

Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri

Arş. Gör. Meltem Şahin
MSÜ Mimarlık Fakültesi, Yapı Mühendisliği Bilim Dalı.

1. Giriş

Yapıların deprem etkilerine karşı tasarımında amaç, bu etkilerin en az zararlı atlatılması ve yapıların depremden sonra da ayakta kalmasının sağlanmasıdır. Bu nedenle, yapıda deprem etkileri sonucu oluşan kesit zonları ve yer değiştirmeler azaltılmaya çalışılır. Deprem mühendisliğinin gelişim sürecinde bunu sağlamak amacı ile pek çok yöntem denenmiş, çeşitli taşıyıcı sistem düzenlemeleri önerilmiş ve bazılarında da iyi sonuçlar elde edilmiştir. Geçmişi en ilkel örnekleri olmakla beraber 1920'lere dayanan sismik izolasyon yöntemleri de, günümüze kadar geliştirilen çeşitli uygulamaları ile yapıların deprem etkilerinin mümkün olduğunca az hasarla atlatılmasını sağlayan yöntemlerdir. *Sismik izolasyon* yöntemlerinin basit mantık yürütülerek geliştirilmiş ilk örnekleri kazıklarla izolasyon, esnek ilk kat düşüncesi vb. sistemler olmasına rağmen, son yıllardaki örnekleri, gelişen bilgisayar teknolojisini kullanmaktadır.

Bu yazı kapsamında, yapıya çeşitli ilâveler koyarak ya da yapıda çeşitli düzenlemeler

yaparak uygulanan sismik izolasyon yöntemleri, "kontrol sistemleri" kavramı geliştirilerek üç ana grup altında incelenecektir.

2. Taban İzolasyon Sistemleri

Bu tür sistemlerde amaç, deprem enerjisinin bir kısmının daha yapıya gelmeden önce temel ile yapı arasında düzenlenen araçlardaki yer değiştirme enerjisine (ya da bir kısmının ısı enerjisine) dönüşerek sönmülmesidir. Böylece yapı gerçekte varolan deprem enerjisinden daha az bir enerjinin etkisinde kalacaktır.

Taban izolasyon sistemi bulunmayan, taşıyıcı sistemi "rijit" olarak düzenlenmiş yapılarda, deprem etkileri altında büyük ivmeler, esnek olarak düzenlenmiş yapılarda da büyük yer değiştirmeler görülür. Bu büyük ivmeler ve yer değiştirmeler, yapının ve kullanıcılarının güvenliğini sağlamayı zorlaştırır.

Taban izolasyon sisteminin kullanılması ile yapıya iletilen zemin hareketi büyük ölçüde azaltılır. Böylelikle kat ivmeleri ve yer değiştirmelerinde azalma sağlanır (Soong ve Constantinou, 1994: 81-84).

Özet:

Yapıların deprem etkilerini en az hasarla atlatması ve depremden sonra da ayakta kalmasını sağlamak amacıyla bazı yapı koruma sistemleri geliştirilmiş, ve bunların bazıları da uygulamaya konmuştur. Burada incelenecek yapı koruma sistemleri üç gruba ayrılmıştır:

- Taban Koruma Sistemleri
- Yapı İçine Yerleştirilen Pasif Enerji Sönümleyen Sistemler
- Aktif Kontrol Sistemleri

Yapıdaki kayma kuvvetlerini karşılamak amacıyla çeşitli pasif kontrol metodları ve araçları geliştirilmiştir. Pasif kontrol araçlarının özelliği o bölgede meydana gelmesi muhtemel en büyük deprem şiddeti gözönüne alınarak tasarlanmaktadır. Öte yandan, aktif kontrol sistemleri yapıya uygulayacakları kontrol kuvvetini deprem etkisine göre, depremin meydana geldiği anda düzenlerler.

Bu yazı kapsamında pasif ve aktif kontrol sistemleri genel olarak tanıtılacak ve sonuç bölümünde de avantajlı ve dezavantajlı yanları tartışılacaktır.

Summary:

In structural engineering, some structural protection systems have been developed so that buildings can be better protected against earthquakes and so that they can survive its effects. Some of these systems have been put into practice. Structural protective systems which are analyzed here can be divided into three main groups:

- Base Isolation Systems
- Passive Energy Dissipation Systems that are placed in buildings
- Active Structural Control Systems

Many methods and several types of dampers have been developed in order to reduce shear forces acting on the structural frames. The dynamic properties of such dampers are to be determined according to the intensity level of the design earthquake ground motion, because the yield strength, the energy dissipation capacity and the ductility factor of the damper are highly influenced by the input disturbance level. Response control by means of passive dampers should be most effective at the design level earthquake excitation, which is the key feature of this method.

On the other hand, active control systems organize the control force it will apply on the building according to the effect of the earthquake, on the very moment the earthquake happens. Within the framework of this study, passive and active control systems will be presented in general. The proposal of "Seismic Response Control of Structural Systems" is based not only on the desire of completing the structural engineering free from earthquake disasters but also on the recognition of the seismic resistant design's limitation and on the availability of new generation technologies such as micro-processors, sensors and actuators and so forth.

Anahtar Kelimeler:

Deprem, Pasif Kontrol, Aktif Kontrol.

Keywords:

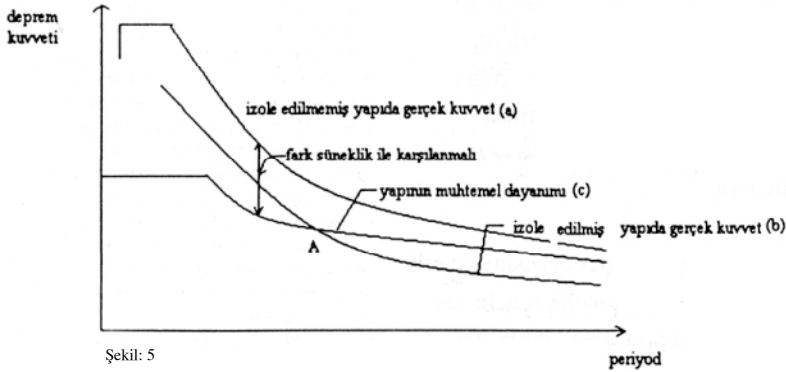
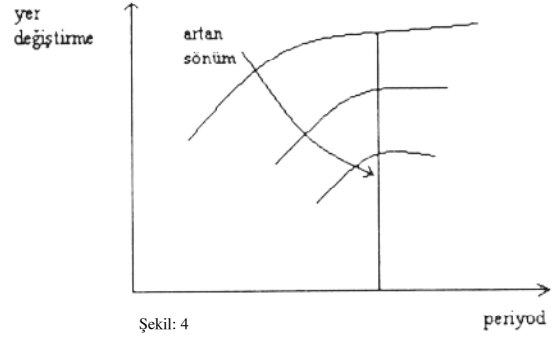
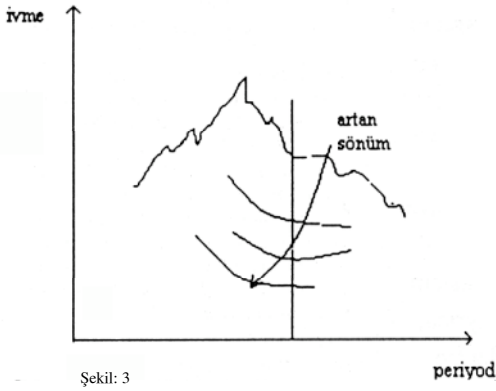
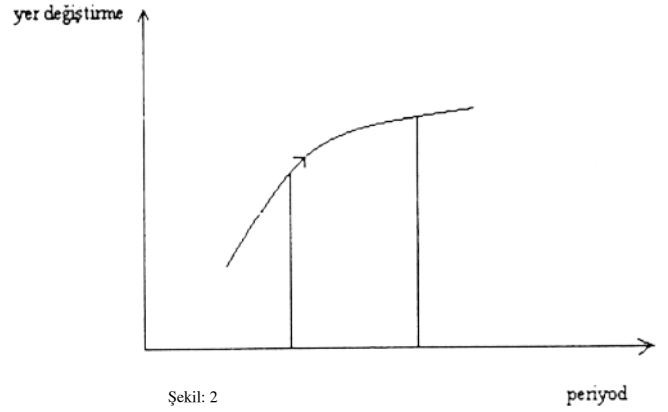
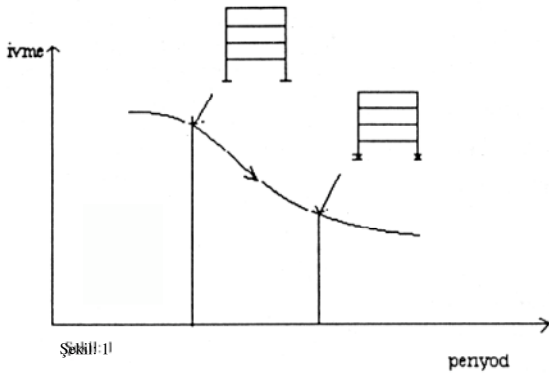
Earthquake, Passive Control, Active Control.

Bu tip izolasyon sistemlerinin ana özelliği, tabana yerleştirilen (elastomer türü vb.) izolatörler ile tabanda esneklik sağlanmasıdır. Bu, taban periyodunun artmasına neden olur. Böylece yapıya giren ivme ve taban kayma kuvveti azalır.

Şekil 1'de elastomerik izolatör ile yapının periyodunun artışı ve buna karşı gelen

ivme değerinin azalışı görülmektedir. Şekil 2'de ise yine elastomerik izolatör ile periyodun artışı, ancak katların izolatöre göre rölatif yer değiştirmesindeki artış görülmektedir.

Bunların yanısıra, izolatörün özelliklerine ve düzenlenmesine bağlı olarak belli bir periyod değeri için artan sönümün ivmeye



etkisi Şekil 3'te, yine belli bir periyod değeri için artan sönümün katların görelî yer değiştirmesine etkisi Şekil 4'te görülmektedir.

Şekil 5'de (c) eğrisi yapının beklenen dayanımını göstermektedir. Bu değer, malzeme ve yük özelliklerine bağlı olarak diyagramda gösterilenden birbuçuk-iki kat daha fazla olabilir. (a) Eğrisi ise izole edilmemiş yapıya gelmesi beklenen

muhtemel kuvveti gösterir. Aradaki fark, yapıda oluşacak sünek davranış ile karşılanmalıdır. Ancak, izolasyon sistemi kullanıldığında ((b) eğrisi) periyodun, dolayısıyla esnekliğin artması ile yapıya gelen deprem kuvveti, yani yapının sünek davranış ile karşılaşması gereken kuvvet çok azalır ya da hiç olmaz. Şekil 5'de A noktasından itibaren yapı, deprem kuvvetlerini dayanımı ile karşılayabilmekte, dolayısıyla deprem etkisini karşılamak için yapının sünek davranış göstermesine gerek kalmamaktadır (Weisberg; Van Volkinburg; Mayes; Jones, 1991: 41-44).

3. Yapıya Yerleştirilen Enerji Sönümleyici Pasif Sistemler

Klâsik yaklaşıma göre tasarlanan (izolasyon sistemi bulunmayan) yapılar şiddetli depremler sırasında elastik sınır ötesinde yer değiştirme yaparlar ve kalıcı (elastik olmayan) deformasyon yapabilecekleri ölçüsünde ayakta kalırlar. Elastik olmayan deformasyon sonucu, yapıda plastik mafsallar oluşur ve bunun sonucunda da esneklik artar ve enerji sönümü gerçekleşir. Bu şekilde deprem enerjisinin büyük bir kısmı yapıda meydana gelen plastikleşme (ya da hasar) ile karşılanır. Yapıya, içine ya da üzerine yerleştirilen enerji sönümleyici pasif sistemlerde deprem etkilerinin bu yerleştirilen araçlarda meydana gelmesi, böylece yapının daha az zarar görmesi sağlanabilir. Bu tür sistemler yapının çerçevelerine (kolon, kiriş) ya da duvarlarına yerleştirilen kuşaklama elemanları üzerine yerleştirilen özel araçlar (sürtünmeli, eğilmeli, yağ sönümleyici vb.), iki komşu yapı arasında genelde farklı yükseklik, farklı plan özellikleri vb. gösteren yapılar yerleştirilen elemanlar ve yapının üzerine yerleştirilen yapı ve bölgenin deprem özelliğine göre ayarlanmış sıvı dolu

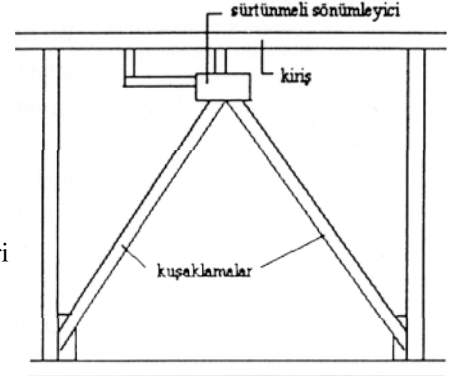
tanklar olmak üzere oldukça geniş uygulama olanağına sahiptirler (Sakamoto ve Kobori, 1993; Constantinou; Tadjbakhsh, 1985: 705).

Kuşaklamalara yerleştirilen sürtünmeli elemanlar yapıda, servis yükleri etkisi altında, kendi üzerlerinde kayma oluşmayacak şekilde tasarlanırlar. Şiddetli deprem etkileri karşısında yapı çerçevelerinde belli bir eğilme oluşmadan araçta kayma oluşur. Kayma hareketi ve sürtünme yardımı ile belli bir miktar deprem enerjisi sönümlenirken, geri kalan yükler de yapı çerçevelerine katlar arasında düzgünce yayılır.

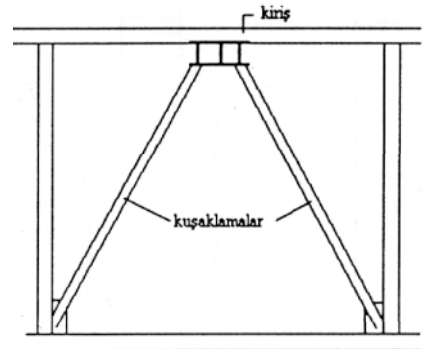
Kuşaklamalar ile yapı rüzgâr etkisi altında ya da az şiddetli sarsıntılar sırasında yatay yer-değiştirmeleri kontrol edecek rijitliğe sahip olur. Şiddetli titreşimler sırasında araç kayarken yapının esnekliği artar. Aracın kayması, periyodu arttırır. Dolayısıyla yer değiştirme hareketi ile enerjinin sönümlenmesi sağlanır. Kayma hareketi ve sürtünme etkisi ile enerji sönümü sağlanır (Soong ve Constantinou, 1994: 209-214).

Şekil 6'da kuşaklama elemanının sistem içinde yerleşimi görülmektedir. Ayrıca, yine kuşaklamaların kesişim yerlerine yerleştirilen eğilmeye çalışan çelik araçlar da geliştirilmiştir. Bu araçlar ile enerji sönümü, önceden tasarlanan yerlerde (bu araçlar üzerinde) yoğunlaşır, diğer elemanlara düşen ve sönümlenmesi gereken enerji azalır. (Şekil 7) (Xia ve Hanson, 1992: 1903-1918).

Bunların yanısıra deprem enerjisini kinetik enerji ile karşılamaya yönelik araçlar da geliştirilmiştir. İçi sıvı dolu tanklardan oluşan sönümleyicilerin kütlesi, viskoz



Şekil: 6



Şekil: 7

sönüm katsayısı ve yay sabiti (sırasıyla m , c , k) değerleri ayarlanarak, muhtemel depremlerde aracın en iyi performansı gösterecek şekilde çalışması sağlanır.

Deprem, bilindiği gibi, dalga hareketiyle yayılır. Amaç, depremin yaydığı dalga hareketinin tank içerisindeki sıvının deprem dalgalarına ters yönlü-dalga hareketi ile sönümlenmesidir.

Tank sistemler mekanik olarak basit, bakımı ve yerleştirilmesi kolay sistemlerdir. Bu sistemin uygulama fikri 1900'lerin ilk yıllarına dayanmaktadır. 274 m²'lik Citicorp Merkez Binası'nda, 40 kN' luk sönümleyici kullanılmıştır. Buna benzer başka örnekler de mevcuttur (Soong ve Constantinou, 1994: 241-252).

4. Aktif Kontrol Sistemleri:

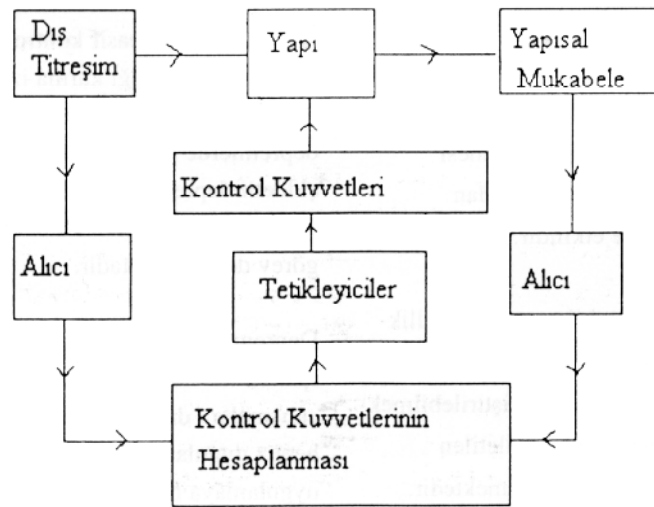
Bu sistemler yapıların şiddetli deprem, kuvvetli rüzgâr gibi etkilere karşı koymasını sağlayan etki ile uyumlu geliştirilmiştir. Pasif araçlardan farklı olarak, yapıya etkileyen deprem enerjisine göre, yapı içerisinde bilgisayar teknolojisi kullanılarak etkili bir kontrol sistemi oluşturulur. Bu sistem ile yapının hareketi

deprem hareketine göre düzenlenir ya da yapının hareketi kontrol altına alınır. Bu sistemlerde depremin büyüklüğü kontrol sisteminin etkinliğini direkt olarak etkiler.

Aktif Kontrol Elemanları;

Dış titreşimleri ya da yapısal cevaptaki değişimleri veya her ikisini birden ölçmeye yarayan alıcılar, ölçülen bilgileri geliştiren, kontrol algoritmasında kullanılan gerekli kontrol kuvvetlerini hesaplayan araçlar, genellikle bir dış enerji kaynağı kullanarak gerekli kontrol kuvvetlerini harekete geçiren tetikleyicilerdir.

Sadece yapısal mukabele değişimleri ölçülürse kontrol sistemi, kapalı devre kontrolü adını alır. Yapısal mukabele ekrandan sürekli gözlenir ve mukabeledeki değişimlere göre uygulanan kontrol kuvvetleri sürekli olarak değiştirilir. Kontrol kuvvetleri sadece ölçülen titreşimlere göre düzenleniyorsa, açık devre kontrolü yapılmış olur. Bu tür kontrolde, yapının karakteristikleri olan kütlesi, sönüm katsayısı sabittir. Bu değerler algoritmaya yerleştirilir ve bu algoritmada sadece dış titreşim değişir.



Açık-kapalı devre kontrolde, kontrol tasarımı için hem mukabele nicelikleri, hem de titreşim kullanılır.

Açık-kapalı devre sisteminin işleyişi aşağıdaki şekilde görülmektedir (Soong, 1987; Samali; Yang; Liu, 1985: 2165-2180): Kontrol kuvvetinin ideal koşullar altındaki bir yapıya etkisini görmek için n-serbestlik dereceli, sönümlü bir sistem gözönüne alalım. Yapı sisteminin matris denklemi;
$$Mx(t)+Cx(t)+Kx(t)=Du(t)+Ef(t) \quad (1)$$
 şeklinde yazılabilir.

Açık-kapalı devre düzenlemesinde kontrol kuvveti $u(t)$; $x(t)$, $\dot{x}(t)$ ve $f(t)$ 'nin lineer fonksiyonudur. Kontrol kuvveti, K_1 C_1 ve E_1 zamana bağlı olabilen kontrol kazançları olmak üzere;

$u(t) = K_1x(t) + C_1\dot{x}(t) + E_1f(t)$ (2) şeklini alır. (2) denklemi (1)'de yerine yerleştirilirse;
 $Mx(t) + (C - DC_1)\dot{x}(t) + (K - DK_1)x(t) = (E + DE_1)f(t)$ (3) denklemi elde edilir. K_1 , C_1 , E_1 değerleri seçilen kontrol algoritmasına bağlıdır.

(3) ile (1)'i karşılaştırdığımızda kontrol kuvvetinin olmaması durumunda, açık-kapalı devre kontrolünün, dış titreşimlere daha iyi mukabele sağlayabilmek için, yapısal parametreleri (rijitlik, sönüm) değiştirerek etkili olduğu görülür. Açık devre bileşeni titreşimin değişmesi (azalması ya da tamamen ortadan kalkması) şeklinde etkilidir.

Aktif kontrol sistemi ile yapının özellikleri, dış titreşimlere karşı daha iyi mukabele sağlayabilmesi için değiştirilebilmektedir. Diğer yandan, yapıya iletilen titreşimde azalma sağlanabilmektedir.

5. Sonuç

Taban izolasyon sistemleri ile izolasyon yapıldığında, yapı ile zemin arasındaki ankraj azalır. Bu durumda deprem sırasında zeminden yapıya kaldırma kuvvetleri etkir ve bu etki zemin ile yapının ayrılmasına neden olabilir. Yapı yüksekliği arttıkça, bu kaldırma kuvvetinin etkisi de artmaktadır. Bu nedenle, yüksek binalarda taban izolasyon sistemleri tercih edilmemektedir. Ayrıca şiddetli depremler sonucu, yapıda oluşan kalıcı hasarlar büyük boyutlara ulaşabilmektedir. Hem taban izolasyon sistemleri hem de pasif enerji sönümleyici sistemler ancak belli deprem etkilerine karşı etkin olabilirler, tasarlandıkları deprem etkisinden daha büyük etkilerde işlevsel olamamaktadırlar.

Bu nedenle, aktif izolasyon sistemleri değişen deprem etkisine göre kontrol etkisi de değiştiğinden, daha iyi koruma sağlayan sistemlerdir. Bu sistemler, yapıyı statik ve pasif düzeyden harekete geçirerek ve dinamik düzeye getirerek etkili bir koruma sağlarlar. Ancak maliyetlerinin fazla olması nedeni ile önemli fonksiyonları olan yapılarda (nükleer enerji santralleri gibi) tercih edilmektedirler.

Ayrıca, aktif ve pasif kontrol sistemlerinin birlikte kullanıldığı karma izolasyon sistemleri de bulunmaktadır. Az şiddetli depremlerde pasif araçlar yeterli olurken, şiddetli depremlerde aktif kontrol araçları da devreye girmekte ancak bunlara düşen görev de azalmaktadır.

Depremi bir felâket olmaktan çıkması için bu tür sistemler üzerindeki çalışmalara daha da ağırlık verilmesi ve henüz uygulaması olmayan ülkemizde uygulamaya başlanması yararlı olacaktır.

KAYNAKÇA

- Constantinou, M.C.; Tadjbakhsh, I.G. (1985) "Hysteretic Dampers In Base Isolation: Random Approach", Journal of Structural Engineering, Vol.111 (4), 705.
- Sakamoto, M.; Kobori, T. (1993) Research, Development And Practical Application Of Structural Response Control, US/JAPAN Workshop on Smart and High Performance Materials and Systems, May 14-15, Tsukuba, Japonya.
- Samali, B.; Yang, J. N.; Liu, S. C. (1985) "Active Control of Seismic- Excited Buildings", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol. 111 (10), 2165-2180.
- Soong T.T.; Constantinou, M.C. (1994) Passive and Active Structural Vibration Control in Civil Engineering, CISM Courses and Lectures No: 345 International Centre for Mechanical Sciences, Springer Verlag, Viyana.
- Soong, T.T. (1987) Active Control Structural Control in Civil Engineering, Department of Civil Engineering, State University of New York at Buffalo, NY, Technical Report NCEER-87-0023.
- Weisberg; Volkinburg, David; Mayes; Ronald; Jones; Lindsay (1991) "Seismic Isolation: An Alternative for Earthquake Design", Modern Steel Construction January, Volume 31 (1).
- Xia, C.; Hanson, R. D. (1992) "Influence of ADAS Element Parameters on Building Seismic Responce", Journal of the Structural Engineering, Vol.118 (7), 1903-1918.