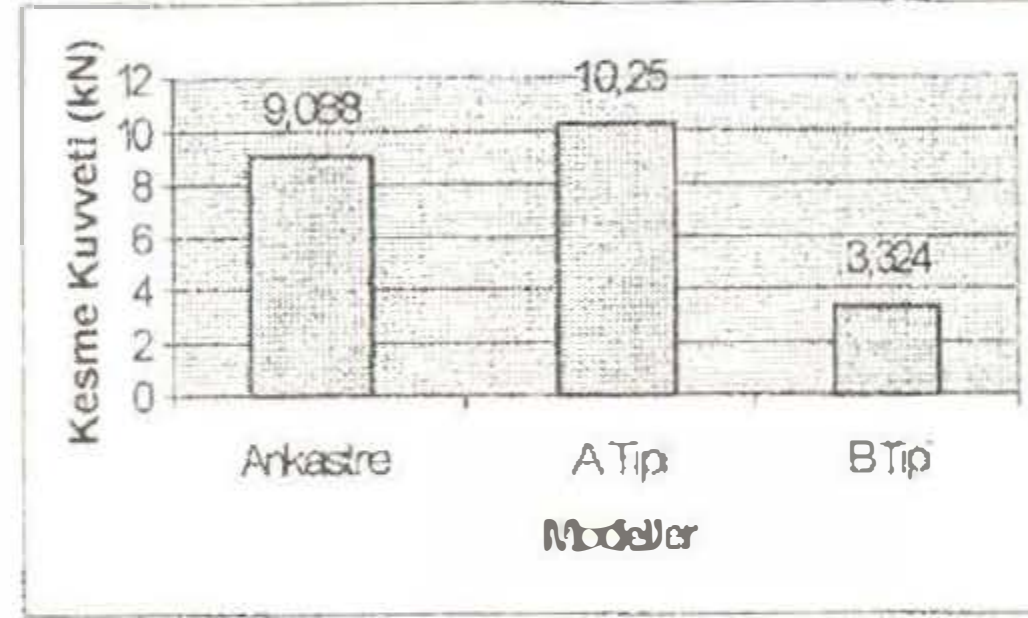
Şekil 24 - Yapının Y Eksenini Yönlündeki Maximum Taban Momenti



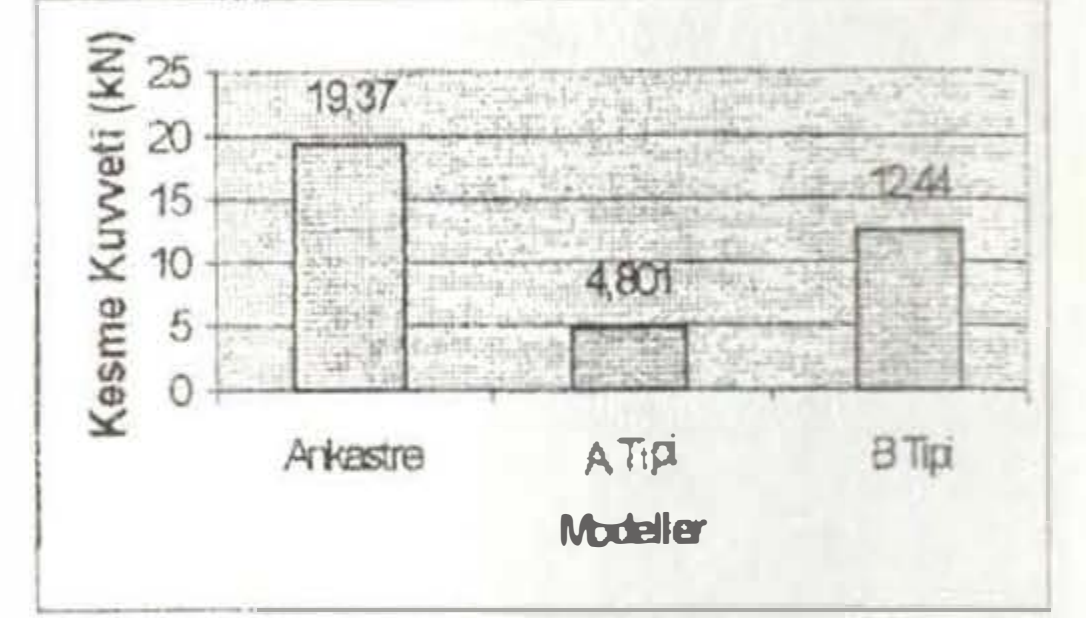
Şekil 25 - Yapı Temeline Göre X Eksenini Yönlündeki Maximum Görelî Yer değıştirme



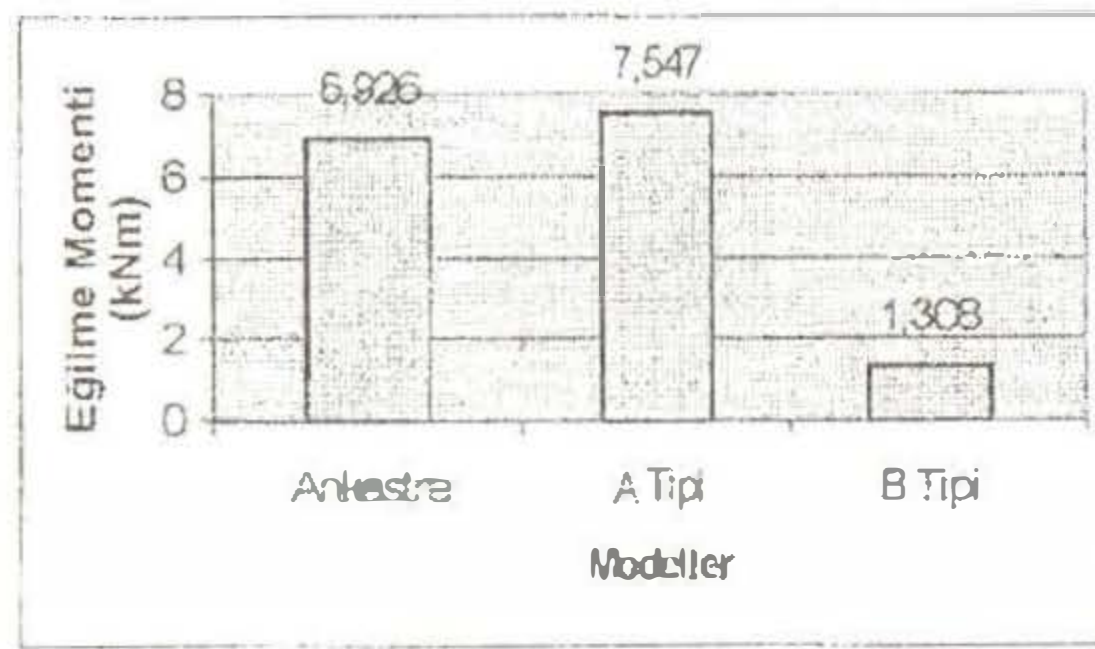
Şekil 26 - Yapı Temeline Göre Y Eksenini Yönlündeki Maximum Görelî Yer Değıştirme



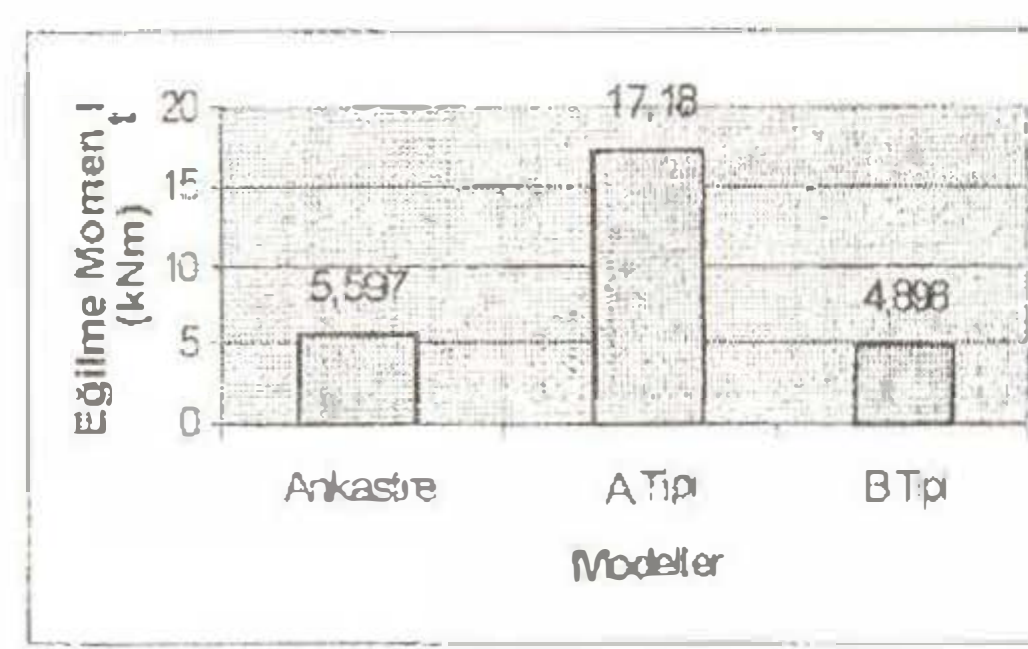
Şekil 27 - Yapının En Üst Katında Bir Kolonun 2-2 Doğrultusunda Kesme Kuvveti



Şekil 28 - Yapının En Üst Katında Bir Kolonun 3-3 Doğrultusunda Kesme Kuvveti



Şekil 29 - Yapının En Üst Katında Bir Kolonun 2-2 Doğrultusunda Eğilme Momenti



Şekil 30 - Yapının En Üst Katında Bir Kolonun 3-3 Doğrultusunda Eğilme Momenti

### III. GENEL SONUÇLAR

Bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

- 1- Marmara depremi ivmesi etkisinde 7 katlı düseyde düzensiz bir yapının periyodu, taban yalıtımlı olması halinde, ankastra mesnetli olmasına göre yaklaşık 6 kat artmaktadır. Bununla beraber yapı periyodu izolasyon tiplerinin farklı olmasına bağılı olarak kauçuğun rijitliğı arttırıldıkça giderek azalmaktadır.
- 2- Düseyde düzensiz olan 7 katlı yapı sisteminde, binanın en üst katında x eksenini doğrultusundaki maximum yer değıştirme 6.97 cm olmuştur. Yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde yapının yer değıştirmesi, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre % 12.3 azaldığı görülmüştür. Yapı ankastra mesnetli modele göre ise yaklaşık % 48.1 oranında artan bir yer değıştirme göstermiştir. Yapı sisteminin temel seviyesinde x eksenini yönlündeki maximum yer değıştirmesi ise 52.63 cm olmuştur. Yapı düseyde

düzensiz olduğundan düşük rijitlikli mesnet sisteminde yüksek rijitlikli mesnet sistemine göre yer değıştirme sınırlarını aştığı görülmüştür. Düşük rijitlikli mesnet sisteminde yüksek rijitlikli mesnet sistemine göre yapı temel seviyesinde x eksenini yönlünde yaklaşık 8.5 kat daha fazla yer değıştirdiğı saptanmıştır.

- 3- Düseyde düzensiz olan 7 katlı yapı sisteminde binanın en üst katında y eksenini yönlündeki maximum yer değıştirme 14.33 cm olmuştur. Yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde yapının yer değıştirmesi, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre yaklaşık % 20 azalmıştır. Yapı ankastra mesnetli modele göre ise yaklaşık % 76 oranında artan bir yer değıştirme göstermiştir. Yapı sisteminin temel seviyesinde y eksenini yönlündeki maximum yer değıştirmesi ise yine 14.33 cm bulunmuştur. Düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre yapının temel seviyesinde y eksenini yönlündeki

- maximum yer değiştirmesinin yaklaşık % 20 arttığı görülmüştür.
- 4- 7 katlı ve düşeyde düzensiz olan yapı sisteminde Marmara depremi ivmesi etkisi altında kullanılan yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemler, yapı sisteminin ankastre mesnetli uygulamasına göre üst yapının x eksenini yönündeki ivme etkisini % 35 oranında azaltmaktadır. Düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerin ise yapı sisteminin ankastre mesnetli uygulamasına göre üst yapının x eksenini yönündeki ivme etkisini % 44 oranında azalttığı görülmüştür.
- 5- Düşeyde düzensiz olan 7 katlı yapı sisteminde Marmara Depremi ivmesi etkisi altında kullanılan yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemler yapı sisteminin ankastre mesnetli uygulamasına göre üst yapının y eksenini yönündeki ivme etkisini % 57.5 oranında azaltmaktadır. Düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerin ise yapı sisteminin ankastre mesnetli uygulamasına göre üst yapının y eksenini yönündeki ivme etkisini ise yaklaşık % 39 oranında azalttığı görülmüştür.
- 6- 7 katlı ve düşeyde düzensiz olan yapı sisteminde binanın temel seviyesinde x eksenini yönünde maximum yer değiştirmesi düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre yaklaşık 8.3 kat daha fazla olduğu görülmüştür. Yapının temel seviyesinde y eksenini yönündeki maximum yer değiştirmesi ise, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre yaklaşık 2.4 kat artmıştır.
- 7- 7 katlı düşeyde düzensiz yapı sisteminin x doğrultusundaki taban kesme kuvveti, ankastre mesnetli modele göre, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde % 38.3, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde ise % 4.52 azalmıştır. Yapının y eksenini yönündeki taban kesme kuvveti ise, ankastre mesnetli modele göre, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde % 29.1, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde de % 27.35 azalmıştır.
- 8- 7 katlı düşeyde düzensiz yapının x eksenini doğrultusundaki maximum taban momenti ankastre mesnetli modele göre, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde % 54.75, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde ise % 57.9 azalma görülmüştür. Yapının y eksenini doğrultusundaki maximum taban momenti de ankastre mesnetli modele göre, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde % 16.6, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde ise % 47.56 azalmıştır.
- 9- 7 katlı düşeyde düzensiz yapının en üst katında bulunan bir kolonun, 2-2 doğrultusundaki kesme kuvvetlerinde kauçuk mesnetli sistemlerde, ankastre mesnetli sisteme göre maximum % 63.4 oranında azalma görülmüştür. 3-3 doğrultusundaki kesme kuvvetlerinde ise kauçuk mesnetli sistemlerde ankastre mesnetli modele göre maximum % 75.21 oranında azalma görülmüştür.
- 10- 7 katlı düşeyde düzensiz yapının en üst katında bir kolonun 2-2 doğrultusundaki eğilme momentinde, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerde % 9 oranında artma görülmüştür. Yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerde ise % 81 oranında azalma görülmüştür. 3-3 doğrultusundaki eğilme momentinde düşük rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerde % 206 oranında artma, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemlerde de % 12.5 oranında azalma görülmüştür.
- 11- Düşeyde düzensiz 7 katlı yapının x eksenini yönündeki maximum görelî yer değiştirmesi, düşük rijitlikli kauçuk mesnet sisteminde, yüksek rijitlikli kauçuk mesnet sistemine göre yaklaşık 5 kat daha fazla olup, yer değiştirme 59.6 cm bulunmuştur. Yapı yer değiştirme sınır koşulu olan 50 cm.yi aşmıştır.

#### KAYNAKLAR

- 1 NAEİM, F. and KELLY, J.M., "Design of Seismic Isolated Structures", John Wiley & Sons, Inc., USA, 1999
- 2 CECCOLI, C., MAZZOTTI, C. and SAVOIA, M., "Non-linear Seismic Analysis of Base-Isolated RC Frame Structures", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 28, pp. 633-653, 1999
- 3 KELLY, J.M., "The Role of Damping in Seismic Isolation", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 28, pp. 3-20, 1999
- 4 VILLAVERDE, R. And MOOSQUEDA, G., "Aseismic Roof Isolation System Analytic and Shake Table Studies", Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 28, pp. 217-234, 1999
- 5 ALDEMİR, U., BAKIOĞLU, M., and AKHIEV, S., "Optimal Control of Linear Buildings under Seismic Excitations" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, Volume 30, pp. 835-851, Turkey, 2001
- 6 LIZUKA, M., "A Macroscopic Model of Predicting Large-Deformation Behaviours of Laminated Rubber Bearings", Engineering Structures, , Volume 22, pp. 323-334, 2000
- 7 NAGARAJAIAH, S., and SUN, X., "Base Isolated FCC buildings : Impact Response In Northridge Earthquake", Journal of Structural Engineering, Volume 127, No 9, pp 1063-1075, USA, 2001
- 8 ÜNAL, Ö., "Yapılarda Taban İzolasyonu Sistemleri", Yüksek Lisans Tezi, İTÜ İnşaat Müh. Böl., İstanbul, 2001
- 9 KARABÖRK, T., "Titreşim Kontrol Sistemleri ve Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları", Doktora Tezi, SAÜ. İnşaat Müh. Böl., Sakarya, 2001
- 10 DUMANOĞLU, A. ve ATEŞ, Ş., "Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan deprem Analizi", Türkiye Deprem Vakfı Yayını Teknik Rapor, İTÜ, 1999. TR026-42