



Sistem Tanılama Algoritmaları Kullanılarak Yapı Dinamik Karakteristiğinin Tahmini

Estimation of the Dynamic Characteristic of a Structure and Condition Assessment Using Structural Identification Algorithms

Ahmet SERT^{1,*} , Kemal BEYEN² 

¹ İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0002-1607-7569

² İnşaat Mühendisliği, Kocaeli Üniversitesi, Kocaeli, Türkiye, **Orcid:** 0000-0001-8878-0985

Araştırma Makalesi

Gönderilme Tarihi : 20/01/2019

Kabul Tarihi : 10/12/2019

Anahtar Kelimeler

Frekans Tanım Alanında Analiz
Sistem Tanılama
Sönüm Oranı
Yapı Tanılama
Zaman Tanım Alanında Analiz

Research Paper

Received Date : 20/01/2019

Accepted Date : 10/12/2019

Keywords

Frequence Domain Analysis
System Identification
Damping Ratio
Structure Identification
Time Domain Analysis

Özet

Yapılar dinamik yüklemeler altında farklı davranış gösterdiği bilinmektedir. Aktif bir deprem kuşağında olan ülkemizde deprem yapısal tasarımda büyük bir rol almaktadır. 17 Ağustos Kocaeli Depreminden sonra bölgede yürütülen çalışmalarda yapıların proje bürolarında tasarlandığı gibi davranmadığı tespit edilmiştir. Bu çalışmada yapılar tasarlanırken kullanılan bazı varsayımların her durumda geçerli olmayacağı ve sistem ile ilgili karakteristik parametrelerin sistemden alınan tepkiler ile elde edilebileceği matematiksel ortamda kurulan 4 katlı betonarme bir binada gösterilmeye çalışılmıştır. Kocaeli depremi kaydı sonlu elemanlar analiz programında modellenen tipik bir bina yapısında uygulanarak ve yapıda oluşturulan gözleme istasyonundan alınan tepkiler, Matlab makro yazılım ortamında sistem tanılama algoritmaları yardımıyla yapısal dinamik özellikler tahmin edilmiştir. Yapı sağlığı durum değerlendirmesi pratik uygulanabilirlik açısından hasar tespiti için gösterilmiş ve tartışılmıştır.

Abstract

It is known that the building behaviour under earthquake loads can be very complex . Being an active earthquake zone, in our country earthquakeloads plays a big role in the design. By lessons learned from the Kocaeli Earthquake, it is clear that many buildings do not behave as they are assumed in a project office. In this study, we show that some of assumption used when evaluating the structures are not valid in every case. Firstly, Kocaeli earthquake is used in the finite element package program. Secondly, the structural characteristics have been estimated by using the system identification algorithms in Matlab, such as modal frequencies, damping ratio. Structural health monitoring status assesment has been shown and discussed for pratical assesment of damage.

1. Giriş

Modelleme sürecinde kullanılan yapı geometrisi, yapısal malzeme bilgileri ve analiz içindeki bilinmeyenlerin giderilmesi amacıyla yapılan güncellemelerin analitik sonuçları iyileştirdiği 1970'lerde başlayan 1990'larda çok güçlü olarak kullanılan deneysel modal analiz, mekanik ve uzay taşıtlarında uygulanmaya başlamasıyla birlikte önem kazandığı ve gelişimini sürekli arttırdığı bilinmektedir [1].

Mühendislik yapıları deprem, rüzgar gibi bir dinamik harekete maruz kaldığında etkiyen kuvvetin zaman içindeki değişimi, yapının ne kadar süre kuvvete maruz kalması, yapı içindeki yayılımı bu süreç içinde oluşan karakteristik yapısal davranışı şekillendirir. Yapılarda imalat sırasındaki oluşan belirsizlikler ve malzeme sönümünün farklı parametrelere bağlı olması sebebiyle sistem davranışı nümerik olarak tam tespit edilememiştir. Yapının karakteristik özelliklerinden olan frekans kesitlerin geometrik boyutlarına ve malzemenin elastise modülüne bağlı olarak belirlenirken sönüm ile ilgili parametrelerin

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author): ahmetsert02@gmail.com



belirlenmesi için dinamik deneylerin yapılmasına ihtiyaç vardır [2].

Günümüz izleme teknolojileri ve sinyal analizlerindeki gelişmeler güçlü ve etkili yapısal tanılama uygulamalarına imkan vermiş yeni nesil sensörler, veri toplama düzenekleri sinyal işleme tekniklerindeki değişik algoritmaların uygulanabilirliğini arttırmıştır [3].

Yapı malzemelerinde kullanılan beton ve çelik yükleme hızına göre farklı karakteristik özellikler göstermektedir. Bu farklı karakteristik özellikler farklı algoritmalar ile tayin edilebilir. Sistem tanılama algoritmaları yardımı ile inşaat mühendisliği yapılarında kat tepkileri ile modal periyotlar, sönüm ve fazdaki gecikmeler elde edilebilir. Böylelikle nümerik model düzeltmeleri yapılabilir ve sağlıklı nümerik modeller elde edilebilir.

Yapı titreşim verilerinden tanılama teknikleriyle elde edilen yapı karakteristikleri (1) nümerik modelin aslıyla uyumlu hale getirilmesinde, (2) yeni inşaatlarda biten inşaatlarda biten inşaatın projeye uyumunun ve imalat kalitesinin sertifikalanmasında ve (3) sigorta uygulamalarının bilimsel ölçütler içinde gerçekleşmesinde kullanılabilir [4].

Şafak, sistem tanılama algoritmalarının inşaat mühendisliği uygulamaları içinde nasıl uygulanabileceği ve yapı ile ilgili dinamik parametrelerin tahmini üzerinde çalışmalar yapmıştır [5].

Çelebi, bitişik nizam etkisi altındaki binaların sistem davranışlarını Whittier-Narrows depremi altında analiz edilmiştir ve binaların dinamik özelliklerini sistem tanılama algoritmaları yardımıyla incelemiştir [6].

Beyen, 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminde hasar alan Fatih Camii Külliyesinin karakteristik özelliklerini (doğal frekanslarını, mod şekillerini ve modal sönüm oranlarını) yapıdaki çevrel titreşimler yardımı ile tanılayıp parametrik analizler yapmıştır [7].

Bu çalışmada bilgisayar ortamında oluşturulan tipik bir betonarme binada 17 Ağustos Kocaeli depremi, sonlu elemanlar analiz programında kullanılıp elde edilen tepkiler Matlab makro ortamında işlenerek farklı matematiksel modeller ile modal frekans ve sönüm oranları elde edilmiştir. Modal sönümler sonlu elemanlar analiz programlarında varsayılan %5 sönümler ile yer değiştirilirse ilerde muhtemel bir dinamik yük altındaki tepkilerin tahmin etmek mümkündür. Dinamik yüklemeler veya çevrel titreşimler altında sistemler kendi karakteristik sönüm oranını, modal frekans özelliklerini verebilmektedir. Bu şekilde bilimsel bir yaklaşım ile sönüm oranını ve sistemin modal frekanslarını sistemden alınan veriler ile bulunmasına yardımcı olacaktır.

2. Yapı Dinamik Karakteristikleri

Yapının bir yükleme altında gösterdiği davranış, yapı geometrisine, sistem konumlandırılmasına, malzeme elastik davranışına bağlı olarak değişmektedir. Yapının bir tam hareketini tamamlama süresi yapının periyodu yapının önemli bir karakteristik özelliği olarak bilinir. Yapının periyoduna bağlı olarak binanın deprem karşısındaki tepkisi değişmektedir. Bir diğer dinamik karakteristik özellik ise sönüm oranıdır. Ana kayadan gelen deprem hareketi zemin tabakalarından geçerek, yapıyı titreştirir. Bu titreşim zemin serbest yüzeyinden geriye yansır ve aynı zamanda yapı içinde yukarı doğru ilerler, en üst kattan yansıyarak geri döner ve yarı sonsuz ortam olan zemin içinde geri dönmek üzere kaybolur. Enerjinin çok büyük bir ortamda yayılmasıyla ortaya çıkan bu sönüm, ortamın elastik sabitlerine ve kütleli yoğunluğuna ve yapının özelliklerine bağlıdır.

Yapı rijitleştikçe, mesnet ortamı yumuşadıkça ve zeminde ana kaya üzerindeki dolgu büyüdükçe, zemin ortamında enerji yayılması sebebiyle sönüm artar. Viskoz sönümün tersine, yüksek modlardaki enerji yayılma sönümün, düşük modlara göre daha az olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda açıklanan sönüm türlerinden matematiksel çözümlemede en kolay gözönüne alınabileni viskoz sönümdür. Bu sebepten diğer tür sönümlerin de eşdeğer viskoz sönüme çevrilerek hesaba katılması matematik kolaylık bakımından tercih edilir. Yüksek modlarda sönüm frekansla beraber artar. Ayrıca sönümün genlikle de orantılı büyüdüğü belirlenmiştir. Yapılan deneylerden tipik bir yapıya düşük genliklerde sönüm %1-2 olarak elde edilmiştir. Kuvvetli yer hareketinde ise sönümün %5-10 değerine ulaştığı belirlenmiştir. Bazı durumlarda sönümün %15 değerinin aşıldığı da tesbit edilmiştir. Yapılarda eğdeğer viskoz sönüm, titreşim genliğinde zamanla meydana gelen azalma esas alınarak hesap edilebilir [8].

3. Periyot Frekans ve Açılal Frekans Kavramları

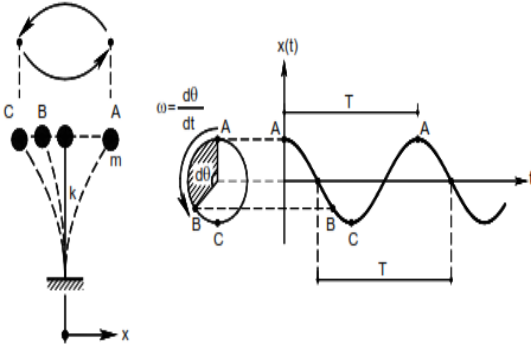
Bir sistemin doğal periyodu (T) titreşim sırasında bir tam çevrimi yaparak başlangıç seviyesine dönme süresidir ve saniye birimi cinsinden ifade edilir. (Şekil 1) Doğal periyodun tersi frekanstır ve birimi bir saniyede yapılan çevrim belirten (Hz) veya $1/s$ 'dir. Açılal doğal, frekans titreşim hareketi dairesel hareket olarak gösterildiğinde birim zamanda taranan açı olarak tariflenir ve rad/s birimindedir. Bir periyotluk süre geçtiğinde Şekil 1'de A noktasından tekrar A noktasına geldiğinde taranan açı 2π

radian olacaktır [8].

Bu üç büyüklük arasında aşağıdaki bağlantılar bulunmaktadır:

$$T = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (1)$$

$$f = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi} \quad (2)$$



Şekil 1. Doğal titreşim periyodu ve açısal frekans.

Periyot, kütle ve rijitlik ilişkisi bir bağlantıda verilirse;

$$T = 2\pi\sqrt{m/k} \quad (3)$$

Açısal frekans ve rijitlik arasındaki bağlantı ise

$$\omega = \sqrt{k/m} \quad (4)$$

Yapının ağırlığı yani kütlesi arttığında doğal periyot büyümektedir. Yapının öteleme rijitliği arttığında (perde, kolon gibi düşey taşıyıcıların boyutları büyütüldüğünde) periyot değeri küçülmektedir [8].

4. Sistem Tanılama

İnşaat mühendisliği uygulamaları için henüz yeni bir yaklaşım olan sistem tanılama genellikle kontrol mühendisliğine dinamik sistemlerin deneysel veriler kullanarak ve bazı istatistiksel yöntemler kullanılarak matematiksel modelini çıkartmak şeklinde tanımlanabilir.

Başka bir şekilde ifade edilirse sisteme ait dinamik özelliklerin zamana ve frekansa bağlı olarak matematiksel olarak verilmesidir. Son yıllarda inşaat mühendisliği yapılarının deprem tepkilerini anlamak için kullanılan en önemli yöntemlerden biridir.

Sistem tanılama tekniklerinin temeline inilirse en çok

kullanılan istatistiksel yöntem olan en küçük kareler yöntemi çıkar. En küçük kareler yöntemi birçok matematiksel yöntemin en temel uygulamasıdır. Bu matematiksel algoritmaların kullanılmasının en büyük nedeni zaman frekans dönüşümleri arasında en sık bilinen ve kullanılan Fourier dönüşümünün durağan olmayan sinyaller için kopukluklara sebep olmasıdır.

En küçük kareler yönteminin dinamik sistemlerde kullanılması Aström ve Bohlin (1965 Numerical Identification of Linear Dynamic System) tarafından yapılan çalışmalarla başlamıştır. Günümüzde inşaat mühendisliği uygulamaları içinde ne kadar az olsa da mühendislik uygulamaları içinde en çok yere sahip olan konulardan biridir. Sistem tanılama daha çok istatistik, ekonomi, elektrik ve kontrol mühendisliği alanlarında gelişmiş ve aktif bir şekilde kullanılmaktadır.

İnşaat mühendisliği uygulamaları içinde yapı sağlığı izleme, hasar tespiti ve hasar izleme gibi önemli alanlarda hayat bulmuştur.

Aşağıdaki denklemlerde doğrusal matematiksel modellerin teorileri ve Matlab makro ortamında Sistem Tanılama Algoritmaları gösterilecektir. Bu sistemler için Tek Girdi Tek Çıktı (TGTC) basit bir şekilde yazılırsa aşağıdaki denklem elde edilir:

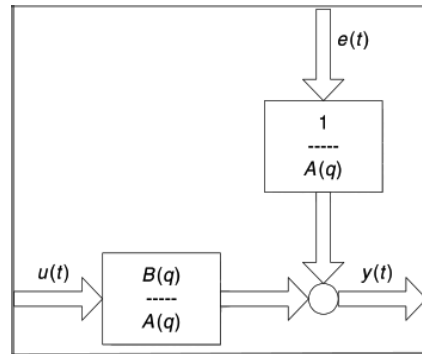
$$y(t) = a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) = b_1x(t-1) + \dots + b_{n_b}x(t-n_b) \quad (5)$$

Burada $x(t)$ ve $y(t)$ sırasıyla girdi ve çıktı dizileridir. a_j ve b_j zamana bağlı sistemin parametreleridir [9]. Denklem 5 tekrar düzenlenirse;

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}x(t) \quad (6)$$

Denklem 6'da $B(q)/A(q)$ transfer fonksiyonu olarak adlandırılır.

Sistem tanılamada kullanılan matematiksel modellerden kısaca bahsedilirse;



Şekil 2. ARX model yapısı.

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + \frac{1}{A(q)}e(t) \quad (7)$$

şeklinde ifade edilir. Burada $A(q)y(t)$ kısmı AutoRegressive ve $B(q)u(t)$ ise eXogenous şeklinde ifade edilir ki bunun genel hali ARX olarak isimlendirilir. Aynı şekilde sisteme beyaz gürültü ilave edilirse

$$y(t) = a_1y(t-1) + \dots + a_{n_a}y(t-n_a) + b_1u(t-1) + \dots + b_{n_b}u(t-n_b) + e(t) + c_1e(t-1) + \dots + c_{n_c}e(t-n_c) \quad (8)$$

Denklem 8 ARMAX modeli olarak tanımlanır. Düzenlenirse;

$$y(t) = \frac{B(q)}{A(q)}u(t) + \frac{C(q)}{A(q)}e(t) \quad (9)$$

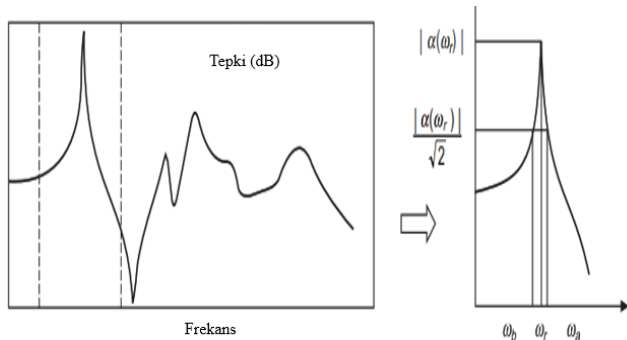
Denklem 9 elde edilir. Box-Jenkins, Output Error, State Space gibi matematiksel modeller hakkında ayrıntılı bilgi Matlab System Identification Toolbox'da bulunabilir.

5. En Yüksek Genlik Yöntemi (Peak-Picking)

Sistem tanılama algoritması ile modal parametreler elde edilebildiği gibi en yüksek genlik metodu yardımı ile yapının modal sönüm oranları tespit edilebilir.

Frekans davranış fonksiyonunda her bir rezonansa ait tepe noktası ve bu noktanın muadili ω_r tespit edilir.

Tepe noktasına karşılık gelen genlik değeri bulunur. Bu tepe noktasından genlik değerinin $1/\sqrt{2}$ 'si kadar kadar o rezonansın bant genişliği bulunup, bu noktaya denk gelen köklere (ω_a ve ω_b) noktaları tesbit edilerek modal parametrelere (modal sönüm oranına) aşağıda belirtildiği gibi ulaşılabilir.



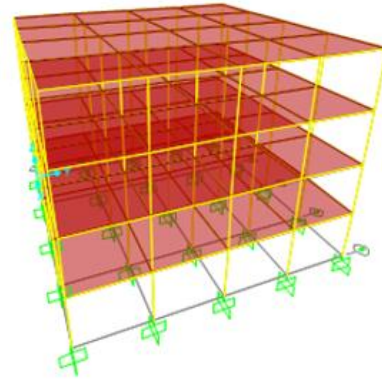
Şekil 3. Peak-Picking metodu.

$$\zeta_r = \frac{\omega_b^2 - \omega_a^2}{4\omega_r^2} \approx \frac{\omega_b - \omega_a}{2\omega_r} \quad (10)$$

Denklem 10 yardımıyla frekans tepki fonksiyonlarından modal sönüm oranları elde edilebilmektedir.

6. Nümerik Model Çalışması

Şekil 4'de belirtilen 4 katlı betonarme sistem Sonlu elemanlar analiz programında (SAP 2000)'de analiz edilmiştir. Tasarlanan bina için bina parametreleri, beton sınıfı C30, çelik sınıfı S420, kiriş ebatları 25x50 cm, kolon ebatları 50x50 cm, döşeme kalınlığı 14 cm ve kat yüksekliği 3 m olarak düşünülmüştür.

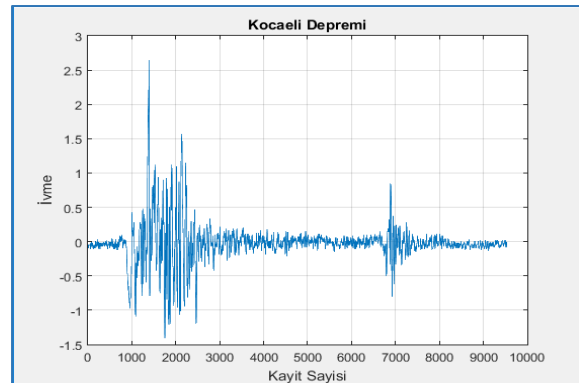


Şekil 4. Betonarme sistem 3D görünümü.

Betonarme sistemde kullanılan kuvvetli yer hareketi için 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Gebze Teknik Üniversitesi'nde kaydedilen kayıt kullanılmıştır.

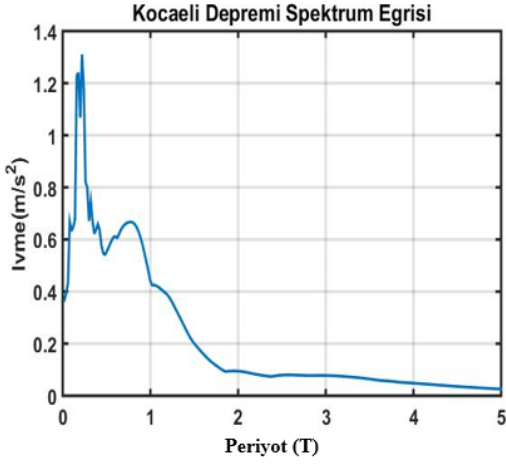
6.1. Gözlem İstasyonlarında Hesaplanan Kat Tepkileri

Yapısal sisteme etkendirilen girdi kuvvet fonksiyonu olarak 17 Ağustos 1999 Kocaeli depreminin Gebze Teknik Üniversitesinde kaydedilen kaydedilen yer kaydı kullanılmıştır. Betonarme sisteminin 4. katında gözleme istasyonları oluşturulmuştur.

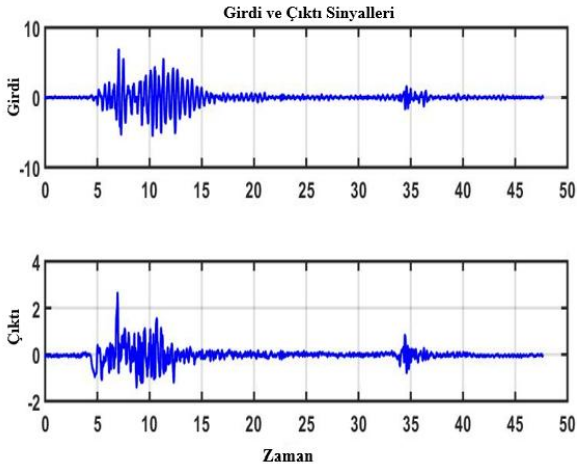


Şekil 5. Kocaeli depremi kaydı.

Buna karşılık binanın 4. katında üst köşe noktasında 105 nolu düğüm noktasında izleme istasyonu oluşturulmuştur. Alınan kat tepkileri ile sisteme ait lineer halde modal frekanslar ve modal sönümler elde edilmiştir.



Şekil 6. Kocaeli depremi spektrum eğrisi.



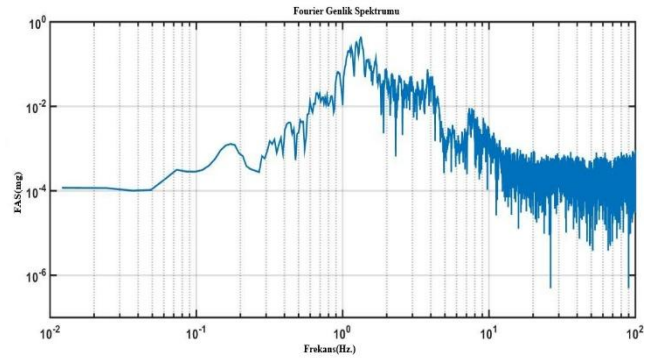
Şekil 7. Sisteme ait girdi ve çıktı sinyalleri.

7. Uygulama Örneği

Elde edilen kat tepkileri Matlab ortamında işlenerek matematiksel modeldeki modal frekanslar yakalanmıştır. Bu ise inşaat mühendisliği alanında yapı sağlığı durum değerlendirmesi ve hasar tahmini için yapılarda tercih edilen tahribatsız bir ölçme ve gözlem yöntemi olup bu çalışmada sanal laboratuvar olarak kabul ettiğimiz yapı analizi programı ve sonrası işlemler için oluşturulan sanal ortamın sunduğu benzeşim imkanı ile yapısal davranışlar izlenmiştir. Alınan tepkisel titreşimler sinyaller Fourier dönüşümüne ve farklı sistem tanılama algoritmalarına tabi tutulmuş ve sonuçları Şekil 8'de gösterilmiştir.

Spektral analizde, hesaplanan frekans tepki fonksiyonları (FRF) gerçek yapı üzerinden hesaplandığı için değişik nümerik yuvarlama/yakınsama hataları içinde

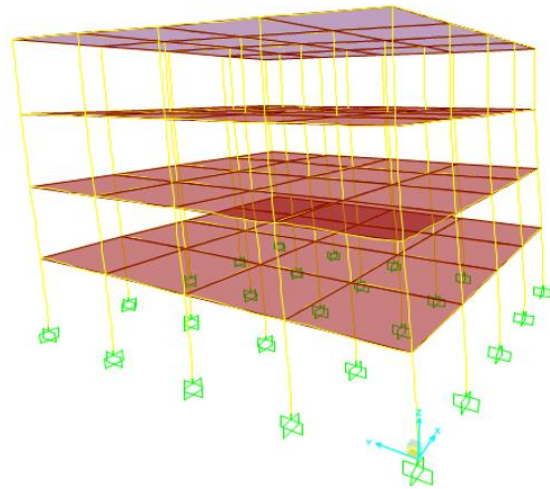
barındırmayacaktır. Mevcud durumu en iyi temsil edecek FTF modal parametrelerin bulunmasında kullanılabilir. Zaman tanım alanında, çevrel titreşim kayıtları ve yapısal giriş ve yapısal noktaların tepkileri çıkış olarak alınıp, yapısal sistemdeki giriş çıkış olarak alınıp, yapısal sistemdeki giriş-çıkış ilişkilerinin TSDS (Tek Giriş Tek Çıkış – TGTC) ve ÇSDS (Çok Giriş Çok Çıkış – ÇGÇÇ) olarak tasarlanan matematik modelleri değişik filter tekniklerinin optimizasyon uyarlamaları kullanılarak aranan parametrelerin giriş-çıkış ilişki ağı en güvenilir mertebeye kurulmaya çalışılmıştır [11].



Şekil 8. Kat tepkisinin Fourier eğrisi.

Şekilde görüldüğü gibi zaman tanım alanındaki bir sinyalin frekans içeriğini görebilmek için Fourier dönüşümü uygulanmıştır. Çalışılan yapımızın ilk hakim moduna ait modal frekans yaklaşık 2 Hz de izlenmiştir. Matematiksel modelde ise ilk mod Şekil 9'da görüldüğü gibi 2,15 Hz ve ikinci mod ise 2,35 Hz olarak değerlendirilmiştir.

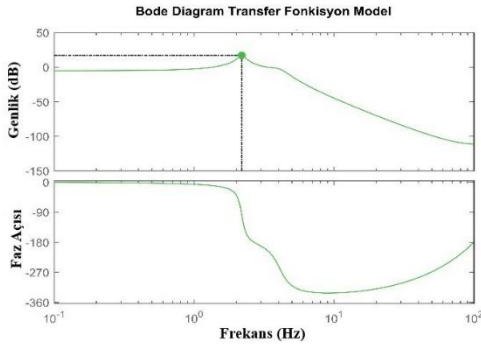
Deformed Shape (MODAL) - Mode 1; T = 0.46435 f = 2.15354



Şekil 9. Sistem 1. modu.

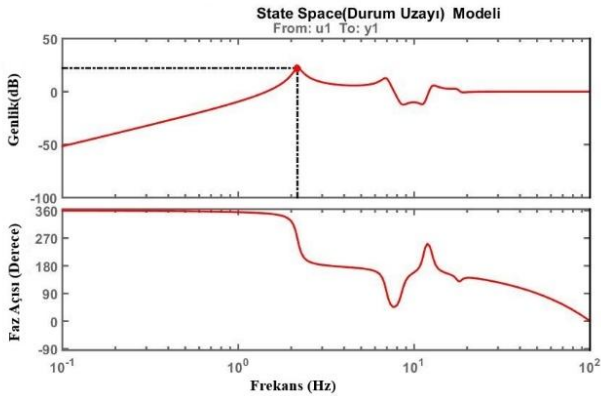
Analitik çalışmada kullanılan matematiksel modelde ikinci modda burulma hakim bir davranış gözlemlenmiştir.

Elde edilen bu sonuçların bir başka yöntemle irdelenmesi ve doğruluklarının sınanması için zaman tanım alanında tanımlanmış matematiksel davranış modelleri olan (Arx (Otomatik regresyon extra girdi model), Armax (Kayan pencere ortalamalarının uygulandığı otomatik regresyon extra girdi model), Output Error (Çıktının hata kabul edilerek yeniden tanımlama algoritmasının içinde değerlendirildiği model) ve State Space (Durum Uzay ortamında analiz) aday modelleri bir Matlab makro yazılım tabanlı kodlama içinde uygulanmıştır. Elde edilen sonuçlar bir sonraki bölümde tartışılmıştır.



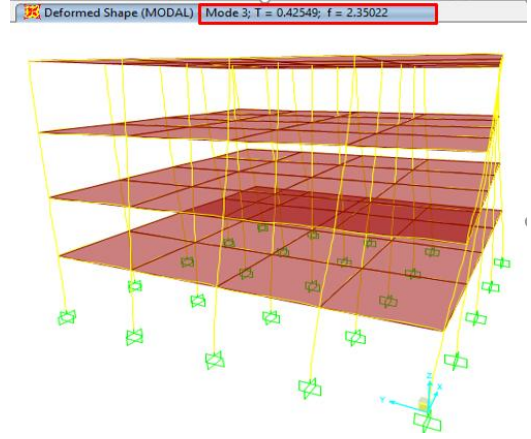
Şekil 10. Transfer fonksiyonu.

Şekildeki girdi ile çıktı arasında kurulan transfer fonksiyonu modeli ile 1. tepe noktası ile sistemin 1. modu tam olarak uyumaktadır. Fazın 180 derece değiştiği yerde tepe noktası görülmektedir. Birinci modda bulunan sönüm oranı ise %4,61 olarak tespit edilmiştir. Matematiksel modelde spektrum eğrisi için kullanılan sönüm oranı ise %5'dir.



Şekil 11. State-space (durum uzayı) modeli.

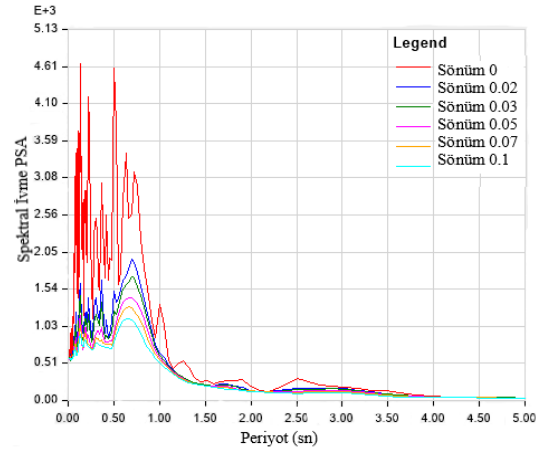
State Space matematiksel modeli kullanılarak sistemin 1 ve 3 modları tespit edilmiştir. 2 moddaki faz açısındaki 90 derecelik değişim ise yapının burulma modundaki durumunu temsil etmektedir. Şekil 12'de ise 1. burulma (2. mod) durumundaki yapı davranışı gösterilmiştir.



Şekil 12. Burulma modundaki sistem.

Yukarıda belirtilen frekans tepki fonksiyonları, modal için 1. modda %4,61, 2. modda ise %8,5 olarak tespit edilmiştir.

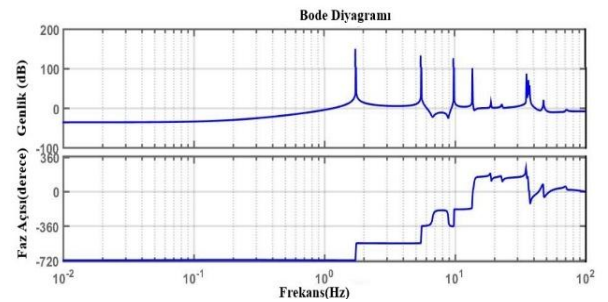
Farklı matematiksel modeller ile elde edilen eğriler Ekler bölümünde verilecektir.



Şekil 13. Farklı sönüm oranları için spektral ivme.

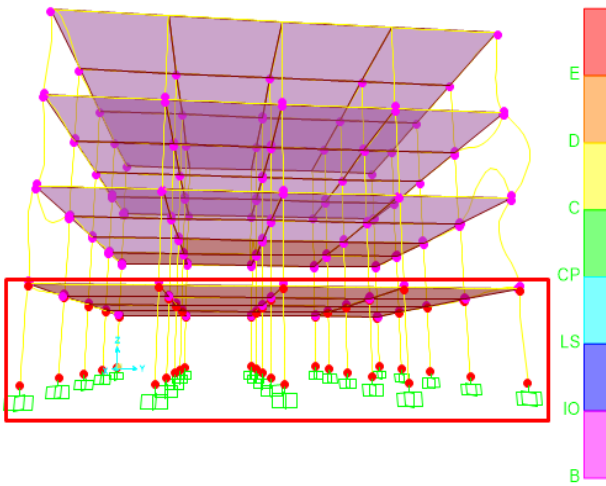
Şekil 14'de görüldüğü gibi farklı sönüm oranlarında farklı ivmeler almıştır, bu ise daha farklı kesit tesirleri üretmekte ve dolayısıyla tasarım aşamasında eleman boyutları önemli ölçüde değişmektedir.

7.1. Hasarlı Yapı ve Karakteristik Özellikler



Şekil 14. Hasarlı yapı için modal frekanslar.

Binanın mevcut siteminin dayanımı Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğinde (TBDY-2018) verildiği gibi %40 dayanım azaltılmasına gidilerek mevcut hasarlı bir yapı mukavemetinin can güvenliği performans seviyesi içinde kaldığı kabul edilmiş ve yapı sağlığı durum değerlendirme tahmin çalışması bir sonraki uygulama olarak aşağıda tartışılmıştır. Şekilde görüldüğü gibi hasar verilen yapının ilk modda 1,73 Hz ikinci modda ise 5,49 Hz bilgileri elde edilmiştir. Yapı hasar aldıkça plastik mafsallar oluşacak ve enerji emilimleri göçme öncesi performans seviyesine kadar devam edecektir. Yapısal hakim modlardaki tepe değer kaymaları yani değerlerin küçülmesi, dolayısıyla periyodların büyümesi bir hasar durumunun göstergesi olarak değerlendirilebilir.



Şekil 15. Hasarlı yapıdaki plastik mafsallaşmalar.

Şekil 15’de Kocaeli depremi altında mafsallaşan kolonlar verilmiştir. Görüldüğü üzere zemin kat kolonları ağır hasar almıştır.

8. Sonuçlar

İnşaat mühendisliği alanında yeni yer bulmaya başlayan ve yapı sağlığı izleme sistemlerinin temeli olan sistem tanılama algoritmaları kullanılarak yapılar hakkında çevrel titreşimler deprem rüzgar gibi dinamik yükler altında yapı hakkında önceden veya depremden hemen sonra gerçek bilgi sahibi olunmasına imkan sağlamaktadır. Çalışmada görüldüğü üzere sonlu elemanlar ortamında 1. mod 2,15 Hz ve 2. modu 2,35 Hz’de tespit edilmiştir. Bu modlara ait sönüm oranları ise sırasıyla %4,61 ve %8,5 olarak tespit edilmiştir. Aynı şekilde sistemde hasarların oluştuğu düşünüldüğünde ise ilk modda 1,73 Hz ikinci modda 5,49 Hz elde edilmiştir. Çalışmada görüldüğü gibi

matematiksel modeller dışında da modal frekanslar sinyal verileri ile tam olarak bulunabilmektedir.

Aktif bir deprem kuşağında olan ülkemizde depremden hemen sonra değerlendirme yapmak çok önemlidir çünkü büyük depremlerden sonra oluşan artçı depremlerde ciddi oranda can kaybı yaşanmıştır. Artçı deprem hasarlarının değerlendirilmesi açısından depremden hemen sonra hızlı bir şekilde önemli hasarlı binaların değerlendirilmesi gerektiğini afet sonrası uygulanan boşaltma ve güçlendirme çalışmalarının can güvenliği içinde gerçekleşmesi açısından önemlidir.

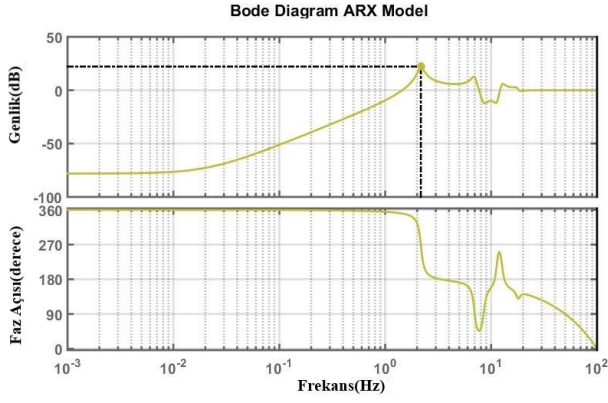
Hasarsız bir yöntem olan çevrel titreşim kuvvetleri yardımı ile binalar hakkında değerlendirmeler yapılabilmektedir ve gerektiği durumlarda burada çalışılan algoritmalar uygulanabilecektir.

Çalışmada görüldüğü gibi deprem kayıtları matematiksel ortamda işlenerek binanın en önemli özellikleri tespit edilebilir bu ise sigorta uygulamalarında yapı sağlığının tespiti açısından önemlidir. Önemli kamu kuruluşlarının yapım sonrası için geçici kabul veya tam kabul sürecinde sistem tanılama algoritmaları kullanılarak binanın deprem karşısındaki davranışı ve dinamik yapısal parametrelerin değerleri, proje hesaplarında öngörülen değerlerle tutarlılığı veya imalat sonrası son durum değerleri olarak kullanılması için önemli arşiv bilgi olarak yapının doğru kimliğinin oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca malzemenin elastik kısmından ziyade plastik kısmının davranışından istifade eden inşaat mühendisleri yapıların kendi sönüm oranları göz önünde bulundurularak daha gerçekçi parametreler ile tasarım yapabilirler. Bu durum ise olası bir depreme daha hazırlıklı olunmasını sağlar.

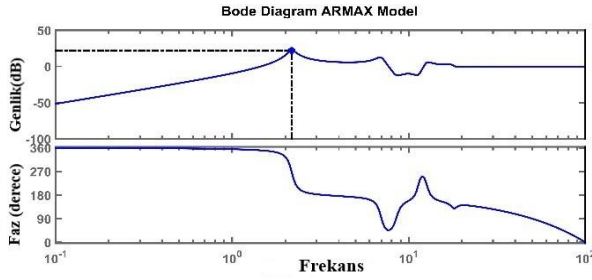
Çalışmada görüldüğü üzere sistem üzerine girdi ve çıktılar arasındaki ilişkiler ile binaya ait özellikler net bir şekilde yakalanmıştır. Sinyal verilerinden alınan sonuçlar yardımı ile sonlu eleman bilgisayar modelleri güncellenebilir ve mevcut yapı tam bir şekilde bilgisayar ortamına aktarılabilir. Bu ise stratejik askeri binalar veya endüstriyel yapılarda patlama, yangın, çarpma gibi olağanüstü durum senaryolarının bilgisayar ortamında tam olarak simülasyonunun yapılmasına olanak sağlamaktadır. Yeni Türk Deprem Yönetmeliği’nde de bu algoritmalar yer bulduğu için gelecekte çok daha sık bir şekilde karşılaşacağını göstermektedir.

Ekler

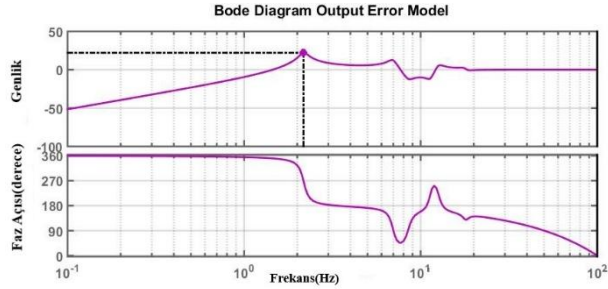
Farklı matematiksel modeller ile oluşturulan grafikler aşağıda verilmiştir.



Şekil A.1. ARX model.



Şekil A.2. ARMAX model.



Şekil A.3. Output Error model.

Kaynaklar

- [1] Beyen K., 2013. Mevcud yapılar, nümerik modellerinin güvenilirliği ve analiz sonuçlarına etkileri. 2. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Hatay, 25-27 Eylül, 1-12.
- [2] Celep Z., 2018. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanaklı Yapı Tasarımı. 1. Baskı, Beta Yayın Dağıtım A.Ş., İstanbul.
- [3] Beyen K., 2015. Hasar tanılama çalışmalarında sinyal analizi. 3. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı (DEÜ), İzmir, 10-12 Haziran.
- [4] Beyen K., 2017. Titreşim verisiyle güncellenmiş sonlu elemanlar modeli ile hasar simülasyonu. Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University, **32**(2), 403-415.
- [5] Şafak E., 1989. Adaptive modeling identification, and control of dynamic structural system 1: theory. Journal of Engineering Mechanics, **11**(115), 2386-2405.
- [6] Çelebi M., 1993. Seismic response of two adjacent building 1 data and analysis. Journal of Structural Engineering, **119**(8), 2461-2476.
- [7] Beyen K., 2008. Structural identification for post earthquake safety analysis of the Fatih Mosque after the 17 August 1999 Kocaeli earthquake. Earthquake Engineering Structural Dynamic, **30**(8), 2165-2184.
- [8] Darılmaz K., 2015. Depreme Dayanaklı Betonarme Binaların Tasarımına Giriş. 1. Baskı, Yapı Yazılımları Yayınları, İstanbul.
- [9] Ljung L., 2015. System Identification Toolbox User's Guide Matlab and Simulink. 31. ed., MathWorks, USA.
- [10] Fu Z., 2001. Modal Analysis Butterworth-Heinemann. 4. ed., Jordan Hill, Oxford.
- [11] Beyen K., 2007. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde hasar alan Fatih Cami'nin dinamik karakteristiğinin tanımlanması. Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 16 Ekim, 49-60.
- [12] Sak Ö.F., 2013. 17 Ağustos 1999 Kocaeli Depremi'nde hasar almış bir binanın yapı tanılama sonuçlarıyla güncellenmiş modelinin analizi. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [13] Beyen K., 2012. Sayısal yapı modeli güvenilirliği bir yapı klonlama uygulaması. İ.M.O İstanbul Şubesi Seminerleri, İstanbul.
- [14] Çelebi M., 1999. Seismic responses of two adjacent building 1 data and analyses. J. Struct. Eng., **119**(8), 2461-2476.
- [15] Şafak E., 1989. Adaptive model, identification, and control of dynamic structural system 1. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **115**(11), 2386-2405.
- [16] Şafak E., 1989. Adaptive model, identification, and control of dynamic structural system 2. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **115**(11), 2406-2426.
- [17] Şafak E., 1991. Identification of linear structures using discrete-time filters. ASCE Theory J. Struct. Eng. Mech., **117**(10), 3064-3085.
- [18] Sap2000 Nonlinear V20.2, Comp. & Struct. Inc., Berkeley, California, USA, 2018.

- [19] Etabs Nonlinear V16.2, 2018. Comp.& Struct. Inc., Berkeley, California, USA.
- [20] Mathworks, 2015. System Identification Toolbox for Matlab (Release 2015b). The MathWorks Ins., Natic, MA.
- [21] Ikeda Y., 2015. Verification of system identification utilizing shaking test of a full scale 4-story steel building. Eartquake Engng. Struct. Dyn., **45**, 543-562.