



COST ANALYSIS OF A BUILDING WITH SEISMIC BASE ISOLATION SYSTEM

R. Kadir PEKGÖKGÖZ^{*1}, M. Arif GÜREL¹, Mahmut KÖMÜR¹, Feridun ÇILI²

¹Harran Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, ŞANLIURFA

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Mimarlık Fakültesi, Mimarlık Bölümü, Taksim-İSTANBUL

Geliş/Received: 05.10.2006 Kabul/Accepted: 19.07.2007

ABSTRACT

Seismic base isolation method is one of the most efficient methods that have been developed for the protection of structures against earthquakes. Application of the method to the structures causes an additional cost. For bridges and hospitals which must continue their functions after earthquakes and for special structures such as nuclear power plants and museums, the additional cost due to the application of the seismic base isolation system is not taken into consideration. However, for residential and office buildings which are constructed for profit purposes, earthquake protection methods and cost differences between them are taken into account. In this study, considering a sample reinforced concrete building with six story, assumed as situated in the first seismic zone, for the cases of fixed-base and seismic isolated-base, the total construction costs have been calculated and compared. To this end, the softwares of IdeCAD Statics and ETABS have been used. The results of the study have shown that, for the conditions of our country and currently time, the application of the seismic base isolation system to the residential and office buildings causes about 40 ~ 45 % an additional cost.

Keywords: Seismic base isolation system, seismic isolator, earthquake, building construction cost.

SİSMİK TABAN YALITIM SİSTEMİ UYGULANMIŞ BİR BİNADA MALİYET ANALİZİ

ÖZET

Sismik taban yalıtım yöntemi, yapıların depremlere karşı korunması için geliştirilmiş olan en etkin yöntemlerden birisidir. Yöntemin uygulanması yapılara ilave bir maliyet getirmektedir. Depremlerden sonra işlevlerini sürdürmeleri gereken köprüler, hastaneler gibi yapılar ve nükleer güç santralleri, müzeler gibi özel yapılar için yöntemin uygulanmasının getireceği ilave maliyet önemsenmemelidir. Ancak, ticari amaçla inşa edilen konut ve ofis binalarında, depreme karşı koruma yöntemleri ve bunlar arasındaki maliyet farkları önemli olmaktadır. Bu çalışmada, 1. derece deprem bölgesinde olduğu kabul edilen 6 katlı örnek bir betonarme konut binası ele alınarak, bu binanın sabit tabanlı ya da sismik taban yalıtımlı olması durumları için toplam yapım maliyetleri hesaplanıp karşılaştırılmıştır. Bunu yapmak için IdeCAD Statik ve ETABS bilgisayar programları kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, bu tür binalara sismik taban yalıtım sisteminin uygulanmasının, ülkemiz ve günümüz şartlarında % 40 ~ 45 civarında bir ilave maliyet getirdiğini göstermiştir.

Anahtar Sözcükler: Sismik taban yalıtım sistemi, sismik izolatör, deprem, bina yapım maliyeti.

* Sorumlu Yazar/Corresponding Author: e-mail/e-ileti: recepkadir@harran.edu.tr, tel: (414) 344 00 20 / 1123

1. GİRİŞ

Depremler, çoğu kez önceden bir uyarı olmadan meydana gelen doğal afetlerdir. Günümüzde depremin önceden tahmin edilmesi konusundaki araştırmalar sürdürülmekte olup, henüz bu konuda güvenilir sonuçlar elde edilememiştir. Depremlerin ani ve habersiz oluşmaları yapıların depreme karşı korunmasını zorunlu kılmaktadır. Yapıların ve içerisinde bulunan ekipmanların depremlere karşı korunması için geliştirilen yöntemlerden birisi de sismik taban yalıtım yöntemi olarak bilinen yöntemdir. Bu yöntem günümüze kadar birçok yapıda başarıyla uygulanmıştır. Sismik taban yalıtım sistemi, uygulandığı binanın depreme karşı davranışını iyileştirdiğinden, uzun sürede bir ekonomi sağlamasına rağmen, başlangıçta binanın yapım maliyetine ilave bir maliyet getirmektedir. Ülkemiz dışında yapılan araştırmalarda, bu ilave maliyetin binanın toplam yapım maliyetinin % 1 ile % 5 arasında olduğu tesbit edilmiştir [1]. İnşaat yapım maliyeti ülkelerin ekonomilerine göre değişmektedir. İtalya'da yapılan benzer bir çalışmada sismik taban yalıtımından dolayı oluşan ilave maliyetin %7 civarında olduğu tespit edilmiştir [2]. Bu çalışmanın amacı, ülkemiz şartlarında bu ilave maliyetin yaklaşık olarak konut ve ofis türü yapılar için belirlenmesidir.

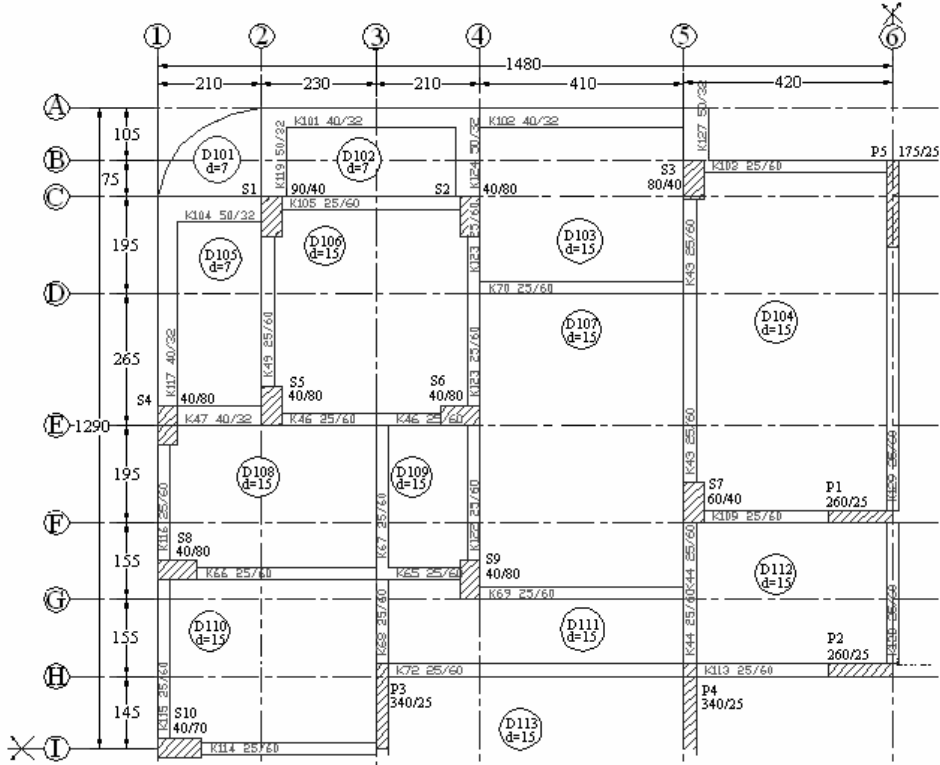
Sismik taban yalıtımı uygulanmış bir yapıyla, aynı özellikteki sabit tabanlı bir yapının depreme karşı gerek insan hayatının korunması, gerekse yapının hasar durumu açısından gösterdikleri davranışlar birbirinden farklıdır. Bu sebeple, maliyetlerin bir ölçü belirlenmeden doğrudan karşılaştırılması yanlış olur. Bu yöntemin uygulandığı bir bina ile aynı yapısal özelliklere sahip sabit tabanlı bir bina ekonomik olma yönünden, ancak seçilecek bir deprem kapasitesi ve kabul edilebilir bazı hasarlar gözönüne alınarak karşılaştırılabilir. Bu amaca yönelik olarak bu yöntemin uygulandığı bir bina ile aynı binanın sabit tabanlı yapılması durumu için detaylı bir karşılaştırma, A.B.D.'nin Los Angeles kentinde bulunan yangın kumanda ve kontrol tesisleri için yapılmıştır. Bu binanın oluşabilecek en büyük deprem etkisi altında işlevini sürdürebilmesi amaçlanmıştır. Bu araştırmanın sonucunda sismik taban yalıtımlı binanın, geleneksel sabit tabanlı binaya göre % 6 daha az maliyetle inşa edilebileceği ortaya çıkmıştır [3].

Sismik taban yalıtımı yönteminin maliyetini artıran birkaç sebep vardır. Bunlardan birisi, izolasyon sisteminin kendi maliyetidir. Bir adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün fiyatının büyüklüğüne ve özelliklerine bağlı olarak 5000 \$ ile 25000 \$ arasında değiştiği düşünülmüşse, maliyet artışı daha iyi anlaşılır. İzolatörlerin birlikte hareket etmelerini sağlamak için üzerlerinde oluşturulan döşeme sistemi, binanın yatay doğrultuda hareketine olanak sağlamak için bırakılan sismik boşluk ve bunun sağlanması için inşa edilen istinat duvarları ve binanın ekonomik ömrü boyunca yapılması zorunlu olan izolatör kontrol ve bakım işleri, ilave maliyete sebep olan diğer faktörlerdir.

Sismik taban yalıtımı uygulanmış bir yapıda, deprem enerjisinin büyük bir bölümü izolasyon sisteminde harcandığından üst yapıya daha küçük miktarda enerji iletilir. Bunun sonucunda üst yapı daha küçük deprem kuvvetlerine göre boyutlandırılarak belirli miktarda ekonomi sağlanmış olur [4]. Bu durum deprem riski yüksek olan bölgelerdeki mevcut yapıların güçlendirilmesinde oldukça faydalı sonuçlar vermektedir. Yapının sadece temeliyle kolonları arasına ya da bodrum kat kolonları üzerine sismik izolatörler yerleştirilerek, üst yapıya önemli bir müdahalede bulunmadan güçlendirme işlemi tamamlanmaktadır.

2. SABİT TABANLI BİNANIN YAPISAL ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Küçük ve orta büyüklükteki az katlı binaların hakim titreşim frekansları, depremlerin baskın olan frekans aralığına girmekte ve bu nedenle rezonans olayı meydana gelmektedir. Rezonans olayından dolayı bu tür kısa periyotlu yapılar, birinci titreşim periyotları daha uzun olan yüksek katlı yapılara göre daha çok zarar görmektedir. Bu nedenle sismik taban yalıtım yönteminin genel olarak elastik birinci titreşim periyodu, 1 s'den kısa olan küçük ve orta büyüklükteki binalar için uygun olduğu belirtilmektedir.



Şekil 1. Seçilen binanın sismik taban yalıtımı uygulanmış durumu için zemin kat kalıp planı

Bu nedenle ülkemizde çok sayıda bulunan orta büyüklükteki 6 katlı (zemin kat + 5 kat), her katında 4 adet konut bulunan betonarme bir bina seçilmiştir. Seçilen bina yaklaşık olarak kare planlı olup, boyutları 26 m x 30 m'dir. Binaya ait kalıp planı Şekil 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Seçilen binaya ait yapısal ve sismik veriler

Malzeme	C25/S420
g (döşeme, kaplama) (Sabit yük)	5.87 kN/m ²
q (Hareketli yük)	2 kN/m ²
h (Kat yüksekliği)	2.8 m
Deprem Bölgesi	1
Yerel Zemin Sınıfı	Z1
Spektrum Karakteristik Periyodu (T _A)	0.10 s
Spektrum Karakteristik Periyodu (T _B)	0.30 s
Etkin Yer İvmesi Katsayısı (A ₀)	0.40
Taşıyıcı Sistem Davranış Katsayısı (R)	7

Sabit tabanlı bina "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik - ABYYHY" [5] yararlanılarak boyutlandırılmıştır. Binaya farklı doğrultularda ve simetrik bir şekilde perde duvarlar yerleştirilerek, binanın taşıyıcı sistemi perde ve çerçevesi olarak teşkil edilmiştir. Bu binaya ait yapısal özellikler ve sismik veriler Çizelge 1'de özetlenmiştir. Binanın

elastik birinci doğal titreşim periyodu 0.48 s'dir. Sabit tabanlı binaya ait görelî kat ötelenmeleri hesaplanarak, ABYYHY'liğin 6.10.1.2'inci madesinde açıklanan $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.0035$ (6.20a), $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/R$ (6.20b)'den elverişsiz olan (6.20b)'ye göre kontrol edilerek sonuçlar Çizelge 2'de verilmiştir. Binanın statik ve betonarme hesapları ile maliyet analizindeki kalıp, beton ve donatı metrajları İdeCAD statik programından yararlanılarak yapılmıştır. Sismik taban yalıtım sisteminin modellenmesi İdeCAD statik programı ile mümkün olmadığı için sismik taban yalıtımlı binanın analizinde ETABS V8 programından yararlanılmıştır.

Çizelge 2. Kat yüksekliğine bölünmüş görelî kat ötelenmelerinin, deprem yönetmeliğindeki (6.20a) ve (6.20b) bağıntılarıyla karşılaştırılması

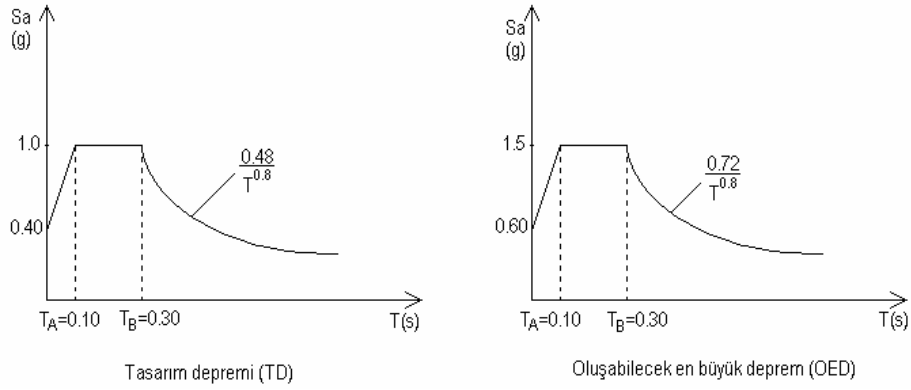
Kat no	X doğrultusundaki yerdeğiştirme.	Y doğrultusundaki yerdeğiştirme.	X doğ. $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/7$	Y doğ. $(\Delta_i)_{\max} / h_i \leq 0.02/7$
5	0.773	0.689	0.00041	0.00044
4	0.662	0.567	0.00049	0.00048
3	0.526	0.432	0.00056	0.00051
2	0.372	0.292	0.00057	0.00047
1	0.213	0.160	0.00049	0.00038
Zemin	0.074	0.053	0.00027	0.00019

3. SİSMİK TABAN YALITIM SİSTEMİNİN VE ÜST YAPININ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Ülkemizde sismik taban yalıtımlı yapılar hakkında yönetmelik bulunmamaktadır. Halen yürürlükte olan “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik” (ABYYHY) [5] madde 5.2.5 uyarınca “her türlü kapsam dışı yapılara uygulanacak esaslar, kendi özel yönetmelikleri yapıncaya dek, yapımları denetleyen bakanlık tarafından çağdaş, uluslararası standartlar gözönünde tutularak saptanacak ve projeleri bu esaslara göre düzenlenecektir” şeklinde, gelişmiş ülkelerde kullanılan standartlara atıf yapmaktadır. Bu çalışmada, A.B.D.’de yürürlükte olan “International Building Code” (IBC) [6] ve ülkemizde yürürlükte olan ABYYHY kullanılmıştır.

ABYYHY’ye göre tasarım yalnız “Tasarım Depremine” (TD) göre yapılmaktadır. IBC’a göre ise hesaplar, Tasarım Depremi ve “Oluşabilecek En Büyük Deprem” (OED)’e göre ayrı ayrı yapılmaktadır. Oluşabilecek en büyük deprem, yaklaşık 2500 yıllık dönüş periyodu ile bölgede jeolojik bilgiler gözönüne alınarak belirlenecek en büyük deprem olarak kabul edilebilir. Bu deprem etkileri tasarım depreminin yaklaşık 1.25~1.5 katı kadardır [7]. Bu çalışmada OED’e ait değerler, TD’ye ait değerlerin 1.5 katı alınarak elde edilmiştir. Binanın dinamik hesaplamalarında kullanılan ivme spektrumları Şekil 2’de verilmiştir.

Sismik taban yalıtımlı yapılarda izolatörlerin hesapları iki farklı şekilde yapılabilmektedir. Birinci durumda, binanın TD’ye göre yapacağı yatay yerdeğiştirme yaklaşık olarak belirlenmekte ve izolatörlere ait hesaplamalar bu şekilde sürdürülmektedir. İkinci durumda ise binanın izolatör yerleştirilmiş hali için TD’ye göre hedef tasarım periyodu belirlenmekte ve hesaplamalar bu periyodun değerine göre sürdürülmektedir. Bu çalışmada, binanın sismik izolatör yerleştirilmiş durumu için yapacağı yatay yerdeğiştirme belirlenerek sismik izolatörün yatay ve düşey rijitlikleri ve buna bağılı olarak boyutları tespit edilmiştir. Sismik taban yalıtım sistemli bina TD’ye göre 140 mm yatay yerdeğiştirme yapabilecek şekilde tasarlanmıştır. Bu değer esas alınarak yapılan hesaplamalarda elde edilen sonuçlar Çizelge 3’de özetlenmiştir. Bina sabit tabanlı durumdayken elastik birinci doğal titreşim periyodu 0.48 s olmasına karşılık, sismik taban yalıtımı uygulamasından sonra periyod yaklaşık 4.5 kat artarak 2.14 s olmuştur. Uygulanan sistem sayesinde yapının periyodunun artırılmasıyla üst yapının boyutlandırılmasında daha küçük deprem kuvvetleri hesaba katılmaktadır.

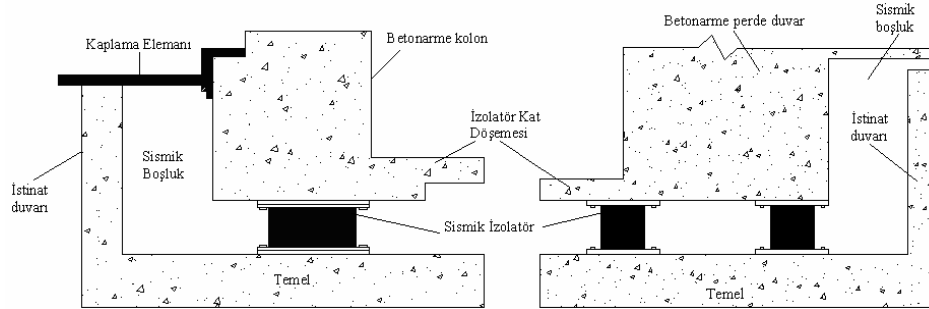


Şekil 2. Dinamik hesaplamalarda kullanılan %5 sönüm oranı için ivme spektrumları

Çizelge 3. Sismik taban yalıtımlı binada, TD ve OED'e göre hesaplanan periyot ve yerdeğıştirmeler

Deprem durumu	Periyot (s)	Yerdeğıştirme (mm)	Toplam Yerdeğış. (mm)
Tasarım depremi (TD)	2.14	140	164
Oluşabilecek en büyük deprem (OED)	2.78	253	300

ETABS V8 programında oluşturulan sabit tabanlı binanın temel üstü seviyesinde rijit diyafram etkisini sağlamak üzere diğer katlarda kullanılan kesit ve özelliklerde bir döşeme sistemi oluşturulmuştur. Binanın temel sistemi kirişli plak temel olarak boyutlandırılmıştır. Temel sistemiyle oluşturulan döşeme sistemi arasına, her kolonun altına bir ve her betonarme perde duvar altına iki adet kurşun çekirdekli izolatör yerleştirilmiştir, Şekil 3. (ETABS V8 programında izolatörler link elemanı olarak tanımlanmaktadır).

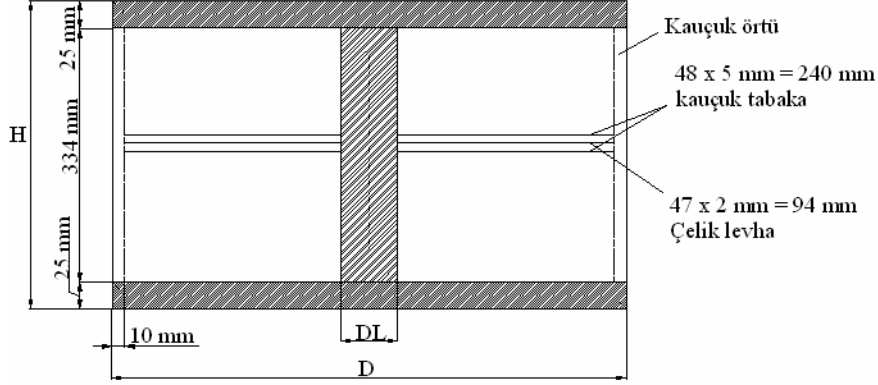


Şekil 3. Kolon ve temel, betonarme perde ve temel arasına sismik izolatörlerin yerleştirilmesi

Sismik taban yalıtım sisteminin oluşturulmasında en büyük düşey yükleri (G+Q+E) 3070 kN olan kolonların altına bir adet ve betonarme perde duvarların altına iki adet olmak üzere kurşun çekirdekli kauçuk izolatör yerleştirilmiştir. Böylece, özellikleri Çizelge 4' de özetlenen ve kesiti Şekil 4'te gösterilen 58 adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör kullanılmıştır.

Çizelge 4. Çalışmada kullanılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler ve özellikleri

Yatay doğ. efektif rijit. (kN/mm)	Baş. Rijit. (kN/mm)	Akma kuv. (kN)	Akma öncesi rijit. ile akma sonrası rijit. oranı	Düşey rijit. (kN/mm)	İzolatör çapı (D) (mm)	İzolatör yük. (H) (mm)	Kurşun çekirdek çapı (DL) (mm)
1.93	5.85	144	0.15	1464	675	384	113



Şekil 4. Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün düşey kesiti

OED için sismik taban yalıtımlı binanın, burulma etkileri de dikkate alınarak hesaplanan ve değeri Çizelge 3' de 300 mm olarak verilen en büyük yerdeğiştirme miktarına göre izolatörlerin güvenliği aşağıda incelenmiştir.

İzolatör iç yarı çapı R_i izolatör çapından kauçuk örtü tabakası kalınlığı çıkarılarak hesaplanmıştır.

$$R_i = (675 - 20) / 2 = 327.5 \text{ mm} \quad (1)$$

Yerdeğiştirme D , izolatör iç yarı çapı R_i ile sembolize edilmek üzere d katsayısı denklem (2) ile verilmiştir.

$$d = D / 2R_i \quad (2)$$

$$d = 300 / 655 = 0.458 \quad (3)$$

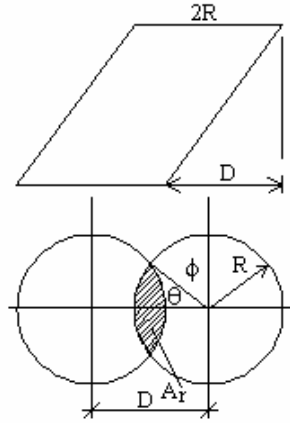
a değeri, Şekil 5'de gösterilen θ açısına ve denklem (3)'de verilen d katsayısına bağlı olarak Çizelge 5'de verilmiştir. Denklem (3)'de hesaplanan d katsayısı 0.458 olarak alınarak, Çizelge 5'den lineer interpolasyon yoluyla a katsayısı 0.448 olarak bulunmuştur. Toplam kauçuk alanı A_k , izolatör iç yarı çapından hesaplanan alandan, kurşun çekirdek alanının çıkarılmasıyla bulunur. Kullandığımız izolatör için A_k 325334 mm² olarak hesaplanmıştır.

$$A_r = a \cdot A_k \quad (4)$$

Denklem (4)'de a katsayısının yerine 0.448 yazılarak, azalan etkili izolatör alanı A_r 145750 mm² olarak elde edilir. İzolatörün yerdeğiştirmemiş durumu için yaklaşık kritik burkulma yükü, kayma modülü G , izolatör iç çapı D_i , kauçuk tabaka kalınlığı t ve toplam kauçuk tabaka kalınlığı $\sum t$ ile ifade edilmek üzere denklem (5) ile verilmiştir.

Çizelge 5. Yatay yerdeğiştirme nedeniyle azalan İzolatör etkili alanının (A_r), d ve θ değerleriyle ilişkisi (Çizelge 5, [9]'nolu kaynak eserden alınmıştır.)

d	θ (radyan)	a
0.10	1.471	0.873
0.20	1.369	0.747
0.30	1.266	0.624
0.40	1.159	0.505
0.50	1.047	0.391
0.60	1.927	0.285
0.70	1.795	0.188
0.80	1.644	0.1044
0.85	0.555	0.0683
0.90	0.451	0.0374
0.95	0.318	0.0136



Şekil 5. Sismik izolatörün en büyük yerdeğiştirme durumunda, düşey yükleri taşıyan azaltılmış alanı

$$P_{cr} \approx 0.218 \frac{GD_i^4}{\sum_t t} \quad (5)$$

$$P_{cr} \approx 0.218 \frac{0.45 * 655^4}{5 * 240} = 15047 \text{ kN} \quad (6)$$

Olarak hesaplanmıştır. İzolatörün en büyük yerdeğiştirme değeri 300 mm için kritik burkulma yükü P'_{cr} denklem (7) ile verilmiştir.

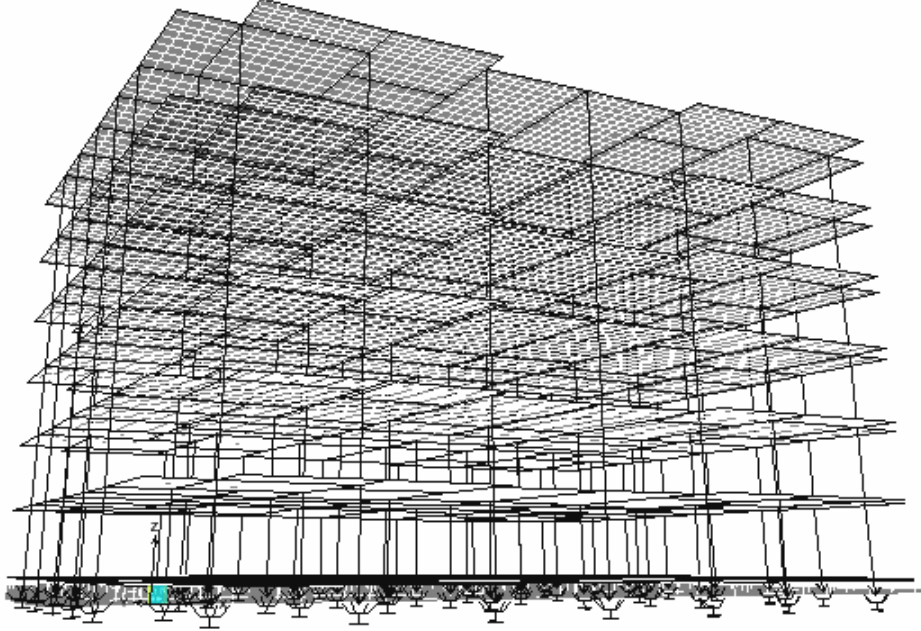
$$P'_{cr} = P_{cr} \cdot a \quad (7)$$

$$P'_{cr} = 15047 * 0.448 = 6741 \text{ kN} \quad (8)$$

OED' de meydana gelen (G+Q+E) düşey normal kuvvet yaklaşık olarak TD' de oluşan normal kuvvetin 1.5 katıdır. Buna göre OED' göre izolatörlerin üzerinde 4605 kN'luk bir normal kuvvet oluşmaktadır. Bu kuvvet P'_{cr} için hesaplanan 6741 kN' luk kuvvetten küçük olduğundan dolayı; sismik izolatörün OED'e göre emniyetli olduğu gösterilmiştir.

4. SABİT TABANLI VE SİSMİK TABAN YALITIMLI BİNALARIN ÇEŞİTLİ YÖNLERDEN KARŞILAŞTIRILMASI

Sabit tabanlı bina ve sismik taban yalıtımlı olarak oluşturulan bina ETABS V8 bilgisayar programında sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak ve üç boyutlu olarak modellenmiştir. Sismik taban yalıtımlı binaya ait ETABS modeli Şekil 6'da gösterilmiştir. Analizleri yapılmış olan ve özellikleri anlatılan sabit tabanlı bina ve sismik taban yalıtımlı binada aynı kirişli plak temel sistemi kullanılmıştır.



Şekil 6. Sismik taban yalıtımlı binanın ETABS programında oluşturulmuş sonlu elemanlar modeli

Yapılan analizler sonucunda, sismik taban yalıtımlı yapının periyodunun, sabit tabanlı binanın periyoduna göre yaklaşık olarak 4.5 kat artması taban kesme kuvvetinde % 50'lik bir azalmaya neden olmuştur. Bunun sonucu olarak, sismik taban yalıtımlı binanın üst yapısını daha küçük deprem kuvvetlerine göre boyutlandırma olanağı elde edilmiştir. Üst yapı, taban kesme kuvveti % 50 azaltılarak, kolon, kiriş ve perde kesitleri küçültülüp yeniden boyutlandırılmıştır. Sabit tabanlı ve sismik izolasyonlu durumları için binanın tamamındaki taşıyıcı sistemde meydana gelen kesit değişimlerinin gösterilmesi büyük alan kaplayacaktır. Bu nedenle, sadece zemin kattaki taşıyıcı sistem elemanlarındaki kesit değişimleri Çizelge 6'da gösterilmiştir.

Sabit tabanlı binada, belirlenen kesitler için yapılan beton ve donatı metrajı sonucunda elde edilen beton ve donatı miktarları, sismik taban yalıtımlı binada belirlenen kesitler için yapılan beton ve donatı miktarı sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları Çizelge 7'de özetlenmiştir. Çizelge 7'nin incelenmesinden, kullanılan beton miktarında yaklaşık olarak % 34' lük, donatı miktarında ise yaklaşık % 42' lik bir azalma olduğu görülmektedir. Sismik taban yalıtım sisteminin uygulanması sonucu, kullanılan malzemelerdeki bu azalmayla bir ekonomi sağlanmaktadır.

Çizelge 6. Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı durumlar için örnek binanın zemin katındaki bazı elemanların kesitlerinde meydana gelen değişimler

Eleman isimleri	Sabit tab. bina durumu için kesit.	Sismik tab. yalıtım durumu için kesit.
S1	100/60	90/40
S3	60/100	40/80
S10	60/100	40/70
K103	40/80	25/40
K108	40/80	25/40
K120	40/90	25/40

Çizelge 7. Sabit tabanlı bina ile sismik taban yalıtımlı binada, taban kesme kuvveti, beton ve donatı miktarlarının karşılaştırılması

	Sabit tabanlı bina	Sismik taban yalıtımlı bina	Azalma (%)
Taban kesme kuvveti (kN)	9770	4878	50
Beton (m ³)	2250	1480	34
Donatı (kN)	2610	1520	42

5. SİSMİK TABAN YALITIMLI BİNANIN MALİYET ANALİZİ

Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı binalar arasında bir fiyat karşılaştırması yapılacağından, aynı özellikte malzemeler kullanılmıştır. Her iki bina için ayrı ayrı metraj yapılarak kullanılan malzeme miktarları tespit edilmiştir. Bu malzemelere ait fiyatlar, Bayındırlık ve İskan Bakanlığı tarafından yayınlanan 2006 yılı birim fiyatlarından (inşaat, elektrik, makina) yararlanılarak YTL cinsinden hesaplanmıştır [8].

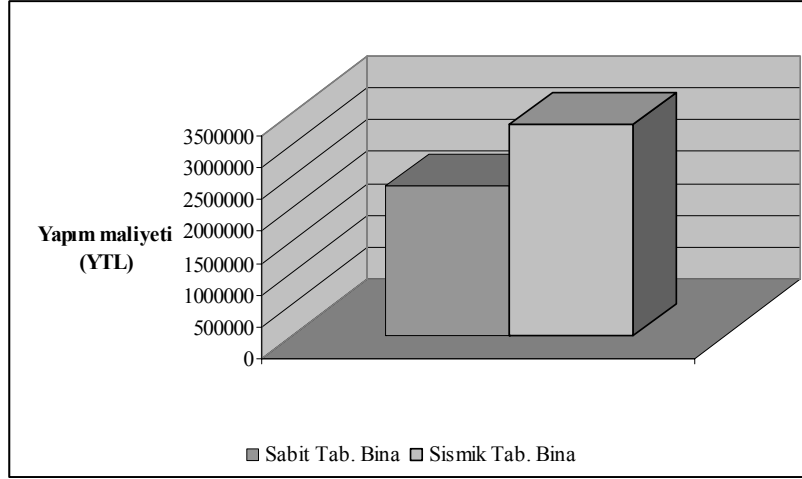
Sismik taban yalıtımlı binada kullanılacak, özellikleri önceki bölümlerde anlatılan kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler için, yurt dışında sismik izolasyon konusunda deneyimli firmaların Türkiye temsilciliklerinden fiyatlar alınarak bunların ortalaması kullanılmıştır. Yurt dışından sismik izolatör temin eden bu firmaların izolatör adedi bazında verdikleri fiyatlar, sipariş edilecek izolatör adedine göre değişmektedir. Bu çalışmada kullanılan sismik izolatör fiyatı 50 adet üzerinden ve A.B.D. doları cinsinden alınmıştır. Bu firmalar tarafından verilen sismik izolatör fiyatları Türkiye liman teslimi olup, gümrük vergisi ve montaj fiyatları verilen fiyata dahil değildir. Çalışmada kullanılan kurşun çekirdekli izolatör için ortalama bir fiyat belirlenmiştir. Maliyet analizinde bir adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatör için 5500 \$ üzerinden hesaplamalar yapılmıştır. Gümrük vergisi ve montaj için ayrıca piyasa araştırması yapılarak, gümrük vergisi için % 8, montaj için ise yaklaşık olarak adet başına 500 \$ maliyet tespit edilmiştir.

Bu duruma göre bir adet kurşun çekirdekli kauçuk izolatörün fiyatı 6044 \$ olmaktadır. Yapılan maliyet analizi, 1 \$ - 1.5 YTL döviz kuru esas alınarak gerçekleştirilmiştir. Bu değerlendirmeler ışığında yapılan maliyet analizi sonucu, sabit tabanlı bina ve sismik taban yalıtımlı bina için hazırlanan keşif özeti Çizelge 4’de verilmiştir.

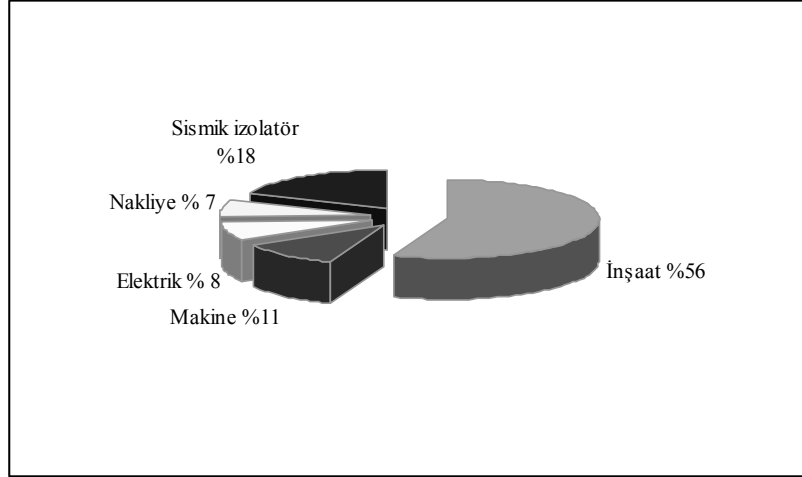
Sismik taban yalıtımlı yapı maliyetinin, sabit tabanlı yapının maliyetine göre yaklaşık olarak % 42 arttığı görülmektedir. İzolatörlerin kullanıldığı binada, izolatör maliyetlerinin ise bina yapım maliyetinin yaklaşık % 18’ i olduğu belirlenmiştir. Sismik izolasyon sisteminin bina yapım maliyetine getirdiği ilave maliyet ve sismik taban yalıtımlı yapıda izolasyon sisteminin oluşturduğu maliyetin, bina toplam maliyeti içindeki payı Şekil 6’da ayrıntılı bir şekilde grafiksel olarak gösterilmiştir.

Çizelge 4. Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı binalar için hazırlanan keşif özeti

	Sabit tabanlı bina (YTL)	Sismik taban yalıtımlı bina (YTL)
İnşaat	1332430	1611000
Makine	257728	305728
Elektrik	220000	238000
Sismik izolatör	-	525828
Nakliye	164000	200000
Toplam	1974158	2354728
KDV %18	355348	423851
Genel toplam	2329506	3524579



a)



b)

Şekil 6. a) Sabit tabanlı ve sismik taban yalıtımlı binaların maliyet karşılaştırması, b) Sismik taban yalıtımlı binayı oluşturan birimlerin dağılım oranları

6. SONUÇLAR

Sismik taban yalıtım sisteminin tanıtıldığı ortamlarda, insanların akıllarına gelen ilk sorulardan birisi bu sistemin ne kadarlık bir ek maliyet getireceğidir. Bu çalışmayla bu soruya kısmen bir cevap bulunmaya çalışılmıştır. Ülkemiz şartları için yapılan mevcut çalışmayla, konut ve ofis türü binalarda sismik taban yalıtım sistemi maliyetinin, bina toplam maliyetinin % 18' i kadar olduğu, binanın yapımına ise göz önüne alınan örnekte % 42' lik bir ilave maliyet getirdiği belirlenmiştir.

Dünyada ve ülkemizde meydana gelmiş olan depremlerde sabit tabanlı yapıların ağır hasarlar görebildiği ve hatta bazılarının yıkıldığı bilinmektedir. Hasarlı olanların önemli sayılabilecek bir kısmının ekonomik olarak onarılıp güçlendirilmesi de çoğu zaman mümkün olmadığından büyük ekonomik kayıplar, daha da önemlisi can kayıpları ortaya çıkabilmektedir. Bu kayıplar ve sismik taban yalıtımlı yapıların depremleri hasarsız ya da çok az hasarla atlattıkları düşünüldüğünde, bu yöntemin uygulanmasından kaynaklanan ilave maliyetin gözde büyütülmemesi gerektiği görüşüne varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] Mayes, R.L., Jones, L.R. and Kelly, T.E., "Impediments to the Implementation of Seismic Isolation", *Earthquake Spectra*, 6, 2, 283-296, 1990.
- [2] Giuliani, G., C., "Structural design, analysis and full-scale tests of seismically isolated buildings" *Engineering Structures*, 15, 2, 102-116, 1993.
- [3] Komodromos, P., "Seismic Isolation for Earthquake-Resistant Structures", WIT Press, Southampton, Boston, 2000, 1-199.
- [4] Pekgökgöz, R.K., "Deprem Yükleri Etkisi Altındaki Yapı Davranışının Yarı-Aktif Akışkanlı Sönümleyiciler ve Sismik Taban Yalıtım Sistemleri Kullanılarak Bulanık Mantık Yöntemi İle Kontrolü", Doktora Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İ.T.Ü., 2005.
- [5] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998, T.C.Bayındırlık ve İskan Bakanlığı.
- [6] International Building Code, International Code Council, Delmar Publishers, 2003.
- [7] Celep, Z., Kumbasar, N., "Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı", 3. Baskı, Beta Dağıtım, İstanbul, 2004.
- [8] "2006 Yılı Birim Fiyatları (İnşaat, Elektrik, Makina)", Sayı 20, T.C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yüksek Fen Kurulu Başkanlığı, Ankara, 2006, 1-165.
- [9] Naeim, F. And Kelly, J.M., "Design of Seismic Isolated Structures", John Wiley & Sons, Inc. Press, United States of America, 1999, 1-290.