

Yapıların Aktif ve Pasif Kontrolü: Matlab Simulink Uygulamaları

Editörler
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELİ



iuc-universitypress.org

IUC
UNIVERSITY
PRESS

Yapıların Aktif ve Pasif Kontrolü: Matlab Simulink Uygulamaları

Bu kitap, Cumhuriyetimizin kuruluşunun 100. yılı anısına “*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*” projesi kapsamında İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa tarafından yayımlanmıştır.

Editörler

Gebrail Bekdaş
Sinan Melih Nigdeli

Nisan 2024



Yapıların Aktif ve Pasif Kontrolü: Matlab Simulink Uygulamaları

Editör: Gebrail Bekdaş

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: bekdas@iuc.edu.tr

Editör: Sinan Melih Nigdeli

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: melihnig@iuc.edu.tr

Yayıncı



Adres: Üniversite Mahallesi, 34320 İstanbul/Türkiye

E-posta: iucpress@iuc.edu.tr

E-ISBN: 978-605-7880-70-3

DOI: 10.5151/3100

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversite Yayınevi Seri No: 54

Yayıncılık Hizmetleri



© 2024. Telif hakkı yazarlara aittir. Bu kitaptaki bölümler açık erişimli olup Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı altında dağıtılmaktadır. Bu lisans kullanıcılara, bölümleri herhangi bir amaç için indirme, çoğaltma ve yayımlanan bölümler üzerinde çalışma imkânı sunar. Böylece yayınlarımızın en geniş şekilde yayılmasını ve daha geniş bir etkiye sahip olmasını sağlar.

Sorumluluk Reddi

Kitapta yayımlanan metinlerin/bölümlerin ifadeleri veya görüşleri yazar(lar)ın ve editör(ler)in görüşlerini yansıtır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa yazarların içeriğinden sorumlu değildir. Yayımlanan kitaplardaki çalışmaların doğru ve iyi araştırılmış olması ve metinlerde ifade edilen görüşlerin tutarlılığı yazar ve editörlerin sorumluluğundadır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, yazarlara çalışmalarını bilimsel toplulukla paylaşmak için bir platform sağlamaktadır.

Atıf için: Bekdaş, G. & Nigdeli, S.M. (Ed), *Yapıların Aktif ve Pasif Kontrolü: Matlab Simulink Uygulamaları*. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

YAZARLAR

Ayla Ocak 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

Aylin Ece Kayabekir 

*İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık
Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Gebrail Bekdaş 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

Melda Yücel 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

Muhammed Çoşut 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

Oğuz Uzdil 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

Serdar Ulusoy 

*Türk- Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat
Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye*

Sinan Melih Nigdeli 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi,
İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı,
İstanbul, Türkiye*

İÇİNDEKİLER

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ	V	2. Üç Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi	13
ÖN SÖZ	VI	3. Kırk Katlı Sistemin Modellenmesi	14
GİRİŞ.....	VII	BÖLÜM 4: AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİSİ PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU	18
BÖLÜM 1: YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ	1	<i>Melda Yücel, Sinan Melih Nigdeli, Gebrail Bekdaş</i>	
<i>Muhammed Çoşut, Gebrail Bekdaş, Sinan Melih Nigdeli</i>		1. Yöntem: Çiçek Tozlaşma Algoritması	19
1. Titreşim	1	2. Optimizasyon Problemi.....	20
2. Yapı Kontrol Sistemleri	2	3. Sayısal Örnekler.....	22
2.1. Pasif Kontrol Sistemler.....	2	BÖLÜM 5: AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİSİ PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU	26
2.1.1. Eğilmeli Metal Sönümleyiciler.....	3	<i>Ayla Ocak, Gebrail Bekdaş, Sinan Melih Nigdeli</i>	
2.1.2. Sürtünme Tipi Sönümleyiciler	3	1. Ayarlı Sıvı Sönümleyicilerin Tasarımı	27
2.1.3. Viskoelastik Sönümleyiciler	3	2. Matlab Simulink'te Deprem Simülasyonu Oluşturulması	28
2.1.4. Viskoz Sönümleyiciler	3	3. Sayısal Örnek.....	29
2.1.5. Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler	3	BÖLÜM 6: AKTİF TENDON KONTROLU VE FARKLI GERİ BESLEME PERFORMANSLARI	32
2.2. Aktif Kontrol Sistemleri	4	<i>Serdar Ulusoy, Sinan Melih Nigdeli, Gebrail Bekdaş</i>	
2.2.1. Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler	4	1. Literatür Araştırması	32
2.2.2. Aktif Tendon Kontrolü.....	4	2. Yöntem.....	33
2.2.3. Aktif Rijitlik Kontrolü.....	5	3. Nümerik Örnek	34
2.3. Yarı-Aktif Kontrol Sistemler.....	5	BÖLÜM 7: AKTİF AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİSİ PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU	39
2.4. Karma Kontrol Sistemler	5	<i>Aylin Ece Kayabekir, Gebrail Bekdaş, Sinan Melih Nigdeli</i>	
BÖLÜM 2: TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ.....	7	1. Metodoloji	40
<i>Oğuz Uzdil, Sinan Melih Nigdeli, Gebrail Bekdaş</i>		2. Nümerik Örnek	42
1. Tek Serbestlik Dereceli Kesme Binası	7		
2. Sistemin Modellenmesi.....	8		
BÖLÜM 3: ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ.....	12		
<i>Oğuz Uzdil, Gebrail Bekdaş, Sinan Melih Nigdeli</i>			
1. İki Serbestlik Dereceli Sistemin Modellenmesi.....	12		

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ

Türk milletinin bağımsızlık mücadelesi, 29 Ekim 1923'te Cumhuriyetin ilanı ile taçlanmışır. Dünya tarihine altın harflerle kazınan büyük bir mücadele sonucu elde edilen şanlı zafer, Türk milletinin hür ve bağımsız yaşama kararlılığı ile çıktığı yolda; inanç, cesaret, güven ve sınırsız fedakârlıkla gösterdiği eşsiz kahramanlıkların eseridir. Egemenliğin kayıtsız şartsız millete teslim edildiği Türkiye Cumhuriyeti, Millî Mücadele'mizin önderi Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün milletimize en büyük armağanıdır.

Cumhuriyetin kazanımlarını koruma ve milletimizin muasır medeniyetler seviyesine ulaşma hedefinde, eğitim ve bilim her zaman en büyük rehberdir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ise en büyük sorumluluk kuşkusuz üniversitelere düşmektedir.

Ülkemizin köklü ve öncü üniversiteleri arasında yer alan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa; bilimsel yaklaşımı benimseyen, bilgi üreten ve uygulamalarıyla toplumun gelişmesine katkıda bulunmayı ilke edinen bir araştırma üniversitesidir. Cumhuriyet değerlerine bağlı bir yükseköğretim kurumu olarak Cumhuriyetimizin 100. yılına ithafen akademisyenlerimizin iş birliğiyle "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projesini hayata geçiriyoruz. Proje kapsamında, akademisyenlerimizin kendi uzmanlık alanlarıyla ilgili kaleme aldıkları ve İÜC Yayınevi tarafından basılan kitaplar, açık erişimle tüm toplumun faydasına sunulmaktadır. Sağlıkta mühendisliğe, sosyal bilimlerden eğitime kadar pek çok alanda hazırlanan 100 kitap; eğitim-öğretim materyali, ders kitabı olarak kullanılabilceği gibi araştırma geliştirme kapsamında yararlanılacak kaynak olarak da kullanılabilcek nitelikteki kitaplardan oluşmaktadır.

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa olarak köklü geçmişimizden aldığımız güçle Cumhuriyetimizi nice yüzyıllara taşımak için var gücümüzle çalışmaya ve üretmeye devam ediyor, 100. yılını kutladığımız Cumhuriyetin kurulmasında emeği geçen tüm kahramanlara adadığımız "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projemizi; tüm akademisyenlerin, öğrencilerin ve araştırmacıların kullanımına sunuyoruz.

Rektör
Prof. Dr. Nuri AYDIN
29 Ekim 2023

ÖN SÖZ

Her mekanik sistem gibi yapılarda da oluşan titreşimlerin azaltılması ve dolayısıyla yapıların ve içinde bulunan tüm ekipman ve eşyaların korunması mümkündür. Bunun için pasif ve aktif kontrol sistemleri kullanılabilir. Pasif kontrol sistemleri ile dış enerjiye gerek kalmadan kontrol yapılırken, zamana bağlı değişken kontrol kuvveti aktüatörler yardımıyla aktif kontrolde üretilebilmektedir.

Editörü olduğumuz bu kitabın içeriğinde yapısal kontrol sistemlerini tanımlayan bir bölümden sonra dinamik modelleme örnekleri sonraki iki bölümde sunulmuş olup, sonrasında ayarlı kütle sönümleyicileri ve ayarlı sıvı sönümleyiciler hakkında bölümler bulunmaktadır. En son olarak ise aktif kontrol sistemleri hakkında bölümler sunulmuştur. Kitabın editörleri olarak bu kitapta yazar olarak katkı sağlayan herkese teşekkürlerimizi sunarız.

Bir deprem ülkesi olan Türkiye’imizde pasif ve aktif kontrol sistemlerinin kullanımının artması ile can ve mal güvenliğinin sağlanması ve üst seviyede konfor ile yaşamın ve yapı kullanımının sürdürülmesi mümkün olacaktır. Bu eserin Cumhuriyetimizin 100. Yılında güçlü Türkiye’imizin yenilikçi yöntemler ile daha da güçlenerek bilim, teknoloji ve sanayide dışa bağımsız olmakla beraber Dünya’da öncü ve kural koyucu konumunu güçlendirmesini umut ederiz.

Millî mücadele ve egemenlik sonucunda Mustafa Kemal Atatürk’ün kurduğu Cumhuriyetimizin kuruluşunun 100. Yılına taçlandırması amacıyla İstanbul Üniversitesi – Cerrahpaşa’da oluşturulan ‘Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap’ projesinde yer almaktan gurur duyar, bu projeye destek sağlayan ve gerçekleşmesine için çabalarını eksik etmeyen herkese teşekkürlerimizi sunarız.

Büyük Önderimiz Gazi Mustafa Kemal Atatürk’ü, aziz şehitlerimizi ve gazilerimizi saygı ve rahmetle anıyoruz.

Prof. Dr. Sinan Melih NİGDELI
Prof. Dr. Gebrail BEKDAŞ

GİRİŞ

Her mekanik sistemde, yapılar içindeki titreşimleri azaltma ve böylece hem yapıları hem de bunların içinde barındırılan ekipmanı ve eşyaları koruma potansiyeli mevcuttur. Bu amaca ulaşmak için mühendisler hem pasif hem de aktif kontrol sistemlerini kullanırlar. Pasif kontrol sistemleri harici enerjiye ihtiyaç duymadan çalışır, aktif kontrol sistemleri ise zamana bağlı değişken kontrol kuvvetleri oluşturmak için aktüatörler kullanır.

Editörlüğünü yaptığımız kitabın içeriği yapılandırılmış bir şekilde ortaya çıkıyor. Yapısal kontrol sistemlerinin tanımlanmasına ayrılmış bir bölümle başlamaktadır. Bu girişin ardından sonraki iki bölümde dinamik modelleme örnekleri ele alınacaktır. Ek olarak kitapta özellikle ayarlanmış kütle sönümleyicilere ve ayarlanmış sıvı sönümleyicilere odaklanan bölümler bulunmaktadır. Bu bölümler, titreşimin azaltılmasına yönelik bu spesifik mekanizmalara ilişkin kapsamlı bilgiler sunmaktadır. Son olarak kitap, yapısal titreşimleri yönetmeye ve en aza indirmeye yönelik stratejilerin kapsamlı kapsamını tamamlayarak aktif kontrol sistemlerine ayrılmış bölümler sunmaktadır.

BÖLÜM 1

YAPISAL KONTROL SİSTEMLERİ

Muhammed ÇOŞUT
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELI

Yapısal Kontrol Sistemleri

Structural Control Systems

BÖLÜM HAKKINDA

Bu bölümde, yapıyı etkileyen deprem kuvvetlerinin azaltılması ve daha efektif bir yapı modeli elde edilmesi için kullanılan kontrol sistemi çeşitleri anlatılacaktır. Kullanılan kontrol sistemleri: Pasif kontrol sistemleri, aktif kontrol sistemleri, yarı-aktif kontrol sistemleri ve karma kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemleri zamanla gelişmekte ve farklı şekillerde uygulanmaktadır. Yapı sistemlerinde uygulanması durumunda; yapının dış etkiler altında kontrol altında kalmasını, herhangi bir zarar görmeden kullanıma devam edeceği gibi olumlu etkiler sağlayarak tehditlere karşı büyük önlemler alınmış olacaktır.

Anahtar kelimeler: Yapı, kontrol, sistem

ABOUT the CHAPTER

In this section, the types of control systems used to reduce the earthquake forces affecting the structure and to obtain a more effective building model will be explained. Control systems used: Passive control systems, active control systems, semi-active control systems and mixed control systems are used. These control systems develop over time and are implemented in different ways. In case of application in building systems; Great precautions will be taken against threats by ensuring that the structure remains under control under external influences, that it will continue to be used without any damage, and that it will have positive effects.

Keywords: Structure, control, system

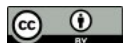
Giriş

Mühendislik tasarımları her zaman, her koşulda insan hayatını koruyacak ve yapının hasar seviyelerini sınırlı seviyelerde tutacak şekillerde yapılmaktadır. Ancak birçok uygulama hataları, kullanılan malzeme kalitesindeki istenilmeyen durumlar, korozyon etkileri, segregasyon gibi durumlar yapının normal deprem etkilerinde dahi hasar görmesine sebep olmaktadır. Bu hasarlar göçmelere sebep olabilmekte ve bunun sonucunda insan hayatı tehlikeye girmektedir. Gelişen uygulamalar ve teknoloji sonucunda bunların önüne geçmek için birçok çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda farklı kullanım amaçlarına göre, farklı kat yüksekliklerine göre uygun olacak şekilde yapı kontrol sistemleri uygulanmıştır. Yapı kontrol sistemlerinin geliştirilmesi ile deprem etkisinin yapıda istenilen seviyede yer değiştirmesi sağlanarak güvenli tarafta kalınması hedeflenmiştir. Yapı kontrol sistemleri pasif, aktif, yarı-aktif ve karma kontrol sistemleri olacak şekilde farklılık göstermektedir. Ayarlı kütle sönümleyici (TMD) sistemleri genellikle yüksek binalarda pratik bir sismik tepki kontrol çözümü olarak düşünülür [Wang ve diğ., 2001; Sadek ve diğ., 1997; Li ve diğ., 1999; Chey ve diğ., 2009]. Pasif kontrol sistemleri daha çok yapıya etkiyecek belli kuvvetlerde etkili olurken, aktif kontrol sistemler yapıya gelen dış yüklere göre kontrol bilgisayarı üzerinden hesaplamalar yaparak karşı kuvvet uygulanması sağlanmaktadır. Ancak aktif kontrol sistemlerin uygulanması ve yapılması aşamaları maliyet oranlarını çok arttırdığından karma sistemler daha fazla tercih edilmeye başlanılmıştır. Bu da sistemin uygulanması gereken kuvvetlerin hesabını aktif kontrol sisteme yaptırarak, enerji sönümleyecek aracın ise pasif kontrol sistemlerden yapılarak sağlanmıştır.

Bu bölümde farklı yapı kontrol sistemlerinin kullanıldığı binalar, kullanılma şekilleri, yapıya etkisi gibi durumlar anlatılacaktır. Bu sayede bu sistemlerin bazı yapılar için çok önemli olacağı görülecektir.

Titreşim

Bir sistemin kuvvet etkisiyle belirli hız ve büyüklüklerdeki salınım titreşim denir. Serbest titreşim ve zorlanmış titreşim olarak ikiye ayrılmaktadır. Serbest titreşim, yapıya



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Muhammed Çoşut

Gebrail Bekdaş

Sinan Melih Nigdeli

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye
E-posta: muhammedcst@gmail.com
bekdas@iuc.edu.tr
melihnig@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Çoşut, M., Bekdaş, G., Nigdeli, S.M. (2024).
Yapısal kontrol sistemleri. G. Bekdaş & S.M.
Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve pasif kontrolü:*
matlab simulink uygulamaları içinde (s. 1-5).
İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

başlangıç hareketi verilerek hareketin oluşmasını sağlamaktadır. Zorlanmış titreşim ise değişen kuvvetler ile uygulanan titreşim türüdür.

Bu titreşimler: sönümsüz serbest titreşim, sönümlü serbest titreşim, zorlanmış titreşim olacak şekilde analiz türleri bulunmaktadır. Titreşime karşı bir kuvvet yoksa sönümsüz serbest titreşim, titreşime karşı bir kuvvet varsa sönümlü serbest titreşim yani bu durumda sistemin maksimum hareketi zamanla azalır sıfırlanacaktır. Zorlanmış titreşim ise yönü değiştirilen bir kuvvet veya yer değiştirilmesine zorlanmış sistem titreşimleridir.

Yapı Kontrol Sistemleri

Sismik talepler potansiyel bir yapısal risk kaynağıdır, bu nedenle neden olabilecekleri hasarı azaltmak için yöntemler ve teknikler geliştirmek gerekir [Davalos ve diğ., 2017]. Yapılar birçok farklı durumlarda dış etkilere maruz kalmaktadırlar. Bu etkiler: deprem, rüzgâr yükü, patlama ve ani kuvvetler gibi etkiler olup yapıda hasarların oluşmasına neden olabilmektedir ve yapı emniyet durumunu etkilemektedir. Bu durum insan yaşamını tehlikeye atacak seviyelere kadar ulaşabilmektedir. Bu yüzden hasarların minimum seviyelerde tutulması ve yapı emniyetinin sağlandığı durumlar için çalışmalar yapılmıştır. Bu çalışmalar yapı kontrol sistemleri olarak bilinmekte ve genel olarak üç gruba ayrılmaktadır. Bunlar: Pasif kontrol sistemleri, Aktif kontrol sistemleri ve karma sistemlerdir. Bu kontrol sistemleri sayesinde yapılar kuvvet etkilerine karşı koyabilecek şekilde tasarlanıp yapının hasar almasını engelleyecektir. Yüksek katlı yapılar için yer değiştirme durumlarını sınırlı seviyelerde tutmaya, değerli eşyaların korunmasında etkili bir sistemdir.

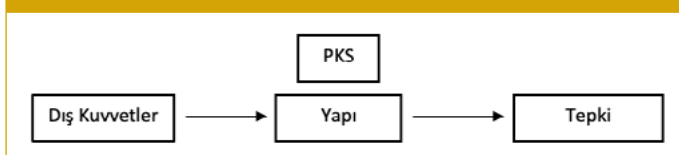
Pasif Kontrol Sistemler

Pasif kontrol sistemi; yapıların taban bölgelerine yerleştirilen yapı malzemeleri (viskoelastik ve sürtünme araçları) sayesinde deprem veya farklı dış etkilere (yüklerle) karşı, yapı temelinde büyük şekil değiştirmeler oluşturarak yapıyı etkileyen enerjiyi sönümler, yapının denge durumunu bozulmasını engeller, kesit zorlanmalarını önlenir ve yapı emniyetli tarafta kalması sağlanır. Yapı sistemi boyutlandırılmaları bölgenin depremsellik durumu, zemin yapısı, yapı türüne göre farklılık göstermektedir. Enerji sönümlenmesi; yapıya etkileyen enerjiyi kinetik enerjisine dönüştürerek ya da titreşim modlarına transfer ederek gerçekleştirilmektedir. Bu sayede yapıda göçmeler engellenerek can kaybının önüne geçilir. Bunların yanında yapıda konfor ve değerli ekipmanların korunması sağlanmış olacaktır.

Pasif kontrol sistemleri olan; eğilmeli metal sönümleyiciler, sürtünme tipi sönümleyiciler, viskoz sönümleyiciler ve viskoelastik sönümleyiciler gibi yapıların dinamik tepkisini kontrol etmek için kullanılacak çok çeşitli pasif enerji dağıtma cihazları vardır [Soneji ve Jangid, 2006].

Şekil 1

Pasif Kontrol Sistem Gösterimi

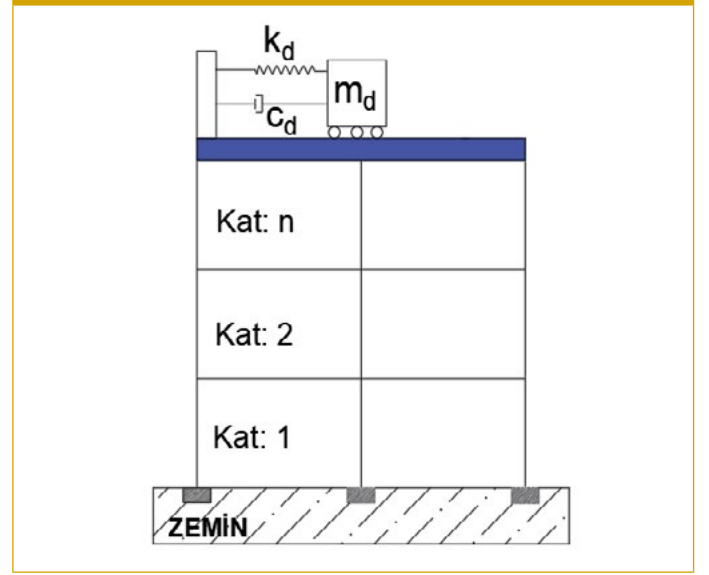


Şekil 1'de şematik olarak pasif kontrol sistemi (PKS) içeren bir sistemin blok diyagramı sunulmaktadır. Burada amaç ilave edilen PKS ile dış etki sonucunda oluşan yapı tepkisinin en aza indirilmesidir. Bu nedenden dolayı kontrol sistemleri optimum olarak ayarlanarak amacını gerçekleştirecek şekilde tasarlanmalıdır.

Şekil 2'de is örnek olarak m_d , k_d and c_d ile gösterilen kütle, rijitlik ve sönüm katsayısı olan bir ayarlı kütle sönümleyici ir çerçeve yapı üzerine yerleştirilmiştir. Tablo 1'de ise bu sistemin pratikte yapılan önemli uygulamaları listelenmiş ve bu yapılara örnek Şekil 3'te yapı fotoğrafları verilmiştir.

Şekil 2

Pasif Kontrol Sistemi Örneği



Tablo 1

Pasif Kütle Sönümleyici Uygulamaları

Yapı	Yükseklik (açıklık)	Yer	Yıl
One Wall Centre	157.8 m	Vancouver, Kanada	2001
Shangai Tower	632 m	Shangai, Çin	2014
Millenium Bridge	144 m (açıklık)	Londra, İngiltere	2000
Taipei 101	508.2 m	Taipei, Tayvan	2003
432 Park Avenu	425.5 m	New York, ABD	2015
Comcast Tower	297 m	Philadelphia, ABD	2008
Hotel Burj-Al-Arab	321 m	Dubai, BAE	1997
Citigroup Center	279 m	New York, ABD	1977
John Hancock Tower	240 m	Boston, ABD	1976
Park Tower	257 m	Chicago, ABD	2000

Şekil 3

[a] Burj Al Arab ,[b] Taipei 101

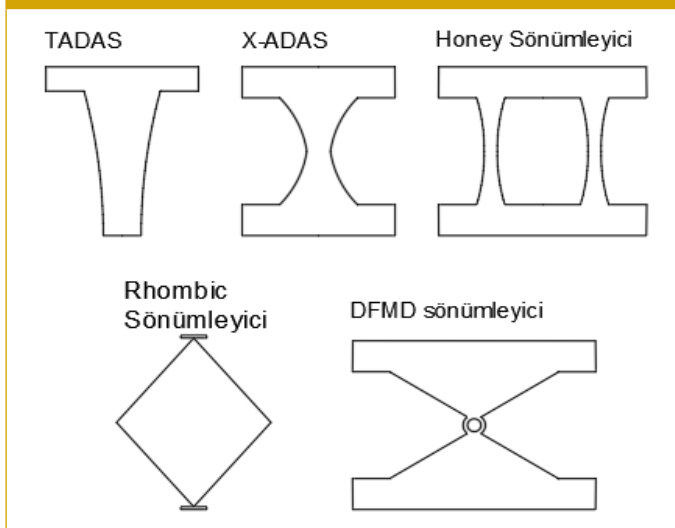


Eğilmeli Metal Sönümleyiciler

Enerji sönmelenmesinde metallerin histerik davranışlarından faydalanılır ve bu sayede elastik olmayan davranışın kullanımı sağlanır. Kat ötelemeler sonucu oluşan eğilme, kesme ve aksel kuvvetleri karşılayacak şekillerde tasarımları yapılmaktadır. Bu tasarımlar genel olarak; dikdörtgen, üçgen veya X şeklinde olacak şekilde tasarlanmış ve gerilmelerin malzeme içerisinde eşit dağılmasına önem verilmiştir[Aldemir ve Ersin, 2005]. Sistemde uzun süre çalışması, sıcaklık farklarına ve çevre koşullarına karşı dayanıklı olması kullanımının yaygınlaşmasını sağlamaktadır. Şekil 4'te farklı şekillerdeki metal sönümleyiciler gösterilmektedir.

Şekil 4

Metal Sönümleyici Çeşitleri



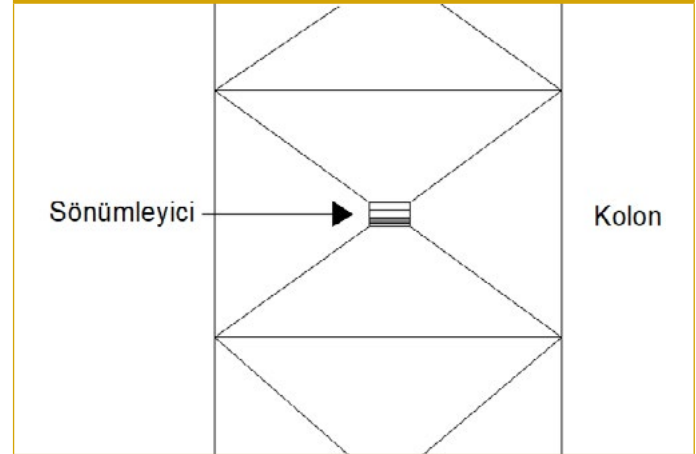
Sürtünme Tipi Sönümleyiciler

Sürtünme tipi sistemler yapıya eklendiklerinde yapıyı etkileyen kinetik enerjiyi ısı enerjisine dönüştürerek enerji sönmelenmesini gerçekleştirir[Melik, 2002]. Genel olarak çelik alaşımları ve

metaller çapraz bağlantı şeklinde kullanılarak sistem oluşturulur. Kullanılan elemanlardaki kayma sürtünmeleri ile sönm sağlanır. Oluşturulan tasarım malzeme özellikleri sayesinde yapıyı etkileyen yüklerden dolayı oluşacak gerilme sonucunda genlik ve frekans gibi durumlardan belirgin şekilde etkilenmeyecektir. Bu tip sönümleyicileri yerleşimi ve konumlandırılması Şekil 5'te gösterilmiştir.

Şekil 5

Sürtünme tipi Sönümleyici



Viskoelastik Sönümleyiciler

Viskoelastik sönümleyiciler hem deprem kuvvetlerine karşı hem de rüzgâr yüklerine karşı kullanılabilirler. Yapının sönmünü arttırdığı gibi yanıl rijitliği de arttırmaktadır. Kullanılan sistem levha hareketlerinden dolayı oluşan kayma gerilmelerinde sağlanan enerjiyi sönm enerjisine dönüştürmektedir. Metal plakalar arasındaki elastomerlerin gerilme prensibi ile çalışmaktadır. 1950'lerde uçaklarda oluşan titreşimleri önlemek için kullanılmaya başlandı. Bu aşamadan sonra gelişme göstererek farklı şekillerde ve yerlerde kullanılmaya başlandı. İnşaat mühendisliği alanında ilk kez İkiz Kulelerde (1969) kullanılmıştır[Aldemir ve Ersin, 2005]. Bu tür yüksek katlı yapılarda rüzgâr kuvvetlerinin çok etkisi olmaktadır ve tasarım aşamasında bu durumda göz önünde bulundurulmalıdır. Viskoelastik sönümleyiciler aracılığıyla rüzgâr titreşimleri kontrol altına alınmış olacaktır.

Viskoz Sönümleyiciler

Viskoz sönümleyiciler; deprem yükleri ve rüzgâr yüklerinin oluşturdukları titreşimleri azaltmak için kullanılmaktadır. Viskoz sönümleyicilerde yapıyı etkileyen sismik enerji, piston haznesi içinde akışkan sıvının hareketi ve yer değiştirmesiyle birlikte ısı enerjisine dönüşerek emilimi yapılır. Yapıda oluşan gerilme ve enerjiyi akışkan viskoz hareketi ile azaltır. Akışkan malzeme olarak damperlerde; silikon, kurşun ya da yağ kullanılmaktadır.

Pasif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

Bu sönümleyici yay ve sürtünme elemanlarıyla uyumlu olan ve yapıya eklenen ilave bir ağırlık içermektedir. Yapıyı etkileyen deprem ve rüzgâr kuvvetlerine karşı kullanılmaktadır. Yapıyla yakın frekansta titreşir ve enerjiyi sönmleyerek yapının güvende kalmasını sağlar.

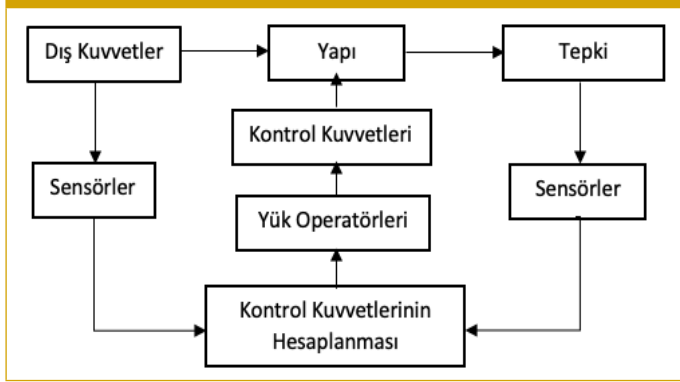
Aktif Kontrol Sistemleri

Zamanla gelişen dünya koşullarında yapının dış yüklere karşı sadece emniyetli tarafta kalmasının (göçme olmadan) yanı sıra yapı içindeki değerli malzemelerin veya eşyaların korunması da hedeflenmektedir. Pasif kontrol sistemlerinden farklı olarak yapıya etkiyen kuvvete göre, kontrol bilgisayarı kullanılarak etkili bir sistem oluşturulmasıdır. Kontrol sistemi depremin büyüklüğüne göre düzenlenir bu sayede yapı hareketi kontrol alınır[Şahin, 1999]. Kontrol bilgisayarları, yapıya etkiyen kuvvetler sonucunda oluşan titreşimlere göre algoritmalar kullanarak hesaplamalar sonucunda kontrol sistem, hareketini, yönünü ve şiddetini belirler. Bu değişimleri rijitlik değiştirme ve kütle sönümleyiciler aracılığıyla yapmaktadır.

Aktif kontrol sistemlerinin kullanılma sebepleri olarak yapının titreşimlerini belirli seviyelerde tutmak ve pasif kontrol sistemleri kadar yer kaplamaması gösterilebilir. Pasif kontrol sistemlerinde yapı bazı sabit yükler için hesabı yapılarak tasarımı gerçekleştirilir ve bu şekilde yapılması yapı üzerine gelebilecek ekstra yükler sonucunda hasar görmesine sebep olacaktır. Bu durumun önüne geçmek için, bazı önemli yapıların (hastaneler, nükleer enerji santralleri) içinde bulunan değerli malzemeleri korumak için ve farklı frekans aralıklarında çalışması gibi nedenlerden dolayı tercih edilmektedir.

Şekil 6

Aktif Kontrol Sistem Gösterimi



Tablo 2

Aktif Kütle Sönümleyici Uygulamaları

Yapı	Yükseklik	Yer	Yıl
Canton Tower (Guangzhou TV Tower)	600 m	Guangzhou, China	2010
Rokko Island Procter and Gamble	117 m	Kobe, Japan	1993
Shanghai World Financial Center	492 m	Shanghai, China	2008
C Office Tower	130 m	Tokyo, Japan	1993
Incheon International Airport Control Tower	100.4 m	Incheon, Kore	2001
Ando Nishikicho	68 m	Tokyo, Japan	1993

Aktif kontrol sisteminin kullanılmasında bazı istenilmeyen durumlar da mevcuttur. Bunlar; yapıya etkiyen kuvvetin geç algılanması, kontrol sisteminin bağlı olduğu enerji kaynağının sürekli enerjisi sağlayabilecek olması gibi sebepler yapı kontrol sisteminin maliyetini arttırmaktadır.

Aktif kontrol sistemlerinin genel olarak 3 farklı kullanılma yöntemi vardır. Bunlar: aktif kütle sönümleyicileri, aktif tendon kontrolü ve aktif rijitlik kontrolü olarak ayrılmaktadır. Şekil 6'de aktif kontrol sistem çalışma prensibi gösterilmiştir.

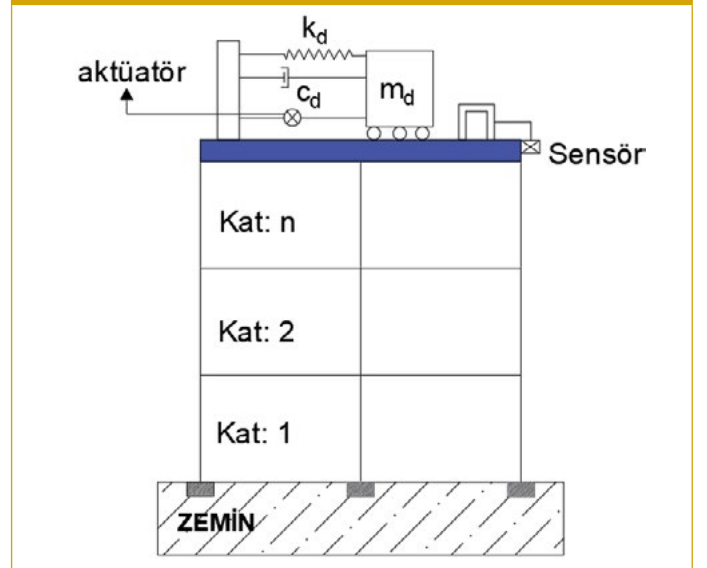
Tablo 2'de aktif kütle sönümleyicilerinin uygulandığı yapı örnekleri ve bu yapıların bazı özellikleri gösterilmiştir.

Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

Yüksek katlı yapılarda deprem ve rüzgar kuvvetlerine karşı geliştirilmiş bir sistemdir. Çalışma prensibi geri beslemeli kontrol sistemi ile çalışmaktadır. Pasif kontrol sistemi sadece 1. mod olan hakim periyoda göre çalışma prensibi bulunmaktadır. Ancak bu yöntem frekans etki aralığı daha geniş olduğundan dolayı diğer mod durumlarını da etkin bir şekilde performans göstermektedir. Şekil 7'de sensör ve aktüatör aracılığıyla yapıya etkiyen kuvvete göre karşı kuvvet oluşturma mekanizması görülmektedir.

Şekil 7

Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyiciler

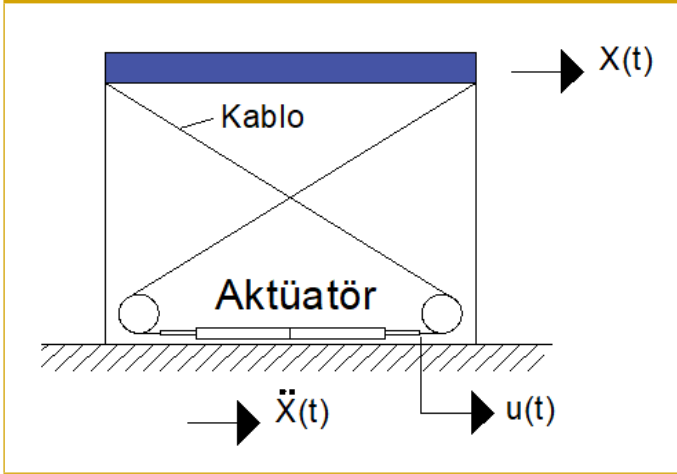


Aktif Tendon Kontrolü

Aktif tendon sistemi önerilmeli kablolardan ve aktüatörlerden oluşmaktadır. Yapının farklı yerlerine yerleştirilen sensörler aracılığıyla kontrol mekanizmasına sinyaller gönderilir. Yapıya etkiyen kuvvetler sonucunda kontrol mekanizması gelen sinyale göre hesaplamalar yaparak dış etkiyi azaltacak şekilde direkt kuvvetler uygulanır. Bu kontrol sistemi, yapıya sonradan eklenilmesi gereken elemanların fazla olmamasından dolayı çok tercih edilmektedir. Şekil 8'de sistem gösterilmiştir.

Şekil 8

Aktif Tendon Kontrolü

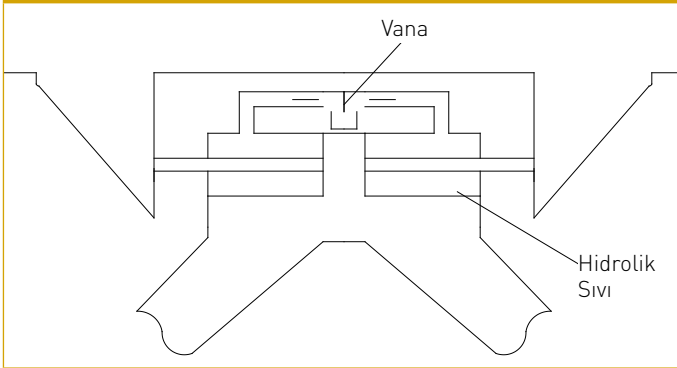


Aktif Rijitlik Kontrolü

Bu kontrol sistemi yapıya etkiyen kuvvet sinyallerine göre bilgisayar tarafından hesaplamalar yapılarak etkilenecek kuvvetler belirlemektedir ve giriş ile bağ arasındaki bağlanma şartları değiştirilerek kontrol sağlanmaktadır. Genel olarak yüksek katlı yapılarda kullanılmaktadır. Bu sistem hidrolik silindir ve vanadan oluşmaktadır. Sistemde bulunan yağın hareketi sayesinde vananın açıklık durumu ayarlanır ve vananın açık veya kapalı olması her kat için farklılık gösterebilmektedir. Bu da farklı katlar için farklı rijitlikler oluşturmaktadır. Şekil 9'da aktif rijitlik için açık vanalı sistem gösterilmektedir.

Şekil 9

Aktif Rijitlik Kontrolü



Yarı-Aktif Kontrol Sistemler

Aktif kontrol sistemlerinin yüksek enerji dezavantajlarından dolayı kontrol kuvvetinin daha kısıtlı olduğu yarı-aktif kontrol sistemleri kullanılabilir. Bu sistemler bir akü ile desteklenebilir. Genel olarak çalışma prensipleri, bir sönümleme sisteminin özelliklerini değiştirerek kısıtlı da olsa zamana göre değişen kontrol kuvveti sağlamaktadır. Bu sistemlere manyetoreolojik sönümleyiciler gösterilebilir.

Bir manyetoreolojik sönümleyici, genellikle bir elektromıknatis

kullanılarak bir manyetik alan tarafından kontrol edilen manyetoreolojik sıvı ile doldurulmuş bir sistemdir. Bu, amortisörün sönümleme özelliklerinin elektromıknatisin gücünü değiştirerek sürekli olarak kontrol edilmesini sağlar. Elektromıknatis yoğunluğu arttıkça sönümleyici içinde sıvı viskozitesi artar.

Karma Kontrol Sistemler

Aktif kontrol sistemleri yapı sistemleri için kullanılmasında maliyet sorunlarının oluşmasına sebep olmaktadır. Bu yüzden yapılar da kullanılan sistemlerin maliyetini düşürmek için; aktif ve pasif kontrol sistemlerinin önemli özellikleri bir araya getirilerek yapıyı dış yüklerle karşı olumsuz etkilerden en iyi şekilde koruması amacıyla geliştirilmiştir. Bu şekilde pasif kontrol sistemlerine; sensör, aktüatör ve kontrolör eklenerek oluşturulmaktadır [Kayabekir ve diğ., 2020]. Aktif kontrol araçları ayarlanabilir olması ve pasif kontrol sistemlerinin güvenli oluşu karma kontrol sisteminin etkin şekilde kullanılmasına faydalı olmuştur.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

- Aldemir A., Ersin A., Depreme Dayanıkları Yapı Tasarımında Yeni Yaklaşımlar; Türkiye Mühendislik Haberleri Sayısı 435, 2005, 81-89
- Chey M., Mander J.B., Chase J.G., Carr A., Semi-Active Tuned Mass Damper Building System: Application., *Earthquake Engineering Structural Dynamics*, 2009; 39(1): 69-89 [Crossref]
- Davalos C., Escudero C., Cano G., Hernandez V., Cruz S., Damage Modelling Of Hysteretic Energy Dissipative Devices in Building Seismic Response Control, Congreso de Métodos Numéricos en Ingeniería, 2017, 1883-1890
- Kayabekir A. E., Bekdaş G., Nigdeli S. M., Geem Z. W., Optimum Design of Pid Controlled Active Tuned Mass Damper via Modified Harmony Search, *Applied Science*, 2020, 10(8), 2976 [Crossref]
- Li Q, Cao H, Li G, Li S, Liu D. Optimal design of wind-induced vibration control of tall buildings and high-rise structures. *Wind and Structures, An International Journal* 1999; 2(1):69-83 [Crossref]
- Melik M., Deprem Etkisindeki Yapıların Aktif Kütle Sönümleyici ve Aktif Giriş Kontrol Sistemleri ile Korunması, [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü; 2002
- Sadek F, Mohraz B, Taylor AW, Chung RM. A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications. *Earthquake Engineering Structural Dynamics* 1997; 26(6):617-635. [Crossref]
- Soneji B.B., Jangid R.S., Passive hybrid systems for earthquake protection of cable-stayed bridge, *Engineering Structures*, 2006, 29(1): 57-70. [Crossref]
- Şahin M., Depreme Dayanıkları Yapı Tasarımında Pasif ve Aktif Kontrol Sistemleri, *Tasarım Kuram*, 1999, 1(1): 60-65. [Crossref]
- Wang AP, Fung RF, Huang SC. Dynamic analysis of a tall building with a tuned-mass-damper device subjected to earthquake excitations. *Journal of Sound and Vibration*, 2001; 244(1):123-136. [Crossref]

BÖLÜM 2

TEK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

Oğuz UZDİL
Sinan Melih NİGDELİ
Gebrail BEKDAŞ

Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi

Modeling of Single Degree of Freedom Systems

BÖLÜM HAKKINDA

Bu bölüm tek serbestlik dereceli kesme binalarının hareket denklemlerinin MATLAB Simulink ile çözümünü içermektedir. Bu çözüm için Simulinkte gerekli işlemleri yapan bloklar kullanılarak diyagram oluşturulacak, bu diyagram ile MATLAB scriptinde yazılan kodlar ile bu diyagramda gerekli zaman, yer değiştirme ve ivme değerleri elde edilerek Workspace'e kaydedilecektir.

Anahtar kelimeler: MATLAB, simulink, tek serbestlik dereceli sistem

ABOUT the CHAPTER

This section includes the solution of the equations of motion of single-degree-of-freedom shear buildings using MATLAB Simulink. For this solution, a diagram will be created using the blocks that perform the necessary operations in Simulink, and the necessary time, displacement and acceleration values will be obtained in this diagram with the codes written in the MATLAB script and saved in Workspace.

Keywords: MATLAB, simulink, single degree of freedom system

Giriş

Yapıların rüzgâr ve deprem gibi etkilerin altında kalması sonucunda büyük yıkımların olması, bu etkilerin tasarımında ele alınması gereken bir unsur haline getirmiştir. Bu nedenle özellikle içeriği daha önceden tahin edilmeyen ve birçok frekansta titreşim birleşimi olan deprem ivmeleri altında yapıların dinamik analizini gerekli kılmıştır. Can güvenliği yanında konfor ve mal güvenliğinin sağlanması, yapının kullanımı kesintiye uğramadan sürdürülmesi için kontrol sistemlerine ihtiyaç duyulmakta olup, bu sistemlerin başarımı deprem ivmelerinde farklı frekanstaki titreşimleri bulunması dolayısıyla ancak zaman tanım alanında yapılan analizler sonucunda anlaşılmaktadır.

Zaman tanım alanında yapılan dinamik analizlerin iterasyon yöntemini kullanması nedeni ile bu analizler uzun süreçler ve zorluklar içerebilmektedir. Bu nedenlerden dolayı işlem hacmini azaltmak büyük önem taşımaktadır. İşlemleri en aza indirgeyebilmek için kodlamanın yanında Matlab içerisindeki Simulink opsiyonu kullanılarak blok diyagramları oluşturulabilir.

Bu bölümde dinamik analizde en temel ve en küçük problem olan tek serbestlik dereceli bir kesme binası sistemin zaman tanım alanındaki analizi için hareket denkleminin Matlab Simulink ile nasıl modelleneceği açıklanmaktadır.

Tek Serbestlik Dereceli Kesme Binası

Kesme binası veya kesme çerçevesi, dinamik yükler için yapısal analizde benimsenen bir idealleştirilmiştir. Bu durumda, yatay eleman olan döşeme elemanlarının ve kirişlerin rijitliğinin, düşey elemanların yani kolonların rijitliğine kıyasla çok yüksek olduğunu varsayıyoruz. Böyle bir ideal durum olmamasına rağmen kiriş-kolon birleşimlerindeki dönme serbestlik derecelerini ortadan kaldırmaktadır. Bu nedenle, binanın salınımı, daha hızlı hesaplamaya yardımcı olan kat başına yalnızca bir serbestlik derecesi ile karakterize edilir.

Şekil 1'de tek serbestlik dereceli bir kesme binası gösterilmektedir. Bu sistemin hareket denkleminin Denklem (1)'de gösterilmiştir.



Oğuz Uzdil

Sinan Melih Nigdeli

Gebrail Bekdaş

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye

E-posta: oguz.uzdil@gmail.com

melihnig@iuc.edu.tr

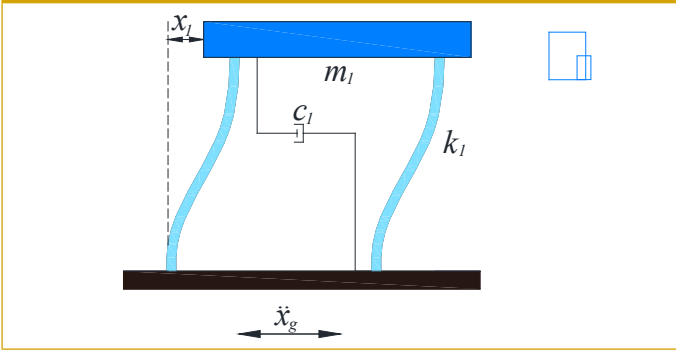
bekdas@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Uzdil, O, Nigdeli, S.M., Bekdaş, G. (2024). Tek serbestlik dereceli sistemlerin modellenmesi. G. Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve pasif kontrolü: matlab simulink uygulamaları* içinde (s. 7-10). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

Şekil 1
Tek Serbestlik Dereceli Kesme Binası



$$m_1 \ddot{x}_1 + c_1 \dot{x}_1 + k_1 x_1 = -m_1 \ddot{x}_g \quad (1)$$

k_1 : Yapı rijitliği

c_1 : Sönüm sabiti

m_1 : Yapının kütlesi

\ddot{x}_g : Yer ivmesi (deprem kaynaklı)

x_1 : Yer değiştirme

\dot{x}_1 : Hız (zamana göre 1. kısmi türev)

\ddot{x}_1 : İvme (zamana göre 2. kısmi türev)

Sistemin Modellenmesi

MATLAB programı açıldıktan sonra Home>Simulink>New>Blank Model yolu izlenerek boş bir Simulink modeli sayfası açılır. Açılan pencerede "Library Browser" kısmında çeşitli bloklar bulunur. Bu bloklar birleştirilerek elde edilecek blok diyagramları kullanılarak hareket denkleminin döngüsü Simulink'te modellenebilir.

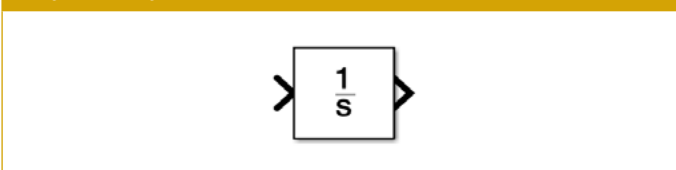
Yapının tepkisi modelleneceği için bu tepkilerden biri seçilmelidir.

İvmeyi seçersek denklem (2), bloklar kullanılarak diyagram oluşturulmak üzere Simulink'te modellenebilir.

$$\ddot{x}_1 = (-m_1 \ddot{x}_g - c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1) / m_1 \quad (2)$$

Simulink'te "Library Browser" da bulunan arama kısmına yapmak istenen işlem yazılarak ilgili bloğa erişilebilir. İntegral işlemini yapmak için buraya integrator yazarak integral işlemi yapan bloğa ulaşılır [Simulink/Continuous/Integrator: Şekil 2]. Ekranı gelen blok simgesi Simulink çalışma sayfasına sürüklenerek modellemeye başlanılır. "ctrl" komutu ile istenildiği kadar kopyalanabilir. Alternatif olarak kopyala-yapıştır yolu da izlenebilir.

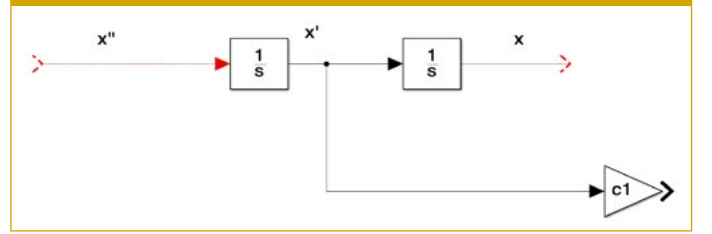
Şekil 2
İntegrator Bloğu



Bloğun solunda bulunan ok, tutulup sola doğru çekildiğinde bu ok "sinyal" olarak isimlendirilir. İsteğe bağlı olarak sinyalin o durumdaki içeriğini yazmak için çift tıklayıp isimlendirme yaptıktan sonra "enter" butonuna tıklayarak adlandırma tamamlanır.

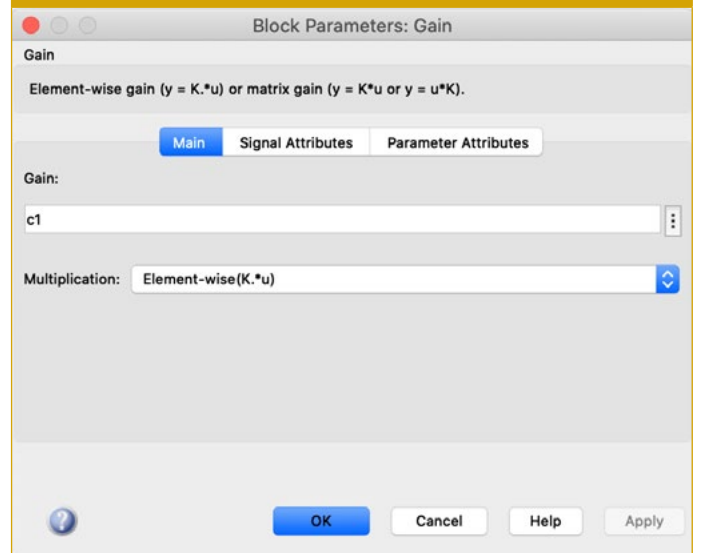
Hızı, sönüm sabiti c_1 ile çarpmak için, hızı çarpma işlemi yapan blok olan "Gain Bloğu" (Şekil 3) bağlanmalıdır. Çalışma sayfasına sürüklenen gain bloğu üzerine çift tıklanarak açılan pencerede Gain kısmına c_1 yazılır. Daha sonra MATLAB'te c_1 ifadesi tanımlanmalıdır.

Şekil 3
Gain Bloğu Bağlanmış Blok Diyagramı



Gain bloğu sonucunda açılan pencerede (Şekil 4) bazı güncellemeler yapılmalıdır. Burada Multiplication kısmında normal çarpım işlemi yapıldığında Element-wise(K.*u) seçilmelidir. Burada K çarpılan değer; yani c_1 ve u bağlanan sinyal; yani hız \dot{x}_1 değerini ifade etmektedir. "Gain Bloğu" nun simgesi olan üçgen şeklinin içinde hangi değer çarpım halinde olduğu yazmaktadır. "Gain Bloğu" ndan "ctrl" ye basarak bir tane kopyalarak x sinyalinin ucuna ekledikten sonra çift tıklayarak Gain kısmına k_1 yazıldığında ($k_1 x_1$) işlemi yapılmış olur.

Şekil 4
Gain Bloğu Ekranı

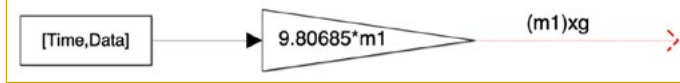


Deprem verilerinin tanımlanması için deprem datasının daha önceden "Workspace" e tanımlanması gerekmektedir. Bu deprem verisini çağırmak için de "From Workspace Bloğu" kullanılmalıdır. Bu blok eklendikten sonra üzerine çift tıklanarak açılan pencerede [Time,Data] data değerleri girilmelidir. Burada Time: zaman olan x koordinatı değerlerini (vektör) ve Data ivme olan y koordinatı

değerlerini (vektör) göstermektedir. Açılan pencereden en son değer sonunda dış etkiyi 0 yapması için From output after final data value by: Setting to zero seçilir.

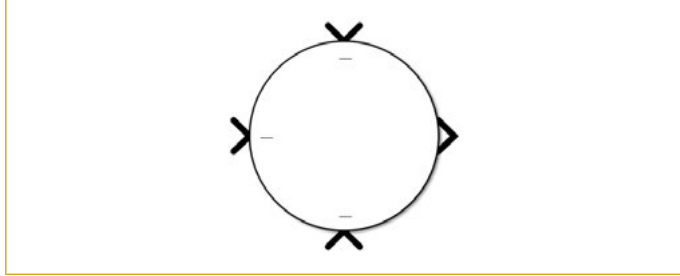
İvme dataları genelde g cinsinden olduğunda yerçekimi ivmesi ile çarpılmalıdır. m1.g işlemi çarpılması için [Time,Data] bloğunun ucuna "Gain Bloğu" eklenir (Şekil 5). Blok üzerine çift tıklanarak Gain: 9.80685*m1 yazılır. Bunun nedeni; işlemlerin m/s² cinsinden yapılması gerektiğindedir.

Şekil 5
Dış Etki Kısımının Blok Diyagramı



$m_1 \cdot \ddot{x}_g$, $c_1 \dot{x}_1$, $k_1 x_1$ ifadeleri ayrı ayrı elde edilmiştir. Bu ifadelerin toplanması gerekmektedir. Bunun için "Sum Bloğu" (Şekil 6) kullanılır. Blok eklendikten sonra çift tıklanarak açılan pencerede (Şekil 7):

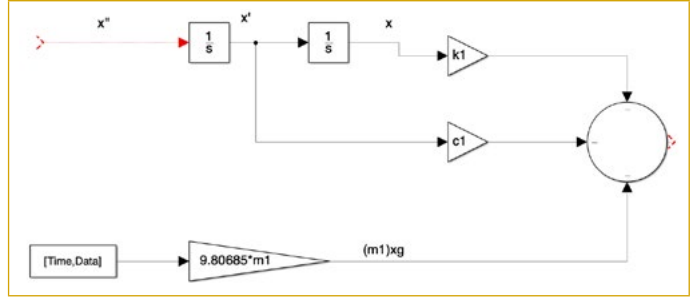
Şekil 6
Sum Bloğu



Şekil 7
Sum Bloğu Ekranı



Şekil 8
 $(-m_1 \ddot{x}_g - c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1)$ İfadesinin Elde Edilişi

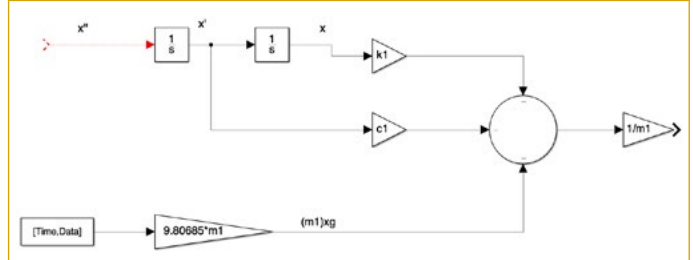


Icon Shape: Görsel amaçlı olarak daire veya dikdörtgen şekli seçilebilir.

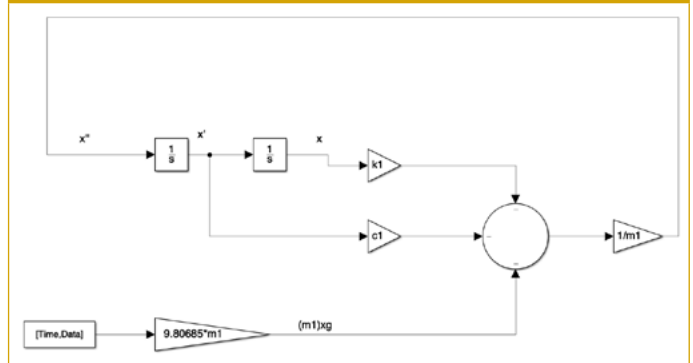
List of signs: _ _ _ (girilen sayıda bloğun belirtilen işarette işlem yapması için giriş kısmı açılır).

Buradan elde edilen Şekil 8'de görüldüğü gibi $(m_1 \cdot \ddot{x}_g, c_1 \dot{x}_1, k_1 x_1)$ ifadesidir. İvmeyi elde etmek için bu ifade m_1 'e bölünmelidir. Bölüm işlemi için çarpımda kullanılan "Gain Bloğu"nun içine $1/m_1$ yazılır. Buradan elde edilen ivme: $\ddot{x}_1 = (-m_1 \ddot{x}_g - c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1)/m_1$ (Şekil 9) ifadesidir. Son eklenen "Gain Bloğu", başlangıçtaki ivmenin (\ddot{x}_1) bağlı olduğu 1/s bloğuna bağlandığında döngü kapatılır (Şekil 10). $x_1 = (-m_1 y_g - c_1 x_1 - k_1 x_1)/m_1$

Şekil 9
 $\ddot{x}_1 = (-m_1 \ddot{x}_g - c_1 \dot{x}_1 - k_1 x_1)/m_1$ İfadesinin Elde Edilişi



Şekil 10
İvme Denkleminin Blok Diyagramı



Buradaki blok diyagramından elde edilen sonuçları "Workspace"e yazdırmak için "to Workspace Bloğu" kullanılır. Bu blok eklendikten sonra çift tıkladığında açılan pencerede aşağıdaki bölümler tanımlanır.

Variable name: a (ivme için)

Yapıların Aktif ve Pasif Kontrolü: Matlab Simulink Uygulamaları

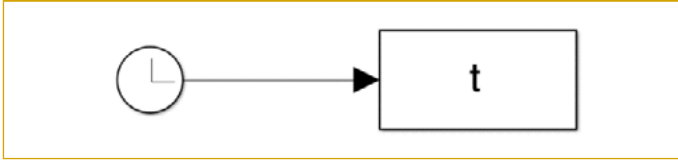
Save format: Array (sadece vektör olarak kaydeder) (Timeseries zaman verilerini de içerir fakat daha sonra üzerinde matematiksel işlem yapılmasına izin vermez)

Save 2-D signals as: Inherit from input

Grafiklerin çizimi için zaman ayrı olarak vektöre kaydedilmelidir. Bunun için "Clock Bloğu" kullanılır. Bu blok simülasyonu yaptığı zamanı türetilir. "Clock Bloğu", t ile isimlendirilen "to Workspace Bloğu"na bağlandığında (Şekil 11), değerleri t olarak Workspace içine aktarılacaktır.

Şekil 11

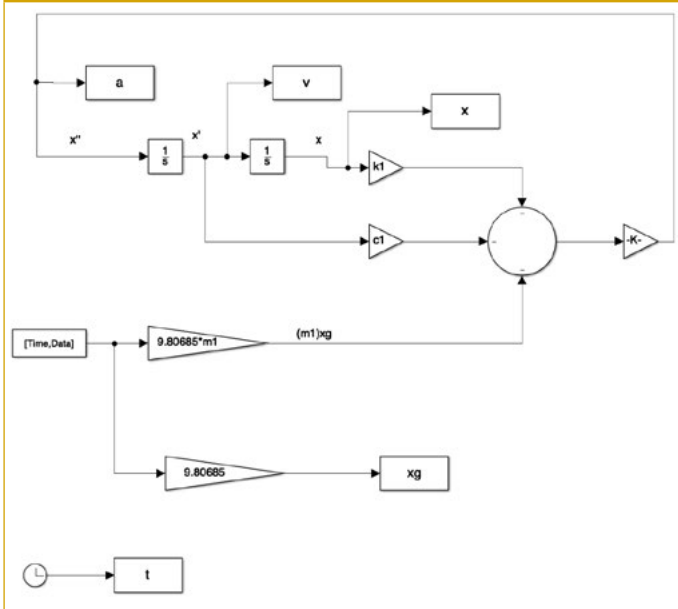
Zaman Vektörünü Oluşturan Blok Diyagramı



Aşağıda verilen diyagram tüm blok diyagramını (Şekil 12) içermektedir.

Şekil 12

Tek Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Blok Diyagramı



"to Workspace Bloğu" ile yapılan işlemler ile a: ivme, v: hız, x: yer değiştirme, xg: depremin ivmesinin m/s^2 cinsinden; yani 9.80685 ile çarpılmış hali elde edilecektir.

Simulink'te üst menüde yer alan çark işaretine tıklanarak (üzerine gelindiğinde "Model Configuration Parameters" yazacaktır) aşağıda gösterilen pencere (Şekil 13) açılacaktır.

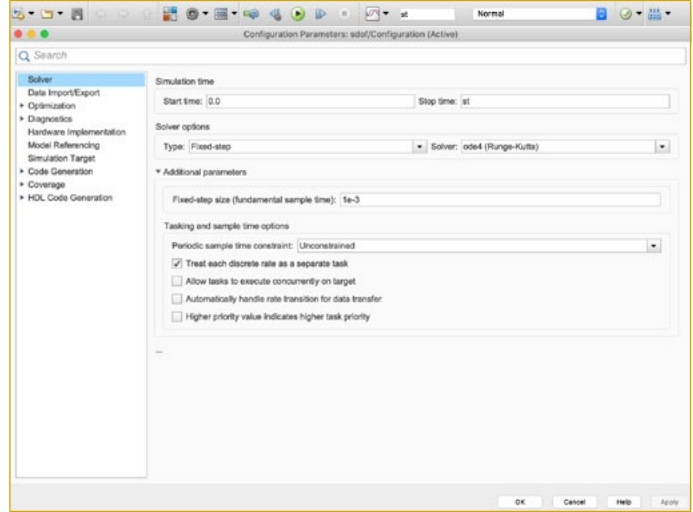
Bu pencerede "Solver" kısmındaki "Simulation time" başlığı altında bulunan kısımlardan,

Start time: Simülasyonun başlangıç zamanı yani; sıfır anıdır.

Stop time: Simülasyon; yani sismik hareket süresinin belirlendiği kısımdır. Simülasyon süresini kullanıcı deprem süresine göre

Şekil 13

Configuration Parameters Penceresi



belirlenmelidir. Örneğin 40 saniyelik bir deprem sonrasında sistem serbest titreşim yapmaya devam edeceği için simülasyon süresi 60 sn olarak girilebilir. Diğer bir yol ise bu değer parametrik olarak (st: simulation time) bırakılmasıdır. Bu yol ile süre daha sonra tanımlanabilir.

"Solver options" başlığında yer alan bölümden,

Type: Fixed step olarak sabit veya Variable step olarak değişken simülasyonda zaman aralıkları tanımlanabilir. Her zaman aralığına karşı gelen zaman değeri için analiz sonucu elde edilecektir.

Solver: Örnek olarak ode4 (Runge-Kutta) metodu gibi sayısal integrasyon yöntemi seçilecektir.

"Additional parameters" kısmından ise;

Fixed-step size: Bu bölüme istenilen zaman aralığı değeri girilir.

Simulink ile kaydedilen dosya ".slx" veya ".mdl" uzantılıdır. Bu dosya ile deprem verileri dosyasının aynı klasörde bulunması gerekmektedir. Aksi takdirde diyagram çalışmayacaktır.

Sabit değerlerin tanımlanması, çeşitli hesaplamaların yapılabilmesi, deprem verilerinin okutulabilmesi, grafik çizimi gibi işlemlerin yapılabilmesi için Matlab Editör'den ".m" dosyası hazırlanmalıdır. Bu problem için sunulan kodlar <https://drive.google.com/file/d/1kZSf76nUJmaD2fLBwDESp0Ij-T6D16tu/view?usp=sharing> linkinden elde edilebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

MATLAB: The Language of Technical Computing. Math Works Inc.

BÖLÜM 3

ÇOK SERBESTLİK DERECELİ SİSTEMLERİN MODELLENMESİ

Oğuz UZDİL
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELİ

Çok Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi

Modeling of Multiple Degrees of Freedom Systems

BÖLÜM HAKKINDA

Bu bölüm MATLAB Simulink ile birden fazla serbestlik derecesine sahip kesme binalarının hareket denklemlerinin çözümlerini içermektedir. Bu bölümde serbestlik derecesine bağlı olarak diyagramın modellenmesindeki farklılıklar ortaya koyulacaktır. Simulink hareket denklemlerinin modellenmesi kapsamında sırası ile iki serbestlik dereceli sistemler, üç serbestlik dereceli sistemler ve kırk serbestlik dereceli sistemler irdelenecektir. Bu sistemlerin modellenmesinde üç farklı alternatif şekilde sunum yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: MATLAB, simulink, çok serbestlik dereceli sistem

ABOUT the CHAPTER

This section contains solutions of the equations of motion of shear buildings with multiple degrees of freedom using MATLAB Simulink. In this section, the differences in modeling the diagram depending on the degrees of freedom will be revealed. Within the scope of modeling Simulink equations of motion, systems with two degrees of freedom, systems with three degrees of freedom and systems with forty degrees of freedom will be examined, respectively. Three different alternative ways have been presented in modeling these systems.

Keywords: MATLAB, simulink, multiple degrees of freedom system

Giriş

Çok katlı yapılar için kule tipi yapılarda kullanılabilecek tek serbestlik dereceli sistem idealleştirilmesi çok uygun olmamaktadır. Bu durumda dinamik analiz için çok serbestlik dereceli sistemlerin modellenmesi önem kazanmaktadır. Farklı serbestliklerin birbirine bağımlı olduğu bu durumda hareket denklemleri Matlab Simulink ile modellenmesi daha karışık olduğundan alternatif bloklar kullanılarak daha basit çözümler elde edilebilir.

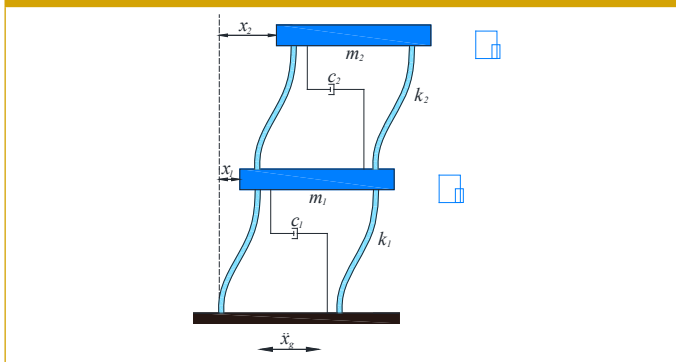
Bu bölümde iki, üç ve kırk katlı yapı modelleri sırasıyla iki, üç ve kırk serbestlik dereceli olarak modellenmiştir. Tek serbestlik dereceli sisteme benzer şekilde modellenmiş iki serbestlik dereceli sistem ve Mux bloğu ile belirli sinyallerin tanımlanması basitleştirilmiş üç serbestlik dereceli sistem modellenmesi sunulmuştur. 40 serbestlik dereceli sistem ise hareket denklemleri matris işlemleri ile modellenmiştir.

İki Serbestlik Dereceli Sistemin Modellenmesi

Şekil 1'de iki serbestlik dereceli kesme binası verilmiştir.

Şekil 1

İki Serbestlik Dereceli Kesme Binası



Oğuz Uzdil

Gebrael Bekdaş

Sinan Melih Nigdeli

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye

E-posta: oguz.uzdil@gmail.com

bekdas@iuc.edu.tr

melihnig@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Uzdil, O, Nigdeli, S.M., Bekdaş, G. (2024). Çok serbestlik dereceli sistemlerin modellenmesi. G. Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve pasif kontrolü: matlab simulink uygulamaları* içinde (s. 12-16). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

1. katın kütlesi kullanılarak yazılan hareket denklemi [Denklem 1] ve birinci katın ivmesinin [Denklem 2] ifadesi:

$$m_1 \ddot{x}_1 + (c_1 + c_2) \dot{x}_1 - c_2 \dot{x}_2 + (k_1 + k_2)x_1 - k_2 x_2 = -m_1 \ddot{x}_g \quad (1)$$

$$\ddot{x}_1 = (m_1 \ddot{x}_g - (c_1 + c_2) \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 - (k_1 + k_2)x_1 + k_2 x_2) / m_1 \quad (2)$$

2. katın kütlesi kullanılarak yazılan hareket denklemi [Denklem 3] ve ikinci katın ivmesinin [Denklem 4] ifadesi:

$$m_2 \ddot{x}_2 - c_2 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 - k_2 x_1 + k_2 x_2 = -m_2 \ddot{x}_g \quad (3)$$

$$\ddot{x}_2 = (-m_2 \ddot{x}_g + c_2 \dot{x}_1 + c_2 \dot{x}_2 - k_2 x_1 + k_2 x_2) / m_2 \quad (4)$$

Bu denklemlerde yer alan ifadeler (i=1 ve 2 sırasıyla birinci ve ikinci kat için):

k_i : Yapı rijitliği

c_i : Sönüm sabiti

m_i : Yapının kütlesi

\ddot{x}_g : Yer ivmesi (yatay ivmesi)

x_i : Yer değiştirme

\dot{x}_i : Hız (zamana göre 1. kısmi türev)

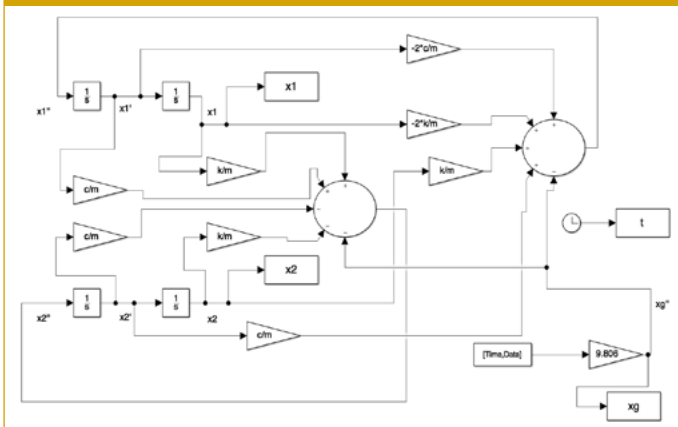
\ddot{x}_i : İvme (zamana göre 2. kısmi türev)

Denklem (2) ve denklem (4), Simulink ile bloklar kullanılarak modellenmelidir. İki ayrı ivme olduğu için diyagram iki ayrı koldan başlatılmalıdır. \ddot{x}_1 'in ivme denkleminde \ddot{x}_g deprem datası olduğu için bu değerler toplanacaktır.

$c_1 = c_2 = c$ ve $m_1 = m_2 = m$ olduğunda $(c_1 + c_2) \dot{x}_1 / m$ için $-2c/m$ değeri \dot{x}_1 hızı ile çarpılıyor. $k_1 = k_2 = k$ olduğu durum için olduğunda $-(k_1 + k_2) \dot{x}_1 / m$ için $-2k/m$ değeri \dot{x}_1 ile çarpılıyor. İvme denklemlerindeki çarpımların hepsi oluşturulup sum bloğu ile gerekli toplamların yapıldığı durumda Şekil 2'de verilmiş olan blok diyagramı oluşmaktadır. Bu problem için sunulan kodlar <https://drive.google.com/file/d/1kZSf76nUJmaD2fLBwDESpOIJ-T6D16tu/view?usp=sharing> linkinden elde edilebilir.

Şekil 2

İki Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Blok Diyagramı



Üç Serbestlik Dereceli Sistemlerin Modellenmesi

Hareket denklemi matrislerin ve vektörlerin kullanımı ile yazıldığı denklemler (5) şeklinde olmaktadır. İlgili vektörler denklemler (6)-(9) şeklindedir. Kütle (M), Rijitlik (K) ve sönüm matrisleri Tablo 1'de verilmiştir:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M[b]\ddot{x}_g \quad (5)$$

$$x(t) = [x_1 \ x_2 \ x_3]^T \quad (6)$$

$$\dot{x}(t) = [\dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dot{x}_3]^T \quad (7)$$

$$\ddot{x}(t) = [\ddot{x}_1 \ \ddot{x}_2 \ \ddot{x}_3]^T \quad (8)$$

$$[b] = [1 \ 1 \ 1]^T \quad (9)$$

Tablo 1

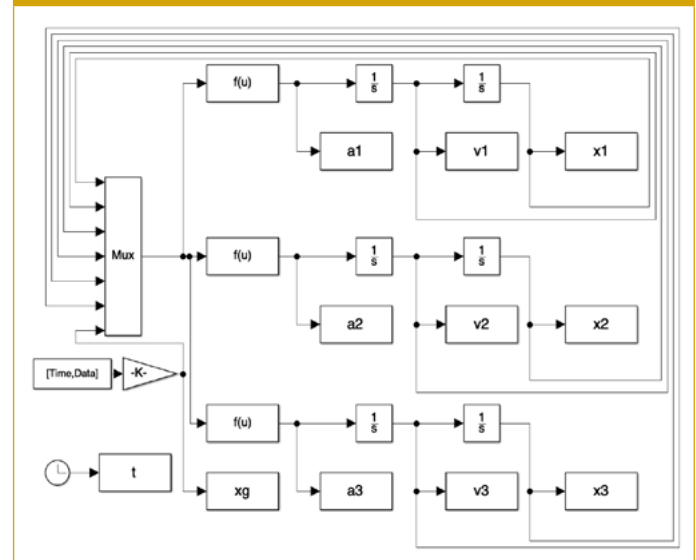
Üç Serbestlik Dereceli Sistemin Matrisleri

M (kg)	$\begin{bmatrix} m_{11} & 0 & 0 \\ 0 & m_{22} & 0 \\ 0 & 0 & m_{33} \end{bmatrix}$
K (N/m)	$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix}$
C (Ns/m)	$\begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} \end{bmatrix}$

Şekil 3'te Matlab Simulink ile modellenmiş blok diyagramı bulunmaktadır. Bu diyagramda alternatif olarak Mux ve f(u) blokları kullanılmıştır. Sistemin var olan üç hareket denkleminde ivme değerlerinin fonksiyonunu 3 adet olarak belirtilmiş function (f(u)) bloğu içinde tanımlanmaktadır. Burada sistemin matrislerinden gelen değerlerin bileşenleri direk yazılırken, yerdeğiştirme, hız ve

Şekil 3

Üç Serbestlik Dereceli Sistemin Hareket Denkleminin Blok Diyagramı



deprem ivmesi gibi parametreler için sinyal tanımlanması yapılacaktır. u(1), u(2),..., u(7) gibi 7 adet sinyal ismi olarak denklemler yazılmalıdır. Bu 7 sinyalin biri deprem ivmesi, 3 tanesi serbestliklerin yer değiştirilmesi, 3 tanesi serbestliklerin hızını belirtmekte olup, hız ve yer değiştirme değerleri f(u) bloğu sonucunda elde edilen ivmelerin integralleri ile bulunmaktadır. Matlab Simulink içinde bu sinyal tanımlamaları Mux bloğu ile yapılır. Bu bloğa çift tıklanarak istenildiği kadar sinyal girişi tanımlanarak sırasıyla bağlanan oklar birden başlayarak u sinyallerini ifade edecektir.

Bu örnek ile ilgili dosyalar <https://drive.google.com/file/d/1eoSpa4kLoJnuPwehxm7CEsazvqtvwE1/view?usp=sharing> linkinden elde edilebilir.

Kırk Katlı Sistemin Modellenmesi

Daha önce açıklanan şekillerde hareket denkleminin 40 katlı bir yapı için modellemek oldukça zordur. Bu durumda hareket denklemini direk olarak matris olarak modellenebilir.

N serbestlik dereceli kesme binasının (Şekil 4) hareket denklemini (Denklem 10) matris formda:

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M[b]\ddot{x}_g \quad (10)$$

ve buradan ivme (Denklem 11) vektörünü çekersek,

$$\ddot{x}(t) = M^{-1} [-M[b]\ddot{x}_g - C\dot{x}(t) - Kx(t)] \quad (11)$$

olarak matris işlemi olarak tanımlanır. Buradaki matrisler N serbestlik dereceli bir kesme binası için aşağıdaki gibi verilebilir.

Kütle matrisi (Denklem 12):

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & m_N \end{bmatrix} \quad (12)$$

Rijitlik matrisi (Denklem 13):

$$K = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & \dots & \dots & \dots \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & -k_{N-1} & (k_{N-1} + k_N) & -k_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -k_N & k_N \end{bmatrix} \quad (13)$$

Sönüm matrisi (Denklem 14):

$$C = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & \dots & \dots & \dots \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & -c_{N-1} & (c_{N-1} + c_N) & -c_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -c_N & c_N \end{bmatrix} \quad (14)$$

İlgili tepki vektörleri ((Denklem 15-17):

$$x(t) = [x_1 \ x_2 \ \dots \ x_N]^T \quad (15)$$

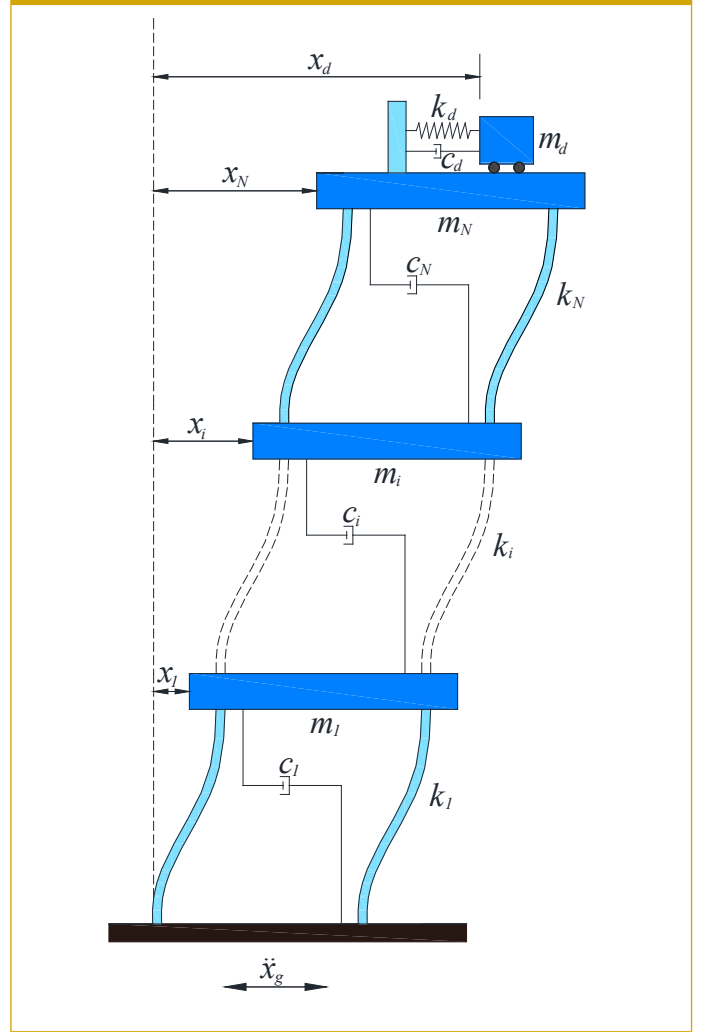
$$\dot{x}(t) = [\dot{x}_1 \ \dot{x}_2 \ \dots \ \dot{x}_N]^T \quad (16)$$

$$K = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & \dots & \dots & \dots \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & -k_{N-1} & (k_{N-1} + k_N) & -k_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -k_N & k_N \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & \dots & \dots & \dots \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & \dots & \dots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \dots & \dots & \dots & -c_{N-1} & (c_{N-1} + c_N) & -c_N \\ \dots & \dots & \dots & \dots & -c_N & c_N \end{bmatrix}$$

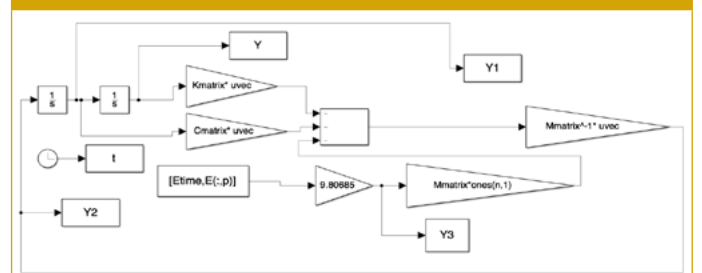
$$\ddot{x}(t) = [\ddot{x}_1 \ \ddot{x}_2 \ \dots \ \ddot{x}_N]^T \quad (17)$$

Şekil 4 Çok Serbestlik Dereceli Kesme Binası

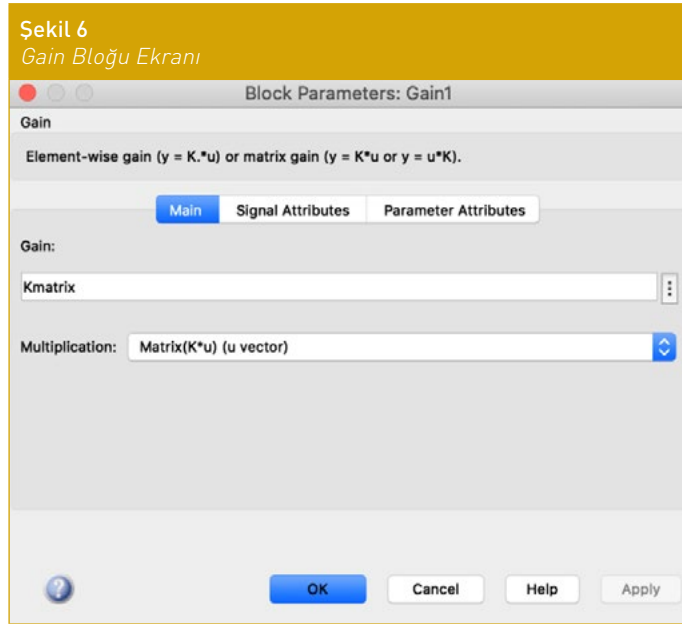


Şekil 5'te ivme denklemini oluşturulmuş blok diyagramı verilmiştir. Buradaki sinyal bir vektör olmalıdır. Onun için tasarımda yapılan işlemlerde bu belirtilmelidir.

Şekil 5 İvme Denkleminin Blok Diyagramı



Sinyal bir vektör olarak düşünülme üzere diyagramın en solundaki 1/s bloğuna bağlanan ok ivme vektörüdür. Burada "Integrator Bloğu" ile ivme, hız vektörüne dönüştürülür. Bu dönüşüm sonrasında Cmatrix olarak tanımlanan sönüm matrisi gain bloğunda hız ile çarpılır. Hız vektörü "Integrator Bloğu" ile yer değiştirme vektörüne dönüştürülür. Kmatrix olarak tanımlanan rijitlik matrisi gain bloğunda yer değiştirme ile çarpılır. Gain bloklarına çift tıklanarak Multiplication kısmında Matrix(K*u) (u vector) seçeneği seçilmiştir. Çünkü yer değiştirme bir vektör olarak, sistem değerleri de matris olarak tanımlanmıştır (Şekil 6).

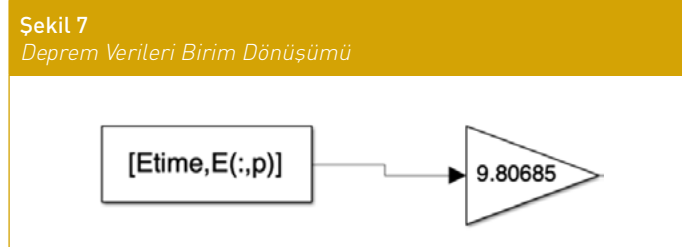
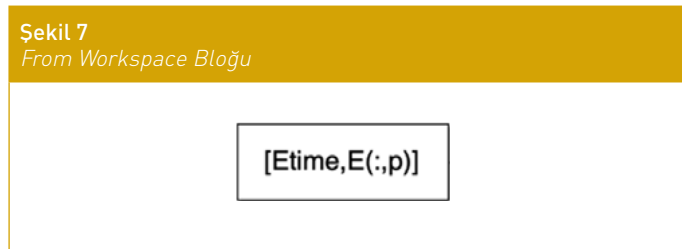


Deprem verilerinin çağrılması için "From Workspace" bloğu kullanılır (Şekil 7).

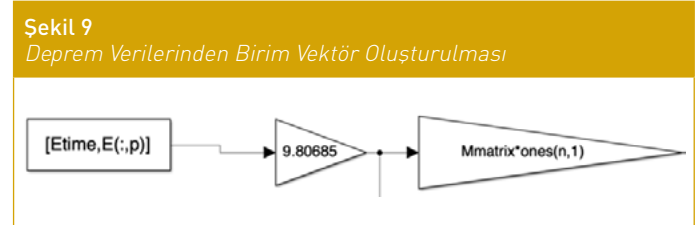
Burada Etime: Depremin zamanı

E(:,p): Deprem verileri yani g cinsinden yer ivmesi datalarını ifade etmektedir.

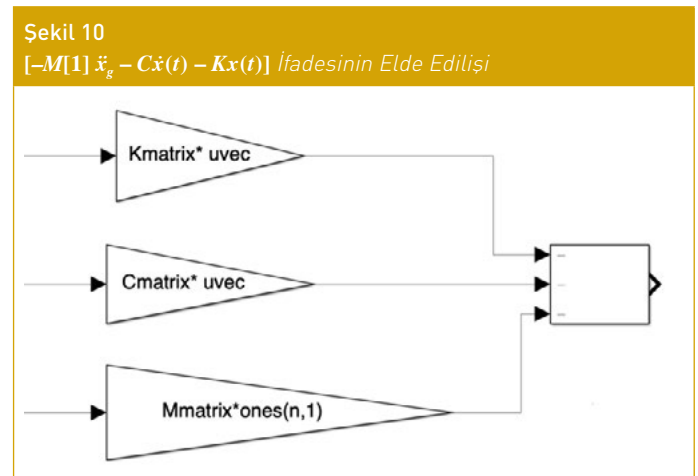
Deprem verileri g cinsinden olduğu için "Gain Bloğu" ile 9.80685 yer çekimi ivmesi ile çarpılarak m/s² birim dönüşümü yapılır (Şekil 8).



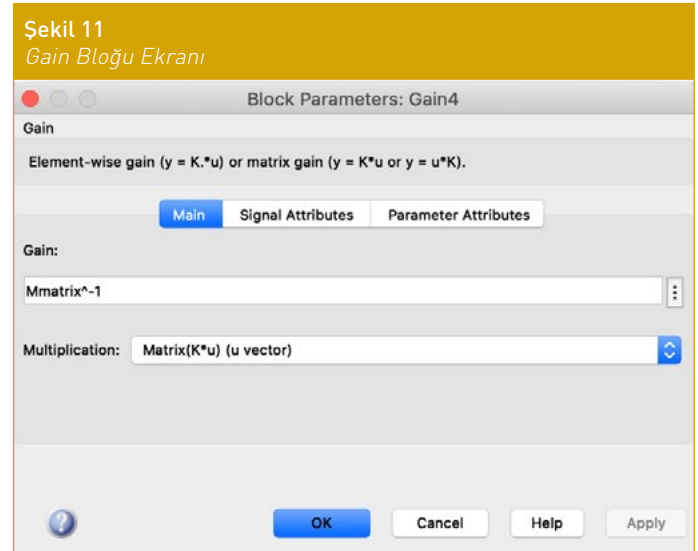
Sonrasında kütle matrisi [Mmatrix] ve birim vektör [ones(n,1)] çarpılır. "Gain Bloğu" ile [Mmatrix*ones(n,1)] değeri ile deprem ivmesi çarpılır. Ones(n,1) komutu ile n satırlı, 1 sütunlu birim vektör oluşturulur (Şekil 9). Burada n serbestlik derecesi; yani kat adedidir.



Buradan elde edilen değerler hareket denklemine göre "Sum Bloğu" ile negatif (-) işaretli olarak toplanır. Burada işlemi yapılan bölüm; $\ddot{\mathbf{x}}(t) = \mathbf{M}^{-1} [-\mathbf{M}[1] \ddot{\mathbf{x}}_g - \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{K}\mathbf{x}(t)]$ denkleminin $[-\mathbf{M}[1] \ddot{\mathbf{x}}_g - \mathbf{C}\dot{\mathbf{x}}(t) - \mathbf{K}\mathbf{x}(t)]$ kısmıdır (Şekil 10).



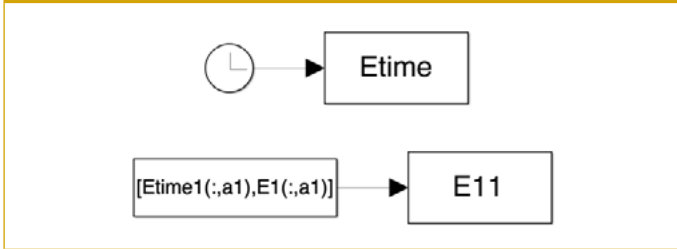
"Sum Bloğu" ile negatif işaretli toplama işleminden sonra kütle matrisinin tersi (\mathbf{M}^{-1}) ile çarpma işlemi yapmak için "Gain Bloğu" kullanılır. Gain bloğunun içine Mmatrix^-1 yazılır. Bu çarpım işleminden sonra ivme ($\ddot{\mathbf{x}}(t)$) elde edilir (Şekil 11). Elde edilen ivme başlangıçta tanımlanan "Integrator Bloğuna" bağlanır.



Diyagramda "to Workspace Bloğu" ile Y; yer değiştirme değerlerini, Y1; hız değerlerini, Y2; ivme değerlerini tutmakta ve "Workspace" e aktarımını sağlamaktadır. Aynı şekilde "Clock Bloğu"na t, "to Workspace Bloğu"nu bağlayarak zamanın "Workspace"e aktarımı sağlanmaktadır (Şekil 12).

Şekil 12

Zaman Vektörünü Oluşturan Blok Diyagramı



Bu örnek ile ilgili dosyalar <https://drive.google.com/file/d/1whOZ-mx0RQrn4tsNpTofEaJXrz3rflGNt/view?usp=sharing> linkinden elde edilebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

MATLAB: The Language of Technical Computing. Math Works Inc.

BÖLÜM 4

AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİSİ PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU

Melda YÜCEL
Sinan Melih NİGDELİ
Gebrail BEKDAŞ

Ayarlı Kütle Sönümleyicisi Parametrelerinin Metasezgisel Yöntemler ile Optimizasyonu

Optimization of Tuned Mass Damper Parameters with Metaheuristic Methods

BÖLÜM HAKKINDA

Bir yapısal tasarımın özellikle deprem etkileri başta olmak üzere su dalgaları, rüzgar vb. gibi dinamik kuvvetlerin yanı sıra söz konusu etkenler sırasında oluşan yapısal tepkilerden dolayı hasar almasına neden olabilecek titreşim hareketlerinin dengelenerek azaltılması ve sönümlenmesi önemli bir mühendislik problemidir. Bu bağlamda mevcut çalışmada, söz konusu kuvvetlerin yapıları zarar vermesini engelleme doğrultusunda kontrol edilerek tamamen sönümlenmesi amacıyla kullanılan ayarlı kütle sönümleyicilerin (TMD) optimum tasarımının elde edilmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda optimum TMD parametrelerinin belirlenebilmesi içinse farklı tasarım problemlerinin çözülmesine ön ayak olan metasezgisel optimizasyon yöntemlerinden olan çiçek tozlaşma algoritması (FPA) kullanılmıştır. Bu çalışmada temel amaç ise söz konusu dinamik faktörlerin etkisi altında yapılarda zaman-tanım alanında oluşan kritik yer değiştirmelerin, yapıların en üst katında yer alan TMD'lerin optimum tasarım parametrelerinin belirlenmesiyle minimize edilmesidir.

Anahtar kelimeler: Ayarlı kütle sönümleyicisi (TMD), optimizasyon, zaman-tanım alanı, metasezgisel algoritmalar, çiçek tozlaşma algoritması

ABOUT the CHAPTER

In addition to a structural design done fort he effects of earthquake, water waves, wind, etc., it is an important engineering problem to balance, reduce and dampen vibration movements that may cause damage due to dynamic forces such as dynamic forces, as well as structural reactions that occur during these factors. In this context, the current study aims to obtain the optimum design of tuned mass dampers (TMD) used to completely dampen these forces by controlling them in order to prevent them from damaging the structures. In this direction, flower pollination algorithm (FPA), which is one of the metaheuristic optimization methods that lead to the solution of different design problems, was used to determine the optimum TMD parameters. The main purpose of this study is to minimize the critical displacements that occur in the time-history of buildings under the influence of these dynamic factors by determining the optimum design parameters of TMDs located on the top floor of the buildings.

Keywords: Tuned mass damper (TMD), optimization, time-history, metaheuristic algorithms, flower pollination algorithm

Giriş

Bir mühendislik probleminin çözümü aşamasında üretilebilecek ve birbirinin muadili sayılabilecek çok çeşitli tasarım seçeneği olabilir. Bunun yanı sıra ele alınan mevcut problem için gerekli tasarımsal çözümlerlerin gerçekleştirilmesinin yanı sıra bir başka önemli koşul daha bulunmaktadır. Bahsi geçen bu koşul ise sorunun hangi yöntemler kullanılarak analiz edildiği ve mevcut süreçte elde edilen faydalar ile ilgili olup bu bağlamda belirlenen tasarım kuralları yoluyla problemin analizi mümkün olabilmektedir.

Ancak bahsi geçen durumlar göz önüne alındığında, ele alınan herhangi bir tasarım problemi için çok fazla ve çeşitli çözümlerlerin olması, tasarımcının istenen en iyi modeli elde edememesine ve bu süreçte yoğun bir emek ve zaman harcamasına neden olmaktadır. Bu olumsuzlukları gidermek için ise çeşitli optimizasyon tekniklerinden yararlanılmaktadır. Özellikle günümüzde mühendislik problemlerinin giderilmesinde sıkça kullanılan tekniklerden biri olan metasezgisel yöntemler gerekli optimal çözümlerinin belirlenmesinde oldukça etkili olup bu süreçte hem daha az zaman kaybına neden olmakta, hem gerekli tasarım parametrelerinin son derece hassas bir şekilde hesaplanmasına yardımcı olmakta hem de bu bağlamda ekonomik bir yol izlenmesini sağlamaktadır.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Melda Yücel

Sinan Melih Nigdeli

Gebrail Bekdaş

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye
E-posta: melda.yucel@yahoo.com.tr
melihnig@iuc.edu.tr
bekdas@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Yücel, M., Nigdeli, S.M., Bekdaş, G. (2024).
Ayarlı kütle sönümleyicisi parametrelerinin
metasezgisel yöntemler ile optimizasyonu. G.
Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve
pasif kontrolü: matlab simulink uygulamaları*
içinde (s. 18-24). İstanbul: İÜC Üniversite Ya-
yinevi.

Bu bağlamda, söz konusu metasezgisel yöntemlerden yararlanılarak birçok farklı mühendislik alanında çeşitli uygulamaların gerçekleştirildiği göze çarpmaktadır. Örnek vermek gerekirse, biyomedikal mühendisliği alanında genetik algoritma (GA) [Chakraborty ve diğ., 2019]; guguk kuşu arama (CS) yöntemi [Daniel ve Anitha, 2016; Maurya ve diğ., 2019]; köpek balığı koku alma optimizasyonu (SSO) [Zhou ve diğ., 2020]; parçacık sürüsü optimizasyonu (PSO), yapay arı kolonisi (ABC) algoritması, ateşböceği algoritması (FA), benekli sırtlan optimizasyonu (SHO) vd. de içeren altı farklı metasezgisel algoritma [Vineeth ve diğ., 2021] biyomedikal görüntü kalitesinin iyileştirilmesine yönelik olarak kullanılmıştır. Diğer yandan, farklı hücrelerde veya organizmalarda meydana gelmiş bazı hastalıkların/bozuklukların tespit edilebilmesi içinse karınca kolonisi optimizasyonu (ACO), bakteri yiyecek arama optimizasyon (BFO) algoritması, kril sürüsü (KH) algoritmasının yanı sıra FA ve CS [Pruthi ve diğ., 2018] ile birlikte gri kurt/bozkurt sürüsü optimizasyonu (GWO), karınca aslanı optimizasyon (ALO) algoritması, kelebek optimizasyon algoritması (BOA) vb. gibi bazı yöntemleri de içeren beş farklı metasezgisel yöntemden [Sharma ve Singh, 2020] yararlanılmıştır. Bu çalışmaların yanı sıra, elektrik ve elektronik mühendisliği alanında da bazı çalışmaların gerçekleştirildiği görülebilir. Bu bağlamda sistemlerdeki güç kayıplarının en aza indirilmesi ile tepkime sırası güç iletiminin optimal bir şekilde ayarlanabilmesi için optimizasyon süreçlerinde PSO ve ABC'nin farklı versiyonları [Sivalingam ve diğ., 2017]; PSO, FA, ABC, ACO ve diferansiyel evrim (DE) yöntemi [Abd Rahman ve diğ., 2019]; olasılıksal fraktal arama (SFS) algoritması [Duong ve diğ., 2020] ele alınmıştır.

İnşaat mühendisliği alanına gelecek olursak, örneğin verimli ve etkin su şebeke sistemlerinin sağlanması [El-Ghandour ve Elbeltagi, 2018; Pant ve Snasel, 2021], en güvenli zemin koşullarının/toprak parametrelerinin belirlenmesi [Moayedi ve diğ., 2019; Himanshu ve diğ., 2021] veya karayolları, köprüler, bina-tipi modeller [gökdelen, otel, televizyon kuleleri vb.] [Abd Elrehim ve diğ., 2019; Bekdaş ve diğ., 2020; Abdelkader ve diğ., 2021] için en uygun tasarımların elde edilebilmesi için çok çeşitli optimizasyon uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Örneğin, çelik kafesler için birçok farklı uygulama optimum modelleme amacı doğrultusunda ağırlığın veya toplam maliyetin en aza indirilmesi bağlamında hayata geçirilmiştir. Bu kapsamda 2017 yılında Kaveh ve Ghazaan [2017] söz konusu kafes yapılarının, frekans kısıtlamaları altındaki dinamik performansının geliştirilmesi bağlamında optimum bir tasarıma ulaştırılabilmesi için bir metasezgisel algoritmadan faydalanmıştır. Bu anlamda söz konusu çalışmada yapıların dinamik davranışından esinlenilerek titreşimli parçacık sistemleri (VPS) olarak adlandırılan bir algoritma geliştirilmiştir. Ayrıca karga arama algoritması (CSA)'nın üç farklı versiyonu kullanılarak minimum ağırlığa sahip kafes yapılarının elde edilmesi vasıtasıyla optimum tasarım parametrelerinin belirlendiği bir çalışma da Javidi ve diğ. [2019] tarafından gerçekleştirilmiştir.

Bununla birlikte, taban izolasyon sistemleri, kuşaklama/destek araçları, sönümleyici türleri [ayarlı kütle, ayarlı sıvı, visko-elastik sönümleyiciler] vb. gibi farklı titreşim kontrol cihazlarının en uygun/etkin şekilde tasarlanması ile gerçekleştirilen optimizasyon yaklaşımları sayesinde yapıların sismik olarak korunması da sağlanabilmektedir. Ancak, bu tür uygulamaların en yaygın olarak ayarlı kütle sönümleyicileri (TMD) için olduğu da görülebilmektedir. Bu duruma bir örnek olarak, geçmişte yaşanmış çeşitli deprem uyarılarına maruz bırakılmış yüksek yapılu bir binanın her

bir katında meydana gelen maksimum yer değiştirme ve ivmenin azaltılması konusunda etkili olabilecek bir sönümleme cihazının geliştirilmesi verilebilir. Bunun için ACO algoritmasından yararlanılarak optimum TMD özelliklerinin, yapı-zemin etkileşiminin de dikkate alındığı tasarım koşulları altında belirlenmesi sağlanmıştır [Farshidianfar ve Soheili, 2013]. Öte yandan, Yucel ve diğ. [2019] en uygun titreşim kontrol sisteminin tasarımı kapsamında optimum bir TMD cihazının üretilebilmesi amacıyla hibrit bir uygulama modeli geliştirmiştir. Bu bağlamda, metasezgisel yöntemlerden FPA ve yapay sinir ağları (ANNs) eş zamanlı olarak işletilmiş olup TMD tasarım parametrelerinin direkt olarak belirlenebilmesi için bir tahmin modeli elde edilmiştir. Bununla birlikte Kayabekir ve diğ. [2021] tarafından gerçekleştirilen diğer bir çalışmada ise HS algoritmasının farklılaştırılmış bir versiyonu elde edilerek 15 katlı bir yapı üzerinde yer alan TMD' nin optimal parametrelerinin bulunması doğrultusunda, çeşitli deprem uyarılarına maruz bırakılan söz konusu yapının en üst katında oluşan maksimum yer değiştirmenin azaltılması hedeflenmiştir.

Mevcut bölümde ise yapıların en üstünde konumlandırılmış olan TMD sisteminin optimum bir şekilde ayarlanarak en uygun tasarıma ulaşılabilmesi için bir optimizasyon metodolojisine yer verilmiştir. Uygulamada kullanılan metasezgisel optimizasyon yöntemi ise çiçek tozlaşma algoritması (FPA) olup tek serbestlik dereceli (SDOF) yapıların pasif olarak kontrol edilmesi doğrultusunda elde edilen sayısal analiz sonuçları ise tasarım örnekleri olarak sunulmuştur.

Yöntem: Çiçek Tozlaşma Algoritması

Daha çok optimizasyon problemlerinin çözümlenmesine yönelik olarak tercih edilen metasezgisel algoritmaların birçok farklı türü bulunmaktadır. Mevcut çalışmada ise popülasyon bazlı ve doğal yaşam süreçlerinden ilham alınarak tasarlanmış olan çiçek tozlaşma algoritmasından (FPA) yararlanılmıştır. Bu algoritma Xin-She Yang tarafından çiçekli bitkilerin sahip olduğu yaşamsal bir faaliyet olan tozlaşma sürecinden yola çıkılarak geliştirilmiştir [Yang, 2012]. Söz konusu algoritmanın çalışma temelinde var olan tozlaşma faaliyeti ise çiçekli bitkiler ile bazı canlılar arasında gerçekleşmektedir. Çiçeklerin sahip olduğu özel renk, koku ve çeşitli aromatik uyarılar sayesinde arı, sinek, kuş vb. bazı canlı türlerinin bitkilere yönelimi mümkün olmaktadır. Bu durum aynı zamanda böceklerin rüzgar, su gibi doğa kaynaklı etkenler yoluyla çiçekler ile arasında bir aktarımın oluşması ve bitkilerin türlerin devamlılığının sağlanması için gerekli olan tozlaşma sürecini ifade etmekte olup bu süreç iki şekilde gerçekleşebilir. Arı gibi bazı tozlayıcı canlılar aracılığıyla tek bir çiçeğin iki ayrı üyesi veya iki farklı çiçek arasında çapraz tozlaşma meydana gelirken, tek bir tür çiçeğin kendi yapısında bulunan tozlaşma organları arasında ise kendi kendine tozlaşma oluşabilmektedir. Bu iki tozlaşma türünden hangisinin uygulanacağı ise FPA' ya özgü olan ve geçiş veya anahtar olasılığı (sp) olarak bilinen bir parametre yardımıyla seçilmekte ve çapraz (global) ve kendi kendine (yerel) tozlaşma yoluyla uygulanan optimizasyon sürecinde herhangi bir tasarım değişkeninin güncellenmesine yönelik olarak kullanılan formülasyonlar sırasıyla Denklem (1) ve (2)' de görülebilmektedir.

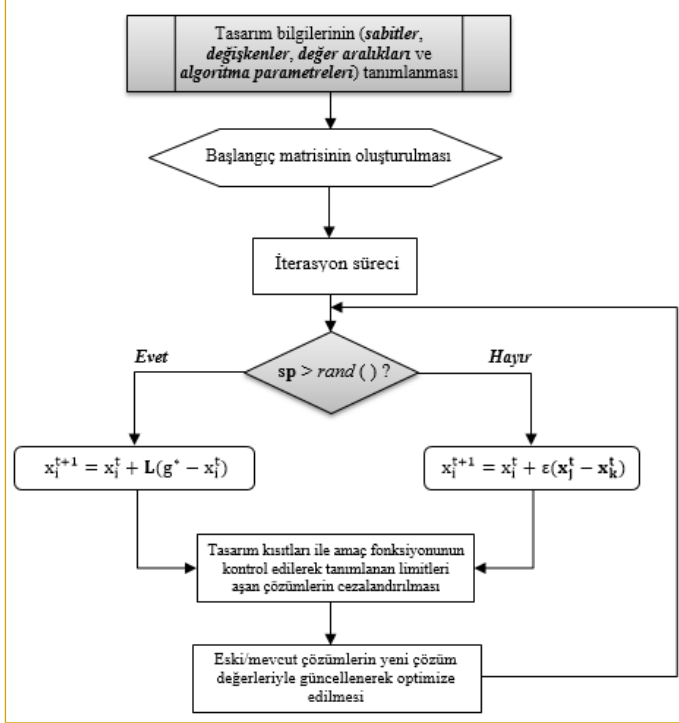
$$\mathbf{x}_i^{t+1} = \mathbf{x}_i^t + \mathbf{L}(\mathbf{g}^* - \mathbf{x}_i^t) \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_i^{t+1} = \mathbf{x}_i^t + \boldsymbol{\epsilon}(\mathbf{x}_i^t - \mathbf{x}_k^t) \quad (2)$$

Denklem (1)' de görülen L terimi global optimizasyon sürecinde çözümlerin rassal bir şekilde üretilmesini sağlayan Levy dağılımını ifade etmektenken ϵ ($rand()$) ise yerel optimizasyon sürecinde yararlanılan ve 0-1 aralığında değişim gösteren lineer bir dağılım fonksiyonunu temsil etmektedir. Söz konusu denklemlerde yer alan \mathbf{x}_i^{t+1} ise mevcut çözümleri belirten \mathbf{x}_i^t kullanılarak belirlenen yeni çözüm değerlerini; \mathbf{x}_i^t ve \mathbf{x}_k^t mevcut çözümler içerisinde rassal olarak seçilen iki farklı adayı temsil etmektedir. \mathbf{g}^* ise mevcut çözümler arasında amaç fonksiyonu bakımından en iyi (en büyük/ en küçük) değere sahip olan aday olup FPA yöntemi ile gerçekleştirilecek optimizasyon süreçleri için temsili bir akış diyagramı Şekil 1' de görülebilmektedir.

Şekil 1

FPA optimizasyonu için akış diyagramı



Optimizasyon Problemi

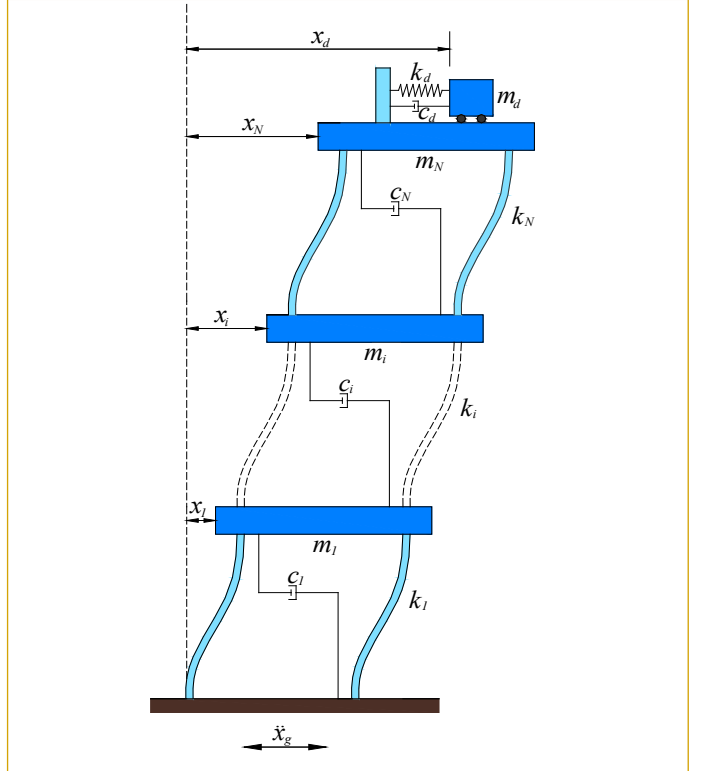
Mevcut optimizasyon probleminde, ele alınan modelin vermiş olduğu yapısal tepkilerin azaltılmasına yönelik olarak en iyi ayarlı kütle sönümleyicisi (TMD) parametrelerinin bulunması hedeflenmektedir. Bu bağlamda söz konusu metodolojide amaç fonksiyonu, en üst katına TMD yerleştirilmiş bir yapı için maksimum yer değiştirme/deplasmanın minimizasyonu olarak belirlenmiştir (Şekil 2). TMD' nin optimum ayar parametreleri ise kütlesi (m_d), rijitliği (k_d) ve sönüm oranından (c_d) oluşmaktadır. Genel olarak, optimum TMD kütlesi en yüksek değerde (maksimum) olup yapının eksenel yük kapasitesine göre sınırlandırılması gerekmektedir. Mevcut uygulamalarda daha iyi ve hızlı bir optimizasyon sürecinin gerçekleştirilebilmesi için ise kütlelerin bir tasarım sabiti olarak ele alınması önerilmiştir. Tasarım değişkenleri olarak ele alınan T_d optimum TMD periyodunu [Denklem 3]; ξ_d ise optimum TMD sönüm oranını [Denklem 4] ifade etmektedir.

$$T_d = 2\pi \sqrt{\frac{m_d}{k_d}} \quad (3)$$

$$\xi_d = \frac{c_d}{2m_d \sqrt{\frac{k_d}{m_d}}} \quad (4)$$

Şekil 2

En üst katında TMD bulunan bir kesme yapısı



Diğer tasarım sabitlerini açıklamak gerekirse bunlar N-katlı bir yapının bazı yapısal parametrelerini içermekte olup her bir kata ait kütle ($m_i, i \in [1, N]$), rijitlik ($k_i, i \in [1, N]$) ve sönüm katsayısı ($c_i, i \in [1, N]$) değerlerinden oluşmaktadır. SDOF yapı modellerinin rijitlik ve sönüm özellikleri ise yapının periyodu (T_s) [Denklem (5)] ile sönüm oranına (ξ_s) [Denklem (6)] bağlı olarak belirlenebilmektedir.

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{m_1}{k_1}} \quad (5)$$

$$\xi_s = \frac{c_1}{2m_1 \sqrt{\frac{k_1}{m_1}}} \quad (6)$$

Tasarım sabitleri aynı zamanda tasarım değişkenlerinin alt ve üst limitlerine ait değer aralıklarını, algoritma parametrelerini ve yer hareketi olarak ele alınan deprem kayıtlarını (\ddot{x}_g) da içermektedir. Bilindiği üzere, optimum TMD periyodu yapının periyoduna yakın

Tablo 1
Deprem Kayıtlarına Ait Bilgiler

Deprem Kaydı	Tarih	İsim	1. Bileşen	2. Bileşen
1	1994	Northridge	NORTHR/MUL009	NORTHR/MUL279
2	1994	Northridge	NORTHR/LOS000	NORTHR/LOS270
3	1999	Düzce, Türkiye	DUZCE/BOL000	DUZCE/BOL090
4	1999	Hector Mine	HECTOR/HEC000	HECTOR/HEC090
5	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-DLT262	IMPVALL/H-DLT352
6	1979	Imperial Valley	IMPVALL/H-E11140	IMPVALL/H-E11230
7	1995	Kobe, Japonya	KOBE/NIS000	KOBE/NIS090
8	1995	Kobe, Japonya	KOBE/SHI000	KOBE/SHI090
9	1999	Kocaeli, Türkiye	KOCAELI/DZC180	KOCAELI/DZC270
10	1999	Kocaeli, Türkiye	KOCAELI/ARC000	KOCAELI/ARC090
11	1992	Landers	LANDERS/YER270	LANDERS/YER360
12	1992	Landers	LANDERS/CLW-LN	LANDERS/CLW-TR
13	1989	Loma Prieta	LOMAP/CAP000	LOMAP/CAP090
14	1989	Loma Prieta	LOMAP/G03000	LOMAP/G03090
15	1990	Manjil, İran	MANJIL/ABBAR--L	MANJIL/ABBAR--T
16	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-ICC000	SUPERST/B-ICC090
17	1987	Superstition Hills	SUPERST/B-POE270	SUPERST/B-POE360
18	1992	Cape Mendocino	CAPEMEND/RIO270	CAPEMEND/RIO360
19	1999	Chi-Chi, Tayvan	CHICHI/CHY101-E	CHICHI/CHY101-N
20	1999	Chi-Chi, Tayvan	CHICHI/TCU045-E	CHICHI/TCU045-N
21	1971	San Fernando	SFERN/PEL090	SFERN/PEL180
22	1976	Friuli, İtalya	FRIULI/A-TMZ000	FRIULI/A-TMZ270

Açıklama notu. FEMA P-695, 2009, Quantification of Building Seismic Performance Factors. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 2009 kaynağın-
dan alınmıştır.

bir değere sahiptir. Bu nedenle T_d 'nin alt ve üst limitleri T_s 'nin 0.5 ile 1.5 katı olacak şekilde belirlenmektedir. Söz konusu değer aralıkları ξ_d için ise ekonomik koşullar doğrultusunda tanımlanabilmektedir.

Diğer yandan bütün metasezgisel optimizasyon algoritmaları bazı spesifik ve özel parametrelere sahiptir. Burada, popülasyon sayısı (p) ve iterasyon sayısı (t) genel olarak metasezgisel tabanlı tüm algoritmalarda da kullanılmaktadır. Mevcut uygulamalarda kullanılan FPA ise anahtar olasılığı veya arama değişimi (sp) olarak da bilinen özel bir parametreye sahiptir.

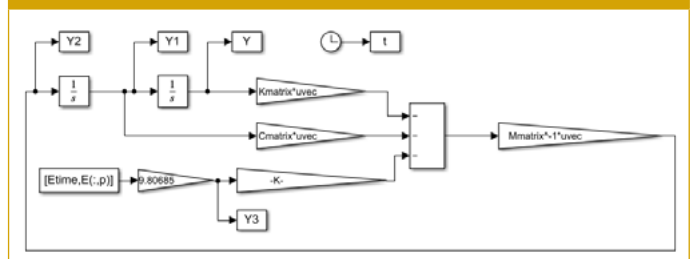
Deprem verisi olarak ise, genel bir optimum sonuca erişebilme açısından yüksek sayıda yer hareketi kaydının ele alınması faydalı olmaktadır. Bu nedenle, mevcut bölümde ele alınan sayısal örnekler FEMA P-695 [2009]'de yer alan ve bazı özellikleri Tablo 1'de özetlenen uzak alan yer hareketleri kullanılarak analiz edilmiştir.

Temel amacın yapısal deplasmanın azaltılması olması sebebiyle analiz edilen yapı modellerinde TMD'nin bulunmadığı durumlara ait maksimum deplasman miktarının da önceden bilinmesi gerekmektedir. Söz konusu metodolojinin uygulanmasında ele alınan kesme yapısına ait hareket denklemi, Denklem (7) ile matris formunda ifade edilmiş olup söz konusu dinamik hareket MATLAB' da yer alan Simulink uygulaması vasıtasıyla modellenmiştir.

ve analiz edilmiştir (MATLAB R2018a). Bu dinamik hareket esnasında meydana gelen yapısal tepkilerin elde edilebilmesi içinse model, matris ve vektör işlevlerinin uygulanması ile oluşturulmuş diyagramda da görülebilmektedir (Şekil 3). TMD içeren bir yapının dinamik analizi için kullanılabilecek dosyalar <https://drive.google.com/file/d/1whOZmx0RQrn4tsNpTofEaJXrz3rflGNt/view?usp=s-haring> linkinden elde edilebilir.

$$M\ddot{x}(t) + C\dot{x}(t) + Kx(t) = -M[1]\ddot{x}_g(t) \quad (7)$$

Şekil 3
MATLAB Simulink' de oluşturulmuş blok diyagramı



Denklem (7)'de yer alan denklemde görülen kütle (M), sönüm (C) ve rijitlik (K) matrisleri sırasıyla Denklem (8), (9) ve (10)'da ifade edilmiştir. Aynı zamanda, zamana bağlı olarak elde edilen

deplasman vektörü $\{x(t)\}$ ise Denklem (11)'de yer almaktadır.

$$M=\text{diag}[m_1 \quad m_2 \dots m_N] \quad (8)$$

$$C = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & & & & \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & & & \\ & \cdot & \cdot & & & \\ & & \cdot & \cdot & & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & -c_N \\ & & & & & c_N \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$K = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & & & & \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & & & \\ & \cdot & \cdot & & & \\ & & \cdot & \cdot & & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & -k_N \\ & & & & & k_N \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$\mathbf{x}(t) = [x_1 \ x_2 \dots x_N]^T \quad (11)$$

Bununla birlikte SDOF yapılar için uygulanan dinamik analizlerin simülasyonları, ele alınan tüm deprem uyarımları için de gerçekleştirilmiş olup yapı örneklerine yönelik olarak belirlenen kritik deplasman üzerinde etkili olan deprem kaydı altında oluşan yapısal tepkiler de elde edilmiştir.

Bu sürecin ardından bütün metasezgisel tabanlı optimizasyon süreçlerinde olduğu gibi, tasarım değişkenleri için bir başlangıç çözüm matrisi oluşturulmaktadır. Matrisi oluşturacak değerler, tasarım değişkenlerine ait çözüm aralığı içerisinde rassal bir şekilde seçilmektedir. Bununla birlikte dinamik analizler, ele alınan tüm deprem uyarımları için de gerçekleştirilmiş olup maksimum/kritik kayıt değerleri de matrisi oluşturan her bir çözüm grubuna yönelik olarak aday çözümlerle kıyaslama yapılabilmesi açısından belirlenmiştir. Dinamik analizler sırasında kullanılan matris yapılarla birlikte deplasman vektörü de Denklem (12)-(15) ile güncellenmektedir.

$$M=\text{diag}[m_1 \quad m_2 \dots m_N \quad m_d] \quad (12)$$

$$C = \begin{bmatrix} (c_1 + c_2) & -c_2 & & & & \\ -c_2 & (c_2 + c_3) & -c_3 & & & \\ & \cdot & \cdot & & & \\ & & \cdot & \cdot & & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & -c_N \\ & & & & & (c_N + c_d) & -c_d \\ & & & & & -c_d & c_d \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$K = \begin{bmatrix} (k_1 + k_2) & -k_2 & & & & \\ -k_2 & (k_2 + k_3) & -k_3 & & & \\ & \cdot & \cdot & & & \\ & & \cdot & \cdot & & \\ & & & \cdot & \cdot & \\ & & & & \cdot & \cdot \\ & & & & & \cdot \\ & & & & & -k_N \\ & & & & & (k_N + k_d) & -k_d \\ & & & & & -k_d & k_d \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$\mathbf{x}(t) = [x_1 \ x_2 \dots x_N \ x_d]^T \quad (15)$$

Bunun yanı sıra optimizasyon problem Denklem (16)'da ifade edilen tasarım koşuluyla kısıtlanmaktadır. Bu kısıt TMD'nin uzama kapasitesinin sınırlandırılması ile ilgili bir durumdur. Uzama kapasitesi, denklemde de görülen st_max adında bir parametre yardımıyla sınırlandırılmaktayken sayısal uygulamalar için parametrenin değeri 1.5 olarak alınmıştır.

$$\frac{\max|x_{N+1} - x_N|_{TMD}}{\max|x_N|} \leq st_max \quad (16)$$

Burada $|x_{N+1}|_{TMD}$ ve $|x_N|_{TMD}$ yapıda TMD'nin kullanılması durumunda sırasıyla TMD ve yapı için elde edilen maksimum düzeydeki deplasman değerlerini; $|x_N|$ ise TMD'nin bulunmadığı durumda yapıda oluşan en büyük deplasman değerini göstermektedir.

Başlangıç çözümlerinin oluşturulmasının sonrasında ise yinelemeli optimizasyon süreçleri başlatılmaktadır. Bu aşamada mevcut çözüm matrisi yeni üretilen çözüm değerleri vasıtasıyla güncellenir ve gerekli dinamik analizler yeniden yapılarak Denklem (16)'nın da kontrol edilmesi sağlanır. Eğer Denklem (16)'da ifade edilen tasarım kısıtı sağlanamamışsa mevcut çözüme ait amaç fonksiyonu büyük bir değerle cezalandırılmaktadır. Bununla birlikte mevcut veya yeni üretilen çözümlerden herhangi birinin ilgili koşul açısından uygun şartları sağlayabilmesi durumunda ise ilgili çözüme ait optimum değerler ve amaç fonksiyonu en iyi sonuçlar olarak kabul edilir. Bu şekilde yürütülmekte olan optimizasyon metodolojisi var olan herhangi bir metasezgisel algoritma yoluyla güncellenebilmektedir. Toplamda gerçekleştirilecek olan yapısal optimizasyon tasarım analizleri ise tanımlanan iterasyon/yineleme sayısı tamamlandıkça kadar sürdürülecektir.

Sayısal Örnekler

SDOF yapılar üzerinde kullanılmak üzere optimum yani belirlenen amaca en uygun (maksimum/yer değiştirme değerinin minimizeasyonu) TMD tasarımlarının oluşturulmasına yönelik olarak, farklı yapısal parametrelerden yararlanılarak çeşitli yapı modeli kombinasyonları oluşturulmuştur. Söz konusu kombinasyonlara yönelik olarak, tasarım değişkenleri için bütün optimal değerler kritik yani maksimum deplasmanın minimizeasyonu doğrultusunda FPA aracılığıyla elde edilmiş olup sonuçlar Tablo 2'de görülebilmektedir.

Şekil 4' de ise, yapı parametreleri için çeşitli değerler kullanılarak elde edilmiş modellerden 7. kombinasyona ait deplasman değerlerinin zamana bağlı olarak değişim grafiği, TMD'nin yapıda hem kullanıldığı hem de yer almadığı iki farklı durum için gösterilmiştir.

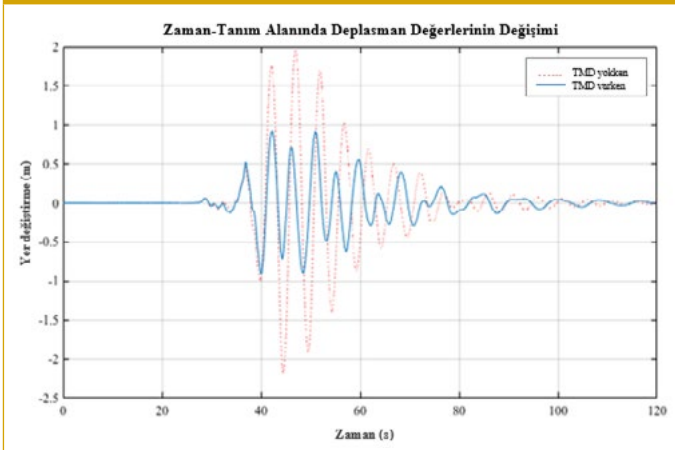
Tablo 2

Farklı yapı parametrelerine göre elde edilen optimizasyon sonuçları

Yapı modeli	Kütle oranı (μ)	Yapı periyodu (T_s)	Yapının sönüm oranı (ξ_s)	Optimum TMD sönüm oranı (ξ_d)	Optimum TMD periyodu (T_d)	TMD varlığında oluşan maksimum deplasman ($x_{i,TMD}$)	TMD bulunmadığı durumdaki maksimum deplasman (x_f)
1	0.05	0.5	0.03	0.1030	0.6335	0.1063	0.1678
2	0.3	2	0.05	0.1768	2.3436	0.3298	0.4842
3	0.01	4	0.2	0.4040	5.8008	0.8189	1.7367
4	0.4	2	0.1	0.1768	2.3436	0.3277	0.3857
5	0.05	3	0.03	0.1871	3.0510	0.7628	1.0673
6	0.35	1.5	0.2	0.1094	1.6296	0.1302	0.2014
7	0.4	5	0.05	0.0651	6.8872	0.9346	2.1884
8	0.25	0.5	0.03	0.1228	0.5932	0.0528	0.1678
9	0.2	4	0.2	0.3036	5.3937	0.7888	0.8235
10	0.01	3	0.1	0.1899	4.0381	0.6114	0.6219

Şekil 4

7. yapı kombinasyonuna yönelik oluşturulmuş zaman-tanım alanı grafiği



Sonuçlar

Mevcut çalışma nihayetinde Tablo 2' den de görülebileceği gibi, uygulanan optimizasyon yaklaşımı dinamik analizlerin son derece başarılı bir şekilde sonuçlandırılmasına olanak sağlamıştır. Bunun asıl nedeni ise ele alınan yapı tasarımlarına TMD'nin eklenmesi sonucunda elde edilen deplasman miktarlarının TMD'nin bulunmadığı başlangıç durumuna göre oldukça azalış göstermiş olmasıdır. Ayrıca TMD için optimal periyotlar da her bir tasarım kombinasyonuna ait yapısal periyoda olan yakınlığı açısından uygun kabul edilebilir. Ek olarak Şekil 4 ile de, örnek bir gösterim olması açısından 7. yapı tasarımı kombinasyonuna yönelik olarak deplasman değerlerinin değişimi, dinamik hareketin gerçekleştiği süre boyunca zaman-tanım alanı geçmişi olarak yansıtılmış olup söz konusu tasarıma ait deplasman miktarlarının TMD kullanımıyla azaldığı ve bu bağlamda gerçekleştirilen optimizasyon uygulamalarının son derece verimli olduğu da görülebilir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

- Abd Elrehim, M.Z., Eid, M.A., & Sayed, M.G. (2019). Structural optimization of concrete arch bridges using genetic algorithms, *Ain Shams Engineering Journal*, 10(3), 507-516. [Crossref]
- Abd Rahman, M.A., Ismail, B., Naidu, K., & Rahmat, M.K. (2019). Review on population-based metaheuristic search techniques for optimal power flow, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 15(1), 373-381. [Crossref]
- Abdelkader, E.M., Moselhi, O., Marzouk, M., & Zayed, T. (2021). A grey wolf optimization-based method for segmentation and evaluation of scaling in reinforced concrete bridges, *International Journal of Information Technology & Decision Making*, 20(6), 1561-1614. [Crossref]
- Bekdas, G., Nigdeli, S.M., & Yucel, M. (2020). Artificial Intelligence and Machine Learning Applications in Civil, Mechanical, and Industrial Engineering. IGI Global. [Crossref]
- Chakraborty, S., Raman, A., Sen, S., Mali, K., Chatterjee, S., & Hachimi, H. (2019, February). *Contrast Optimization Using Elitist Metaheuristic Optimization and Gradient Approximation for Biomedical Image Enhancement*. In 2019 Amity International Conference on Artificial Intelligence (AICAI) (pp. 712-717). IEEE. [Crossref]
- Daniel, E., & Anitha, J. (2016). Optimum wavelet based masking for the contrast enhancement of medical images using enhanced cuckoo search algorithm, *Computers in Biology and Medicine*, 71, 149-155. [Crossref]
- Duong, T.L., Duong, M.Q., Phan, V.D., & Nguyen, T.T. (2020). Optimal reactive power flow for large-scale power systems using an effective metaheuristic algorithm, *Journal of Electrical and Computer Engineering*. [Crossref]
- El-Ghandour, H.A., & Elbeltagi, E. (2018). Comparison of five evolutionary algorithms for optimization of water distribution networks, *Journal of Computing in Civil Engineering*, 32(1), 04017066. [Crossref]

- Farshidianfar, A., Soheili, S. (2013). Ant colony optimization of tuned mass dampers for earthquake oscillations of high-rise structures including soil-structure interaction, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 51, 14-22. [\[Crossref\]](#)
- FEMA P-695 (2009). *Quantification of Building Seismic Performance Factors*. Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 2009.
- Himanshu, N., Kumar, V., Burman, A., Maity, D., & Gordan, B. (2021). Grey wolf optimization approach for searching critical failure surface in soil slopes, *Engineering with Computers*, 37(3), 2059-2072. [\[Crossref\]](#)
- Javidi, A., Salajegheh, E., Salajegheh, J. (2019). Enhanced crow search algorithm for optimum design of structures, *Applied Soft Computing*, 77, 274-289. [\[Crossref\]](#)
- Kaveh, A., Ghazaan M.I. (2017). Vibrating particles system algorithm for truss optimization with multiple natural frequency constraints, *Acta Mechanica*, 228, 307-322. [\[Crossref\]](#)
- Kayabekir, A.E., Nigdeli, S.M., Bekdaş, G., Yücel, M. (2021, June). *Optimum Design of Tuned Mass Dampers for Real-Size Structures via Adaptive Harmony Search Algorithm*. In 14th ECCOMAS Thematic Conference on Evolutionary and Deterministic Methods for Design, Optimization and Control (EUROGEN 2021). [\[Crossref\]](#)
- MATLAB R2018a. Matlab with Simulink (2018). *The MathWorks*, Natick, MA.
- Maurya, L., Mahapatra, P.K., & Kumar, A. (2019). A fusion of cuckoo search and multiscale adaptive smoothing based unsharp masking for image enhancement. *International Journal of Applied Metaheuristic Computing (IJAMC)*, 10(3), 151-174. [\[Crossref\]](#)
- Moayedi, H., Tien Bui, D., Anastasios, D., & Kalantar, B. (2019). Spotted hyena optimizer and ant lion optimization in predicting the shear strength of soil, *Applied Sciences*, 9(22), 4738. [\[Crossref\]](#)
- Pant, M., & Snasel, V. (2021). Design optimization of water distribution networks through a novel differential evolution, *IEEE Access*, 9, 16133-16151. [\[Crossref\]](#)
- Pruthi, J., Arora, S., & Khanna, K. (2018). Metaheuristic techniques for detection of optic disc in retinal fundus images, *3D Research*, 9(47), 1-22. [\[Crossref\]](#)
- Sharma, S., & Singh, G. (2020). Diagnosis of cardiac arrhythmia using swarm-intelligence based metaheuristic techniques: a comparative analysis, *EAI Endorsed Transactions on Pervasive Health and Technology*, 20(23). [\[Crossref\]](#)
- Sivalingam, C.M.K., Ramachandran, S., & Rajamani, P.S. (2017). Reactive power optimization in a power system network through metaheuristic algorithms, *Turkish Journal of Electrical Engineering & Computer Sciences*, 25(6), 4615-4623. [\[Crossref\]](#)
- Vineeth, P., Babu, V., & Suresh, S. (2021). Performance evaluation and analysis of population-based metaheuristics for denoising of biomedical images, *Research on Biomedical Engineering*, 37(2), 111-133. [\[Crossref\]](#)
- Yang, X.S. (2012). Flower Pollination Algorithm for Global Optimization. In *International Conference on Unconventional Computing and Natural Computation* (pp. 240-249). Springer, Berlin, Heidelberg. [\[Crossref\]](#)
- Yucel, M., Bekdaş, G., Nigdeli, S.M., Sevgen, S. (2019). Estimation of optimum tuned mass damper parameters via machine learning, *Journal of Building Engineering*, 26, 100847. [\[Crossref\]](#)
- Zhou, Y., Ye, J., Du, Y., & Sheykhahmad, F.R. (2020). New improved optimized method for medical image enhancement based on modified shark smell optimization algorithm, *Sensing and Imaging*, 21(1), 1-22. [\[Crossref\]](#)

BÖLÜM 5

AYARLI SIVI SÖNÜMLEYİCİSİ

PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL

YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU

Ayla OCAK
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELİ

Ayarlı Sıvı Sönümleyicisi Parametrelerinin Metasezgisel Yöntemler ile Optimizasyonu

Optimization of Tuned Liquid Damper Parameters with Metaheuristic Methods

BÖLÜM HAKKINDA

Sıvının çalkalanması sonucu oluşan kuvvetlerden faydalanarak kontrol sağlayan içi sıvı ile dolu tank içeren sönümleyiciler, ayarlı kütle sönümleyicileri için bir alternatiftir. Bu bölümde ayarlı sıvı sönümleyicilerinin tasarımında kullanılacak lineer formüller sunulmuş ve hareket denkleminin modellenmesi kısaca anlatılmıştır. Tek serbestlik dereceli sistemler için ayarlı sıvı sönümleyicilerinin performansı sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Ayarlı sıvı sönümleyici, yapısal analiz, pasif kontrol

ABOUT the CHAPTER

Dampers containing tanks filled with liquid, which provide control by taking advantage of the forces resulting from the shaking of the liquid, are an alternative to tuned mass dampers. In this section, linear formulas that can be used in the design of tuned liquid dampers are presented and modeling of the equation of motion is briefly explained. Performance of tuned liquid dampers for single degree of freedom systems is presented.

Keywords: Tuned liquid damper, structural analysis, passive control.

Giriş

Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD), basit kurulumu, enerji tasarrufu sağlaması, düşük maliyetler gerektirip, bakım ve onarımının kolay olması gibi sebeplerden ötürü son yıllarda titreşim kontrolü için tercih edilen bir sistem olmuştur. Özellikle rüzgâr titreşimlerinde gösterdiği kontrol performansı, ince uzun tasarımdaki kule, baca vb. yapılarda kullanımını artırırken, sismik uyarımlar altında yapılan çalışmalarla, farklı türdeki titreşimler için de uygulamaları artmıştır. Rüzgâr titreşimlerindeki kontrol uygulamalarında en iyi örneklerden biri olarak, dünyanın çapına oranla en ince uzun kulesi olan ve İngiltere’de sahil şeridinde bulunduğu için rüzgâr titreşimlerine maruz kalan British Airways i360 kulesi söylenebilir. Kulenin üç doğal modu hesaplanarak, bu üç moda uygun ayarlanmış geometrilerde TLD’ler tasarlanmış, çoğunluğu kulenin tepesinde olacak şekilde üç farklı yüksekliğe yerleştirilerek rüzgâr titreşimleri kontrol edilmiştir (<https://britishairwaysi360.com>). TLD’lerin kule, baca vb. yapıların yanı sıra köprü, açık deniz platformu ve çok katlı binalarda da birçok uygulaması mevcuttur. Çok katlı yapılara örnek olarak Amerika’da bulunan ayarlı sıvı kolon sönümleyici (TLCD) kullanılmış Comcast Center binası ve yapının en üstüne yerleştirilmiş devasa bir su tankını andıran One Rincon Hill yapısı örnek gösterilebilir.

Sıvı sönümleyicilerin temel çalışma prensibi, bir yay ve kütle yardımıyla yapıya bağlanarak oluşturulmuş sistemde, sıvının çalkalanma enerjine dayanmaktadır. Yapıya gelen titreşimler karşısında, yapı hareket ettikçe, TLD içerisindeki sıvı bu harekete zıt yönde sistemde dolaşarak sönümü sağlamaktadır. Kontrolde optimum verimin elde edilmesi için TLD’lerin tasarımı büyük önem arz etmektedir. Tasarımda uygulanacak kısıtlamalar, sıvı kütle belirlenmesi, çalkalanmayı etkileyecek sıvı karakteristiği gibi özellikler tasarımda dikkat edilmesi gereken başlıca unsurları oluşturmaktadır. Sıvı sönümleyici parametrelerinin optimum tasarımı, kontrolden alınacak verimi arttırmaktadır.

Bu bölümde tek katlı bir yapıya yerleştirilmiş silindirik bir TLD’nin tasarım parametreleri, sınır şartları ve sismik uyarımlar altında Matlab Simulink üzerinde tasarlanması anlatılmaktadır.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Ayla Ocak

Gebrail Bekdaş

Sinan Melih Nigdeli

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği
Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye
E-posta: aylaocak@outlook.com
bekdas@iuc.edu.tr
melihnig@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntı / Cite this chapter as:
Ocak, A., Nigdeli & S.M., Bekdaş, G. (2024).
Ayarlı sıvı sönümleyicisi parametrelerinin
metasezgisel yöntemler ile optimizasyonu. G.
Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve
pasif kontrolü: matlab simulink uygulamaları*
içinde (s. 26-30). İstanbul: İÜC Üniversite Ya-
yinevi.

Ayarlı Sıvı Sönümleyicilerin Tasarımı

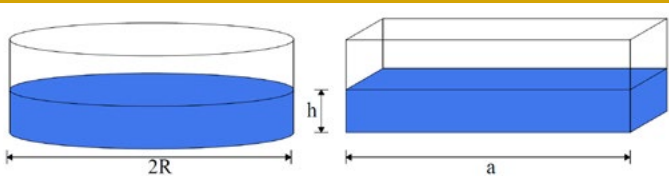
Ayarlı sıvı sönümleyiciler (TLD), taban geometrisine göre isim alan pasif sönümleme cihazlarıdır. Dairesel tabana sahip bir sıvı sönümleyici, silindirik TLD olarak adlandırılırken, taban şekli dikdörtgen olan bir sıvı sönümleyici, dikdörtgen tabanlı TLD olarak isim almaktadır. TLD'ler kütle ve yay modelinden oluşmakta olup, sıvı kütlenin çalkalanmasını, tankın geometrik özellikleri etkilemektedir. Kontrolü sağlayan ana maddenin sönümleyicide kullanılan sıvı olduğu göz önüne alınarak TLD'ler tasarlanmalıdır. Sıvı çalkalanma problemiyle ilgili tank geometrisi, sıvı özellikleri ve hidrodinamik teoriye göre tasarımda çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. TLD'lerin tank tasarımlarıyla ilgili farklı geometriler ve taban eğimleriyle çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Casciati vd., klasik geometrik formların dışına çıkarak konik TLD'ler üzerine çalışmış, Zhang, Cavalaglı vd., düz ve eğimli TLD'ler üzerine çalışmalar yaparak, eğimli sıvı sönümleyicilerin daha verimli olabileceğini gözlemlemiştir (Casciati vd., 2003; Zhang, 2020; Cavalaglı vd., 2021). Ancak eğimli tabana sahip sönümleyicilerin, az sıvı bulundurma gereksinimi ve düz tabanlı tasarıma oranla daha dayanıksız olması gibi unsurlar, tasarımda olumsuz bir yan oluşturmuştur. Sıvıların temel çalkalanma hareketiyle ilgili optimum verimin alınması için taban geometrisiyle ilgili tasarım koşulu geliştirilmiştir. Fujino vd., tank geometrisinden bağımsız olarak tank boyutlarında, sıvının rahatça çalkalanmasını sağlayan etkili sıvı uzunluğu ile (uzun taban kenarı) sıvı yüksekliği arasında bir oran önermiştir (Fujino vd., 1992). Bu orana göre çalkalanmadan alınacak optimum verim için sıvı yüksekliğinin, etkili sıvı uzunluğuna oranı %15'ten fazla olmalıdır. Önerilen bu tasarım ölçütü, dairesel tabanda bir TLD için $\frac{h}{2R} > 0.15$ olarak gösterilirken, dikdörtgen taban geometrisindeki bir TLD için $\frac{h}{a} > 0.15$ şeklinde taban tasarımına göre uyarlanmaktadır. Şekil 1'de minimum koşul dikkate alınarak tasarlanmış dikdörtgen ve silindirik TLD örneği gösterilmektedir. Tasarımda, sıvı yüksekliği ve etkili sıvı uzunluğu arasındaki oran %15 alınmıştır. Literatürde önerilen koşula göre 100 cm taban boyutu için 15 cm alınan sıvı yüksekliği daha fazla olmalıdır.

Sıvıların çalkalanma problemi üzerine Abramson, doğrusal hidrodinamik teoriden yola çıkarak, silindirik TLD'lerin sönüm parametrelerinin geliştirilmesinde katkı sağlamıştır (Abramson, 1966). Abramson, oluşturduğu çalkalanma modelinde, sıvıların bütünüyle çalkalanmadığını, bir miktar sıvının pasif olarak hareketsiz kaldığını vurgulamıştır. Şekil 2'de Abramson'un çalkalama modeli gösterilmektedir.

Açıklama notu. Abramson, H. N., 1966, The dynamic behavior of liquids in moving containers. NASA SP-106. NASA Special Publication, 106; Sharma, V. Arun, C. O. Krishna, I. P., [2019]. Development and validation of a simple two degree of freedom model for predicting maximum fundamental sloshing mode wave height in

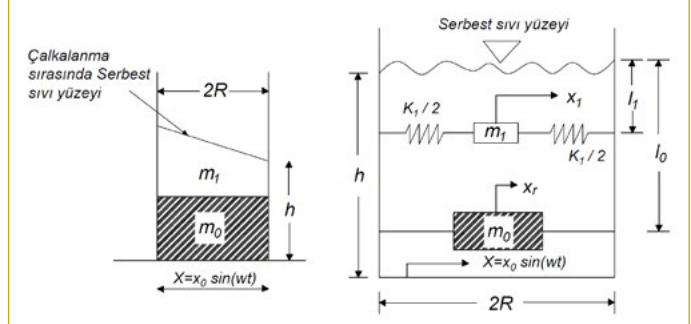
Şekil 1

Etkili sıvı uzunluğu 100 cm ve sıvı yüksekliği 15 cm tasarlanmış dairesel ve dikdörtgen tabanlı TLD.



Şekil 2

Abramson'un çalkalama modeli.

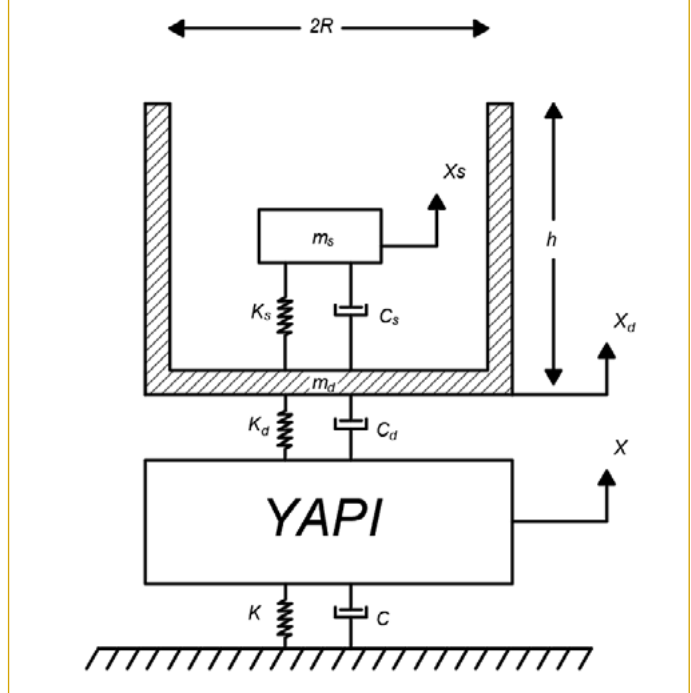


a cylindrical tank. Journal of Sound and Vibration , 461, 114906 kaynaklarından uyarlanmıştır.

Abramson'un modeli baz alınarak silindirik bir TLD için tasarım denklemleri oluşturulmuştur. Sharma vd., yaptıkları bir çalışmada Abramson'un çalışmasını baz alarak silindirik TLD'ler için aktif ve pasif sıvıdan oluşan tankın iki serbestlik dereceli olarak hareketini varsaydıkları modelin geliştirilmesi ve doğrulanması üzerine çalışmıştır (Sharma vd., 2019). Dairesel tabanlı bir TLD'nin tek katlı bir yapı üzerine yerleştirilmesi ile elde edilecek üç serbestlik dereceli (3DOF) sistem örneği Şekil 3'te gösterilmektedir.

Şekil 3

Üç serbestlik dereceli Yapı + Silindirik TLD modeli.



Şekil 3'te gösterilen modele göre pasif sıvı ve tankın hareketi bir serbestliği, çalkalan sıvı hareketi, ikinci serbestliği ve yapının hareketi üçüncü serbestliği oluşturmaktadır. Aktif ve pasif sıvı kütle ayrımı dikkate alındığında, Tanktaki toplam sıvı kütlesi (m_{st}) Denklem 1'deki gibi hesaplanabilmektedir. Burada h , sıvı yüksekliğini, R , tank yarıçapını, p , tank sıvısının yoğunluğunu ifade etmektedir.

$$m_{st} = \pi R^2 h p \quad (1)$$

Silindirik cisimlerdeki dalga yayılımları, Friedrich Wilhelm Bes-sel'in genelleştirmesiyle bir fonksiyon haline getirilmiştir. Bes-sel adı verilen bu fonksiyonun kökleri sıvının teğetsel ve radyal yöndeki sönüm oranınının (ξ_{mn}) hesaplanmasını sağlamaktadır (Sharma vd., 2019). Sönüm oranı parametresinin m ve n indis-leri, titreşim modunun yönlerini ifade etmektedir. Sıvı modunun, 1.titreşim modu seçilmesiyle sönüm hızı değeri 1.84 olarak he-saplanabilmektedir (Bauer, 1964; Sharma vd., 2019). Bu değer in hesabı, yanal çalkalanma kuvvetlerinin bulunmasını ve çalkalan-ma rijitliği ile frekansının elde edilmesini sağlamaktadır (İbrahim, 2005; Sharma vd., 2019). Denklem 2'de çalkalanan sıvı özellikle-rinin hesabıyla türetilmiş çalkalanan sıvı kütlesi (m_s) denklemi verilmektedir.

$$m_s = m_{st} \times R \times \frac{\tanh\left(\frac{1.84h}{R}\right)}{2.2h} \quad (2)$$

Şekil 3'te verilen modelde, tank kütlesi ve pasif sıvının birlikte ha-reket ettiği tek bir kütle (m_d) gösterilmektedir. Bu kütle TLD'nin hareketini temsil eden kütle parametresidir. TLD'nin toplam kü-tlesinden (m_{TLD}), çalkalanan sıvı kütlesinin çıkarılmasıyla elde edilmektedir. Hesabı Denklem 3'te verilmektedir.

$$m_d = m_{TLD} - m_s \quad (3)$$

Literatürde sıvı sönümleyiciler ve benzer bir sistem olan kütle sönümleyiciler için uygun kütle oranları olarak %1-%5 arasında kütle oranı seçilebileceği önerilmektedir (Sun vd., 1992; Yu vd., 1999; Vickery vd., 1983; Rana ve Soong, 1998). Tasarımda toplam TLD kütlesi bu oranlar dikkate alınarak seçilmelidir.

Çalkalanan sıvı rijitliği ve sönümleyici rijitliği toplam sıvı kütlesi ve tank+pasif sıvı kütlesine göre sırasıyla Denklem 4 ve 5'teki gibi hesaplanmaktadır. Denklem 5'te sönümleyicinin periyodu T_d ile gösterilmiştir.

$$k_s = m_{st} \times \frac{g\left\{\tanh\left(\frac{1.84h}{R}\right)\right\}^2}{1.19h} \quad (4)$$

$$k_d = m_d \times \left(\frac{2\pi}{T_d}\right)^2 \quad (5)$$

Tanktaki sıvı çalkalanmasını etkileyen önemli parametrelerden biri de sıvının kinematik viskozitesidir. Bu parametre deneysel ça-lışmalar sonucu üretilmiştir (Mikishev ve Dorozhkin, 1961; Ab-ramson, 1966; Sharma vd., 2019). Denklem 6'da çalkalanan sıvı-nın sönüm hesabı gösterilmektedir.

$$\zeta_s = 4.98v^{\frac{1}{2}}R^{-\frac{3}{4}}g^{-\frac{1}{4}} \left[1 + \frac{0.318}{\sinh\left(\frac{1.84h}{R}\right)} \frac{1-\frac{h}{R}}{\cosh\left(\frac{1.84h}{R}\right)} \right] \quad (6)$$

Çalkalanan sıvı ve sönümleyicinin sönüm katsayıları sırasıyla Denklem 7 ve 8'de gösterilmektedir.

$$c_s = \zeta_s \times 2\sqrt{m_s k_s} \quad (7)$$

$$c_d = 2 \times \zeta_d \times \sqrt{m_d \times k_d} \quad (8)$$

Sönümleyici cihazın sönüm oranı denklemi Denklem 9'da veril-mektedir.

$$\zeta_d = \frac{c_d}{2m_d \sqrt{\frac{k_d}{m_d}}} \quad (9)$$

En sade haliyle sönümleyici için geliştirilen hareket denklemi, Denklem 10'daki gibi ifade edilmektedir. Burada X , yatay yer de-ğiştirmeyi, \dot{X} , yapı hızını, yapı ivmesini ve \ddot{X} , yer ivmesini temsil etmektedir. Denklemde kullanılan, kütle (M), rijitlik (K) ve sö-nüm katsayısı (C) matrisleri sırasıyla Denklem 11, 12 ve 13'te gösterilmektedir. Matrisler içerisinde yer alan indissiz terimler yapıya, d indisli ter sönümleyiciye ve s indisli ter çalkalanmaya ait terimleri belirtmektedir.

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = -[M]1\{\ddot{X}_g\} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} m & 0 & 0 \\ 0 & m_d & 0 \\ 0 & 0 & m_s \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$\begin{bmatrix} K + K_d & -K_d & 0 \\ -K_d & K_d + K_s & -K_s \\ 0 & -K_s & K_s \end{bmatrix} \quad (12)$$

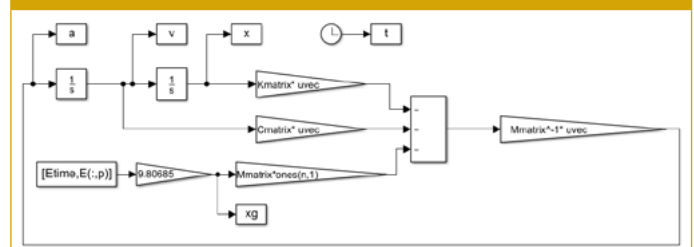
$$\begin{bmatrix} C + C_d & -C_d & 0 \\ -C_d & C_d + C_s & -C_s \\ 0 & -C_s & C_s \end{bmatrix} \quad (13)$$

Matlab Simulink'te Deprem Simülasyonu Oluşturulması

Sönümleyicilerin tasarımında, yapıya uygulanacak dinamik yük simülasyonu, Matlab Simulink üzerinde hareket denklemlerinin kurgulanması ile oluşturulabilmektedir (Matlab, 2018). Simülas-yon modeli için ilk yapılması gereken işlem kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri ile hareket denklemlerinin oluşturulmasıdır. Uygula-nacak dinamik yükün bir deprem olması durumunda, deprem ivmelerinin bu modele işlenmesi hareket denkleminin tanımlan-masında kullanılmaktadır. M, K ve C matrisleri Denklem 10'daki hareket denklemine göre sırasıyla yapı ivmesi, hızı ve yer de-ğiştir-mesiyle çarpılmalıdır. Bunun için Matlab Simulink üzerinde integ-ral bloğuyla ivmeden hıza ve yer değiştirmeye geçiş yapılmaktadır. Hareket denkleminde modellemeye daha basit hale getirmek için tüm denklem M matrisinin tersiyle çarpılmaktadır. Tek katlı bir yapıya gönderilecek deprem uyarımları altında, 3DOF bir sistemin modellenmesi Şekil 4'te gösterilmektedir.

Şekil 4

Deprem uyarımları altında TLD içeren bir yapının Matlab Simulink Modellemesi.



Şekildeki a parametresi yapının ivmesini ifade etmektedir. Matlab Simulink’de bulunan integral bloğu yardımıyla ivmeden, yapı hızı olan v parametresine ve yapı yer değiştirmesi x’e geçmek mümkündür. Modelde gösterilen x_g yer ivmesini, Etime, deprem datasını ifade etmektedir. Daha sonra bu değerler Simulink’deki çarpım (gain) bloğuyla vektörel olarak çarpılarak toplama (sum) bloğuyla M matrisinin tersiyle çarpılmaktadır. Simulink modeli için Denklem 10’dan dönüştürülmüş işlem, Denklem 14’te verilmektedir.

$$[M]\{\ddot{X}\} + [C]\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = -[M]1\{\ddot{X}_g\} \quad (14)$$

Simulinkde model oluşturulduktan sonra, TLD tasarım parametreleri denklemleri, simülasyonun süresi, deprem kayıtları, yapı kütle, rijitlik sönüm katsayısı gibi özellikler bir matlab dosyasında tanımlanır ve simülasyon dosyası çağrılarak deprem analizi başlatılır. Her bir deprem kaydı için simülasyonda yapı yer değiştirme ve ivme değerleri elde edilir ve deprem analizi tamamlanmış olur.

Sayısal Örnek

Ayarlı sıvı sönümleyiciler, çalkalanan sıvının ve sönümleyici tankın yer değiştirmesiyle enerjiyi sönümlenmektedir. Bu tip sönümleyiciler çalkalanma prensibinin doğası gereği iki serbestlik dereceli olarak ele alınmaktadır. Üzerine eklendikleri yapının serbestliği de eklendiğinde sistemin serbestlik derecesi elde edilmektedir. TLD tasarımında incelenecek örnekte, tek katlı bir yapıya yerleştirilen

silindirik TLD için üç serbestlik dereceli (3DOF) bir model oluşturulmuştur. Şekil 5’te TLD ve yapı modeli gösterilmektedir.

Örnek TLD tasarımı için tek katlı yapının doğal periyodu 1 saniye ve yapı kütlesi 100 ton alınarak, TLD için %5’lik kütle oranı seçilmiştir. Titreşim kontrolündeki etkisini araştırmak için Matlab Simulink aracılığıyla yapıya iki bileşenli 22 kayıt içeren FEMA deprem uyarımları gönderilmiştir (FEMA, 2009). İçerisinde sıvı olarak su kullanılan bir TLD’de deprem analizi yapılmıştır. Analizde kullanılacak TLD parametreleri, Ocak vd., tarafından yapılan bir çalışmada, tek katlı yapının deprem uyarımları altında minimum deplasmanı elde etmesi için uygulanan Jaya optimizasyonundan elde edilen değerler alınmıştır (Ocak vd., 2022). Tablo 1’de optimum TLD parametreleri ve hesaplanan değerler gösterilmektedir.

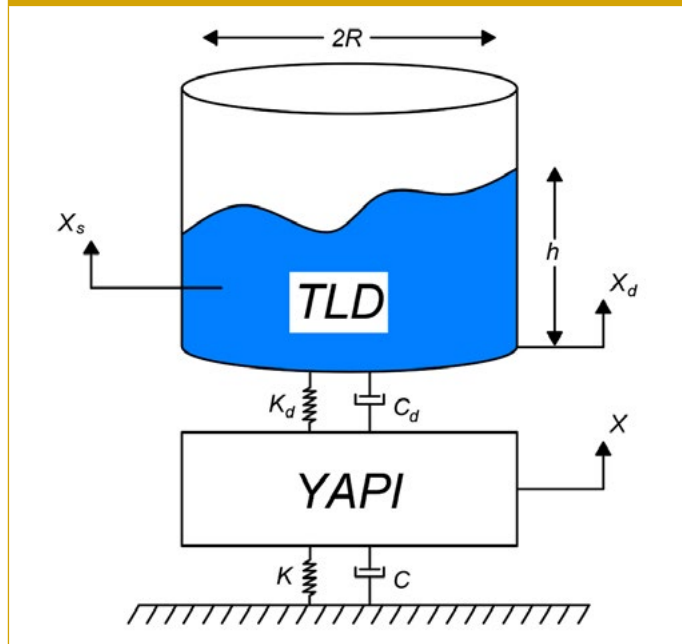
Tablo 1
TLD tasarım parametreleri ve hesaplanmış değerler

Parametreler	Birim	Değerler
m_{TLD}	kg	5000
T_d	s	0.8903
ζ_d	-	0.0254
ν	m ² /s	8.96x10 ⁻⁷
R	m	0.5575
h	m	4.6875
ρ	kg/m ³	998
ν	m ² /s	8.96x10 ⁻⁷
m_{st}	kg	4706.16
m_s	kg	246.90
k_s	N/m	8029.84
ζ_s	-	0.0041
c_s	Ns/m	11.6273
m_d	kg	4753.10
k_d	N/m	236477.01
c_d	Ns/m	1741.59

Açıklama notu. Ocak, A., Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M., 2022, A metaheuristic-based optimum tuning approach for tuned liquid dampers for structures. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 31(3), e1907 kaynağından alınmıştır.

Şekil 5

Örnekte kullanılan TLD + Yapı modeli.



Tablo 2

Kritik deprem analizinden elde edilen deplasman ve toplam ivme değerleri

TLD’siz Yapı		TLD’li Yapı		Düşüş Yüzdeleri	
Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme	Deplasman	Toplam İvme
0.2873419	11.4077630	0.2314771	8.7560135	% 19.44	% 23.25

Açıklama notu. Ocak, A., Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M., 2022, A metaheuristic-based optimum tuning approach for tuned liquid dampers for structures. The Structural Design of Tall and Special Buildings, 31(3), e1907 kaynağından alınmıştır.

Yapıya uygulanan deprem simülasyonu sonrası analizlerdeki kritik depremden elde edilen deplasman ve toplam ivme sonuçları Tablo 2'de verilmektedir (Ocak vd., 2022).

Tablo 2 incelendiğinde, tek katlı bir yapıya TLD eklenmesiyle %20 'ye yakın bir deplasman düşüşü ve %24'e yakın toplam ivmede düşüş elde edilebileceği görülmektedir. TLD'lerin tasarımında sıvı kütleinin ve yapı kütleinin, yanı sıra tank geometrisini ifade eden parametrelerin doğru seçimi, kütle rijitlik ve sönüm katsayısı matrislerini etkilediği için doğrudan yapı hareket denklemi ve deprem uyarımı karşısında yapının tepkisini etkilemektedir.

Tüm bunlar göz önüne alındığında, ana kontrol parametrelerinin dikkatli seçilmesinin ve literatürdeki önerilen sınırlara uyulmasının, sönümleyici verimini arttırdığı anlaşılmaktadır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

- Abramson, H. N. (1966). The dynamic behavior of liquids in moving containers. NASA SP-106. *NASA Special Publication*, 106.
- Bauer, H.F (1964). Tables and graphs of zeros of cross product besel functions. *Mathematics of Computation*, 18 (85), 128. [Crossref]
- Brightoni 360, Delivering Dampers, <https://britishairwaysi360.com/latest-news/delivering-dampers/> [Ziyaret Tarihi: 12 Mart 2022].

Casciati, F, De Stefano, A., Matta, E. (2003). Simulating a conical tuned liquid damper. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 11(5-6), 353-370. [Crossref]

Cavalagli, N., Agresta, A., Biscarini, C., Ubertini, F., Ubertini, S. (2021). Enhanced energy dissipation through 3D printed bottom geometry in Tuned Sloshing Dampers. *Journal of Fluids and Structures*, 106, 103377. [Crossref]

FEMA P-695, Quantification of Building Seismic Performance Factors, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, (2009).

Ibrahim, R. A. (2005). *Liquid sloshing dynamics: theory and applications*. Cambridge University Press.

Mikishev, G.N., Dorozhkin, N.Y. (1961). An experimental investigation of free oscillations of a liquid in containers, (*Izvestiya Akademii Nauk SSSR, Otdelenie Tekhnicheskikh Nauk Mekhanika: Mashinostroenie*), 4, 48-53.

Ocak, A., Bekdaş, G., & Nigdeli, S. M. (2022). A metaheuristic-based optimum tuning approach for tuned liquid dampers for structures. *The Structural Design of Tall and Special Buildings*, 31(3), e1907. [Crossref]

Rana, R. and Soong, T. T. (1998). Parametric study and simplified design of tuned mass dampers. *Engineering structures*, 20(3), 193-204. [Crossref]

Sharma, V. Arun, C. O. Krishna, I. P, (2019). Development and validation of a simple two degree of freedom model for predicting maximum fundamental sloshing mode wave height in a cylindrical tank. *Journal of Sound and Vibration*, 461, 114906. [Crossref]

Sun, L.M., Fujino, Y., Pacheco, B.M., Chaiseri, P. (1992). Modelling of tuned liquid damper (TLD). *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 43(1-3), 1883-1894.

The MathWorks, Matlab R2018a. (2018)., Natick, MA.

Vickery, B.J., Isyumov, N., Davenport, A.G. (1983). The role of dumping, mass, and acceleration. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.*, 11(1-3), 285-294. [Crossref]

Yu, JK, Wakahara, T., Reed, D.A. (1999). A non-linear numerical model of the tuned liquid damper. *Earthquake engineering & structural Dynamics*, 28(6), 671-686. [Crossref]

Zhang, Z. (2020). Numerical and experimental investigations of the sloshing modal properties of sloped-bottom tuned liquid dampers for structural vibration control. *Engineering Structures*, 204, 110042. [Crossref]

BÖLÜM 6

AKTİF TENDON KONTROLU VE FARKLI GERİ BESLEME PERFORMANSLARI

Serdar ULUSOY
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELİ

Aktif Tendon Kontrolü ve Farklı Geri Besleme Performansları

Active Tendon Control and Different Feedback Performances

BÖLÜM HAKKINDA

Bu bölüm bir aktif kontrol tekniği olan aktif tendonlar içeren yapılar hakkında bahsedilmiş ve bir uygulama örneği sunulmuştur. Kullanılan aktif kontrol sistemi oransal-integral-türev tipi kontrolcü kullanılmaktadır. Bu kontrol sisteminin özelliklerinin ayarlanmasında bir metasezgisel yöntem olan öğretme-öğrenme-tabanlı optimizasyon tekniği kullanılmıştır ve kontrol geri-besleme türleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar kelimeler: Aktif tendon kontrol, optimizasyon, metasezgisel algoritmalar

ABOUT the CHAPTER

In this section, structures containing active tendons, which is an active control technique, are mentioned and an application example is presented. The active control system used is a proportional-integral-derivative type controller. Teaching-learning-based optimization technique, a metaheuristic method, was used to adjust the properties of this control system, and control feedback types were examined and compared.

Keywords: Active tendon control, optimization, metaheuristic algorithms

Giriş

Yapılarda yıkıcı ve kalıcı hasarlara neden olabilecek deprem ve rüzgâr gibi dinamik yükler nedeniyle oluşan yapısal tepkileri azaltmak için yapılarda farklı kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemleri, yapı özelliklerine ve dinamik etkiye bağlı olarak pasif, semi aktif ve aktif uygulanmaktadır. Bu kontrol sistemlerinden aktif kontrol sistemlerinin diğerlerine göre daha fazla enerji sönümlendiği bilinmektedir. Yüksek enerji sönümleme kabiliyetinin ana nedeni ise, dinamik uyarımlara karşı yapı modeli içerisinde etkinin her adımı için kontrol kuvvetini oluşturan aktüatörlerin yerleştirilmesidir. Genel olarak yapılarda aktif kontrol sistemlerinin kullanımı iki farklı şekilde sağlanır. Bunlar, yapıların birinci veya her katında uygulanan aktif tendon sistemleri veya en üst katına yerleştirilen aktif kütle sönümleyicileridir.

Bu çalışmada, Oransal-İntegral-Türev (PID) kontrolörüne sahip aktif tendonlu tek serbest dereceli yapı modeli (SDOF), deprem etkisine karşı aktif olarak kontrol edilmiştir. Yapı modelindeki kontrolörün parametreleri (Orantı katsayısı K_p , Türev zaman katsayısı T_d ve İntegral zaman katsayısı T_i) öğrenme-öğrenme tabanlı optimizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Yer değiştirme, hız ve ivme geri besleme stratejileri kullanılarak, Türkiye’de meydana gelmiş deprem kayıtları etkisi altında yapı modelinin performansı değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, PID kontrolörlü aktif tendonlu tek serbest dereceli yapının, yapısal tepkimelerinde önemli ölçüde azalmaların meydana geldiği görülmüştür.

Literatür Araştırması

Yapıların aktif kontrolü hakkındaki fikir ilk olarak Zuk, (1968) tarafından ortaya atılmış ve daha sonra analitik veya deneysel çalışmalarla genişletilmiştir. Yüksek yapılarda yapısal tepkileri azaltmak için aktif kütle sönümleyicilerin ve aktif tendonların kullanılması (Yang ve Samali, 1983; Abdel-Rohman ve Leipholz, 1983) kontrol kuvveti ve yapısal tepkiler arasındaki ilişkinin araştırılması (Samali, Yang ve Liu, 1985; Ulusoy, Nigdeli ve Bekdaş, 2020) zaman gecikmesinin yapısal tepkimeler üzerindeki etkisinin irdelenmesi (Chung ve diğ., 1989; Ulusoy, Nigdeli ve Bekdaş, 2018) ve çeşitli geri besleme stratejilerinin araştırılması (Ulusoy ve diğ., 2021; Chung, Wu ve Jin, 1998; Nigdeli, 2014) bu çalışmalara



Serdar Ulusoy¹

Gebrael Bekdaş²

Sinan Melih Nigdeli²

¹ Türk- Alman Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: melihnig@iuc.edu.tr
bekdas@iuc.edu.tr
melihnig@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as: Ulusoy, S.M., Bekdaş & S., Nigdeli (2024). Aktif tendon kontrolü ve farklı geri besleme performansları. G. Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve pasif kontrolü: matlab simülük uygulamaları* içinde (s. 32-37). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



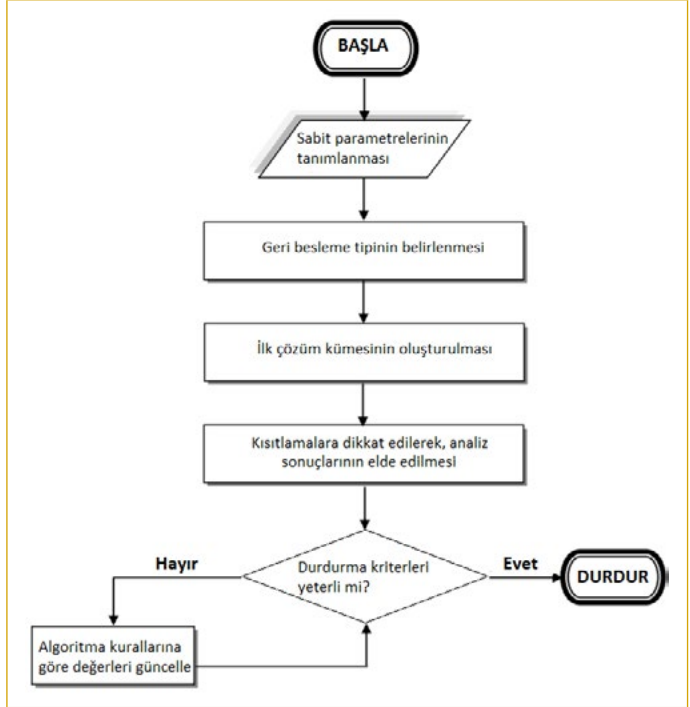
CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

örnek olarak gösterilebilir. Ayrıca, literatürde H_{inf} kontrolörü, ikinci dereceden doğrusal kontrolör (LQR), sinir ağı kontrolü, bulanık mantık kontrolü, kayan kipli kontrolü (SMC) ve PID kontrolörü gibi mevcut kontrolörlerin parametreleri belirlemek veya bu kontrolörlerin zayıf yönlerini iyileştirmek için yapılmış birçok çalışma mevcuttur. Yapay sinir ağları ile doğrusal olmayan aktif kontrollü yapılarda etkili çözümlerin elde edilmesi [Bani-Hani ve Ghaboussi, 1998; Ghaboussi, ve Joghataie, 1995], yapı zemin etkileşimi dikkate alan aktif tendonlu yapı modellerinde PID ve H_{inf} kontrolörünün kullanımını önerilmesi [Lin, Chang ve Wang, 2010; Ulusoy, Nigdeli ve Bekdaş, 2020], Bulanık kayan kipli kontrol algoritması yardımıyla çatırtı etkisinin önlenmesi [Alli ve Yakut, 2005], dinamik bulanık dalgacık sinir emülatörü ve kayan nokta genetik algoritmasının birleştirilmesiyle kontrollü yapıların analizi [Yakut ve Alli, 2011], nöral tabanlı kayan mod kontrolünün genetik algoritmalarla kullanımı [Adeli ve Jiang, 2008] ve düzensiz yapıların kontrolü için parametreleri nümerik bir algoritma ile hesaplanan PID kontrolörün önerilmesi [Nigdeli ve Boduroğlu, 2013] örnek olarak gösterilebilir. Farklı kontrolörlerin kıyaslamalı çalışmalarında yapılmıştır. Bunlar arasında çatırdama problemi engellenmiş kayan kipli kontrolörün PID ile karşılaştırılması [Guclu, 2006], blok darbe fonksiyonlarının doğrusal ikinci dereceden düzenleyici ile karşılaştırılması [Ghaffarzadeh ve Younespour, 2014], dalgacık tabanlı uyarlanabilir kutup atamasının doğrusal ikinci dereceden düzenleyici ile karşılaştırılması [Amini ve Samani, 2014]. gibi birçok örnek yer almaktadır.

Yöntem

Yapının yinelemeli dinamik analizi ve optimizasyon yönteminin birleştirilmesinden oluşturulan yöntemin akış şeması Şekil 1'de verilmiştir. Süreç, problemin sabit parametrelerin tanımlanması ile başlar. Bu parametrelere örnek olarak yapının rijitlik, sönüm ve kütle matrisi verilebilir. Ek olarak, algoritmaya özgü parametreler, yineleme ve popülasyon sayısı, tasarım değişkenlerinin (PID kontrolörünün parametreleri) sınır aralıkları ve deprem yer hareketini karakteristik özellikleri gibi parametreler de dahil edilir. İkinci adımda, yer değiştirme, hız ve ivme gibi farklı geri besleme stratejisi tek serbest aktif tendonlu kontrol sistemi için belirlenir. Üçüncü adımda, kontrol ve algoritmaya özgü parametreler kullanılarak bir çözüm kümesi vektörü oluşturulur. Ayrıca bu parametreler sonucunda hesaplanan amaç fonksiyonu da bu çözüm kümesi vektöründe saklanır. Çözüm kümesi vektörlerinin sayısı popülasyon sayısına eşittir. Böylece ilk çözüm kümesi matrisi oluşturulur. Daha sonrasında, zaman gecikme faktörü ve yapı stabilitesini dikkate alan bir blok diyagramı MATLAB [2015] Simulink'te oluşturularak, aktif tendonlu yapı modelinin farklı geri besleme stratejilerine göre zaman tanım alanındaki analizleri yapılır. Bu analizlerde, kontrolör parametreleri olarak tanımlanan rastgele seçilmiş tasarım değişkenleri kullanılır. Tüm tasarım değişkenleri ve amaç fonksiyonu olarak alınan ilgili maksimum analiz sonucu (kontrol sinyalinin üretilmesinde kullanılan geri besleme ile aynı) kaydedilir. Son olarak, ilk oluşturulan çözüm kümeleri, metasezgisel algoritmaların kuralları ve formülasyonları aracılığıyla elde edilen çözüm kümeleri ile kıyaslanarak güncellenir. Güncellenen tasarım değişkenleri ve sonuçlar, problemin amaç fonksiyonu olarak düşünülen analiz sonucundaki değerden daha düşükse, mevcut sonuçların yerine kaydedilir. Çözümlerin güncelleme süreci, yineleme sayısı sona erinceye kadar devam etmektedir.

Şekil 1
Önerilen yöntemin akış şeması

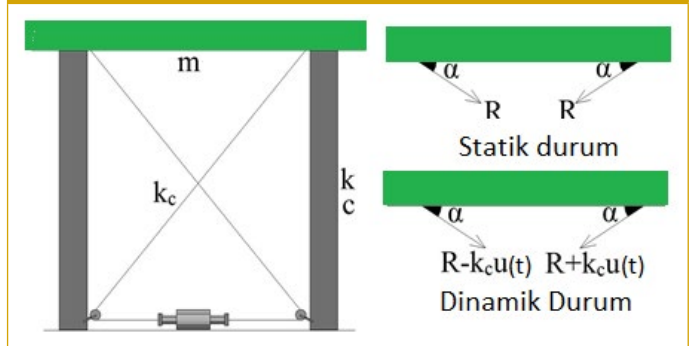


Şekil 2'de tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modeli verilmiştir. Burada, m , k ve c sırasıyla yapı modelinin kütlesi, rijitliği ve sönüm oranı gibi yapısal parametreleri ifade etmektedir. R kontrolsüz durumdaki ön gerilme kuvvetidir ve dinamik durumda bu kuvvet yapı kontrolüne göre ayarlanır. k_c ve α ise tendoların rijitlik ve yere yaptığı açıyı göstermektedir. $U(t)$ ise PID kontrolör tarafından üretilen kontrol sinyalidir. Bu yapı modelinin dinamik durumdaki hareket denklemi Denklem 1'de verilmiştir. Burada, $a_g(t)$ zamana bağlı yer ivmesini, $x(t)$, $v(t)$ ve $a(t)$ zamana bağlı yapının yerdeğiştirme, hız ve ivme değerlerini göstermektedir.

$$m\ddot{x}(t) + c\dot{x}(t) + kx(t) = -m\ddot{a}_g(t) - 4k_c u(t) \cos\alpha \quad (1)$$

Bu çalışmada PID kontrolör kullanılmıştır. Bu kontrolöre göre geri besleme yapılarak uygun parametreler her geri besleme tipi için elde edilmiştir. Tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modelinin yer değiştirme, hız, ivme, toplam ivme gibi tepkileri geri besleme (x) olarak kabul edilir ve alınan referans sinyaline ($x_r=0$) göre hata

Şekil 2
Tek serbest dereceli aktif tendonlu yapı modeli



sinyali $e(t)$ (Denklem 2) hesaplanır. Böylece deprem kaydının her adımı için gerekli kontrol kuvveti Denklem 3 kullanılarak elde edilir.

$$e(t) = x_r - x \quad (2)$$

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(t) dt + T_d \frac{de(t)}{dt} \right] \quad (3)$$

Önerilen çalışmada sayısal analizlerin yapılması için yakın fay etkisi altında oluşan doğrultu titreşim kullanılmıştır. Bu titreşime ait ivme değerlerinin denklemi Denklem 4'te verilmiştir. Makris tarafından (1997) yapılan çalışmadan alınmıştır. Titreşimin periyodu T_p ve maksimum tepe yer hızı V_p hesaplanabilmesi için ve Cox ve Ashford'un (2002) ve Sommerville'nin (2003) yaptığı çalışmalarda belirtilen denklemlere (Denklem 5-7) göre hesaplanmıştır. Burada, ϕ doğrultu açısını, ω_p titreşimin frekansını ve M_w deprem büyüklüğünü göstermektedir. Şekil 3'de 1,5 sn periyoda ve 230 cm/s tepe hızına sahip doğrultu titreşiminin zamana bağlı ivme değerleri verilmiştir.

$$a_g(t) = \omega_p V_p \cos(\omega_p t) \quad 0 \leq t \leq T_p \quad (4)$$

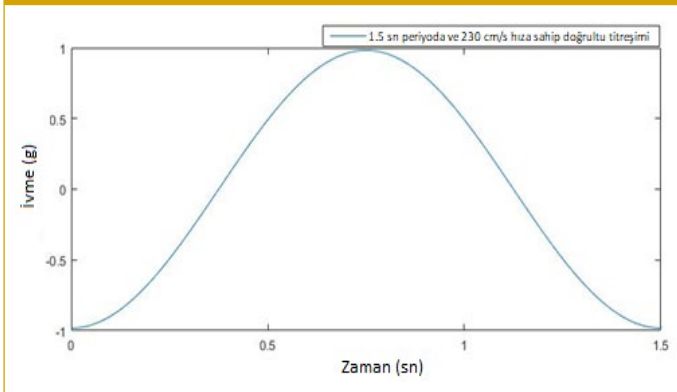
$$\text{Log}T_p = -2.02 + 0.346M_w \quad \text{Toprak zemin için} \quad (5)$$

$$\text{Log}T_p = -3.17 + 0.5M_w \quad \text{Kaya zemin için} \quad (6)$$

$$\text{Log}V_p = 6.444 - 0.0187\phi - 5.022\text{Log}(M_w) \quad (7)$$

Şekil 3

Optimizasyon sürecinde kullanılan doğrultu titreşimi



Optimizasyon süreci sonucu optimum PID parametrelerinin elde edilmesi için kullanılan algoritma öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon (TLBO) algoritmasıdır. Rao tarafından 2011 yılında geliştirilen öğretim-öğrenme tabanlı optimizasyon, bir sınıf içerisindeki öğrenci-öğretmen ilişkisini ve öğrencilerin birbirleriyle etkileşimi sonucu bilginin iyileştirilmesine baz alan metasezgisel bir algoritmadır. Öğretim ve öğrenme olmak üzere iki fazdan oluşur. Bu fazların matematiksel ifadeleri ise sırasıyla Denklem 8-9 verilmiştir. Ayrıca, bu algoritma diğer algoritmalar gibi kontrol parametre içermemektedir. Burada x_i^t mevcut sonucu, x_i^{t+1} yeni oluşan sonucu, $\text{rand}(1)$ 0 ile 1 arasında değişen rastgele bir sayıyı, x_{ave} çözüm kümesinin oluşturan elamanların ortalamasını, TF 1 veya 2 değerini alan öğrenme faktörünü, g^* en iyi sonucu, x_i^t ve x_k^t rastgele seçilmiş iki tasarım değişkeni temsil etmektedir.

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \text{rand}(1)(g^* - TFx_{\text{ave}}) \quad (8)$$

$$x_i^{t+1} = \begin{cases} x_i^t + \text{rand}(1)(x_i^t - x_k^t) & \text{eğer } f(x_i^t) < f(x_k^t) \\ x_i^t + \text{rand}(1)(x_k^t - x_i^t) & \text{eğer } f(x_k^t) < f(x_i^t) \end{cases} \quad (9)$$

Optimizasyon sürecinde, 20 ms zaman gecikmesi ve toplam kütle nin %50'si kadar kontrol kuvvetine limit uygulanmıştır. Optimizasyon sürecinden sonra elde edilen parametrelerin deprem etkisi altındaki davranışı incelemek için tek serbest dereceli aktif tendonlu sistemde kullanılan deprem kayıtları Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1

Tek serbest dereceli aktif tendonlu sistemde etki eden deprem kayıtları

Numara	Deprem	Kayıt	Yıl	Bileşen 1	Bileşen 2	Büyük-lük
1-2	Kocaeli, Türkiye	Yarımca	1999	YPT060	YPT330	7.5
3-4	Düzce, Türkiye	Düzce	1999	DZC180	DZC270	7.1
5-6	Erzican, Türkiye	Erzican	1992	ERZ-EW	ERZ-NS	6.7
7-8	Kocaeli, Türkiye	Izmit	1999	IZT090	IZT180	7.5

Nümerik Örnek

Tek serbest dereceli modelin kütlesi 45600 kg, rijitliği 45000000N/m ve sönüm oranı 143000 Ns/m olarak alınmıştır (Pnevmatikos ve Gantes, 2010). Tendonların rijitliği ve zemine göre yaptığı açı ise sırasıyla 372100 N/m ve 36° olarak kabul edilmiştir (Chung, Reinhorn ve Soong, 1988). Farklı geri besleme stratejileri uygulanarak, 1,5 sn periyotlu ve 230 cm/s hızına sahip yakın fay etkisinde TLBO algoritmasına göre elde edilen optimum PID kontrolör parametreleri Tablo 2'de ve bu parametreler dikkate alınarak, Tablo 1'de verilen deprem kayıtları etkisi altındaki yapı modelinde meydana gelen yapısal tepkimeler ise Şekil 4-6'da verilmiştir. Ayrıca, üç farklı geri besleme stratejisinin uygulandığı tek serbest dereceli aktif tendonlu sistemin MATLAB Simulink'teki blok diyagramları Şekil 7'te verilmiştir.

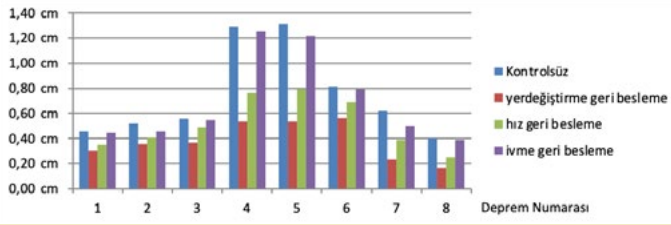
Tablo 2

TLBO algoritmasına göre PID kontrolörünün parametreleri

Geri besleme stratejisi	K_p	T_d	T_i	Kontrolsüz (x)	Kontrollü (x)
Yer değiştirme	-0.1569	4.9106	-4.3939	1.76 cm	1.22 cm
Hız	-0,2446	0.0745	0.5088	31.55 cm/s	19.57 cm/s
İvme	-0.0031	0.0042	1.5118	10.88 m/s ²	9.63 m/s ²

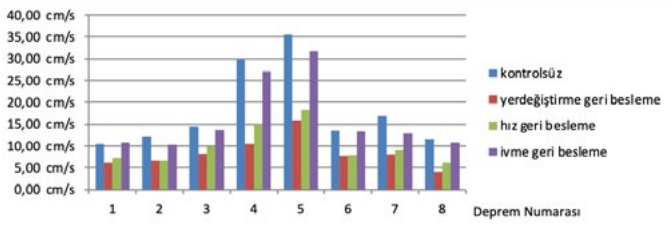
Şekil 4

Yapı modelinin kontrolsüz ve farklı geri besleme tiplerine göre yer değiştirmesi



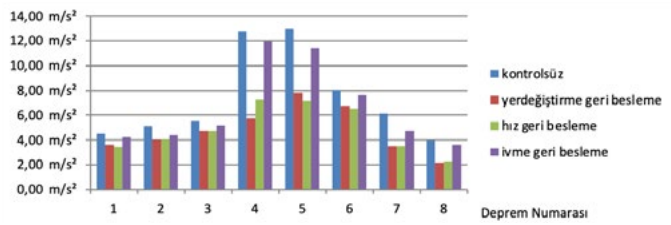
Şekil 5

Yapı modelinin kontrolsüz ve farklı geri besleme tiplerine göre hızı



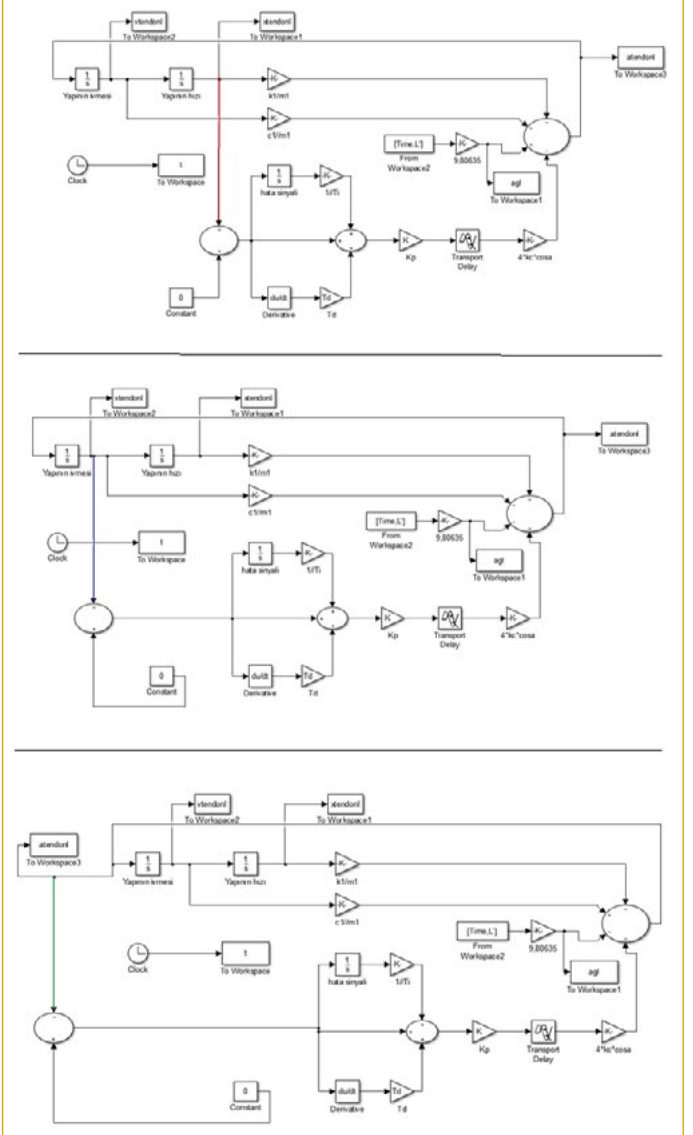
Şekil 6

Yapı modelinin kontrolsüz ve farklı geri besleme tiplerine göre toplam ivmesi



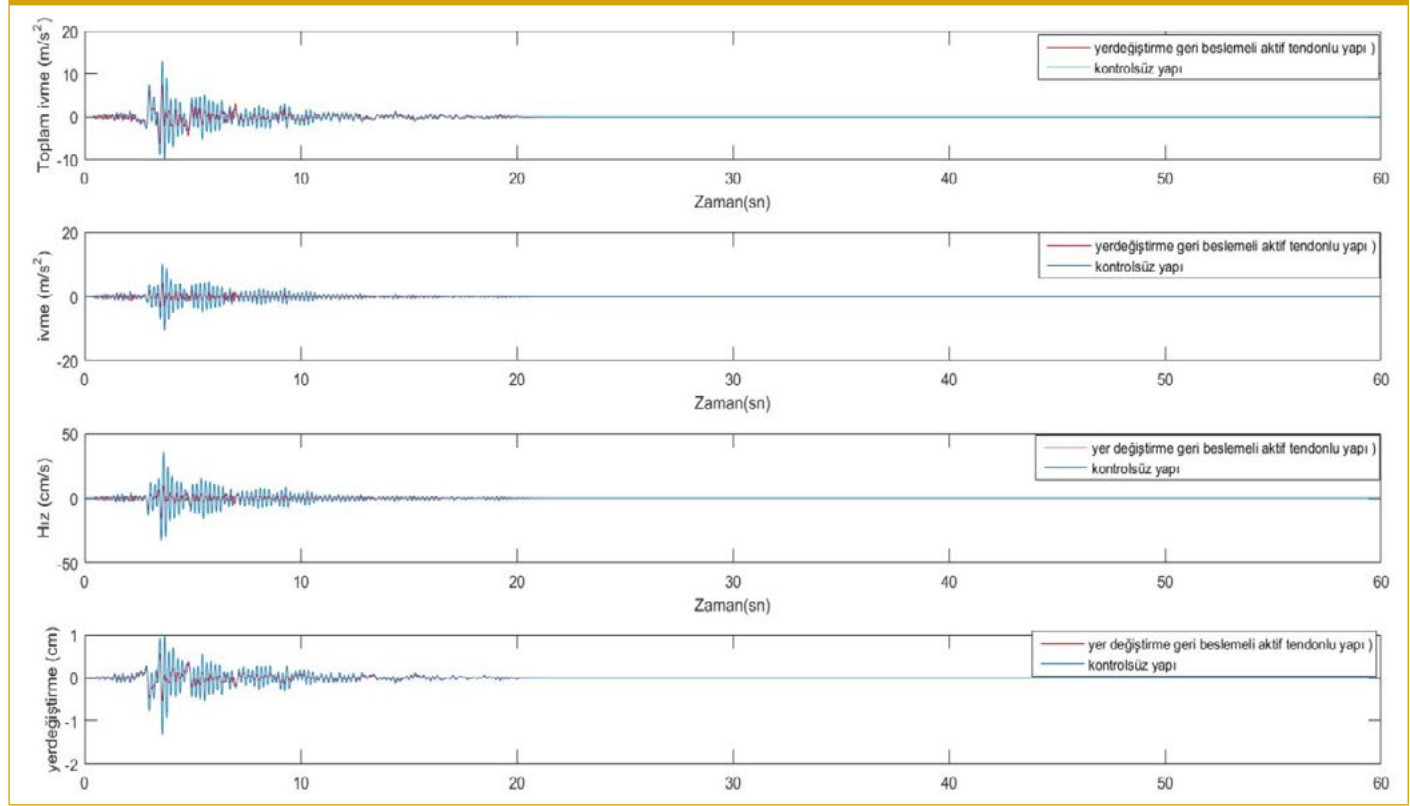
Şekil 7

Aktif tendonlu yapı modelinin farklı geri besleme stratejisine göre blok diyagramı



Şekil 8

Yapı modelinin Erzincan depremi etkisi altında zamana bağlı yapısal tepkimeleri



Sonuç

Bu çalışmada, TLBO algoritması kullanılarak tek serbest dereceli aktif tendonlu sistemin farklı geri besleme stratejilerine göre deprem etkisi karşı performansları değerlendirilmiştir. Bu örnek için en uygun geri besleme tipinin yer değiştirme geri besleme tipi olduğu görülmüştür. En kritik deprem kaydı (Erzincan, ERZ-EW kaydı) etkisi altında yer değiştirme geri besleme tipine göre yapı modelinin kontrolsüz ve kontrollü durumdaki yapısal tepkimelerinin zamana bağlı grafiği Şekil 8'de verilmiştir.

Aktif tendon kontrollü ile en kritik deprem için yapısal tepkimele-
rin değişimi aşağıdaki gibidir:

- Yapının yer değiştirmesi aktif tendonlu sistem uygulanarak 1,31 cm'den 0,53 cm'ye indirilmiştir.
- Yapının hız değerindeki değişim yaklaşık olarak %55 azalarak 35,53 cm/s'den 15,96 cm/s'ye getirilmiştir.
- Kontrolsüz yapının toplam ivme değeri 13,0 m/s² iken bu değer yer değiştirme geri besleme stratejisi ile kontrollü yapıda 6,75 m/s² olarak elde edilmiştir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

- Abdel-Rohman, M.; Leipholz, H.H. (1983). Active Control of Tall Buildings. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 109(3): 628-645. [Crossref]
- Adeli, H.; Jiang, X. (2008). Neuro-Genetic Algorithm for Non- Linear Active Control of Structures, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, 75(7), 770-786. [Crossref]
- Alli, H.; Yakut, O. (2005). Fuzzy Sliding-Mode Control of Structures, *Engineering Structures*, 27(2), 277-284. [Crossref]
- Amini, F., & Samani, M. Z. (2014). A wavelet-based adaptive pole assignment method for structural control. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 29(6), 464-477. [Crossref]
- Bani-Hani, K., & Ghaboussi, J. (1998). Neural networks for structural control of a benchmark problem, active tendon system. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 27(11), 1225-1245. [Crossref]
- Chung, L.L.; Lin R.C.; Reinhorn, A.M.; Soong, T.T. (1989). Experimental Study of Active Control for MDOF Seismic Structures, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 115(8), 1609-1627. [Crossref]
- Chung, L.L., Reinhorn, A.M., Soong, T.T. (1988). Experiments on Active Control of Seismic Structures, *Journal of Engineering Mechanics*, 114(2). [Crossref]
- Chung, L.L.; Wu, L.Y.; Jin, T.G. (1998). Acceleration Feedback Control of Seismic Structures, *Eng. Struct.*, 20(1-2), 62-74. [Crossref]
- Cox, K. E., Ashford, S. A., 2002, Characterization of Large Velocity Pulses for Laboratory Testing. Report 2002/22, Pacific Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California, USA.
- Ghaboussi, J., Joghataie, A. (1995). Active Control of Structures Using Neural Networks, *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 115, 2897-2913.
- Ghaffarzadeh, H.; Younespour, A. (2014). Active Tendons Control of Structures Using Block Pulse Functions, *Structural Control, and Health Monitoring*, 21, 1453-1464. [Crossref]

Guclu, R. (2006). Sliding Mode and PID Control of a Structural System against Earthquake. *Mathematical and Computer Model-ing*, 44(1-2), 210-217. [\[Crossref\]](#)

Lin, C. C., Chang, C. C., & Wang, J. F. (2010). Active control of irregular buildings considering soil-structure interaction effects. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 30(3), 98-109. [\[Crossref\]](#)

Nigdeli, S.M. (2014). Effect of Feedback on PID Controlled Active Structures under Earthquake Excitations. *Earthquakes and Structures*, 6(2), pp.217-235. [\[Crossref\]](#)

Nigdeli, S.M.; Boduroglu, B.H. (2013). Active Tendon Control of Torsionally Irregular Structures under Near-Fault Ground Motion Excitation, *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 28(9), 718-736. [\[Crossref\]](#)

Makris, N., 1997, Rigidity-Plasticity-Viscosity: Can Electrorheological Dampers Protect Base-Isolated Structures from Near-Source Ground Motions? *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26(5), 571-591. [\[Crossref\]](#)

MathWorks Inc. MATLAB R2015b.Natick, MA, USA, 2015.

Pnevmatikos, N.G.; Gantes, C.J. (2010). Control Strategy for Mitigating the Response of Structures Subjected to Earthquake Ac-tions. *Engineering Structures*, 32(11), pp.3616-3628. [\[Crossref\]](#)

Rao, R.V., Savsani, V.J., Vakharia, D.P., 2011, Teaching-learning-based optimization: a novel method for constrained mechanical design optimization problems. *Computer-Aided Design*, 43(3), 303-315. [\[Crossref\]](#)

Samali, B.; Yang, J.N.; Liu, S.C. (1985). Active Control of Seismic-Excited Buildings. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 111(10), 2165-2180. [\[Crossref\]](#)

Sommerville, P.G., (2003), Magnitude scaling of the near fault rupture directivity pulse. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 137(1-4), 201-212. [\[Crossref\]](#)

Ulusoy, S., Nigdeli, S. M., & Bekdaş, G. (2020). Novel Metaheuristic-Based Tuning of PID Controllers for Seismic Structures and Verification of Robustness. *Journal of Building Engineering*, 33, 101647. [\[Crossref\]](#)

Ulusoy, S., Nigdeli, S. M., & Bekdas, G. (2018). Time delay factor of structural control systems for excitations with and without pulses. *International Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 3.

Ulusoy, S., Bekdas, G., Nigdeli, S. M., Kim, S., & Geem, Z. W. (2021). Performance of optimum tuned PID controller with different feedback strategies on active-controlled structures. *Applied Sciences*, 11(4), 1682. [\[Crossref\]](#)

Ulusoy, S., Bekdas, G., & Nigdeli, S. M. (2020). Active Structural Control via Metaheuristic Algorithms considering Soil-Structure Interaction. *Structural Engineering and Mechanics*, 75(2), 175-191.

Yakut, O., Alli, H. (2011). Neural Based Sliding-Mode Control with Moving Sliding Surface for the Seismic Isolation of Structures, *Journal of Vibration and Control*, 17(14), 2103-2116. [\[Crossref\]](#)

Yang, J.N.; Samali, B. (1983) Control of Tall Buildings in Along-Wind Motion. *Journal of Structural Engineering (ASCE)*, 109(1), 50-68. [\[Crossref\]](#)

Zuk, W. (1968). Kinetic structures, *Civil Eng*, 39(12), 62-64.

BÖLÜM 7

AKTİF AYARLI KÜTLE SÖNÜMLEYİCİSİ PARAMETRELERİNİN METASEZGİSEL YÖNTEMLER İLE OPTİMİZASYONU

Aylin Ece KAYABEKİR
Gebrail BEKDAŞ
Sinan Melih NİGDELI

Aktif Ayarlı Kütle Sönümleyicisi Parametrelerinin Metasezgisel Yöntemler ile Optimizasyonu

Optimization of Active Tuned Mass Damper Parameters with Metaheuristic Methods

BÖLÜM HAKKINDA

Ayarlı kütle sönümleyicileri, pasif kontrol sistemleri olabildikleri gibi kontrolcü ile kontrol edilen aktüatör bağlanarak aktif kontrol sistemi haline getirebilir. Bu durumda hem kütle sönümleyici hem de kontrolcü parametreleri optimum olarak ayarlanmalıdır. Bu durumda daha kompleks olan bu optimizasyon problemi bu bölümde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Aktif ayarlı kütle sönümleyicisi (ATMD), optimizasyon, metasezgisel algoritmalar

ABOUT the CHAPTER

Tuned mass dampers can be passive control systems or can be turned into an active control system by connecting a controller and a controlled actuator. In this case, both mass damper and controller parameters must be set optimally. In this case, this more complex optimization problem is presented in this section.

Keywords: Active tuned mass damper (ATMD), optimization, metaheuristic algorithms

Giriş

Rüzgar, trafik ve yer hareketi gibi çeşitli dış faktörlerden kaynaklanan yapısal titreşimleri azaltmak için pasif, aktif ve yarı aktif veya hibrit yapısal kontrol sistemleri kullanılmaktadır. Bu kontrol sistemlerinde biri olan ayarlı kütle sönümleyiciler (TMD'ler), Berlin'deki TV kulesi, New York'taki Citicorp Center, Taipei'deki Taipei 101, vb. dahil olmak üzere çeşitli yapılarda uygulanmıştır. TMD'ler pasif, aktif, yarı aktif veya hibrit olarak olmak üzere çeşitli şekillerde tasarlanabilir. Diğer kontrol sistemlerinde olduğu ve TMD için, titreşim azaltmada verimlilik sağlamak amacıyla yapısal sistemi mükemmel şekilde ayarlamak çok önemlidir. Bu durumda, yapısal kontrol ve TMD'lerin tasarımında optimizasyon işlemini zorunlu kılmaktadır.

Frahm 1911 yılında patentini aldığı icadından sonra, TMD'ler yapılardaki titreşimi (Ormondroyd and Den Hartog 1928) azaltmak için de kullanılması kontrol sistemde optimum tasarım ihtiyacını doğurmuştur. Bu amaçla yapılan bazı bilimsel çalışmalarda basitleştirilmiş ana sistemler için temel ifadeler önerilmiştir (Den Hartog 1947; Bishop and Wlebourne 1952; Snowdon 1959; Ioi and Ikeda 1978; Warburton 1982; Sadek vd. 1997). Sonraki yıllarda ise, gelişen bilgisayar teknolojisi ve geliştirilen optimizasyon algoritmaları bağlı olarak özellikle son çeyrek yüzyılda TMD parametrelerinin detaylı yapı özellikleri dikkate alınarak optimizasyonu için metasezgisel tabanlı yöntemler geliştirilmiştir (Bekdaş vd. 2018; 2019; Yücel vd. 2019; Farshidianfar ve Soheili 2013). Söz konusu bilimsel çalışmalar TMD'ler için optimum tasarımın önemini sayısal sonuçlarla birlikte ortaya koymuştur. Aktif TMD'ler (ATMD'ler) için optimizasyon işlemi pasif türlerine göre daha önemlidir, çünkü damper özelliklerine ek olarak optimize etmek için kontrolör parametrelerine de ihtiyaç vardır. Bu durum ATMD'lerin optimizasyonunda metasezgisel kullanılmasını sağlamıştır (Pourzenali vd. 2007; Kayabekir 2021; Kayabekir vd. 2020a; 2020b; 2021).

Bu bölümde, sismik etkilerin azaltılması için yapıların üstüne yerleştirilen ATMD'ler için bir optimizasyon yöntemi tanıtılmaktadır. Optimizasyon sürecinde, pratik uygulama koşullarına uygunluk amacıyla kontrol sinyalinin zaman gecikmesi ve kontrol kuvveti için kuvvet sınırlaması da dikkate alınarak geliştirilmiş bir armoni arama (HS) algoritması



Aylin Ece Kayabekir¹

Gebrail Bekdaş²

Sinan Melih Nigdeli²

¹ İstanbul Gelişim Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mekanik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: aekayabekir@gelisim.edu.tr
bekdas@iuc.edu.tr
melihni@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as: Kayabekir, A.E., Bekdaş, G. & Nigdeli, S.M. (2024). Aktif ayarlı kütle sönümleyicisi parametrelerinin metasezgisel yöntemler ile optimizasyonu. G. Bekdaş & S.M. Nigdeli (Ed), *Yapıların aktif ve pasif kontrolü: matlab simülük uygulamaları* içinde (s. 39-43). İstanbul: İÜC Üniversite Yayını.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

kullanılmıştır. Geliştirilen optimizasyon yöntemin etkinliği, FEMA P-695’de tanımlanan çeşitli deprem kayıtlarına altında bir betonarme (RC) çerçeve yapı üzerinde test edilerek sunulmuştur.

Metodoloji

Metasezgisel algoritmalar, problem için tanımlanan tasarım değişkenlerini içeren çözüm matrisini güncellemek için denklemler yardımıyla yeni tasarım değişkenleri üreten, mevcut ve yeni değerleri karşılaştırarak çözüme yakınsamanın amaçlandığı iteratif yöntemlerdir. Metasezgisel algoritmalarda mevcut ve yeni çözüm karşılaştırması bir başka değişimle en iyi çözüme yakınma amacıyla çözüm matrisi güncellemesine söz konusu çözümler için hesaplanan ve amaç fonksiyonu olarak tanımlanan fonksiyonun değerine göre karar verilir. Algoritmalar farklı disiplinlerden çok sayıda probleme uyarlanmaktadır. Bu sebeple bazı durumlarda algoritmanın performansın artırılması amacıyla çeşitli modifikasyonlar yapılabilir.

HS, müzisyenin müzikal performansından ilham alınarak geliştirilmiş bir metasezgisel algoritmadır (Geem vd. 2001). Bu çalışmada, söz konusu algoritmanın performansının iyileştirilmesi amacıyla çeşitli modifikasyonlar yapılarak geliştirilmiş bir versiyonu kullanılmıştır. Söz konusu iyileştirme, yerel aramada adımında mevcut çözümler arasından rassal bir seçim yerine en iyi çözümün, en iyi çözüm dikkate alma oranı (BSCR) olarak adlandırılan bir olasılıkla dikkate alınmasıyla sağlanmıştır. Bunun yanında, klasik HS algoritmasında sabit olan armoni belleği dikkate alma oranı (HMCR) ile bant genişliği (FW) değerlerinin iterasyonlara bağlı uyarlanabilir değişimi kullanılmıştır. Algoritmanın pseudo kodu Şekil 1’de gösterilmiştir.

Şekil 1

Algoritmanın pseudo kodu

```
Tasarım sabitlerini, algoritma parametrelerini ve tasarım
değişken aralıklarını tanımlayın
Başlangıç armoni bellek matrisini oluşturun
Eğer HMCR ≤ rand(1)
Genel optimizasyon uygula
Xij,t+1=Xi,min+rand(1) (Xi,max -Xi,min)
else
Yerel optimizasyon uygula
If BMCR ≤ rand(1)
Birinci çözüm olarak en iyi çözümü seçin
else
Birinci olarak rastgele bir çözüm seçin
Xij,t+1= Xi,min+rand(1) FW(Xi,max -Xi,min)
Armoniyi bellek matrisini güncelle
FW ve HMCR’yi güncelle
Maksimum iterasyon sayısı için yeni bir çözüm oluşturun
end
```

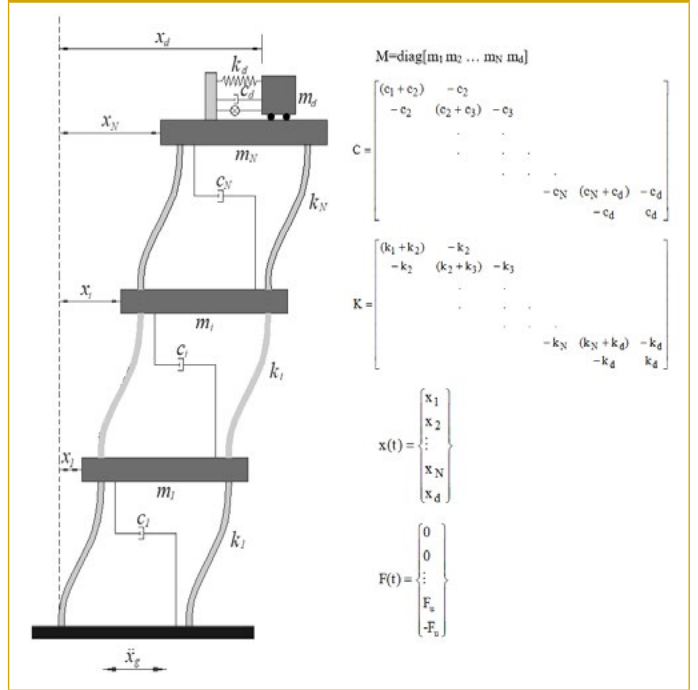
Optimizasyon sırasında dinamik analiz Matlab ve Simulink (2018) ile yapılmıştır. Hareket denklemi Denklem 1’de verilmiştir. Matrisler ve vektörler Şekil 2’de ATMD’li kesme yapı modeli ile birlikte gösterilmektedir.

$$M\ddot{x}(t)+C\dot{x}(t)+Kx(t)=-M\{1\}\ddot{x}_g(t)+F(t) \quad (1)$$

Tasarım değişkenleri tanımları sayısal örnekte seçilen aralıklarla birlikte Tablo 1’de görülmektedir.

Şekil 2

ATMD’li yapının modeli



Tablo 1

Tasarım değişkenleri

Sembol	Tanım	Aralık	Birim
Tatmd	ATMD Periyodu	Yapı periyodunun 0.5-1.5 katı	s
Ed	ATMD Sönüm oranı	1-50	%
Kp	Oransal kazanç	(-10000)-(10000)	Vs/m
Td	Türev süresi	(-10000)-(10000)	s
Ti	İntegral süresi	(-10000)-(10000)	s

Oransal İntegral Türev (PID) tipi kontrolörler, kontrol sinyali (u) aracılığıyla kontrol kuvveti (Fu) üretmek için Denklem (2) ve (3)’te verilen şekilde kullanılır.

$$F_u = K_f i_{ATMD} \quad (2)$$

$$R i_{ATMD} + K_e (\dot{x}_d - \dot{x}_N) = u \quad (3)$$

PID kontrolünde, Denklem (4), hata sinyalini (e(t)) u’ya dönüştürmek için kullanılır. PID denetleyicinin eylemleri farklı amaçlar için etkilidir. Orantılı hareket yardımı ile kontrol tepkisinin hızı artırılır. Türevsel eylem etkili sönümlenme sağlarken, kararlı durum hataları İntegral eylem yoluyla ortadan kaldırılır.

$$u = K_p [e(t) + T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{1}{T_i} \int e(t) dt] \quad (4)$$

Hata olarak yapının üst katının hızı alınır. ATMD için periyot ve sönüm oranı formülasyonları ise Denklem (5) ve (6)’da sunulmuştur.

$$T_{atmd} = 2\pi \sqrt{\frac{m_d}{k_d}} \quad (5)$$

Tablo 2

Tasarım sabitleri

Sembol	Tanım	Değer	Birim
mi	Kat kütlesi	3590	ton
ki	Kat rijitlik katsayısı	5520	MN/m
ci	Kat sönüm oranı	Rayleigh sönümüne göre 5%	MNs/m
md	ATMD kütlesi	2692.5	ton
stmax	ATMD kol uzama limiti	3	-
td	Zaman gecikmesi	20	ms
R	Bobin direnci	4.2	Ω
Kf	Kuvvet sabiti	2	N/A
Ke	Armatür bobininin voltaj sabiti	2	V

Tablo 3

Algoritma parametreleri

Sembol	Tanım	Değer
pn	Popülasyon sayısı	10
mt	Maksimum iterasyon sayısı	5000
HMCRI _n	Armoni bellek dikkate alma oranı başlangıç değeri	0.5
PAR _n	Bant genişliği başlangıç değeri	0.05
BSCR	En iyi çözümü dikkate alma oranı	0.3

$$\xi_d = \frac{c_d}{2m_d \sqrt{\frac{k_d}{m_d}}} \quad (6)$$

Tasarım sabitleri örnekte kullanılan sayısal değerlerle birlikte Tablo 2'de gösterilmiştir. Problemin iki amaç fonksiyonu (f_1 ve f_2) ve kontrol kuvvetiyle ilgili bir kısıtı bulunmaktadır. Denklem 7 olarak gösterilen amaç fonksiyonu (f_1), maksimum kontrol kuvveti yapının toplam ağırlığının %10'undan fazla ise pen değeri (Denklem (8)) ile cezalandırılır. İkinci amaç (Denklem (9)), tanımlanan stmax değerinden daha küçük olmalıdır ve öncelikle tasarım değişkenleri seti bu kısıtı sağlayana kadar optimizasyonda amaç fonksiyonu olarak dikkate alınır ve ardından birinci amaç dikkate alınır. Optimizasyonda kullanılan algoritma parametreleri Tablo 3'te sunulmuştur.

$$f_1 = \max |x_N| + pen \quad (7)$$

$$pen = \max |F_u| \quad (8)$$

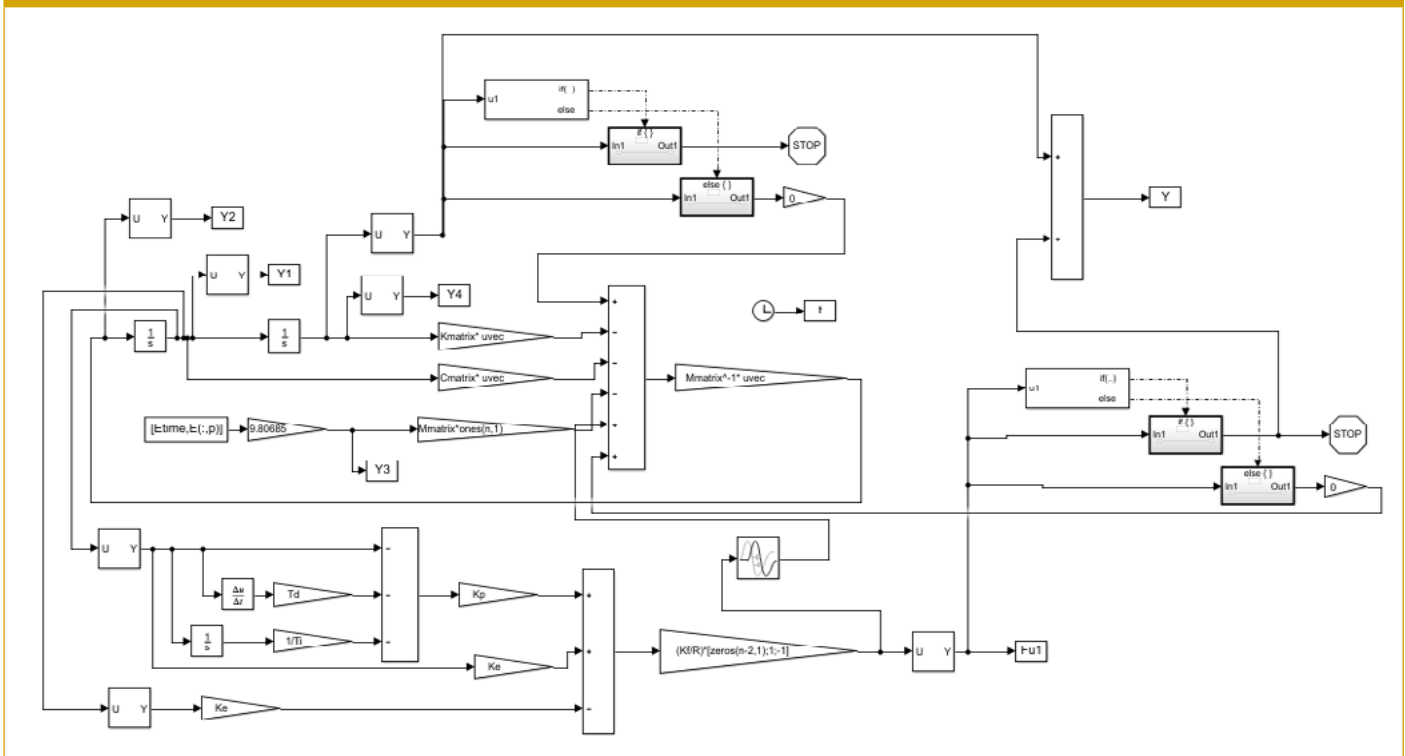
$$f_2 = \frac{\max(|x_d - x_N|)_{withATMD}}{\max(|x_N|)_{withoutATMD}} \quad (9)$$

Önerilen metodolojide, birinci amaç fonksiyonunun değeri ve kontrol kuvveti zamana göre kontrol edilmektedir. Her bir zaman adımı için, rastgele tanımlanmış tasarım değişkenleri kombinasyonunun istenen yanıtı azaltmaya uygun olmadığını veya maksimum kontrol kuvveti ortalamasında pratik olmadığını anlamak için sonuçlar sınır değerlerle kontrol edilir.

ATMD ile yapının dinamik analizi için oluşturulan Simulink blok diyagramı Şekil 3'te gösterilmiştir. Blok diyagramında hareket

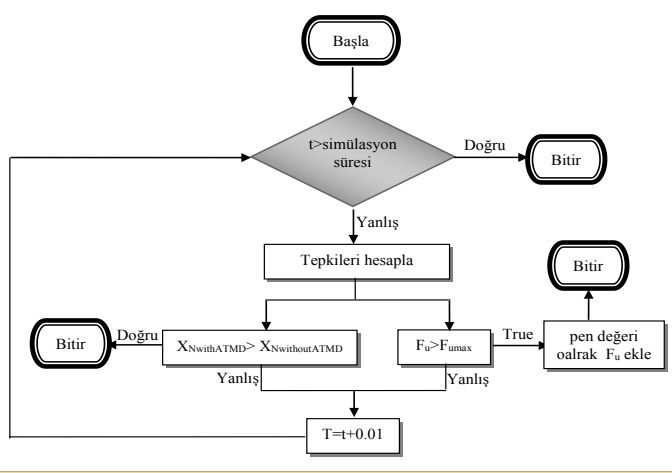
Şekil 3

ATMD'li yapının dinamik analiz için MATLAB blok diyagramı



Şekil 4

Dinamik analizlerin akış diyagramı



denklemlerinin analizi matrisler ve vektörler aracılığıyla yapılır. Blok diyagramın üst tarafında "selector" blok ile üst kat yer değiştirmesi seçilir ve "if" ve "else" blokları kullanılarak değeri kontrolsüz yapının maksimum değeri ile karşılaştırılır. Kontrolsüz yanıt değerinden büyükse simülasyon durdurulur ve son aktif adımın değeri olarak amaç fonksiyonunun maksimum değeri alınır. Bu durum zamandan tasarruf edilmesinin yanında tanımsız (NaN) sonuçlarının ihmal edilmesini sağlar. Böylece, yinelenemeli optimizasyon işlemi kesintiye uğramaz. Amaç fonksiyonunun değeri kontrolsüz yanıtın daha büyük bir değer olduğu için aday çözümlerin karşılaştırılmasında kolaylıkla elimine edilir.

Blok diyagramın sağındaki maksimum kontrol kuvveti için de benzer bir doğrulama yapılır. Kontrol kuvveti değerini kontrol etmek için "if" ve "else" blokları kullanılır. Kontrol kuvvetinin değeri istenen değerden büyükse simülasyonlar durdurulur. Bu durumda, kontrol kuvvetinin kısıtlaması dikkate alınır ve zamandan tasarruf edilir. Ayrıca izin verilen değerden (F_{umax}) fazla olan kontrol kuvveti değeri, yukarıda "pen" olarak tanımlandığı gibi yapının cevabına ceza olarak eklenir.

Geliştirilen yöntemdeki diğer bir yenilik ise, Matlab Simulink'te bir taşıma gecikme bloğu kullanılarak zaman gecikmesinin dikkate alınmasıdır. Sayısal durumlar ayrıca farklı zaman gecikme değerleri ve kontrol kuvveti limiti durumlarını içerir.

Optimizasyon süreci ile alt modül olarak kullanılan blok diyagramlarına ait akış şemaları sırasıyla Şekil 4 ve 5'te özetlenmiştir.

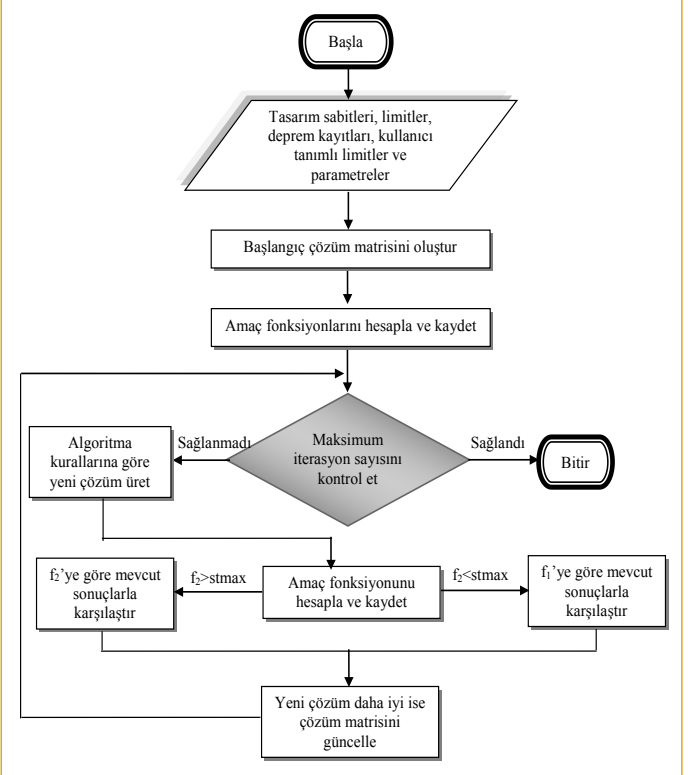
Nümerik Örnek

Önerilen yöntemi performansı gerçek boyutlu bir yapı örneği üzerinde test edilmiştir. Bu amaçla Şekil 6'da kat planına verilen 15 katlı betonarme bir yapı ATMD sistemiyle yapısal kontrolü gerçekleştirilmiştir. Ana yapının sönümü Rayleigh sönümüne göre alınmış ve betonarme yapılar için %5 olarak kabul edilmiştir.

Yapı, her iki yönde de aralarında eşit mesafe bulunan 9 eksene sahiptir. Eksenler arası mesafe 8 m, kat yüksekliği 3.5 m'dir. Yapının her iki öteleme yönündeki rijitliği 5520 MN/m olarak hesaplanmıştır. Yapı 3590 ton kat kütlelerine sahiptir. Bu verilere göre analiz sonucunda T_{atmd} , ξ_{gd} , K_p , T_d ve T_1 için optimum ATMD parametreleri sırasıyla 1.6027 s, 0.1828, -1159.8 Ns/m, 5312.1 s ve 5950.5 s

Şekil 5

Optimizasyon sürecinin akış diyagramı

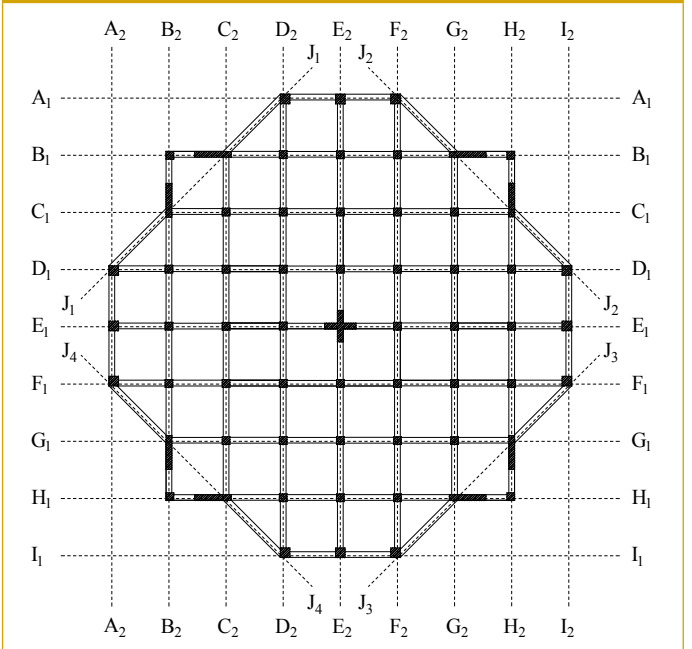


olarak bulunmuştur. FEMA P-695'ten alınan uzak fay kayıtları için yapının üst kat yer değiştirmesinin maksimum değerleri 0.0425 m ile 0.4638 m arasındadır.

Sonuçlar

Şekil 6

Kontrol sistemi eklenen yapıya ait kat planı



Gerçek boyutlu bir betonarme yapının üst katına ATMD eklenerek yapısal kontrol optimizasyonu için geliştirilen yöntemin testleri ve performansı gerçekleştirilmiştir. Buna göre maksimum etki, Northridge depreminin MUL009 bileşeni altında meydana gelir. Bu deprem kaydı için ATMD kontrollü yapı için yapısal tepkiler %37.5 oranında azalması sağlanmıştır. Maksimum üst kat deplasmanı için ATMD kontrollü yapı değerleri, maksimum 2.2487 kol uzaması değeri ve 51.893MN kontrol kuvveti ile 0.0405 m ile 0.4638 m arasındadır. Analiz sonuçlarına göre, önerilen yöntemin gerçek yapılar üzerinde uygulanabilir ve etkili olduğunu göstermiştir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemişlerdir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that they have no competing interest.

Kaynaklar

Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Yang, X. S. (2018). A novel bat algorithm based optimum tuning of mass dampers for improving the seismic safety of structures. *Engineering Structures*, 159, 89-98. [\[Crossref\]](#)

Bekdaş, G., Kayabekir, A. E., Nigdeli, S. M., & Toklu, Y. C. (2019). Transfer function amplitude minimization for structures with tuned mass dampers considering soil-structure interaction. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 116, 552-562. [\[Crossref\]](#)

Bishop, R.E.D., Welbourn, D.B., 1952. *The problem of the dynamic vibration ab-sorber*. *Engineering* (London), 174 and 769.

Den Hartog, J.P.(1947), *Mechanical Vibrations*, McGraw-Hill, New York.

Farshidianfar, A., Soheili, S. (2013), ABC optimization of TMD parameters for tall buildings with soil structure interaction, *Interact. Multiscale Mech.*, 6(4), 339-356. [\[Crossref\]](#)

FEMA P-695. *Quantification of Building Seismic Performance Factors*. Washington.

Frahm H. *Device for damping of bodies*. U.S. Patent No: 989,958, 1911.
Geem, Z. W., Kim, J. H., & Loganathan, G. V. (2001). A new heuristic optimization algorithm: harmony search. *SIMULATION*, 76(2), 60-68. [\[Crossref\]](#)

Ioi, T., Ikeda, K., (1978). On the dynamic vibration damped absorber of the vibration system. *Bulletin of the JSME* 21, 6471. [\[Crossref\]](#)

Kayabekir, A. E. (2021). *Control of Structures by Active Tuned Mass Dampers Optimized via Metaheuristic Algorithms*. [PhD Thesis], Istanbul University-Cerrahpaşa Institute of Graduate Studies.

Kayabekir, A. E., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Geem, Z. W. (2020). Optimum design of PID controlled active tuned mass damper via modified harmony search. *Applied Sciences*, 10(8), 2976. [\[Crossref\]](#)

Kayabekir, A. E., Nigdeli, S. M., & Bekdaş, G. (2020, April). Robustness of Structures with Active Tuned Mass Dampers Optimized via Modified Harmony Search for Time Delay. In *International Conference on Harmony Search Algorithm* (pp. 53-60). Springer, Singapore. [\[Crossref\]](#)

Kayabekir, A. E., Nigdeli, S. M., & Bekdaş, G. (2021). A hybrid meta-heuristic method for optimization of active tuned mass dampers. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*. 37(8), 1027-1043. [\[Crossref\]](#)

Ormondroyd J, Den Hartog JP. The theory of dynamic vibration absorber. *Trans ASME* 50(2):922, 1928. [\[Crossref\]](#)

Pourzeynali, S.; Lavasani, H. H.; Modarayi, A. H. (2007). Active control of high rise building structures using fuzzy logic and genetic algorithms. *Engineering Structures*. 29(3), 346-357. [\[Crossref\]](#)

Sadek, F, Mohraz, B., Taylor, A.W. and Chung, R.M. (1997), A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 26, 617635. [\[Crossref\]](#)

Snowdon, J.C., 1959. Steady-state behavior of the dynamic absorber. *Journal of the Acoustical Society of America* 31,1096-1103. [\[Crossref\]](#)

The MathWorks, Matlab R2018a. (2018)., Natick, MA.

Warburton, G.B. (1982), Optimum absorber parameters for various combination of response and excitation parameters, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 10(3), 381401. [\[Crossref\]](#)

Yucel, M., Bekdaş, G., Nigdeli, S. M., & Sevgen, S. (2019). Estimation of optimum tuned mass damper parameters via machine learning. *Journal of Building Engineering*, 26, 100847. [\[Crossref\]](#)

