

Çok Katlı Binaların Depremde Davranışlarının Sistem Mühendisliği Açısından İncelenmesi

¹Ali Okatan, ^{*2}Can Balkaya and ³Muhammed Arslan

¹Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Gelisim University, Turkey

^{*2}Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Istanbul Gelisim University, Turkey

³TRTWorld, Istanbul, Turkey

Özet

Bir deprem anında, mevcut bir binada oluşabilecek yer değiştirmeleri ve yer değiştirme ivmeleri matematiksel model ile ortaya konulmuştur. Modelin simülasyonunda MATLAB\Simulink dinamik modeli kullanılmıştır. Modelde katların yer değiştirmesi, kütlesi, rijitliği, iç sönüm katsayısı ve dış sönüm katsayıları dikkate alınmıştır. Söz konusu matematiksel modelde, ikinci dereceden diferansiyel denklemler matris biçiminde ifade edilmiştir. Simülasyon için örnek sekiz katlı bir bina seçilmiştir. Binanın mekanik modeli MATLAB/Simulink blok modelinde hazırlanmıştır. Deprem kaynağı olarak, 1940 California'da El-Centro gözlem merkezinden kayıt edilmiş 7.1 büyüklüğündeki depremin ivme bilgileri esas alınmıştır. Zemin etkisi dikkate alınmadan El-Centro depremine verdiği tepkilere göre analizleri yapılmıştır. 8 katlı mevcut binanın her katının sismik dalgalara vereceği yer değiştirme ve yer değiştirme ivmesi simüle edilmiş ve simülasyon sonucunda sekiz katlı binanın her katının yer değiştirme ivmesinin ve yer değişiminin zamana bağlı fonksiyonları elde edilmiştir. Matematiksel model ve kullanılan simülasyon tekniği yardımıyla deprem bölgelerinde yapılacak binaların olası deprem kaynağından uzaklıkları, olası depremin büyüklüğü, yapıdaki katların sayısı dikkate alınarak deprem performansları yönünden etkin analizleri yapılabilecektir.

Anahtar kelimeler: Deprem, sismik dalgalar, simülasyon, MATLAB, Simulink

Abstract

During earthquake, seismic waves occur and they produce quake with respect to output magnitude. Earthquake analysis and response of a building and results would come vey important. In a possible earthquake, damage to a building depends to a lot of parameters. In this work, an El-Centro Earthquake (Imperial Valley, 18 May 1940) which has occurred in past is applied to a particularly selected building model. The results and responses are determined and analyzed. MATLAB/Simulink software is used as simulation tool of the study. Acceleration and the displacement reactions of the 8-story building against waves, which are simulated, are analyzed. Results are presented as graphic charts.

Key words: Earthquake, seismic waves, simulation, MATLAB, Simulink

1. Giriş

Depremi önceden tahmin ve tespit çalışmaları devam etmekte olsa bile doğal bir olay olan depremi önleme imkanımız bulunmadığından ve aynı şekilde yaşadığımız binaları yıkıp tekrar inşaatı da pratikte çok zor olduğundan, binaların deprem analizi ve sismik dalgalara vereceği

*Corresponding author: Can Balkaya Address: Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, Istanbul Gelisim University, Istanbul TURKEY. E-mail address: cbalkaya@gelisim.edu.tr, Phone: +902124227020

direnç ve tepkilerin tespiti önem kazanmaktadır. Binaların deprem dalgalarına vereceği tepki ve direnç birçok faktöre bağlı olup, geçmişte deprem olmadan bu etkilerin tahmini mümkün değildi. Fakat son yıllarda geliştirilen bilgisayar destekli donanımlar ve bilgisayar programları binaların depreme karşı vereceği tepkiyi ve direnci simülasyon yoluyla analiz etme olanağı sunmuştur [7]. Yapıların deprem davranışıyla ilgili deneysel çalışmalardan elde edilen nümerik simülasyon modelleri araştırılmıştır [2, 4].

Bu çalışmada incelenen konu mevcut bir binanın zemin etkisi dikkate alınmadan daha önceden olmuş bir depreme (Imperial Valley (El-Centro) depremi) verdiği tepkiler analiz edilmiş ve bilgisayar ortamında simülasyonu MATLAB [3] programının Simulink aracı kullanılarak yapılmıştır. Ortaya çıkan sonuçlar ve grafikler analiz edilmiş ve bulgular görüşlere sunulmuştur.

2. Depreme Karşı Yapı Kontrol Sistemleri

2.1. Pasif bina sistemleri

Pasif kontrol sistemleri; binaya yerleştirilen özel elemanlar aracılığı ile deprem, şiddetli rüzgar vb. nedenlerle sisteme dışarıdan giren enerjiyi ısıya dönüştürür veya üzerlerine alırlar. Dolayısıyla, binanın bu dış etkilere karşı tepkisinde azalma meydana getirmek suretiyle, binanın dayanma kapasitesinin artmasını sağlarlar.

Pasif kontrol sistemlerinin hesabı kolay ve maliyeti düşüktür. Dışarıdan bir güç kaynağına ihtiyaç duymazlar. Dolayısıyla, deprem esnasında oluşabilecek güç kesintisinden etkilenmedikleri gibi, dış enerji vermediği için binada stabilite sorununa da neden olmazlar. Fakat bununla birlikte aktif kontrol sistemleri kadar etkin değildirler. Binanın ömrü boyunca maruz kalabileceği deprem şiddetleri göz önüne alınarak hesap edilirler. Tasarlanandan daha şiddetli bir deprem meydana gelirse binada büyük deformasyonlar oluşabilir.

Pasif kontrol sistemleri, pasif enerji sönümleyicileri ve sismik izolasyon sistemleri olmak üzere iki başlık altında toplanabilir [5, 8]. Pasif enerji sönümleyiciler, sisteme ilave edilen araçlar sayesinde sistemin enerji yutma kapasitesini artırır. Sismik izolasyon sistemleri ise, binanın zeminin titreşiminden izole edilmesi için genellikle temelle zemin arasına yerleştirilen cihazlardır.

2.2. Aktif kontrol sistemleri

Son yıllarda yapıların titreşimini azaltmak, yapıyı kullananların güvenliğini artırmak isteğinden dolayı önem kazanmıştır. Burada amaç, sadece büyük depremlere karşı koruma sağlamak değil, aynı zamanda değerli malzemelerin binada bulunduğu durumlarda malzemelerin zarar görmelerini önlemek ve orta şiddetli depremlerin oluşturduğu titreşimler karşısında bina içinde yaşayanların konforunu artırmaktır. Aktif kontrol sistemleri, dışarıdan bir enerji kaynağı yardımıyla yapının yer değişimini istenilen düzeyde tutmak için geliştirilen sistemlerdir. Aktif kontrol sistemlerinin geliştirilmesinin başlıca sebepleri aşağıdaki gibi sıralanabilir:

Yeni malzemelerin keşfinden sonra binalar artık daha yüksek ve daha esnek hale gelmişlerdir. Aktif kontrolün yerleştirilmesinin bir amacı, aşırı titreşimlere karşı binayı korumaktır. Aktif kontrol sisteminin yapının sağlamlaştırılmasında kullanılmasının bir diğer nedeni de pasif kontrol sistemleri gibi çok yer kaplamamasıdır. Aktif kontrol sistemleri, binaya daha az yer kaplayacak şekilde monte edilebilir. Aktif kontrol elemanlarının yapıya uygulanması, malzemenin iyi kullanılmasını ve maliyetin düşmesini sağlayabilir.

Yapılar tüm olası dış yüklere karşı koyabilecek şekilde projelendirilmemişlerdir. Beklenmeyen bir yükleme oluştuğunda yapı zarar görebilir, hatta yıkılabilir. Aktif kontrol kullanılmadığında yıkılabilecek bir bina, aktif kontrol sistemi kullanılarak kurtarılabilir. Bu ekstra koruma, deniz üzerindeki platformlar, hastaneler ve nükleer enerji santralleri gibi pahalı yapılar düşünüldüğünde çok önemlidir.

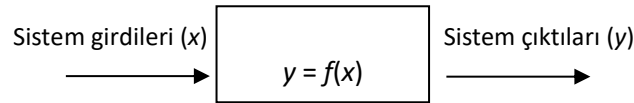
Araştırmalar aktif kontrol sistemlerinin ani karşılık fonksiyonundan dolayı yüksek titreşim kontrolünü neredeyse tüm yapılarda sağlayabileceğini göstermiştir. Yapıların kontrolü için birçok sistem geliştirilmiştir [6, 8]. Bu çalışmada, hedef analiz olduğundan, binaların kontrolü için aktif kontrol sistemleri incelenmemiştir.

3. Çok Katlı Model Simülasyonu

Bu çalışmada bir binanın pasif dinamik modeli MATLAB yazılımının bir eklentisi olan Simulink aracının dinamik sistem blokları ile kurulmuştur. Modellenen sistemlere ait analiz, tasarım ve geliştirme işlemleri Simulink ortamında gerçekleştirilmiştir.

3.1. Simulink blokları

Dinamik sistemler Simulink ile Şekil 1’de gösterildiği gibi sistem girdilerinin, sistem çıktıların ve gerekli işlemlerin tayini ile kolayca modellenir. Bu sayede Simulink, MATLAB kadar programlama ve bilgisayar tecrübesi gerektirmeksizin, blokların kullanımıyla çözüm üretimi sağlar.

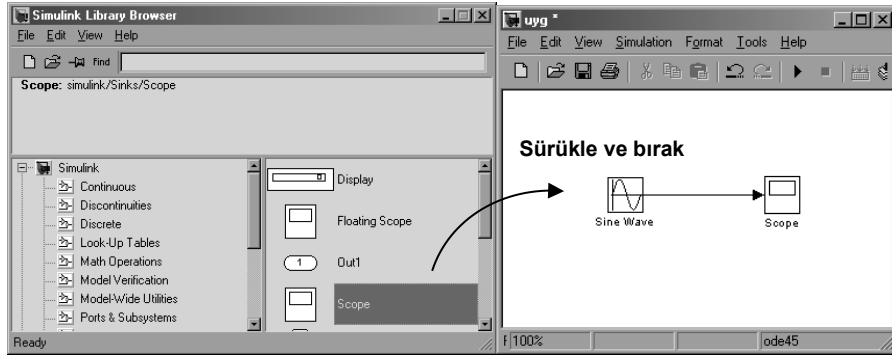


Şekil 1. Basite indirgenmiş dinamik lineer veya dinamik nonlineer sistem modeli

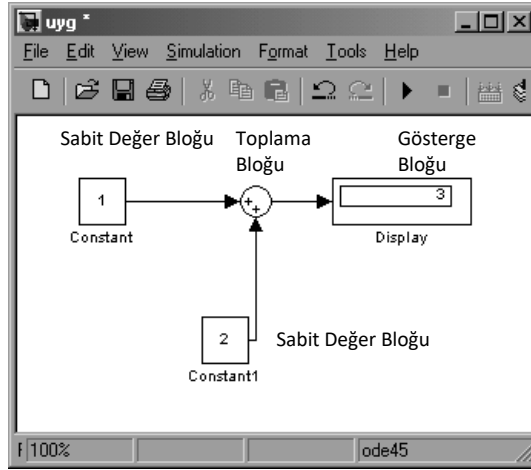
Simulink hali hazırda blok kütüphaneleri sunmaktadır. Bu bloklar sayesinde her türlü alana (matematiksel ifadeler, sinyal işleme, elektrik devreleri, vb.) ait gerçek sistemler modellenir. Bu bloklar Simulink çalışma penceresine atılır (Şekil 2) ve Simulink çalışma penceresinde bulunan bu bloklar arasında bağlantılar kurularak sistemler meydana getirilir.

Simulink blokları, dinamik sistemlere ait en küçük temel yapılarıdır. Bu yapılar bir kaynak veya bir çıkış olabileceği gibi bir ara işlem elemanı da olabilir. Simulink blokları birleştirilerek blok

diyagramları oluşturulur. Blok diyagramları, dinamik sistemlerin alt sistemleridir. Alt sistemler çalışma sayfasında kapalı bir kutu halinde Simulink özellikleri kullanılarak görüntülenebilir. İçlerinde birçok bloğu içerdiklerinden, farklı sayıda giriş ve çıkış bağlantıları bulunur. Bu alt sistemler istenirse bir yazı veya resimle de ifade edilebilir. Bu alt sistemler arası bağlantılar kurularak dinamik sistemler oluşturulur. Bloklar yardımı ile iki sabit değerin toplanması ve toplama sonucunu bir gösterge aracılığı ile veren örnek bir Simulink modeli Şekil 3'te gösterilmiştir.



Şekil 2. Simulink kütüphanesi ve Simulink çalışma alanı



Şekil 3. Bloklardan oluşmuş örnek bir Simulink modeli

3.1.1. Simulink bloklarının özellikler

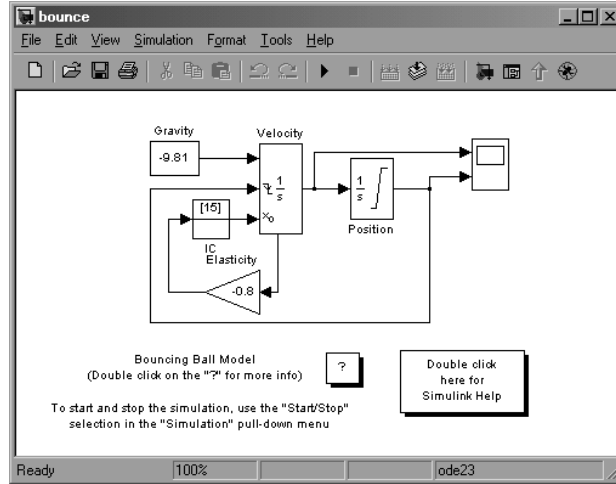
Simulink bloklarını özellikleri bakımından zamana bağlı bloklar ve zamandan bağımsız bloklar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Örneğin, bloklar arasında yer alan integral aldırma bloğunun (Integrator) çıkış değerleri zamana göre değişmektedir. Burada zaman olarak belirtilen değerler, dinamik sistem simülasyonunun başlangıç ve bitiş zamanlarıdır. Bununla birlikte matematiksel kazanç (Gain) sağlayan Simulink bloğu, kendisine iletilen değeri bir katsayıyla çarpar ve çıkış ifadesi üretir. Bu çıkış ifadesi zamana göre değişmez.

Belirtildiği gibi bloklar birer fonksiyondur. Bu fonksiyonlar, zaman değeri (t), giriş değeri (u) ve mevcut değeri (x) değişkenlerine bağlı m-fonksiyonlardır. Her bloğun çalışması; çıkış, sürekli zamanlı ve örnekleme zamanlı alt fonksiyonlarını içeren bir ana fonksiyon ile gerçekleştirilir. MATLAB tarafından Simulink uygulamasının matematiksel modele çevriminde otomatik olarak bu alt fonksiyonlar tanımlanır. Fakat bu fonksiyonlar kullanıcıya görüntülenmez. Sürekli zamanda çalışılıyorsa; çıkış fonksiyonu ve sürekli zaman fonksiyonu değerleri hesaplanır. Örnekleme zamanlı çalışılıyorsa; çıkış fonksiyonu ve örnekleme zaman fonksiyonu değerleri hesaplanır. Bir Simulink sisteminin çalıştırılması ile her blok için iki değer üretilir. Birinci değer her bloğun çıkış değeri, diğer değer de zaman değeridir. Böylelikle zamana bağlı çıkış değerleri bir matris olarak MATLAB çalışma alanında ve Simulink çalışma penceresinde tanımlanır.

3.1.2. Dinamik sistemlerin Simulink blokları ile modellenmesi

Dinamik sistemler, sistem elemanlarının blok diyagramlar halinde verildiği Simulink kütüphanesinden yapılacak sürükle bırak işlemlerinin uygulandığı bir grafiksel kullanıcı arayüzü ile modellenebilir. Bu arabirim ile modeller, kağıda çiziyormuş gibi kolaylıkla tasarlanabilir.

Aşağıdaki şekilde Simulink'te hazırlanmış örnek bir dinamik model penceresi gösterilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Örnek bir dinamik sistemin Simulink modeli.

3.2. Pasif bina için matematiksel model

Binanın j. hareket denklemi aşağıda çıkarılmıştır.

$$m_j \ddot{X}_j + c_j (\dot{X}_j - \dot{X}_{j-1}) - c_{j+1} (\dot{X}_{j+1} - \dot{X}_j) + k_j (X_j - X_{j-1}) - k_{j+1} (X_{j+1} - X_j) + \beta_j \dot{X}_j = 0$$

$$j = 1, 2, \dots, 8 \quad (1)$$

Burada X_j , j. katın yer değiştirmesini, m_j , j. katın kütlelerini, c_j , j. katın iç sönüm katsayısını, k_j , j. katın rijitliğini, β_j , j. katın dış sönüm katsayısını ifade etmektedir.

X_j , deprem yer hareketi ve Y_j de j . katın yere göre rölatif yer değiştirmesi olarak ele alınırsa

$$Y_j = X_j - X_0 \quad (2)$$

(1) denklemi matris formunda yazılırsa aşağıdaki gibi ortaya çıkar.

$$[M][\ddot{Y}] + [C][\dot{Y}] + [K][Y] = [F][\ddot{X}_0] + [G][\dot{X}_0] \quad (3)$$

Burada ;

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & & & & & & & & 0 \\ & m_2 & & & & & & & \\ & & m_3 & & & & & & \\ & & & m_4 & & & & & \\ & & & & m_5 & & & & \\ & & & & & m_6 & & & \\ & & & & & & m_7 & & \\ 0 & & & & & & & & m_8 \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$C = \begin{bmatrix} c_1 + c_2 & -c_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -c_2 & c_2 + c_3 & -c_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -c_3 & c_3 + c_4 & -c_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -c_4 & c_4 + c_5 & -c_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -c_5 & c_5 + c_6 & -c_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -c_6 & c_6 + c_7 & -c_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_7 & c_7 + c_8 & -c_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -c_8 & c_8 + c_9 & -c_9 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$$K = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -k_4 & k_4 + k_5 & -k_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -k_5 & k_5 + k_6 & -k_6 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -k_6 & k_6 + k_7 & -k_7 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_7 & k_7 + k_8 & -k_8 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -k_8 & k_8 + k_9 & -k_9 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \\ y_6 \\ y_7 \\ y_8 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$F = \begin{bmatrix} m_1 \\ m_2 \\ m_3 \\ m_4 \\ m_5 \\ m_6 \\ m_7 \\ m_8 \end{bmatrix} \quad (8)$$

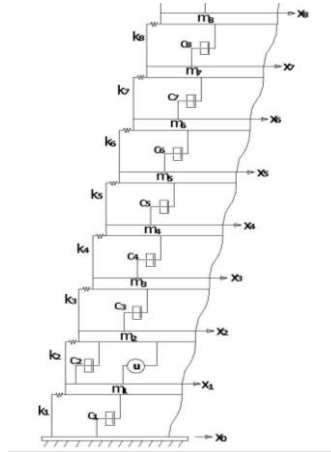
$$G = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \beta_3 \\ \beta_4 \\ \beta_5 \\ \beta_6 \\ \beta_7 \\ \beta_8 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Vektörler řeklinde verilir.

4. Örnek Çok Katlı Bina Simülasyonu Sayısal Uygulaması

4.1. Sayısal veriler

Sayısal hesaplamalarda örnek binada kullanılan kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları Tablo 1'de verilmiştir. Ayrıca binanın mekanik modeli Şekil 5'te gösterilmiştir.



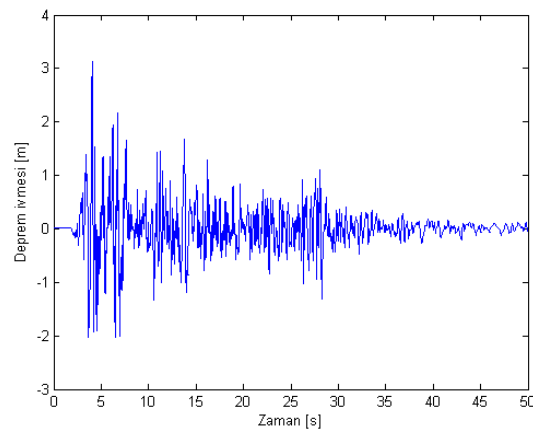
Şekil 5. Sayısal uygulaması yapılan örnek binanın mekanik modeli

Tablo 1. Örnek binaya ait kütle, rijitlik ve sönüm katsayıları

Kat	Kütle (m)	Rijitlik	Sönüm
1	460000	1825 104	30 103
2	350000	345 106	500 103
3	350000	330 106	475 103
4	350000	300 106	420 103
5	350000	270 106	370 103
6	350000	250 106	340 103
7	350000	240 106	320 103
8	350000	230 106	300 103

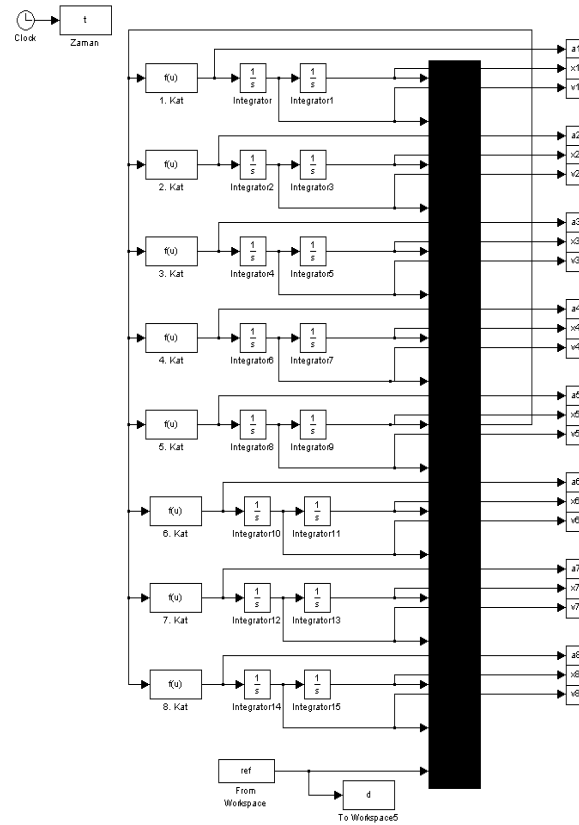
4.2. Simülasyon çıktıları ve analizi

Simülasyonlarda kullanılan El Centro'da kaydedilmiş Imperial Valley 18 Mayıs 1940 depreminin verilerinin bir kısmı (2.98 saniye boyunca) Kaynak [1] de verilmiştir. Depremin ivmesinin 50 saniyelik bölümü grafik olarak Şekil 6'da gösterilmiştir.

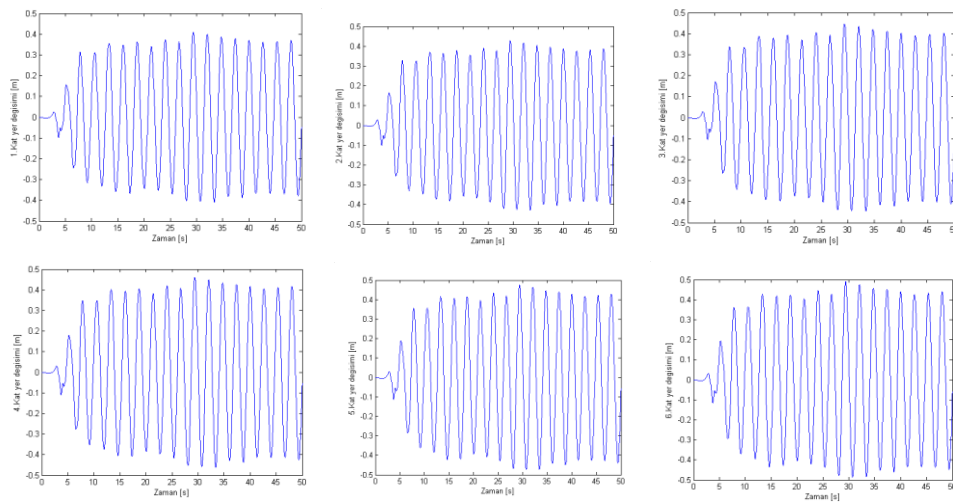


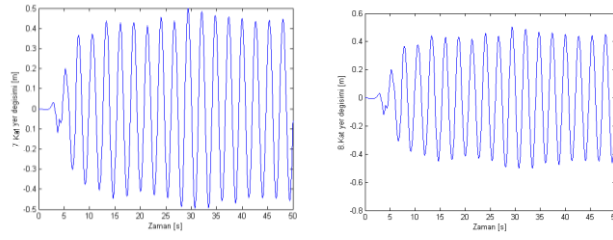
Şekil 6. Imperial Valley depreminin ivmesinin zaman bağlı değişimi

Örnek binanın mekanik modelinin MATLAB/Simulink blok modeli aşağıdaki Şekil 7’de gösterilmiştir. Bu binaya deprem verileri uygulanmış olup her kat için yer değiştirme ve ivme çıktıları ayrı ayrı Şekil 8 ve Şekil 9’da gösterilmiştir.

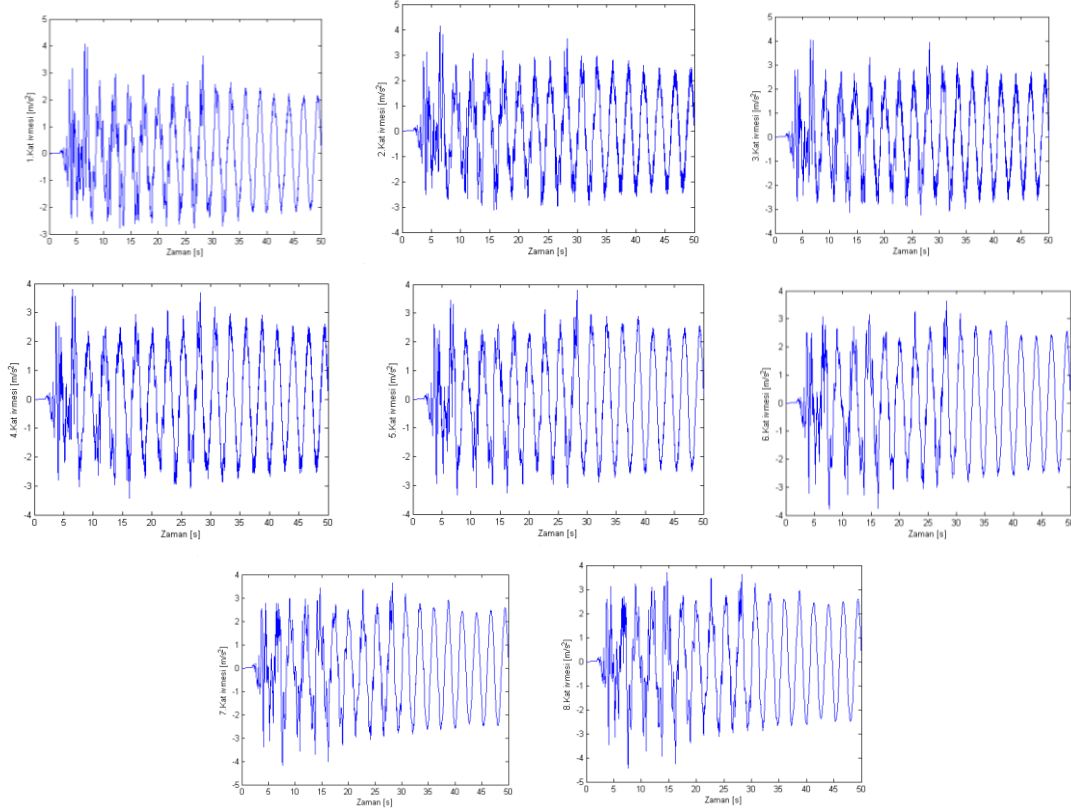


Şekil 7. Örnek binanın mekanik modelinin MATLAB/Simulink blok modeli





Şekil 8. Katlara ait zamana bağlı yer değiştirme grafiği



Şekil 9. Katlara ait zamana bağlı ivme grafiği

Sonuç ve Öneriler

Bu çalışmada deprem anında örnek bir binada oluşan yer değiştirmeler ve yer değiştirme ivmelerine ait matematiksel model ortaya konulmuş ve modelin simülasyonu MATLAB\Simulink yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Böylelikle deprem mühendisliği açısından depreme dayanıklı yapı yapma tekniklerinin geliştirilmesi, deprem tehlike ve riski ile deprem senaryolarına uygun bina tasarımlarına geçilmesi, bilgisayar ortamında deprem parametrelerinin değerlendirilmesi, binaların deprensellik özelliklerinin tayin edilmesi ve deprem merkez üssünden çeşitli uzaklıklarda oluşabilecek hasar tahminleri için yararlı bir projeksiyon aracının ortaya konulması gibi bir dizi katkı sağlanmış olmaktadır.

Çalışmada bir binanın deprensellik yönünden analizine ilişkin matematiksel model; katların yer

değiştirilmesini, katların kütlelerini, katların rijitliğini, katların iç sönüm katsayısını ve katların dış sönüm katsayısını içermektedir. Söz konusu matematiksel modelde, ikinci dereceden diferansiyel denklemlerin matris biçiminde ifadesi yer almaktadır. Ortaya konulan matematiksel modelin simülasyonu için Simulink'in dinamik modeli kullanılmıştır. Bina parametreleri; her katın kütlesi, her katın sürtünme katsayısı ve her katın yay sabitinden oluşmaktadır. Deprem kayıtlarından elde edilecek bulgular, önerilen matematiksel model, göz önüne alınan binanın ilgili deprem parametreleri ve Simulink'in dinamik modeli yardımıyla parametrik bir analiz gerçekleştirilmektedir.

Simülasyon için seçilen bina sekiz katlıdır ve binanın "m", "k" ve "c" parametreleri gerçek bilgilere dayanmaktadır. Diğer taraftan deprem kaynağı olarak, 18 Mayıs 1940'da California'da El-Centro gözlem merkezinden kayıt edilmiş 7.1 büyüklüğündeki depremin ivme bilgileri esas alınmıştır. Simülasyon sonucunda sekiz katlı binanın her katının yer değiştirme ivmesinin (m/s^2) ve yer değişiminin (m) zamana bağlı fonksiyonları elde edilmiştir. Simülasyon bulgularından;

- Her kattaki yer değişiminin ve ivmenin farklı olduğu,
- Söz konusu farklılığın kat sayısına göre değiştiği, ancak fonksiyonel ilişkinin lineer olmadığı,
- İvmenin genliğinin birinci kattan itibaren üst katlara doğru gidildikçe pozitif tepe değerlerinin azaldığı, ancak negatif tepe değerlerinin arttığı,
- Yer değişim genliklerinin birinci kattan itibaren üst katlara doğru gittikçe arttığı,

gözlenmektedir. Bu çalışmadaki matematiksel model ve kullanılan simülasyon tekniği yardımıyla, olası deprem kaynağından uzaklıkları, olası depremin büyüklüğü, projedeki katların sayısı dikkate alınarak, yapıların deprem davranışları sistem mühendisliği açısından incelenebilecektir.

Referanslar

- [1] ARSLAN, M., Sismik Dalgaların Binaların Üzerindeki Etkilerinin Bilgisayar Destekli Analizi ve Simülasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Haliç Üniversitesi, 2008
- [2] KANATANI, M., Nishi, K., Tourma, J., Ohnami, M. and Nsrnita, H., Numerical simulation of shaking table tests by non-linear response analysis method, Proc. 2nd Int. Conf. On Recent Advances in Geomechanical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St. Lous, Missouri, Paper No.5.6, March 11-15, 1991
- [3] MATLAB Software, The MathWorks Inc., Natick, MA, 2000
- [4] MONCARZ, P.D., Theory and Application of Experimental Model Analysis in Earthquake Engineering, Ph.D. Thesis, Stanford University, California, 1981
- [5] ÖZPALANLAR, C.G., Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sismik İzolasyon ve Enerji Sönümleyici Sistemler, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 2005
- [6] Soong T. T. and Spencer B. F., Active, Semi-Active and Hydrid Control of Structures, 12WCEE, 2000, 2834-2850
- [7] YAZICI, H., Çok Serbestlik Dereceli Bir Yapının Titreşimlerinin Bulanık Mantıkla Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, YTÜ, 2006
- [8] ZOBU, Ö., Aktif Pasif Yapı Kontrolü, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ, 1997