

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMINDA YENİ YAKLAŞIMLAR

Ünal ALDEMİR(*), Ersin AYDIN(**)

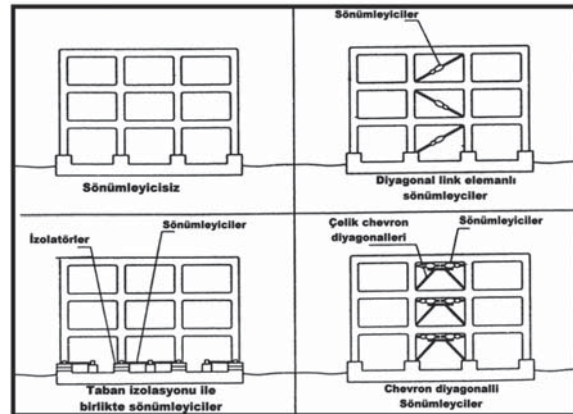
1. GİRİŞ

Yıkıcı depremler, kasırgalar ve tsunamiler gibi kuvvetli dinamik etkiler altındaki yapıların nasıl korunacağı fikri hep araştırma konusu olmuştur. Gelişmiş ülkelerde dahi ileri teknolojik malzeme ve teknikler kullanıldığı halde kuvvetli bir deprem veya kasırgada yapıların kesinlikle hasar görmeyeceği veya yıkılmayacağı garanti edilememektedir. Bu gibi dinamik kuvvetleri önceden tespit etmek mümkün olmadığından yapıların dizaynı belirli kriterleri sağlayan tasarım yüklerine göre yapılmaktadır. Dolayısıyla yapı tasarım yükünden farklı bir yüke maruz kaldığında ciddi hasarlar görebilmektedir. Geleneksel yaklaşımda yapıya iletilen sismik enerjinin tüketilmesi esas olarak plastik mafsalların oluşumu ile gerçekleşmektedir. Bu da yapının hasar görmesini kabul etme anlamına gelmektedir. Sismik enerjiyi yapısal hasara razı olarak tüketme yerine ek sönüm sistemleri ile tüketme alternatif bir yaklaşım olarak görülmektedir. İstatistikler göstermektedir ki maddi hasarın ve can kayıplarının önemli bir kısmı yapısal olmayan elemanların yüksek ivmeler altında hareket etmesi sonucunda oluşmaktadır. Dolayısıyla artık taşıyıcı sistemin çökmemesi yeterli görülmemekte buna ek olarak yapısal olmayan elemanların ve değerli hassas cihazlarında korunması istenmektedir. Bir başka önemli nokta ise malzeme teknolojisindeki gelişmeler neticesinde malzeme mukavemeti artarken rijitliğin aynı oranda artmasıdır. Özellikle esneme kapasitesi fazla olan yüksek katlı çelik yapılarda büyük deplasmanların pratik açıdan kontrol edilmesi ek kontrol sistemlerinin kullanılmasını gerektirmektedir.

Son yıllarda yapıları ve yapısal olmayan elemanları dinamik dış etkilere karşı daha iyi korumak için mevcut klasik tasarıma ek olarak onu tamamlayıcı yeni yaklaşımlar üzerinde çalışılmaktadır. Bu yaklaşımlar, yapıya gelen etkileri o anda ölçüp karşı kuvvetler uygulayacak veya etkiyi kendi içinde

sönümleyecek malzemeler ve sistemler üzerine yoğunlaşmıştır. İnşaat mühendisliği alanındaki bu tür yeni yaklaşımlara dayalı teorik, deneysel ve uygulamaya yönelik çalışmalar hakkında geniş bilgiler literatürde mevcuttur [1]. Bu çalışmaların ortak sonucu bu tür yeni sistemlerin, gerek yeni yapılacak binalarda, gerekse mevcut binaların rehabilitasyonu veya güçlendirilmesinde etkin bir şekilde kullanılabileceği yönündedir.

Dinamik etkilere karşı tasarıma yönelik yeni yaklaşımlar esas olarak aktif, pasif ve yarı aktif olmak üzere üç ana başlık altında toplanabilir. Aktif kontrol sistemlerinde kontrol kuvvetlerini üretebilmek için harici bir güç kaynağına ihtiyaç vardır. Zemine ve yapıya yerleştirilen sensörler aracılığıyla elde edilen bilgiler kontrol bilgisayarına iletilerek daha önceden belirlenmiş bir algoritmaya göre kontrol kuvvetleri hesaplanır. Bu kuvvetler kuvvet üreten mekanizmalar (actuator) aracılığıyla yapıya uygulanır. Pasif kontrol sistemleri ise harici bir güç kaynaklarına ihtiyaç duymazlar ve sismik enerjiyi kendi içlerinde sönümlerler. Değişken dinamik etkilere adaptasyon kabiliyeti olmayan bu sistemler çalışma prensipleri ve malzeme özellikleri itibari ile farklılıklar gösterir. Şekil 1'de görüldüğü gibi sönümleyicileri yapıya farklı şekillerde yerleştirmek mümkündür. Yapıya



Şekil 1 - Sönümleyicilerin Yapıdaki Farklı Yerleşimleri

(*) Doç Dr., (**) Araş. Gör,
İTÜ İnşaat Fakültesi Mekanik Anabilim Dalı, İstanbul

eklenecek sönümün optimum miktarı ve bu sönümün yapı yüksekliği boyunca optimum dağılımı ayrı bir inceleme konusudur.

Yarı aktif kontrol sistemleri sönüm ve rijitlikleri deprem esnasında kontrol edilebilen sistemlerdir. Aktif kontrolde büyük enerji ihtiyacı olmakla birlikte, yarı aktif sistemlerde gereken enerji çok küçük bataryalarla bile sağlanabilmektedir. Yarı aktif sistemlerin büyük bir kısmı elektrik veya manyetik alana hassas özel sıvılar içermektedir. Önceden belirli kontrol algoritmalarına bağlı olarak elektrik veya manyetik alan şiddeti değiştirilerek yarı aktif sistemlerin mekanik özellikleri kontrol edilebilmektedir.

Karma sistemler; aktif, yarı aktif ve pasif kontrol sistemlerinin bir arada kullanılması durumudur. Örneğin, çelik bir yapı visko-elastik sönümleyiciler ile donatılmış ve buna ek olarak aynı zamanda en üst katta aktif kütleli sönümleyici yerleştirilmiş olabilir. Benzer şekilde, bazı yapılara tabanda sismik izolatörler yerleştirilmiş ve izolatör seviyelerinde büyük genlikli hareketlere karşı bu bölgelerde yarı aktif veya pasif olarak çalışan sönümleyiciler eklenmiş olabilir. Karma sistemler yüksek enerji ihtiyacı olmadan çalışabilmektedir. Aktif, yarı aktif ve pasif sistemlerin geliştirilmesi ve yapı içinde kullanımlarına yönelik çalışmalarda son yıllarda ciddi bir artış vardır [2], [3].

Yapıların korunmasına yönelik modern sistemler Tablo 1’de verildiği gibi üç gruba bölünebilir.

2. PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER

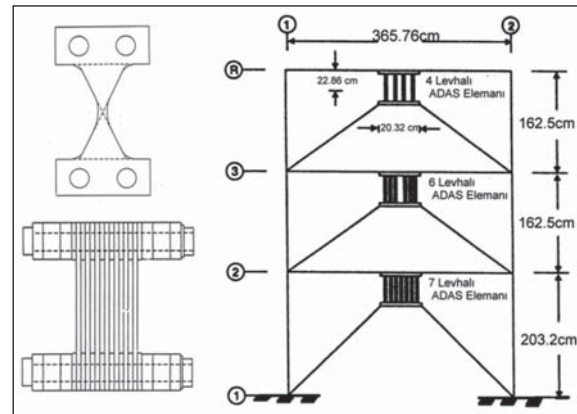
Dinamik etkilere maruz yapılardaki titreşim enerjisi esas olarak iç sürtünme ve plastik deformasyonlar ile yok edilmektedir. Yapının enerji yutma kapasitesi ne kadar fazla ise titreşimin genliği de o kadar küçük olmaktadır. Tipik çelik yapılarda sönüm oranı %2, betonarme yapılarda ise %5 civarındadır. Titreşimin genliğini azaltmak için yapının enerji yutma kapasitesini artırmak gerekmektedir. Geleneksel yapılarda elemanların kütle ve rijitlik özellikleri belli bir doğruluk derecesi ile modellenenmektedir. Sönüm

özelliklerini ise, yapısal elemanların enerji yutma kapasitelerindeki ve ideal olmayan birleşim noktalarının davranışlarındaki belirsizliklerden dolayı karakterize etmek oldukça zordur. Sonuç olarak, analizi basitleştirmek için genelleştirilmiş formda sönümü orantılı olarak kabul etmek yeterli görülmektedir. Bugün, mevcut yapı analizi programları ve tasarım yöntemleri genellikle orantılı sönümü kabul etmektedirler. Pasif enerji sönümleyicili sistemler sönüm, rijitlik ve dayanımı artırıcı özellikteki malzemelerden oluştuğundan, bunlar hem yeni yapılacak yapılarda hem de yaşı ilerlemiş yapıların veya hasarlı yapıların rehabilitasyonu için de kullanılabilir.

2.1. Metalik Sönümleyiciler

Sismik enerjiyi sönümlemenin yollarından biri metallerin elastik olmayan davranışını kullanmaktır. Bu amaç için tasarlanan sistemlerin çoğunda dikdörtgen, üçgen veya X şeklinde yumuşak çelik levhalar kullanılmış ve gerilmelerin malzeme içerisinde mümkün olduğu kadar düzenli dağılmasına dikkat edilmiştir. Yaygın olarak kullanılan tipik bir X şekilli levha sönümleyici (ADAS) Şekil 2’de gösterilmiştir.

Metalik sönümleyicilerin bir yapı sisteminde kullanılması için teorik ve deneysel çalışmalara bağlı olarak kazanılan bilgilerin ışığında hazırlanacak



Şekil 2 - X Şekilli ADAS Metalik Sönümleyicisi [4]

Tablo 1 - Yapısal Kontrol Sistemleri

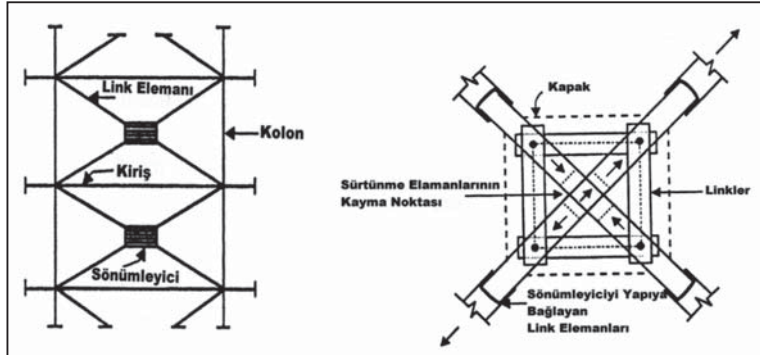
Sismik İzolasyon	Pasif Kontrol	Yarı Aktif ve Aktif Kontrol
Düşük sönümlü kauçuk izolatörler	Metalik sönümleyiciler	Aktif kuvvet veren sistemler
Kurşun çekirdekli kauçuk izolatörler	Visko-elastik sönümleyiciler	Aktif kütleli sistemler
Yüksek sönümlü kauçuk izolatörler	Sürtünme tipi sönümleyiciler	Değişken rijitlik ve sönüm veren sistemler
Kayma tipi izolatörler	Viskoz akışkanlı sönümleyiciler	Akıllı malzemeler
Yaylı sistemler	Ayarlı kütle sönümleyicileri	
	Ayarlı akışkan sönümleyicileri	
	Diğer sönümleyiciler	

yönetmeliklere ihtiyaç olmuştur. Bazı araştırmacılar metalik enerji yutan elemanların tasarımı için yapının hareket denklemine metalik elemanların çevrimsel kuvvet-deplasman ilişkilerini katarak, birtakım dizayn metotları geliştirmişlerdir. Metalik enerji sönümleyici elemanların özellikle çelik yapılara uygulamaları daha kolaydır.

2.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler

Sürtünmenin de diğer enerji yutma mekanizmaları gibi oldukça etkili olduğu bilinmektedir ve yıllardır otomobil frenlerinde kinetik enerjii absorbe etmek için kullanılmaktadır. Sürtünme tipi sönümleyicilerin farklı mekanik ve malzeme özellikleri ile pek çok çeşidi geliştirilmiştir. Sönümleyicinin sürtünme katsayısını yapı ve sönümleyicinin ömrü boyunca koruyabilmesi için uygun malzemeler geliştirilmiştir. Şekil 3'de görülen Pall sönümleyicileri [5], X şekilli çubuklardan oluşan ve sürtünme prensibini kullanan sönümleyicilerdendir. Bu sönümleyiciler rüzgar yükleri altında ve orta şiddetli depremlerde kaymayacak şekilde dizayn edilmiştir. Şiddetli deprem yükleri altında birincil yapı elemanlarında akma olmadan, daha önceden tanımlanan optimum bir yükte sönümleyici kaymaya başlamaktadır.

Bütün sürtünme tipi sönümleyicilerin sürtünme yüzeylerinde kullanılan malzemeler; çelik üstüne çelik, çelik üstüne pirinç veya paslanmaz çelik üzerine grafit ile kaplanmış bronzdan oluşmuştur. Sürtünme yüzeyinin yapısı sönümleyicinin ömrü açısından oldukça önemlidir. Mesela, düşük karbon alaşımli çelikler zamanla korozyona uğrayarak sürtünme yüzeyini değiştirebilmektedir. Pirinç veya bronz kaplama, düşük karbonlu çeliğe sürekli değiştiği zaman korozyonu daha da artırmıştır. Yüksek



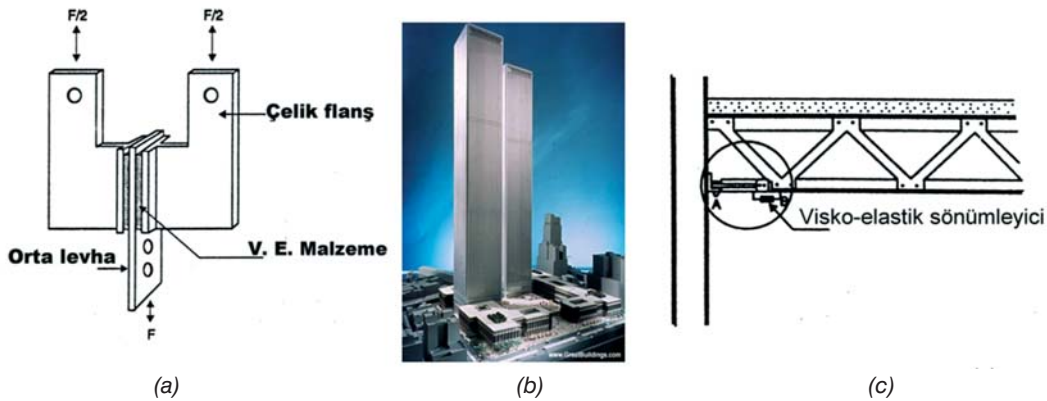
Şekil 3 - Pall Sürtünme Tipi Sönümleyici

krom içeren çelikler, pirinç veya bronz ile temas ettiğinde korozyon oluşturmamıştır.

Son yıllarda, sürtünme tipi sönümleyiciler yeni yapılar ve güçlendirilmesi gereken yapılarda sismik performansı artırmak için kullanılmıştır. Pall tipi sönümleyiciler Kanada'da kullanılmıştır. Japonya'da, Omiya şehrindeki 31 katlı çelik yapıya Sumitomo tipi sönümleyiciler eklenmiştir.

2.3. Visko-Elastik Sönümleyiciler

Enerjii absorbe etmek için kullanılan visko-elastik katı malzemeler de mevcuttur. Bu visko-elastik malzemelerin hem rüzgar yüklerine karşı hem de sismik etkilere karşı uygulamaları yapılmıştır. Visko-elastik malzemeler uçak çerçevelerinin titreşimini kontrol etmek için 1950'lerde kullanılmaya başlamıştır. İnşaat mühendisliğindeki ilk uygulama Şekil 4.(b-c)'de görülen ve 11 Eylül saldırılarında yıkılan çelik taşıyıcı sistemli Dünya Ticaret Merkezinin İkiz Kulelerinde (1969) yapılmıştır. Rüzgar titreşimlerini azaltmak için yaklaşık olarak 10.000 adet visko-elastik sönümleyici monte edilmiştir. İnşaat mühendisliği yapılarında kullanılan visko-elastik malzemeler, tipik karbon polimerleri veya ona benzer katı maddelerden oluşmaktadır. 3M şirketi tarafından geliştirilen tipik bir visko-elastik sönümleyici Şekil 4 (a)'da gösterilmiştir.



Şekil 4 - (a) Visko-elastik Sönümleyici [6] (b) Dünya Ticaret Merkezi (c) Dünya Ticaret Merkezinde kullanılan Visko-Elastik Sönümleyicilerin Yerleşim Detayı

Görüldüğü gibi visko-elastik malzeme çelik levhalar arasına yerleştirilmiştir. Visko-elastik sönümleyiciler, visko-elastik tabakaların kayma deformasyonları ile enerjiyi sönümlemektedir. Visko-elastik malzemelerin dinamik yükler altındaki davranışları titreşim frekansına, deformasyona ve sıcaklığa bağlıdır.

Visko-elastik sönümleyicilerin çelik yapılara uygulanması daha kolay olduğundan, Taiwan'ın Taipei şehrinde 2/5 ölçeğinde bir çelik yapıya visko-elastik sönümleyiciler eklenerek farklı deprem etkileri altında 30°C sıcaklıkta test edilmiştir [7]. Sonuçlar göstermiştir ki, yapıya eklenen visko-elastik sönümleyiciler yapının sönüm oranını %12'lerin ötesinde artırmış ve test yapısının elastik olmayan düktilite gereksiniminin düşmesinde oldukça etkili olduğu görülmüştür.

11 Eylül deki terör olayları sonucu yıkılan Newyork'daki Dünya Ticaret Merkezinden sonra başka binalarda da visko-elastik sönümleyiciler kullanılmıştır. 1980'lerde Seattle'daki Columbia Sea First ve Two Union Square yapılarında rüzgara bağlı titreşimleri düşürmek için bu sönümleyiciler kullanılmıştır. Bu yapılarda çelik kolonlar yüksek mukavemetli beton ile sarılmıştır. Taiwan'ın Taipei şehrinde 1994 yılında, Chien-Tan demiryolu istasyonun çatısında rüzgardan kaynaklanan titreşimleri düşürmek için yine visko-elastik sönümleyiciler kullanılmıştır. Bunun yanında, California San Jose'de 13 katlı çelik Santa Clara County binasında [8] ve San Diego'da ilk olarak 3 katlı bir betonarme yapıda [3], visko-elastik sönümleyiciler sismik güçlendirme için kullanılmıştır.

2.4. Viskoz Akışkanlı Sönümleyiciler

Viskoz akışkanlı sönümleyiciler esas olarak uygulamada 3 çeşittir. Birinci uygulamada viskoz akışkan içi boş çelik bir duvar içine doldurulduktan sonra akışkan içine batırılan bir metal levha üst döşemeye bağlanır. Deprem anında katlararası rölatif deplas-



Şekil 5 - SUT Binası, Shizuoka, 1993

manlar nedeniyle levhanın viskoz ortamdaki hareketi sismik enerjiyi kısmen sönümler. Japonya'nın Shizuoka şehrinde Şekil 5'te görülen çelik taşıyıcı sistemli SUT binasında 170 adet sönüm duvarı kullanılarak yapı mukabelesinde yaklaşık %70-80 oranında azalma elde edilmiştir.

Diğer uygulamada viskoz akışkan, içinde pistonun hareket ettiği bir silindir içine doldurulmuştur. Pistonun yüksek viskoziteli akışkan içerisinde hareketi neticesinde mekanik enerji ısı enerjisine dönüşür. Bu sisteme en güzel örnek olan performansı çeşitli mühendislik alanlarında denenmiş viskoz akışkanlı sönümleyicilerdir. Viskoz akışkanlı sönümleyicinin en önemli üstünlüğü en genel halde altı serbestlik dereceli sönümleme yapabilmesidir.



Şekil 6 - Viskoz Akışkanlı Sönümleyici

Üçüncü uygulamada viskoz akışkanın yerel deformasyonu yerine akışkan belirli kanallardan geçmeye zorlanarak istenen enerji sönümü gerçekleşir. Şekil 7'de çelik kafes sistem için bir uygulamayı görüyorsunuz.

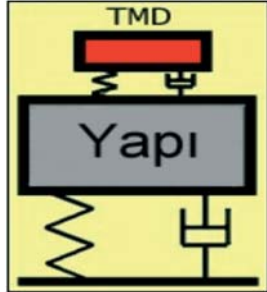
2.5. Ayarlı Kütle Sönümleyicileri (TMD)

Esas yapıya birbirine paralel yay ve viskoz sönümleyici yardımıyla bağlanan kütleyle ayarlı kütle sönümleyici (TMD) denmektedir. TMD parametre-



Şekil 7 - Çelik Kafes Sisteme Viskoz Akışkanlı Sönümleyici Uygulaması

leri uygun şekilde seçilerek yapının istenen titreşim moduna ayarlandığı takdirde o moddaki titreşim enerjisinin bir kısmının TMD ye akışı sağlanarak esas yapının titreşim enerjisi azaltılır.



Şekil 8 - TMD'nin Mekanik Modeli

TMD'lerin yerleştirildiği ilk yapı Avustralya'nın Sydney şehrindeki çelik taşıyıcı sisteme sahip Centerpoint gökdelenidir. Amerika Birleşik Devletlerinde TMD'lerin yerleştirildiği iki binadan birisi Newyork'da taşıyıcı sistemi çelik olan Citicorp Center, diğeri ise Boston'da John Hancock gökdelenidir. Japonya'da ise ilk TMD yine çelik taşıyıcı sistemli Chiba Port gökdelenine yerleştirildikten sonra bunu Osaka'da Funade Bridge gökdeleni, Kimitsu şehrindeki çelik bacalar ve diğerleri izlemiştir. TMD'ler ise pek çok köprüde (Şekil 9), Dubai'de Burj Al Arab otelinde ve Emirates kulelerinde kullanılmıştır.

3. SİSMİK İZOLASYON

Uygulamada karşılaşılan önemli problemlerden birisi katlararası deplasmanlar ile kat ivmelerinin aynı anda nasıl azaltılacağıdır. Bunu sağlamanın en pratik yolu yapı ile zemin arasına yatay yönde oldukça esnek düşey yönde oldukça rijit bir izolasyon mekanizması yerleştirmektir. Taban izolatörleri temel olarak ya kauçuk sönümleyiciler yada teflon veya çelik yüzeyler üzerinde kayan toplardan oluşmuş elemanlardır. İnce çelik levhalar arasına vol-



Şekil 10 - Çelik Kolon Altına Yerleştirilmiş İzolatörler

kanize kauçuk elamanların kat kat yerleştirilmesi ile ortaya çıkan sismik izolatörlerin kullanımı son 20 yıl içerisinde yaygınlaşmıştır. Çelik levhalar elemanın düşey rijitliğini artırmak için kullanılmaktadır. Düşeydeki rijitlikleri sayesinde yapıdan gelen düşey yükleri rahatlıkla taşımaktadırlar. Yatayda oldukça esnek olduklarından izolatörlerin üzerine inşa edilmiş yapının davranışı büyük oranda elastik bölgede kalmaktadır. Yapı izolatörler üzerinde hemen hemen rijit cisim hareketi yapar. Güvenliğin dışında temele yerleştirilmiş bu izolatörler yapının taşıyıcı sistemindeki elemanların boyutlarının da düşmesine sebep olmaktadır. İzolatörler yapının etkin frekansını hem izolatörsüz haldekine göre hem de yer hareketinin etkin frekansına göre daha düşük hale getirirler. Diğer bir deyişle yapının periyodunu artırırlar. Şekil 10'da çelik taşıyıcı sistem için tipik bir uygulama görüyorsunuz.

3.1. Düşük Sönümlü Doğal ve Sentetik Kauçuk İzolatörler



Şekil 9 - Millennium Köprüsü, Londra



Şekil 11'de de görüldüğü gibi izolatörlerin her iki ucunda iki kalın çelik levha bulunmaktadır. Kauçuk tek bir seferde belirli bir sıcaklık ve basınç altında çelik levhaya tutturulmuştur. Çelik levhaların yatay rijitliğe etkisi yoktur. Malzeme davranışları kaymada oldukça doğrusaldır



Şekil 11 - Düşük Sönümlü Kauçuk İzolatörler



Şekil 12 - Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatör

ve sönüm oranı kritik sönümün %2-3 oranındadır. Malzemede sünme olmamakta ve uzun süreli elastisite modülü stabilitesi oldukça iyidir. Düşük sönümlü bu kompozit elemanların avantajları; kolayca üretilibilmeleri, basit modellenebilmeleri ve mekaniksel davranışlarının çevre şartlarından az etkilenmeleridir. Tek dezavantajları ek sönümleyici elemanlara ihtiyaç duymalarıdır.

3.2. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatörler

Kurşun çekirdekli izolatörler 1975'de Yeni Zelanda'da üretilmiştir. Yeni Zelanda, Japonya ve USA'da yaygın bir şekilde kullanılmıştır. Bu izolatörler düşük sönümlü kauçuk izolatörlere benzemektedir. Fakat izolatörün orta boşluğunda Şekil 12'de görüldüğü gibi bir kurşun çekirdek vardır. Bu çekirdek kauçuğun yüksek kayma deformasyonlarını engellemektedir. Elemana, deplasmana bağımlı etkili bir başlangıç rijitliği ve sönümü vermektedir.

3.3. Yüksek Sönümlü Doğal Kauçuk İzolatörler

Düşük sönümlü kauçuk izolatörlerin ek sönümleyici ihtiyacını ortadan kaldırmak için Malezya kauçuk üreticileri birliği tarafından (MRPRA) 1982'de yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatörler geliştirilmiştir. Sönüm, eklenen karbon blokları, reçineler veya yağlar ve diğer dolgu maddeleri ile artırılmıştır. Bu sönüm %100 kayma deformasyonları altında %10-20 oranında artırılmıştır. İzolatörlerdeki sönüm ne viskoz ne de çev-



Şekil 14 - San Francisco ve Atatürk Uluslararası Hava Terminali



Şekil 13 - Kayma Tipi Bir İzolatör

rimseldir. İkisinin arasında bir davranışı vardır. Deney sonuçları göstermiştir ki bu elemanların davranışının bir kombinasyonudur. Bu izolatörlerin diğer bir avantajı da, trafik veya trenlerden kaynaklanan yüksek frekanslı düşey titreşimlerin filtre edilmesinde başarılı olmalarıdır.

3.4. Kayma Tipi İzolatörler

Kısmi olarak kayan sistemler sismik izolasyon için amaçlanan en basit ve en eski sistemlerdir. Bu sistemlerin geri getirici kuvvet mekanizmaları ile desteklenmeleri gerekir. Aksi takdirde kalıcı deplasmanlar kabul edilemez seviyelere ulaşabilir. Geri getirici etkiyi oluşturmada en yaygın yollardan biri küresel kayma yüzeyi kullanılmaktadır. Buna en güzel örnek sürtünmeli sarkaç sistemindeki kayıcı mesnetlerdir. Şekil 13'de bu tür bir mesnet görüyorsunuz.

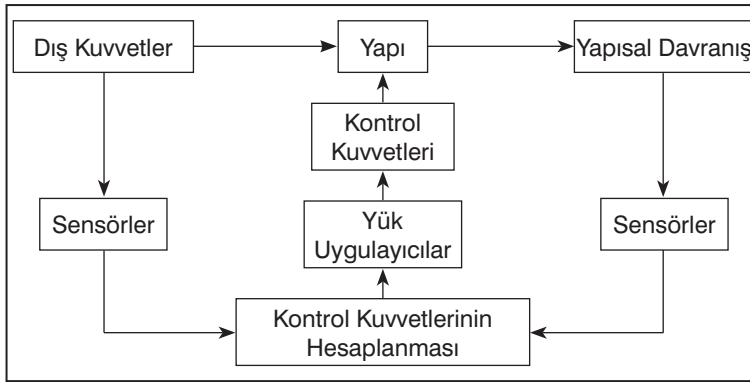
İzolatörün efektif rijitliği ve izolasyon periyodu yüzeyin eğrilik yarıçapına bağlıdır. Kayma yüzeylerinde farklı malzemeler kullanılarak ve yüzey geometrisinin değişimleri ile hem sürtünmeden hem de sarkaç davranışından esinlenerek farklı tasarımlar ortaya çıkarılmıştır. Şekil 14'de çelik taşıyıcı sistemlere yapılan uygulamalara örnekler verilmiştir.





Şekil 15 - Kolon Üst Ucuna Yerleştirilmiş Yaylı Sistemler

düşey titreşimlerin azaltılması için çelik helisel yaylı sistemler geliştirilmiştir. Düşey frekansları yatay frekanslarının 3-5 katıdır. Yaylar hemen hemen sönümsüz ve sistem genellikle viskoz sönümleyicileri ile birlikte kullanılmaktadır.



Şekil 16 - Aktif Kontrolün Şematik Diyagramı

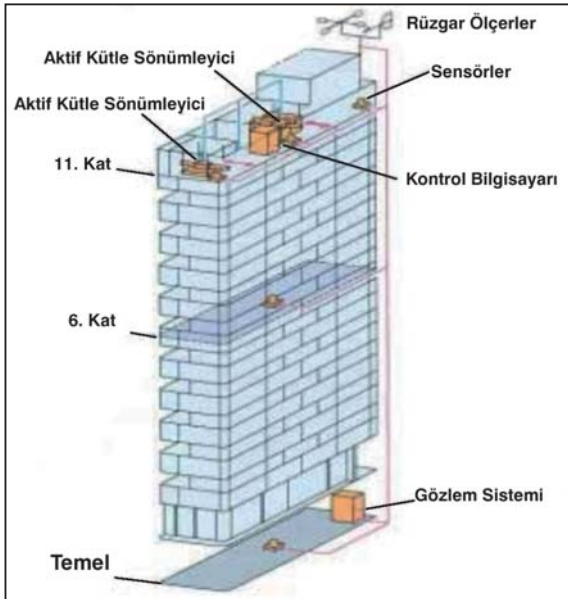
4. AKTİF KONTROL

Yapı tasarım tarihi üç döneme bölünebilir. Sadece statik yüklerle göre tasarım yapılan dönem klasik dönem olarak adlandırılır. İkinci dönem modern dönem olarak isimlendirilir. Bu dönem, yapıdaki dinamik etkilerin de göz önüne alınarak tasarımların yapıldığı dönemdir. Statik yükler yapı ömrü boyunca çok fazla değişmezler. Fakat dinamik yükler gerek büyüklükleri gerekse yönleri açısından değişkenlerdir. Dış yüklerdeki bu değişimi kompanse etmek için yeni konseptler ortaya çıkmıştır.

Üçüncü dönem olarak ortaya çıkan postmodern dönem bu bakış açısı ile doğmuştur. Yapıya gelebilecek yükleri önceden tahmin etmek çok zordur. Bilgisayar, elektro-hidrolik sistemler ve sensör teknolojilerindeki ilerlemeler sonucunda artık, yapıya gelen dinamik kuvvetler ölçülerek önceden belirlenen bir algoritmaya göre kontrol bilgisayarında gerekli kontrol kuvvetleri hesaplanabilmekte ve bu kuvvetler yapıya yerleştirilen aktif kuvvet mekanizmaları ile uygulanabilmektedir (Şekil 16). Postmodern dönemde hedeflenen yapı deprem ve rüzgar gibi dinamik çevre etkilerine karşı öngörülen güvenlik, dayanım ve konforu sağlayacak şekilde kendini adapte edebilen bir yapıdır.

Kontrol kuvvetleri genelde tendonlar ile uygulanmaktadır. Bu tendonlar öngerilmeli ve elektrik ile çalışan hidrolik bir mekanizma ile kontrol edilmektedirler.

Daha önce açıklandığı gibi pasif TMD'ler yapının genelde birinci mod hareketini azaltacak şekilde ayarlanıyorlardı. Diğer modları da kontrol edilebilir aktif TMD ler ile mümkün olabilmektedir. Bu prensibe dayanarak, Şekil 17'de görülen ve ilk olarak Japonya'da Kyobashi Seiwa Binasına yerleştirilen aktif kütleli (AMD) bir sistem tasarlanmıştır [9].



Şekil 17 - Aktif Kütle Sönümleyicilerin Yerleştirildiği Kyobashi Seiwa Binası (Tokyo, Japonya)

3.5. Yaylar

Kauçuk veya kayma tipi izolatörler genellikle yatay hareketlerin sönümlenmesi için kullanılmıştır. Üç boyutlu bir izolasyona ihtiyaç duyulduğunda bu sistemler yeterli gelmeyecektir. Yatay ve özellikle

Japonya'da aktif kontrol sistemlerinin kullanıldığı çok sayıda bina bulunmaktadır. Diğer bir örnek 1992'de tamamlanan Applause kulesidir (Şekil 18). Bu yapıda aktif kütle olarak binadaki mevcut helikopter platformu kullanılmıştır. Yeni kontrol algoritmalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir [10].



Şekil 18 - En Üst Katta AMD Bulunan Applause Kulesi, Japonya

5. YARI AKTİF KONTROL

Aktif kontrol sistemlerine göre dış enerji ihtiyacı çok daha az olan yarı aktif kontrol sistemleri önemli gelişmelerden biridir. Sismik hareket esnasında aktif sistemlerin ana güç kaynakları devre dışı olabilecekken, yarı aktif sistemlerdeki piller çalışmaya devam edeceklerdir. Bu konudaki ilk çalışmalar göstermiştir ki, yarı aktif sistemler pasif sistemlerden ve tamamen aktif sistemlerden daha iyi performans gösterebilmektedir. Bu sistemler izolatörlü yapılarda da izolatörlerin yüksek deplasmanlarını sönmölemek için kullanılmaktadır. Yarı aktif sönmöleyiciler, piller vasıtası ile oluşturulabilen elektrik veya manyetik alanlar yardımı ile ER veya MR sıvıların mekanik özelliklerinin kontrolü prensibi ile



Şekil 19 - MR Sönmöleyici

çalışmaktadırlar. ABD ve Almanya'da bazı firmaların yeni yarı aktif sistemlerin geliştirilmesi ve uygulamasına yönelik çalışmaları devam etmektedir.

6. KARMA KONTROL

Karma tip yapısal kontrolde, bir yapı aktif veya yarı aktif kontrol sistemleri ile donatılmış olup davranışı iyileştirmek için pasif elemanlarla da desteklenmiş olabilir. Bunda amaç aktif kontrol elemanlarının yüksek enerji ihtiyacını azaltmak ve sismik titreşim anında aktif sistem için gerekli olan enerji kesilir ise en azından pasif sistem ile korumayı gerçekleştirmektir.

1994 Northridge depremi ile taban izolatörleri ilk olarak ciddi bir tehdit almıştır. Aktif fay yakınlarında elde edilen sismik kayıtlarda yüksek periyodlu bileşenler tespit edilmiştir. Bu bileşenler izolasyon sisteminde rezonans benzeri büyük yatay yer değiştirmeler meydana getirmektedir. Bunun üzerine izolatörleri korumak için izolasyon seviyesinde pasif viskoz sönmöleyiciler eklenmiştir. Bu sayede izolatör hareketi sınırlandırılmış fakat bu seferde üst yapıdaki katlararası deplasmanlar ve ivmeler artmıştır. Bu ise izolasyon felsefesine tamamen terstir. İzolasyon seviyesinde eklenmesi gereken optimum sönmö miktarı ise yer hareketinin dinamik karakteristiklerine bağlı olduğundan önceden kesin olarak belirlenmesi zordur. Konu ile ilgili olarak 1998 yılında ABD ve Japonya'lı araştırmacılar 5 yıl süren ortak bir çalışma yapmışlar ve izolatör seviyesinde yerleştirilmek üzere yarı aktif sönmöleyiciler geliştirmişlerdir. Ayrıca FP6 LESSLOSS projesi kapsamında alt proje olarak yarı aktif sistemler için kontrol algoritmalarının geliştirilmesine yönelik çalışmalar devam etmektedir. Bu tür yarı aktif taban izolasyonları sayesinde hem izolatörler korunmakta hem de üst yapıdaki katlararası deplasman ve ivmeler artmamaktadır[11]

7. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapıların deprem ve rüzgar gibi dinamik etkilere karşı korunması için dünyadaki en son gelişmeler özet olarak verilmiştir. Kısaca tanıtımı yapılan bu sistemlerin betonarme yapılara uygulanmasında bağlantı detaylarında bazı güçlükler olmakla birlikte çelik yapılara uygulanmaları çok daha kolaydır. Özellikle ABD ve Japonya'da yaygın bir uygulama alanı bulan bu teknolojilerin büyük bir bölümü aktif deprem kuşağı içinde bulunan ülkemizde de kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. Bundan 10 sene önce pasif sismik izolatörlerin ülkemizde uygulanmasına ihtimal vermeyenler aynı şeyi yaklaşık 15-20 yıl sonra yarı aktif ve aktif sistemlerde yaşamaları kesin gibi görünmektedir. Dolayısıyla birebir uygulamayı beklemek yerine gerekli bilgi birikimini öncelikle üniversitelerde sağlamaya çalışmak ve buna paralel olarak da bu bilgiyi mühendislerimize iletmek gerekmektedir. Üniversitemizde bu konularda kısıtlı da olsa son yıllarda yüksek lisans ve doktora seviyesindeki çalışmalarda belirgin bir artış gözlenmektedir. Bilgi akışının sürekliliğini sağlayabilmek için bilimsel toplantılara ek olarak lisans ve yüksek lisans düzeyinde yeter sayıda dersler açılmalıdır.

Diğer bir eksiklik bu sistemlerin ülkemizdeki yapılara uygulanması esnasında gerekli olacak yönetmeliklerin olmamasıdır. Özel izne dayalı az sayıdaki uygulamalarda ise yabancı yönetmelikler kullanılmaktadır. Patent alınıp piyasaya sürülen bu tür ürünlerin sayısı her geçen gün artmakta ve buna bağlı olarak son yıllarda yurtdışından gelen büyük üretici firmaların seminerler ve tanıtımları olmaktadır. Türkiye'nin onlar için iyi bir pazar olduğu açıktır. Bunlardan hangilerinin genel kabul göreceğini zaman ve uygulamalar gösterecektir. Dolayısıyla bu ürünlere standartlar getiren ülke şartlarını ve mevcut yapı stoğu özelliklerini dikkate alan yerel yönetmeliklerin ilgili resmi kurumlar tarafından biran önce hazırlanması gerekmektedir.

Mevcut uygulamalarda kullanılan bu elemanların çoğunluğu, yurtdışından getirildiğinden hem malzeme maliyetleri hem de dışarıdan alınan teknik destekten dolayı çok pahalıya mâl olmaktadır. Uygulama yaygınlaştığında yabancı firmaların ülkemizde üretim yapmaları söz konusu olabilecek ve projelendirme de yerli mühendisler tarafından yapıldığında maliyetler azalacaktır. Ayrıca özellikle kauçuk izolatörlerin her türünü yerli teknoloji ile yapmak mümkün olduğundan bu tür girişimler desteklenmelidir. Yeni yerli malzemelerin üretilmesi için disiplinler arası projeler desteklenmeli, hatta bu konuda ilgili kurumlar görevlendirilmelidir.

Özetlemek gerekirse ülkemiz şartlarında sismik izolasyon, aktif ve pasif yapısal kontrol sistemle-

rinin uygulama/gelişim süreci değerlendirilmeli bu sürecin sağlıklı gelişimi için gerekli standartlar oluşturulmalı, yerli üretim için ARGE faaliyetleri desteklenmeli ve bilginin elde edilmesi ve dağıtılması sağlanmalıdır.

8. KAYNAKLAR

- [1] G. W. Housner, L.A. Bergman, T.K. Caughey, A.G. Chassiakos, R.O. Claus, S.F. Masri, R.E. Skelton, T.T. Soong, B.F. Spencer and J.T.P. Yao 1997. *Structural Control: Past, Present and Future*, *Journal of Engineering Mechanics*, September 897-971
- [2] Soong, T.T. and Constantinou, M.C., 1994. *Passive and active structural vibration control in civil engineering*, Springer-Verlag, New York
- [3] Soong, T.T. and Dargush, G.F., 1997. *Passive energy dissipation system in structural engineering*, John Willey&Sons, New York
- [4] Whittaker, A.S., Bertero, V.V., Thompson, C.L. and Alonso, L.J., 1991. *Seismic testing of steel plate energy dissipation devices*, *Earthquake Spectra*, 7(4), 563-604
- [5] Pall, A.S. and Marsh, C., 1982. *Response of friction damped braced frames*, *J. of struct. div.*, ASCE, 108(6), 1313-1323
- [6] Shen, K.L., and Soong T.T., 1995. *Modeling of viscoelastic dampers for structural application*, *J. Engrg. Mech.*, ASCE, 121(6), 694-701
- [7] Chang, K.C., Chen, S.J., Hsu, C.J., Chou, F.P. and Lai, M.L., 1994. *Inelastic seismic behavior of a three-story steel frame with added viscoelastic dampers*, *Proc. First world conf. on struct. control*, 2, TP3-117-TP3-126
- [8] Crosby, P., Kelly, J.M. and Singh, J.P., 1994. *Utilizing viscoelastic dampers in seismic retrofit of a thirteen-story steel framed building*, *Proc.*, ASCE Struct. Congr. XII, 2, 1286-1291
- [9] T.T. Soong 1990. *Active Structural Control: Theory and Practice*, Longman Scientific & Technical, John Willey & Sons
- [10] M. Bakioglu and U. Aldemir U., 2001. *A New Numerical Algorithm for Sub-optimal Control of Earthquake Excited Structures*, *Int. J. For Numerical Methods in Engineering*, 50(12), 2601-2616.
- [11] H.P. Gavin and U. Aldemir, 2001, *Behavior and Response of Auto-adaptive Seismic Isolation*, "Proc. 3rd U.S.-Japan Cooperative Research Program in Urban Earthquake Disaster Mitigation, 120-128, Seattle WA, USA.