

DEPREME DAYANIKLI YAPI TASARIMI İÇİN YENİ TEKNİKLER

Ünal Aldemir

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, Mekanik Anabilim Dalı, 34469, Maslak, İstanbul
aldemiru@itu.edu.tr

ÖZET

İnşaat mühendisliği binaları yakın zamana kadar belirsiz dinamik yüklere karşı adaptasyon kabiliyeti olmayan geleneksel pasif yapılar olarak inşa edilmişlerdir. Hatta, rijitlik ve ağırlık, yapı emniyet ve dayanıklılığının bir ölçüsü olarak düşünülmüştür. Son yıllarda ise, yapıları deprem ve şiddetli rüzgarlara karşı korumak için enerji sönmleyen sistemler, pasif, aktif ve yarı aktif sistemler geliştirilmiştir. Bu makalede, bu yeni yaklaşımlar hakkında kısa bilgiler sunulmuştur.

ABSTRACT

Civil engineering structures have been built as traditional passive structures with no adaptability to uncertain dynamic loads. Indeed, 'rigidity' and 'heaviness' have been considered as a measure of the 'safety' and 'durability'. In recent decades, new alternative approaches such as energy dissipating systems, passive, active and semiactive control systems have been developed to protect structures from earthquakes and severe winds. In this paper, a brief information about these new approaches are given.

1. GİRİŞ

Bir yapının ömrü boyunca karşılaşılabileceği deprem yüklerine karşı sağlamlığı kesin olarak belirlenebilecek bir özellik değildir. Ancak yüklerin ve yapının dayanım özelliklerinin istatistiksel değerlerine göre istatistiksel bir değerlendirme yapılabilir. Deprem ve rüzgar gibi yapıya etkimesi beklenen dinamik yüklerin de gerçek değerleri kesin olarak bilinemez, ancak istatistiksel yöntemlerle belirli bir değeri aşma olasılığı ve oluşum sıklığı hesaplanabilir. Sabit yük, faydalı yük ve sıcaklık gibi etkilerle karşılaştırıldığında bir yapının ömrü boyunca depreme maruz kalma olasılığı çok küçüktür. Çoğu yapılar beklenen şiddette bir depreme maruz kalmadan faydalı ömürlerini tamamlarlar. Dolayısıyla, tüm dünyada klasik depreme dayanıklı yapı tasarımındaki uygulama, yapının sık ve küçük şiddetteki depremleri elastik sınırlar içinde kalarak; orta şiddetteki depremleri elastik sınırların ötesinde, fakat taşıyıcı sistemde kolayca onarılabilecek önemsiz hasarlarla; çok seyrek şiddetli depremleri ise, büyük hasarla fakat taşıyıcı sistem tamamen göçmeden, can kaybı olmaksızın karşılayabilmesi şeklindedir [1].

Bu şekilde tasarlanmış bir yapının tahminlerin ötesinde olabilecek depremlere karşı güvenli olamayacağı açıktır. Nitekim, deprem yönetmeliğinde yapılan bütün iyileştirmelere rağmen Northridge(1994) ve Kobe(1995) depremleri tahmin edilenden çok daha şiddetli olduklarından çok büyük zararlara neden olmuşlardır[2]. Ayrıca çok kritik işlevi olan yapılar için de mevcut tasarımlar güvenli olmayabilir. Örneğin bir nükleer reaktörde normalde klasik tasarımda kabul edilebilen lokal hasarlara bile izin vermek mümkün değildir[3]. Bundan başka mevcut deprem yönetmeliklerinin değişen şartlara göre sürekli yenilenmeleri gerekmektedir. Örneğin Los Angeles şehrinin yakınında aktif bir fay hattı bulunduktan sonra mevcut yönetmelikler tekrar yenilenmiştir. Diğer yandan malzeme teknolojisinin gelişmesine paralel olarak yeni yapı malzemelerinin mukavemeti artarken elastisite modülleri aynı oranda artmamaktadır. Bunun doğal sonucu olarak yeni yapılar daha sağlam fakat aynı zamanda da daha esnek olmaktadır. Dolayısıyla bu tür yapılarda şiddetli dinamik yükler altında oluşabilecek büyük deplasmanların önlenmesi ve yaşam konforunun sağlanması gerekmektedir.

Mevcut tasarımların eksiklikleri ve yaşanan tecrübeler yapıların sürekli değişen dinamik etkilere karşı kendilerini adapte edebilme özelliklerinin bulunması gerektiğini ortaya koymuştur. Bu da yapı kontrolü düşüncesini gündeme getirmiştir. Aslında bu fikrin başlangıcı 100 sene önce Japonya’da yaşamış olan Prof. John Milne’ye kadar gitmektedir. Prof. John Milne’nin küçük bir ahşap evi depremden izole edebilmek için metal bilyeler üzerine yerleştirdiği bilinmektedir[2].

Yirminci yüzyılın ilk yarısı lineer sistem teorisinin geliştirilmesi ve teorisinin titreşim problemlerine ve özellikle yapı dinamiğine uygulanması ile geçmiştir. Bu çalışmaları teşvik eden en büyük etken otomobillerde ve uçaklarda kullanılan içten yanmalı makinelerin dizayn problemi olmuştur. Titreşim izolasyonu ve sönümü ise ilk kez II. Dünya savaşı sırasında efektif olarak uçaklarda uygulandı. Teknolojideki bu gelişmelerin yapı mühendisliğine girişi ise 1960’lı yıllarda başladı ve çeşitli alanlarda hızlı bir gelişme gösterdi.

2. YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ

Yapıların korunmasına yönelik modern yöntemler Tablo 1’de görüldüğü gibi üç gruba bölünebilir. Bu gruplar da kendi içlerinde farklı gruplara ayrılabilir. Bu sistemlerin yaygın olanları hakkında temel özellikler özet olarak aşağıda verilmiştir.

Tablo 1. Yapısal kontrol sistemleri

Sismik ızalasyon	Pasif kontrol	Yarı aktif ve aktif kontrol
• Düşük sönümlü kauçuk ızalatörler	• Metalik sönümleyiciler	• Aktif kuvvet veren sistemler
• Kurşunlu kauçuk ızalatörler	• Visko-elastik sönümleyiciler	• Aktif kütleli sistemler
• Yüksek sönümlü kauçuk ızalatörler	• Sürtünme tipi sönümleyiciler	• Rijitlik ve sönümü değişken sistemler
• Kayma tipi ızalatörler	• Viskoz akışkanlı sönümleyiciler	• Akıllı malzemeler
• Yaylar	• Ayarlı kütle sönümleyiciler	
	• Ayarlı akışkan sönümleyiciler	
	• Diğer sönümleyiciler	

3. PASİF ENERJİ SÖNÜMLEYİCİLER

Gelişen teknoloji ile birlikte klasik depreme dayanıklı yapı tasarımına ilk alternatif olarak pasif kontrol fikri gündeme geldi. Pasif kontrol kavramı herhangi bir dış enerji kaynağına ihtiyaç duymadan enerji yutan sistemleri içermektedir. Bu alandaki en büyük gelişmeler ise taban ızalasyon sistemleri ve diğer pasif enerji sönümleyicilerde meydana gelmiştir.

Taban ızalasyon sistemlerinin en önemli fonksiyonları yapıya gelen sismik enerjiyi kendi üzerlerinde absorbe ederek yapıya iletilen enerjiyi azaltmalarıdır. Buna imkan veren ise yatay yönde oldukça esnek düşey yönde ise rijit olmalarıdır. Taban ızalasyonlu sistemlerde yapının temel titreşim frekansı azalmakta, yani yapı depreme karşı daha uzun bir periyotla karşı koymaktadır. Bu süre yaklaşık 2 sn civarında olabilmektedir. Bunun doğal sonucu olarak oluşan büyük yatay deplasmanlar taban ızalasyon sistemleri tarafından karşılanmakta, daha rijit olan üst yapı ise rijit bir blok gibi hareket etmektedir[4].

A.B.D ve Japonya’da taban ızalasyon sistemlerinin alçak ve orta yükseklikteki yapılar için çok başarılı uygulamaları bulunmakla birlikte özellikle yüksek yapılarda birtakım kısıtlar da söz konusudur[5]. Bunlardan en önemlisi şiddetli depremlerden sonra taban ızalasyon sistemlerinde oluşan büyük kalıcı deformasyonlardır. Bu deformasyonlar sistemi kullanılamaz hale getirmekte ve P-Δ etkisi önem kazanmaktadır. Bu yüzden rüzgara hassas yüksek yapılarda viskoz veya viskoelastik pasif enerji sönümleyici elemanlar yapıya uygun şekilde yerleştirilerek deplasmanlar azaltılmaya çalışılmaktadır. New York Dünya Ticaret Merkezi’nde ve California’da birçok binada bu tür sönümleyici elemanlar kullanılmıştır.

Diğer bir pasif enerji sönümleyici eleman da ayarlı kütleli sönümleyicilerdir. Bu tür sönümleyicilerin kullanılma fikri ilk olarak 1947’de Den Hortağ[6] tarafından ileri sürülmüştür. Bu tür pasif kontrolde belirli bir frekansa özel olarak ayarlanmış yay ve sönüm elemanına sahip ikinci bir kütle esas sisteme uygun şekilde eklenmektedir. R. Villaverde[7] ayarlı kütleli sönümleyici yerleştirilmiş üç farklı yapının dokuz farklı deprem altındaki davranışlarını incelemiştir. Elde edilen sayısal ve deneysel sonuçlar farklı depremler etkisindeki aynı yapı veya aynı deprem etkisindeki farklı yapılar için ayarlı kütleli sönümleyicilerin deplasmanları azaltmada ki veriminin çok farklı olduğunu göstermiştir. Yani bazı durumlarda çok iyi performans gösterirlerken bazı durumlarda da hiç etkilerinin olmadığı görülmüştür. Bu da verimin depremlerin karakteristikleri ile çok ilişkili olduklarını göstermektedir. Depremin hakim frekansının kütleli sönümleyicinin ayarlandığı frekansa yakın olduğu durumlarda en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Kütleli sönümleyici yapının temel frekansına ayarlandığında birinci mod titreşimleri büyük ölçüde bastırılmakla beraber yüksek modlardaki titreşimler çok az düşürülebilmekte hatta artmalar bile olabilmektedir. Bu tür sönümleyicilerin frekansa olan bağlılığını azaltabilmek için farklı frekanslara ayarlanmış birden fazla sönümleyici kullanılabilir. Bir optimizasyon tekniği ile birlikte çok ayarlı kütleli sönümleyicilerin kullanılması fikri ilk olarak A. J. Clark[8] tarafından ileri sürülmüş ve bunu Xu –Igusa[9] ve Yamaguchi-Harnpornchai’nin[10] çalışmaları izlemiştir. M. Setareh[11] ise esas yapıya seri olarak bağlanmış iki ayarlı kütle kullanmıştır.

Ayarlı kütleli sönümleyici yerleştirilen ilk bina Avustralya’da Sydney kentindeki Centerpoint Tower olarak bilinmektedir. A.B.D’de ise iki binada vardır. Bir tanesi New York şehrindeki Citicorp Center diğeri ise Boston’daki John Hancock Tower binasıdır. Japonya’da ise birçok binada bu sönümleyicilerden mevcuttur[2].

4. METALİK SÖNÜMLEYİCİLER

Depremlerden dolayı yapılara gelecek olan hareketi sönümlemenin yollarından biri, metalin elastik olmayan davranışını kullanmaktır. Bu amaç için tasarlanan aletlerin çoğunda dikkörtgen veya kum saati şeklinde yumuşak çelik levhalar kullanılmıştır.

Metalik sönümleyicilerin geometrik konfigürasyonlarındaki farklılıklara rağmen bütün haller için onların enerji yutma mekanizmaları, metal elemanların elastik olmayan şekil değiştirmelerinin sonucunda olmaktadır. Böylece gerçek bir yapının dizaynında bu aletlerin yerleştirilmesi ve etkili olması için keyfi bir tekrarlı yükleme altında beklenen çevrimsel davranışı göstermeleri gerekmektedir.

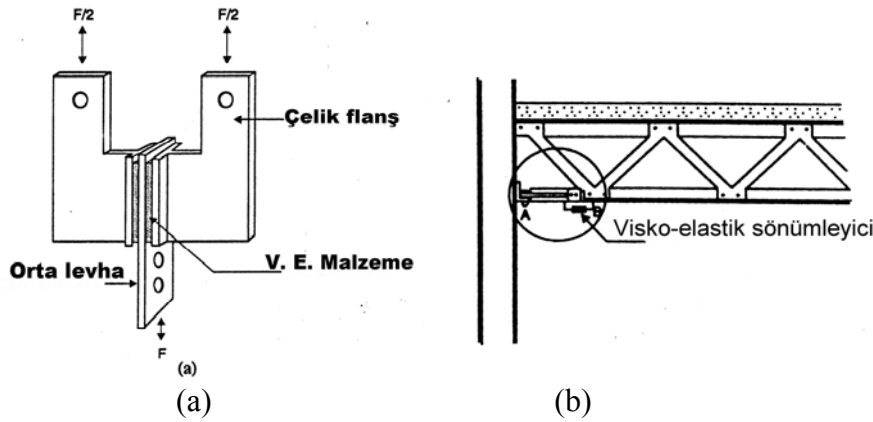
5. SÜRTÜNME TİPİ SÖNÜMLEYİCİLER

Sürtünmenin de diğer enerji yutma mekanizmaları gibi oldukça etkili olduğu bilinmektedir ve yıllardır otomobil frenlerinde kinetik enerjiyi absorbe etmek için kullanılmıştır. Sürtünme tipi sönümleyicilerin farklı mekanik ve malzeme özellikleri ile pek çok çeşidi geliştirilmiştir. Sürtünme tipi sönümleyicilerin sürtünme yüzeylerinde kullanılan malzemeler genelde; çelik üstüne çelik, çelik üstüne pirinç veya paslanmaz çelik üzerine grafit ile kaplanmış bronzdan oluşmuştur. Sürtünme yüzeyinin kompozisyonu sönümleyicinin ömrü açısından oldukça

önemli bir etkidir. Son yıllarda, sürtünme tipi sönümleyiciler yeni yapılar ve güçlendirilmesi gereken yapılarda sismik performansı artırmak için kullanılmıştır.

6. VİSKO-ELASTİK SÖNÜMLEYİCİLER

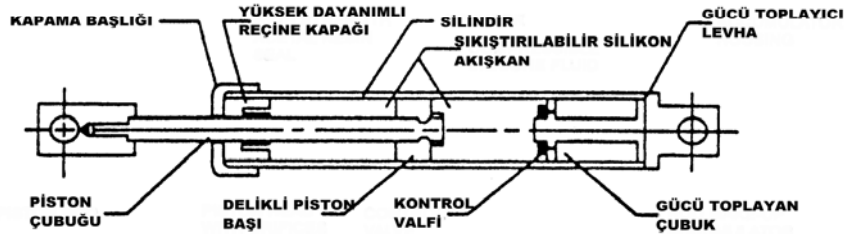
Visko-elastik malzemeler uçak çerçevelerinin titreşimini kontrol etmek için 1950'lerde kullanılmaya başlamıştır. İnşaat mühendisliğindeki ilk uygulama 11 Eylül saldırılarında yıkılan Dünya Ticaret Merkezinin İkiz Kulelerinde (1969) olmuştur. Rüzgar titreşimlerini azaltmak için yaklaşık olarak 10.000 adet visko-elastik sönümleyici monte edilmiştir (Şekil 1). İnşaat mühendisliği yapılarında kullanılan visko-elastik malzemeler, tipik karbon polimerleri veya ona benzer katı maddelerden oluşmaktadır. Visko-elastik sönümleyiciler, visko-elastik tabakaların kayma deformasyonları ile enerjiyi sönümlemektedir. Visko-elastik malzemelerin dinamik yükler altındaki davranışları titreşim frekansına, deformasyona ve sıcaklığa bağlıdır.



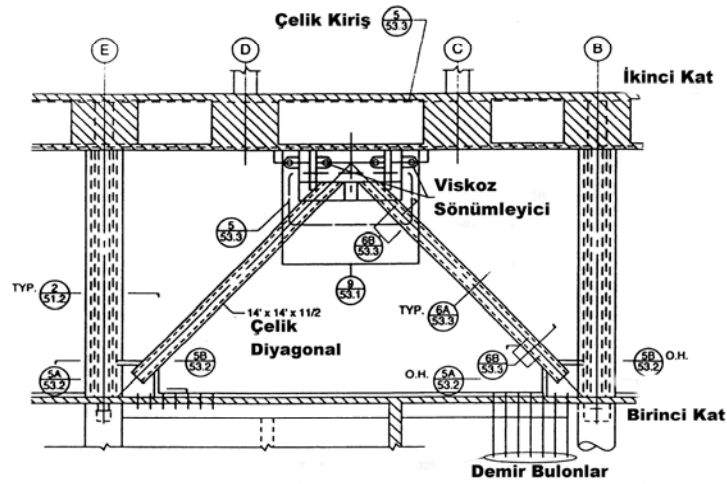
Şekil 1. (a) Visko-elastik sönümleyici (b) Dünya Ticaret Merkezinde kullanılan Visko-elastik sönümleyicilerin yerleşim detayı

7. VİSKOZ AKIŞKANLI SÖNÜMLEYİCİLER

Genel bir viskoz akışkanlı sönümleyici silikon veya yağ ile doldurulmuş bir yatak içerisinde hareket eden bir pistondan oluşmaktadır. Bu sönümleyicilerin tipik bir örneği ve yapıya uygulaması, Şekil 2 ve Şekil 3'de görülmektedir. Bu sönümleyicilerde yüksek derecede viskoz olan akışkanın içerisinde pistonun hareketi ile enerji azaltılmaktadır. Eğer akışkan tamamen viskoz ise sönümleyicinin çıkış kuvveti direkt olarak pistonun hızı ile orantılı olmaktadır.



Şekil 2. Viskoz akışkanlı sönümleyicisi



Şekil 3. İki kat arasında yerleştirilen akışkan sönümleyicisi

8. AKTİF KONTROL

Aktif kontrol sistemleri sistemde hazır bulundurulmuş dış enerji kaynakları kullanılarak yapıya daha önce belirlenen şekilde kontrol kuvvetlerinin uygulandığı sistemlerdir. Aktif kontrol kavramı orijin olarak 1960'lara gitmektedir. W. Zuk 1968'de 'Kinetik Yapı' kavramını teklif ederek aktif olarak kontrol edilen yapı ile kinetik yapı kavramlarını birbirinden ayırdı. Zuk'a göre aktif kontrollü sistemlerde yapının hareketini azaltmak için kullanılan kuvvetler yapının bizzat kendisinin oluşturulması için kullanılabilir. Bu kinetik yapı canlı bir organizma gibi hareket edebilmeli, zamanla değişen ihtiyaçları karşılayabilmek için de kendisini yenileyebilmeliydi. Hatta bu yapı fabrikada kompakt olarak oluşturulduktan sonra inşa edileceği yere götürülüp bir düğmeye basıldığında içindeki kontrol sistemini devreye sokup kendi kendini inşa edebilmeliydi[14-15].

Zuk' a göre yüksek yapıların titreşim kontrolü için aktif kontrol elemanı olarak önerilmeli tendon kullanılması ilk olarak 1960'ta Eugene Freyssinet tarafından teklif edildi. 1965'te ise Lev Zetlin aynı amaçla kablo kullanmayı önerdi. Yine 1960'ta T. Kabori. ve R. Minai şiddetli depremlere karşı yapıları korumak için 'Dinamik Akıllı Yapılar ' kavramını ortaya attı. Fakat bu konuda kontrol teorisini esas alan ilk sistematik çalışma J.T.P. Yao tarafından yapıldı[16]. J. T. P. Yao'nun öncü çalışmasında belirtildiği gibi aktif kontrol sistemi esas olarak 3 ana kısımdan meydana gelmektedir.

Birinci kısım, dış etkileri veya yapının deplasman ve hız gibi büyüklüklerini ölçmek için kullanılan duyargaları içermektedir. Bunlar optik, mekanik veya kimyasal duyargalar olabilmektedir. İkinci kısımda ölçülen bilgiyi değerlendiren ve belirli bir kontrol algoritmasına göre uygulanması gereken kontrol kuvvetlerini hesaplayan elektronik cihazlar vardır. Bunların en önemlileri bilgisayarlardır. Üçüncü kısımda ise sistemde bulundurulmuş dış enerji kaynağı kullanılarak hesaplanmış kontrol kuvvetlerini yapıya uygulayan aktif kontrol elemanları vardır.

Optimal kontrolde ise yapıya uygulanacak olan kontrol kuvvetleri belirli bir amaç fonksiyonunun minimum veya maksimum yapılmasından elde edilirler. Verilen bir dinamik sistemin optimallikinden bahsedebilmek için sistemin hangi kısıtlar altında hangi kritere göre optimal olduğunun mutlaka belirtilmesi gerekir. Çünkü optimallik kavramı seçilen amaç fonksiyonu ve problemin kısıtlarına göre değişmektedir. Yani belirli bir problem için optimal olan bir çözüm başka bir problem için optimal olmayabilir. Dolayısıyla ancak amaç fonksiyonu ve sağlanması gereken kısıtlar belirlendikten sonra verilen kısıtlar altında amaç fonksiyonunu minimum yapacak olan kabul edilebilir mümkün kontrol fonksiyonu aranabilir.

Amaç fonksiyonu belirlendikten sonra onun minimizasyonu başlar. Bunun için klasik varyasyon hesabı metodu, Pontryagin Minimum Prensibi[17] veya dinamik programlama metodu[18] kullanılabilir. Klasik varyasyon hesabı metodunda optimal kontrol için gerekli koşullar amaç fonksiyonunun birinci varyasyonunun sıfıra eşitlenmesinden elde edilirler. Pontryagin minimum prensibine göre Hamiltonian olarak verilen bir fonksiyon kontrol kuvvetine göre minimum değerini kabul edilebilir mümkün kontrol kuvvetler kümesi üzerinde alır. Pontryagin minimum prensibi kontrol kuvvetleri üzerinde kısıtların bulunduğu daha genel hal için verilmesine rağmen, kontrol kuvvetlerinin sürekli ve kısıtsız olduğu problemlere de uygulanabilir. Dinamik programlama metodu ise bütün kontrol aralığında optimal olan bir çözüm her bir alt aralıkta da optimaldir prensibine dayanmaktadır.

Yapıların aktif kontrolü ile ilgili bugüne kadar yapılmış çalışmaların büyük bir kısmı integral formda tanımlanmış kuadratik amaç fonksiyonunun kullanıldığı regülatör problemlerinin uygulamaları olan klasik aktif kontrol algoritmalarına dayanmaktadır. Bu çalışmalarda optimal kontrol kuvveti durum ve kontrol vektörlerine göre kuadratik olarak integral formda seçilmiş amaç fonksiyonunun minimizasyonundan elde edilmiştir. Bu şekilde elde edilen algoritmalar sadece kontrol kuvvetinin durum vektörüne bağlı olduğu klasik kapalı-çevrim algoritması deprem etkisi altındaki yapı kontrolüne uygulanabilmektedir. Fakat, Rikkati denkleminin elde edilmesinde deprem terimi ihmal edildiğinden optimallik koşulları sağlanmamaktadır. Dolayısıyla klasik kapalı-çevrim algoritması yaklaşık olarak optimaldir[19].

Kontrol kuvvetinin deprem ivmesine de bağlı olduğu kapalı-açık çevrim ve açık-çevrim algoritmaları kapalı-çevrim kontrolünden üstün olmakla beraber uygulanmaları mümkün değildir. Çünkü bu algoritmalar kontrol aralığının tamamında depremin önceden bilinmesini gerektirmektedirler. Bilindiği gibi deprem ivmesi ölçülebilmekle beraber önceden kesin olarak bilmek mümkün değildir. Dolayısıyla deprem etkisi altındaki yapılar için optimal kontrolü kesin olarak bulmak mümkün değildir.

Klasik aktif kontrol algoritmalarının bu eksikliğine karşı çeşitli kontrol algoritmaları önerilmiştir[20-22]. Bunlardan bir tanesi de J. N. Yang tarafından önerilen ani optimal kontrol algoritmalarıdır. Bu algoritmalar optimal kontrol kuvveti entegral tipli fonksiyonel yerine zamana bağlı kuadratik skaler fonksiyon olarak seçilmiş amaç fonksiyonunun minimizasyonundan elde edilmektedir. Bu durumda çözümü birtakım güçlükler içeren matris Rikkati denkleminin çözülmesine gerek kalmamaktadır.

Kapalı-açık çevrim tipinde diğer bir çalışma M. Kawahara ve K. Fukazawa tarafından yapılmıştır[23]. Bu çalışmada yapıların optimal kontrol problemi dinamik programlama

metodu kullanılarak izleme problemi şeklinde incelenmiştir. H. Iemura yapı ve zemini tek bir sistem olarak ele almış ve stokastik kontrol teorisinden yararlanarak yeni bir kapalı-açık çevrim algoritması önermiştir[24]. T. Sato ise yapıya gelen sismik enerjiyi hesaba katan yeni bir ani kapalı-açık çevrim algoritması teklif etmiştir[25].

Yapı kontrolü için tanımlanan lineer regülatör probleminin optimallığın yeterli koşulları [26-27] kullanılarak çözümü ve kesin çözümü bulunamayan klasik kapalı-açık çevrim kontrol algoritmasının yaklaşık çözümü depremin yakın-gelecek ivme değerlerinin tahminine dayalı olarak Aldemir ve Bakioğlu[28-29] tarafından verilmiştir.

9. KARMA KONTROL

Karma kontrol hem aktif hem de pasif kontrol elemanlarının birlikte kullanıldığı sistemleri içermektedir. Karma kontrolün esas amacı pasif kontrol sistemlerinin performansını iyileştirmek veya aktif kontrol sisteminin ihtiyaç duyabileceği fazla enerji miktarını azaltmaktır. Örneğin taban ızalasyonlu bir yapıda taban ızalasyonuna bir aktif kütleli sönümleyici bağlanmış ise bu bir karma kontrol uygulamasıdır ve esas amaç taban ızalasyonunu kalıcı deformasyonlardan korumaktır.

10. YARI AKTİF KONTROL

Yarı aktif sistemler çok az bir enerji ile elektrik veya manyetik alan şiddetleri değiştirilerek malzemenin mekanik özelliklerinin kontrolü prensibi ile çalışmaktadır. Aktif kontrol sistemlerine göre dış enerji ihtiyacı çok daha az olan yarı aktif kontrol sistemleri en etkileyici 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 ve aktif sistemlere bir alternatif olabileme potansiyeline sahiptir.

11. SONUÇLAR

Bu çalışmada yapıların depreme karşı korunması için dünyadaki son gelişmeler ve sistemler hakkında çok öz olarak kısa bilgiler verilmiştir. Sistemler hakkında daha geniş bilgi Aldemir ve Aydın[30] tarafından sunulmuştur. Her bir sistem hakkında literatürde pek çok makale ve hatta kitaplar bulma mümkündür. Özellikle ABD, Japonya ve Avrupa'da yaygın bir uygulama alanı bulan bu teknolojilerin, büyük bölümü deprem kuşağı içinde bulunan ülkemizde de kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir. İstanbul Atatürk Hava Limanı Dış Hatlar Terminali, İstanbul Tarabya oteli, Bolu Dağı viyadükleri ve 1999 Marmara depreminden sonra inşa edilen İzmit Devlet Hastanesi ülkemizdeki uygulamaların ilk örnekleridir. Sistemlerin yurtdışında üretilmesi maliyetleri artırmaktadır. Yerli üretim için disiplinler arası ortak projeler desteklenmeli, hatta bu konuda ilgili kurumların görevlendirilmesi sağlanmalıdır. Ülkemiz koşullarına uygun şartnameler hazırlanmalı ve üniversitelerdeki ARGE faaliyetleri teşvik edilmelidir.

KAYNAKLAR

- [1] Celep, Z., Kumbasar, N. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul, 1993.
- [2] Housner GW, Bergman LA, Caughey TK, Chassiakos AG, Claus RO, Masri SF, Skelton RE, Soong TT, Spencer BF, Yao JTP. Structural Control: Past, Present and Future. ASCE Journal of Engineering Mechanics, 123(9): 897-958, 1997.
- [3] Soong TT., Active Structural Control: Theory and Practice, Longman Scientific and Technical, Essex, England, 1990.
- [4] Yang JN., Danielians A. Aseismic Hybrid Control System for Building Structures Under Strong Earthquake, J. of Intell. Mater. Syst. and Struct., Vol. 1, 1990.
- [5] Yang JN., Danielians A., Liu SC., Aseismic Hybrid Control of Nonlinear and Hysteretic Structures I, ASCE J. Engrg. Mech. Vol. 118(7), pp. 1423-1440, 1992.
- [6] Den Hartog, JP., Mechanical Vibrations, Mc Graw - Hill, Inc., New York, N.Y, 1947.
- [7] Villaverde, R., Seismic Control of Structures with Damped Resonant Appendages, Proc. First World Conf. on Struct. Control, Vol.1, WP4- 113, WP4-122, 1994.
- [8] Clark, A. J., Multiple Passive Tuned Mass Damper for Reducing Earthquake Induced Building Motion, Proc. 9th World Conf. on Earthquake Engrg., Vol.5 , pp. 779-784, 1988.
- [9] Xu, K., Igusa, T., Dynamic Characteristics of Multiple Sub-structures Under Closely Spaced Frequencies, Earthquake Engrg. and Struct. Dyn. 21, pp. 1059-1070, 1992.
- [10] Yamaguchi, H., Harnpornchai, N., Fundamental Characteristics of Multiple Tuned Mass Dampers for Suppressing Harmonically Forced Oscillations, Earthquake Engrg. and Struct. Dyn. 22, pp. 51-62, 1993.
- [11] Setareh, M., Use of the doubly-tuned Mass Dampers for Passive Vibration Control, Proc. First World Conf. on Struct. Control, Vol.1, WP4-12, WP4-21, 1994.
- [12] Pall, A.S. and Marsh, C., Response of friction damped braced frames, J. of struct. div., ASCE, 108(6), 1313-1323, 1982.
- [13] Constantinou, M.C., Symans, M.D., Tsopelas, P. and Taylor, D.P., Fluid viscous dampers in applications of seismic energy dissipation and seismic isolation, Proc., ATC 17-1, Seminar on seismic isolation, passive energy dissipation and active control, 2, 581-592, 1993.
- [14] Zuk, W., Kinetic Structures, Civil Engineering 39, pp. 62-4, 1968.
- [15] Zuk, W., Clark, R.H., Kinetic Architecture, Von Nostrand Reinhold, New York, 1990.
- [16] Yao, J. T. P., Concept of Structural Control, J. Struc. Div., ASCE 98, pp. 1567-74, 1972.
- [17] Pontryagin, L. S., and Boltianski, P.V., Mathematical Theory of Optimal Processes, Fizmagtiz, Moscow, 1962.
- [18] Bellmann, R., Dynamic Programming, Princeton University Press, Princeton, N . J, 1957.

- [19] Yang, J.N., Akbarpour, A., and Ghaemmaghami, P., New Optimal Control Algorithms for Structural Control, J. Eng. Mech., ASCE, Vol. 113, No.9, pp. 1369-1386, 1987.
- [20] Masri S. F., Bekey B. A., and Caughey T. K., Optimal Pulse Control of Flexible Structures. ASME, J Applied Mechanics 48: 619-26, 1981.
- [21] Lee S. K. and Kozin F., Bounded State Control of Structures with Uncertain Parameters. ASCE, Dynamic Response of Structures, pp.788-94, New York, 1986.
- [22] Rodellar J., Barbat A.H., and MartIn-Sanchez J. M., Predictive Control of Structures. ASCE J. Engineering Mechanics 113:797-817, 1987.
- [23] Kawahara, M., and Fukazawa, K., Optimal Control of Structure Subject to Earthquake Loading Using Dynamic Programming, Structural Eng./ Earthquake Eng. Vol. 6, No. 1, (Proc. of JSCE No. 404/I-11), pp. 179-190, 1989.
- [24] Iemura, H., Yamada, Y., Izuna, K., Iwasaki, Y. and Ohno, S., Phase-Adjusted Active Control of Structures with Identification of Random Earthquake Ground Motion. U.S. Workshop on Structural Control, Los Angeles, 1990.
- [25] Sato, T., and Toki, K., Active Control of Seismic Response of Structures, Journal of Intelligent Material Systems and Structures, Vol. I, pp. 447-475, 1990.
- [26] Krotov, V. M., Methods for Solving Variational Problems on the Basis of the Sufficient Conditions for an Absolute Minimum. I, Autom.Remote Control (Translated from Avtomatika i Telemekhanika) Vol. 3, 12, pp. 1571-1583, 1962.
- [27] Krotov, V. M., Global Methods in Optimal Control Theory, Marcel Dekker, Inc. N.Y., New York, 1996.
- [28] Bakioglu M, Aldemir U. A new numerical algorithm for sub-optimal control of earthquake excited structures. International Journal For Numerical Methods in Engineering, 50(12): 2601-2616, 2001.
- [29] Aldemir U, Bakioglu M, Akhiev SS. Optimal control of linear structures. Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 30(6): 835-851, 2001.
- [30] Aldemir U, Aydın, E., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar, TMH Türkiye Mühendislik Haberleri, 435:81-89, 2005.