

ANALİTİK MODEL İYİLEŞTİRMENİN YIĞMA BİNALARIN DEPREM DAVRANIŞINA ETKİSİNİN BELİRLENMESİ

THE DETERMINATION OF MODEL UPDATING EFFECTS ON EARTHQUAKE BEHAVIOUR OF MASONRY BUILDINGS

BAYRAKTAR A, TÜRKER T., ALTUNIŞIK A. C., SEVİM B.

Posta Adresi: Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 61080, Trabzon, Turkey.

E-posta: temelturker@ktu.edu.tr

Anahtar Kelimeler: Dinamik karakteristikler, Operasyonel modal analiz, Analitik model, Model iyileştirme, Yığma binalar.

ÖZ Bu çalışmada, analitik model iyileştirmenin yığma binaların deprem davranışları üzerine etkisi belirlenmektedir. Bu amaçla, yarım bodrum, zemin kat ve çatı katından oluşan yığma bir bina üzerinde incelemeler yapılmaktadır. İlk olarak, yığma bina üzerinde yapılan incelemeler sonucunda binanın rölevesi çıkarılmakta ve binanın analitik modeli oluşturulmaktadır. SAP2000 programı kullanılarak gerçekleştirilen modal analiz neticesinde binanın yaklaşık frekans aralığı ve mod şekilleri belirlenmektedir. Daha sonra, bina üzerinde Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi kullanılarak ölçümler gerçekleştirilmekte ve binanın doğal frekansları ile modal sönüm oranları belirlenmektedir. Bina üzerindeki ölçümlerde bölgede faaliyet gösteren bir taş ocağında yapılan patlatmalardan ortaya çıkan titreşimler kullanılmaktadır. Binada yapılan ölçümlerde dört adet üç eksenli ivmeölçer yığma binanın çatı döşemesinin kenarlarına yerleştirilerek patlatma süresince ölçümler alınmaktadır. Teorik ve deneysel dinamik karakteristikler karşılaştırılmakta ve sonuçlar arasındaki farklılıkların olası sebepleri ortaya konulmaktadır. Teorik ve deneysel sonuçlar arasındaki farklılıkları en aza indirecek şekilde analitik model üzerinde malzeme özelliklerine göre iyileştirmeler yapılmaktadır. Son olarak, iyileştirme yapılmış ve yapılmamış analitik modellerin 1992 Erzincan deprem ivme kaydı kullanılarak dinamik analizleri gerçekleştirilmektedir.

ABSTRACT The effect of model updating on the earthquake behaviour of masonry buildings are investigated in this study. For this purpose, a masonry building with a basement, a storey and an attic is selected. Firstly, the analytical model of the masonry building is created by performing survey on the in-situ building. Theoretical modal analysis of the masonry building using SAP2000 program is carried out to calculate the approximate frequency range and mode shapes of the building. Secondly, the experimental measurements are employed on the building using Operational Modal Analysis (OMA) method. The vibrations produced by a quarry in the adjacent region are taken into account. In measurements on the building, four tri-axial accelerometers are placed on the first slab of the building. The theoretical and experimental modal analysis results are compared with each other and, the likely reasons of differences between these results are introduced. The analytical model is updated to reduce the differences between these results by considering material properties. Finally, dynamic analyses of the base and updated model are performed by using the 1992 Erzincan earthquake record.

GİRİŞ

Birçok mühendislik yapısı deprem, patlatma gibi dinamik etkilerden oldukça fazla zarar görmektedir. Yapıların oluşabilecek farklı yüklemelerine göre analizlerinin yapılmasına karşın, inşaa aşamasındaki yapıım hataları, kullanım süresince farklı yüklemelerden oluşan hasarlar ve yaşlanmaya bağılı olarak ortaya çıkan dayanım kayıpları binaları dinamik yüklere karşı savunmasız duruma düşürmektedir. Binaların dinamik yüklere fazla zarar görmemesi, ya projenin uygulamaya tam olarak yansıtılması ya da inşaa edilmiş bina özelliklerinin analitik modelde yeterince dikkate alınması ile mümkündür.

Deprem ve patlatma titreşimleri oluşmadan önce yapıların bu titreşimlere göstereceğı tepkilerin tahmin edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması yapı güvenliğı açısından oldukça önemlidir. Bu nedenle dünya çapında tarihi, kültürel ve ekonomik değere sahip birçok yapı ölçüm cihazları ile sürekli olarak gözlemlenmektedir. Bu gözlemlerde zorlanmış titreşim veya çevresel titreşim ölçüm yöntemlerinden yararlanılmaktadır (Benedetti ve Gentile, 1994; Vestroni ve diğ., 1996). Gözlemler sonucunda yapıların doğal titreşim frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmekte ve bu verilere göre analitik modeller iyileştirilmektedir. Literatürde betonarme ve çelik binalar üzerine yapılmış birçok çalışma olmasına karşın, yığma ve tarihi yapılar üzerine oldukça az sayıda çalışma mevcuttur (El-Borgi ve diğ., 2004; Jaishi ve Ren, 2005). Tarihi ve yığma yapılar üzerine yayınlanan başlıca çalışmalar Angotti ve diğ. (1992), Slastan ve Fiosser (1995), Zabel ve diğ. (2000), Antonacci ve diğ. (2000), Turek ve diğ. (2006), Rainieri ve diğ. (2007) ve Gentile ve Saisi (2007) tarafından yapılmıştır.

Bu çalışmada, analitik model iyileştirmenin yığma binaların deprem davranışları üzerine etkisi araştırılmıştır. Yarım bodrum, zemin kat ve çatı katından oluşan yığma bina üzerinde tabliye modlarını belirlemek amacıyla ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde bölgede faaliyet gösteren taşocağında yapılan patlatmalardan ortaya çıkan titreşimlerden yararlanılmıştır. SAP2000 programı kullanılarak oluşturulan analitik modelden elde edilen frekans değerleri deneysel ölçüm sonuçları ile karşılaştırılarak analitik model üzerinde malzeme özelliklerindeki değişim dikkate alınarak iyileştirme yapılmıştır. İyileştirme yapılmış ve yapılmamış analitik modellerin 1992 Erzincan depremi ivme kaydı kullanılarak deprem analizleri gerçekleştirilmiştir.

FORMÜLASYON

Operasyonel Modal Analiz Yönteminde yapının çevresel bir etki ile titreştirildiğı kabul edilmekte ve yapının bu titreşime göstermiş olduğı tepki ölçülmektedir. Tepkilerin ölçülüp değerlendirilmesinde frekans ortamında Piklerin Seçilmesi (Peak Peaking-PP) yöntemi yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu yöntemde bilinmeyen etki ve ölçülen tepki fonksiyonları arasındaki ilişki Denklem 1'de verilmektedir (Bendat ve Piersol, 1986).

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]^* [G_{xx}(\omega)] [H(\omega)]^T \quad (1)$$

Burada; $G_{xx}(\omega)$ etki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu, $G_{yy}(\omega)$ tepki sinyalinin güç spektral yoğunluk fonksiyonunu ve H frekans davranış fonksiyonunu göstermektedir. Denklemdeki * ve T sırasıyla ifadelerin kompleks eşleniğini ve transpozunu göstermektedir. Tepki sinyaline ait güç spektral yoğunluk fonksiyonu tek kutuplu artık değer fonksiyonu formunda Denklem 2'deki şekilde elde edilmektedir.

$$[G_{yy}(\omega)] = \sum_{k=Sub(\omega)} \left(\frac{d_k \psi_k \psi_k^T}{j\omega - \lambda_k} + \frac{d_k^* \psi_k^* \psi_k^H}{j\omega - \lambda_k^*} \right) \quad (2)$$

Burada, d_k sabit bir değer ve ψ_k ise k. mod şekli vektörüdür. H kompleks eşleniğin transpozunu göstermektedir. Tepki sinyali güç spektral yoğunluk fonksiyonu, tekil değer ayrışımı gerçekleştirilerek ayrik değerler olarak Denklem 3'te verilmektedir.

$$\hat{G}_{yy}(j\omega_i) = U_i S_i U_i^H \quad (3)$$

Burada, U_i u_{ij} tekil vektörlerinden oluşan birim matrisi, S_i s_{ij} tekil değerlerden oluşan diyagonal matrisi göstermektedir. Spektrumlarda k. moda yakın bölgelerde k. mod baskındır ve güç spektral yoğunluk fonksiyonu tek matris olarak Denklem 4'teki şekilde verilebilmektedir.

$$\hat{G}_{yy}(j\omega_i) = s_i u_{i1} u_{i1}^H, \quad \omega_i = \omega_k \quad (4)$$

Bu yöntemde, doğal frekanslar tekil değerlerin dağılımında pikler olarak, mod şekilleri ise tekil vektörler olarak elde edilmektedir. Modal sönüm oranları ise tekil pik değerlerin hızlı Fourier dönüşümü ile zaman ortamına aktarılması ve logaritmik azalım yönteminin kullanılmasıyla hesaplanmaktadır.

UYGULAMA

Bu çalışmada, analitik model iyileştirmenin yığma binaların deprem davranışları üzerine etkisi belirlenmiştir. Alt katı depo olarak kullanılan ve bir normal kat ile çatı katından oluşan yığma bir bina uygulama amacıyla seçilmiştir. Binanın yan duvarları beton briketlerden, çatısı ise ahşap taşıyıcı elemanlardan oluşmaktadır. Binanın çatısı kiremit ile kaplanmıştır. Eni 8.40m ve boyu 12.0m olan yığma binanın yarım bodrum, zemin kat ve çatı katı yükseklikleri sırasıyla 2.5m, 2.8m ve 1.5m'dir (Şekil 1).



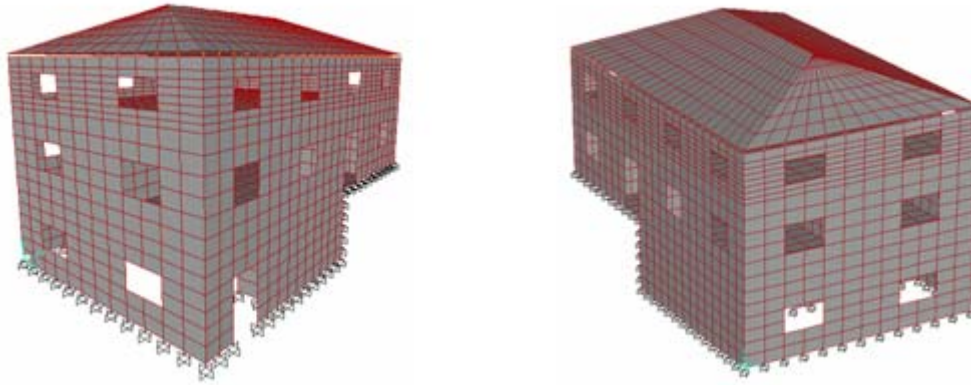
Şekil-1. Uygulama amacıyla seçilen yığma bina.

Yığma binanın taban ve çatı tabliyeleri betonarme döşemelerden, iç bölme duvarların bir kısmı beton briketlerden kalan kısmı ise normal tuğlalardan oluşmaktadır. Binanın çevresinde yapılan incelemelerde temel zeminin sert olduğu tespit edilmiştir.

Yığma Binanın Analitik Modeli ve Teorik Modal Analizi

Yığma binanın analitik modeli, yapı üzerinde gerçekleştirilen incelemelerden elde edilen boyutlara göre mümkün olduğunca gerçek yapıyı temsil edecek şekilde oluşturulmuştur. Analitik modelin oluşturulmasında SAP2000 programı kullanılmıştır.

Yığma binanın dış duvarları beton briketlerden, iç duvarları kısmen beton kısmen de normal tuğla duvarlardan oluşmaktadır. Briket ve tuğla duvarlar 12cm kalınlığında düzlem plaklar, betonarme döşemeler ise 15cm kalınlığında düzlem plaklar kullanılarak modellenmiştir. Çatı kenar duvarları ile çatı taşıyıcı sistemi arasındaki bağlantı ise 10*10cm'lik dolu kesitli çubuk elemanlar kullanılarak oluşturulmuştur (Şekil 2).



Şekil-2. Yığma binanın analitik modeli.

Analitik modelin oluşturulmasında kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler literatürde yapılan çalışmalardan ve ilgili standartlardan elde edilmiştir. Her bir malzeme için dikkate alınan mekanik özellikler Tablo 1'de verilmektedir.

Tablo-1. Malzemelerin mekanik özellikleri.

Malzeme Türü	Elastisite Değeri (N/m ²)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Poisson Oranı
Briket Duvar	2.5 10 ⁹	2400	0.2
Döşeme Betonu	2.0 10 ¹⁰	2400	0.2
Tuğla Duvar	1.5 10 ⁹	2000	0.2
Çatı	2.0 10 ⁹	400	0.2
Bağlantı Elem.	2.0 10 ¹¹	7850	0.3

Analitik model üzerinde gerçekleştirilen modal analizden elde edilen ilk dört frekans değeri Tablo 2'de verilmektedir. Yığma bina birinci modda enine, ikinci modda boyuna, üçüncü modda düşey doğrultuda öteleme yaparken, dördüncü modda burulma hareketi yapmaktadır.

Tablo-2. Teorik modal analizden elde edilen ilk dört frekans değeri.

Mod No	Modal Hareket	Doğal Frekans (Hz)
1	Enine Doğ. Öteleme	11.482
2	Boyuna Doğ. Öteleme	13.765
3	Düşey Doğ. Öteleme	14.754
4	Burulma	16.125

Yığma Binanın Deneysel Modal Analizi

Yığma binanın deneysel modal analizinde sadece çatı tabliyesinin modlarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu nedenle ivmeölçerler yığma binanın çatı döşemesinin köşelerine yerleştirilerek ölçüm alınmıştır. Ölçümde dört adet üç eksenli ivmeölçer kullanılmıştır (Şekil 3). Çalışmada çevresel titreşimlerden yararlanılarak Operasyonel Modal Analiz Yöntemiyle ölçüm yapılmıştır. İvmeölçerlerden zaman ortamında elde edilen sinyaller veri toplama ünitesinde toplandıktan sonra sinyal işleme yöntemleri kullanılarak değerlendirilmiştir. Frekans ortamına dönüştürülen sinyallerden ölçümü alınan yapıya ait doğal frekanslar, mod şekilleri ve sönüm oranları elde edilmiştir.



Şekil-3. Kullanılan ivmeölçerler ve ölçüm cihazı.

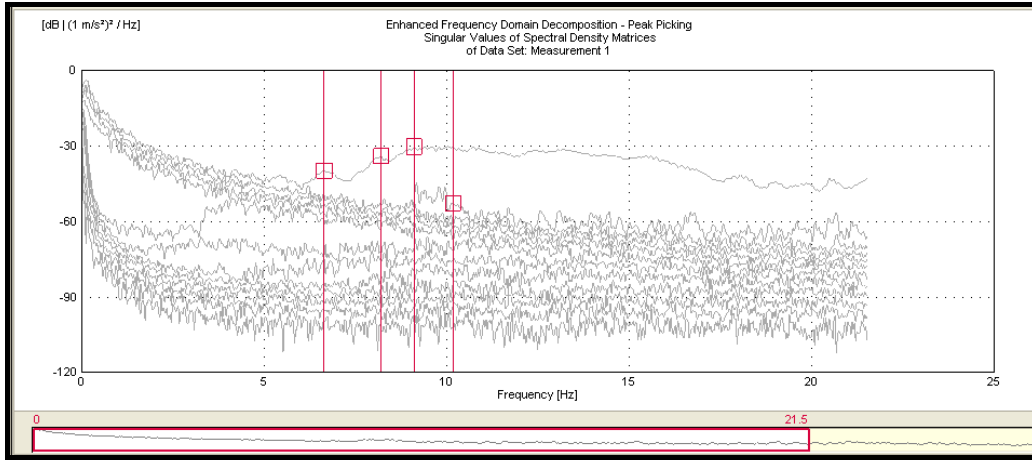
Bu çalışmada, yapıyı titreştirecek çevresel titreşim olarak bölgede faaliyet gösteren taş ocağında yapılan patlatmadan dolayı oluşan titreşim dikkate alınmıştır. Ölçümü yapılan yığma bina, taşocağına yaklaşık 250-300m mesafede olduğundan dolayı yapılan atımlardan oldukça fazla etkilenmektedir (Şekil 4).



Şekil-4. Ölçüm alınan yığma bina ve taşocağına ait görüntüler.

Ölçüm işlemi patlatmadan yaklaşık 5 dakika önce başlatılmış olup patlatmadan sonra da 10 dakika devam ettirilmiştir. Ölçüm frekans aralığı olarak teorik analizden elde edilen maksimum frekans dikkate alınarak 0-25Hz seçilmiştir. Yığma binaya bağlanan

ivmeölçerlerden elde edilen sinyallerin değerlendirilmesiyle elde edilen frekans davranış fonksiyonu Şekil 5'te verilmektedir.



Şekil-5. Yığma binaya ait frekans davranış fonksiyonu.

Frekans davranış fonksiyonunda Piklerin Seçilmesi yöntemi kullanılarak elde edilen ilk dört frekans değeri ve ilgili modal sönüm oranları Tablo 3'te verilmektedir.

Tablo-3. Deneysel ölçümlerden elde edilen doğal frekanslar ve modal sönüm oranları.

Mod No	Doğal Frekans (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	6.639	1.576
2	8.205	1.248
3	9.116	0.579
4	10.180	0.449

Teorik ve Deneysel Sonuçların Karşılaştırılması

Literatürde ve ilgili standartlarda verilen malzeme özellikleri kullanılarak yapılan teorik analizler ile deneysel ölçümlerden elde edilen doğal frekanslar karşılaştırmalı olarak Tablo 4'te verilmektedir.

Teorik ve deneysel frekanslar arasında oldukça fazla fark olduğu görülmektedir. Bu farkın, yapının inşasında kullanılan malzemelerin mekanik özelliklerinin tam olarak bilinmemesine, yapıda yaşlanmaya bağlı olarak meydana gelen bozulmalara ve taş ocağındaki patlatmalardan ötürü yapıda meydana gelen hasarlara bağlı olduğu düşünülmektedir. Bu amaçla yığma bina üzerinde yapılan gözlemlerde yan duvarlarda hasarlar olduğu belirlenmiştir (Şekil 6).

Tablo-4. Teorik ve deneysel doğal frekanslar.

Mod No	Deneysel Doğal Frekanslar(Hz)	Teorik Doğal Frekanslar (Hz)	Fark (%)
1	6.639	11.482	72.9
2	8.205	13.765	67.8
3	9.116	14.754	61.8
4	10.180	16.125	58.4



Şekil-6. Yığma binanın yan duvarlarında gözlemlenen hasarlar.

Analitik Modelin İyileştirilmesi

Yığma binanın analitik modeli yapının gerçek durumunu yansıtabilecek şekilde iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla, yapının mevcut durumundaki sınır şartlarının analitik modelde yeterince dikkate alındığı varsayılarak sadece malzemelerin mekanik özelliklerindeki değişim göz önüne alınarak analitik model iyileştirilmiştir. İyileştirme işlemi malzemelerde zamanla oluşan dayanım kaybı ile döşemelerde binanın kullanımı dolayısıyla oluşan ilave kütlelerin etkisi özellikle dikkate alınmıştır.

Teorik ve deneysel doğal frekanslar arasındaki farkın en az olması amaçlanan analitik model iyileştirme işlemi farklı malzeme özellikleri için analizler tekrarlanmıştır. Deneysel olarak belirlenen doğal frekanslar ile en iyi uyumun elde edildiği durumda seçilen malzeme özelliklerinin yığma binayı daha doğru temsil ettiği kabul edilmiştir. İyileştirilmiş modelde kullanılan her bir malzemeye ait mekanik özellikleri Tablo 5'te verilmektedir.

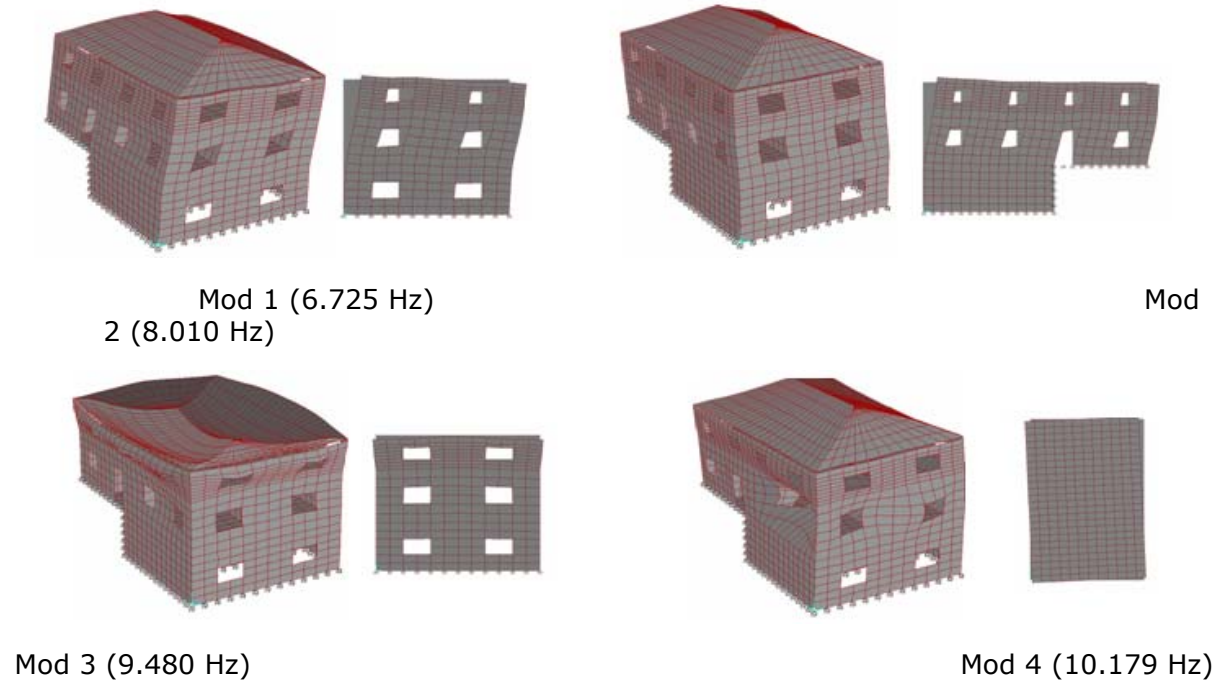
Tablo-5. İyileştirme işlemi için kullanılan her bir malzemeye ait mekanik özellikler.

Malzeme Türü	Elastisite Değeri (N/m ²)	Kütle Yoğunluğu (kg/m ³)	Poisson Oranı
Briket Duvar	9.5 10 ⁸	2400	0.2
Döşeme Betonu	1.0 10 ¹⁰	3300	0.2
Tuğla Duvar	6.7 10 ⁸	2000	0.2

İyileştirilmiş analitik modelden elde edilen teorik doğal frekansların deneysel frekanslar ile karşılaştırılması Tablo 6'da verilmektedir. İyileştirilmiş analitik modelden elde edilen mod şekilleri ise Şekil 7'de verilmektedir.

Tablo-6. Deneysel ve iyileştirilmiş teorik frekansların karşılaştırılması.

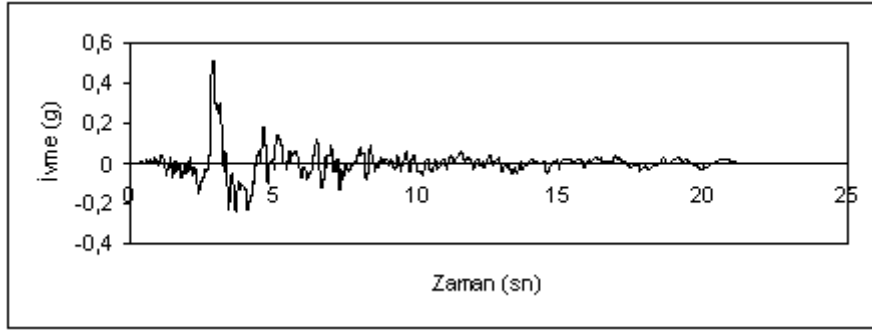
Mod No	Deneysel Doğal Frekanslar (Hz)	Teorik Doğal Frekanslar (Hz)	Fark (%)
1	6.639	6.725	1.29
2	8.205	8.010	2.38
3	9.116	9.480	1.17
4	10.180	10.179	0.01



Şekil-7. İyileştirilmiş modelden elde edilen mod şekilleri.

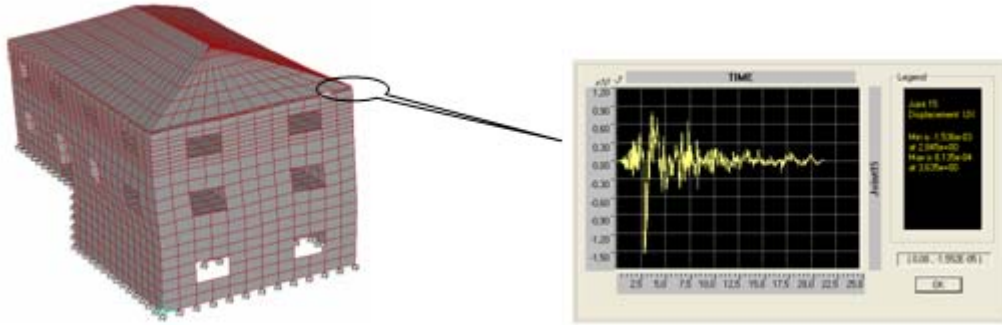
Deprem Analizi

Analitik model iyileştirmenin yapıya dinamik davranışına etkisini belirleyebilmek amacıyla bir deprem ivme kaydı kullanılarak dinamik analiz yapılmıştır. Bu amaçla bölgemize yakın civarda geçmişte meydana gelen Erzincan depremi kullanılmıştır. Bu çalışmada dikkate alınan 1992 Erzincan depremi kuzey-güney bileşenine (ERZ-NS) ait ivme grafiği Şekil 8'de verilmektedir.



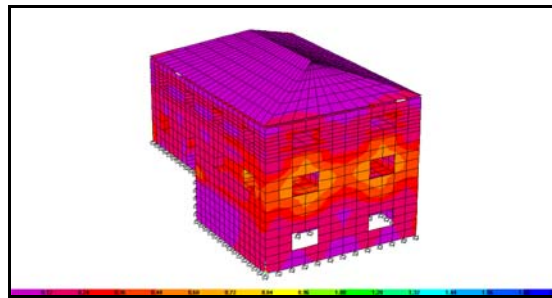
Şekil-8. 1992 Erzincan depremi ERZ-NS bileşeni ivme kaydı.

Yığma binanın iyileştirilmemiş modeli %5 sönüm oranı için analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen dinamik analizler neticesinde yığma yapının iyileştirilmemiş modelinde depremden ötürü oluşan maksimum yerdeğiştirme durumu ve maksimum yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 9'da verilmektedir.



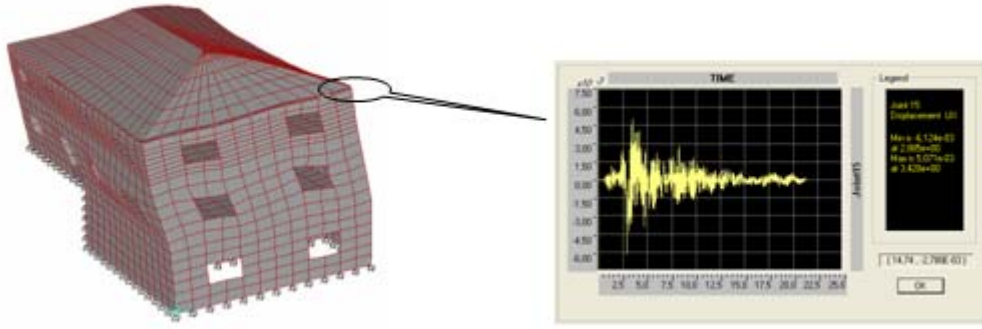
Şekil-9. Yığma binanın iyileştirilmemiş modelinde maksimum yerdeğiştirmenin oluştuğu andaki durum ve maksimum yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.

Yığma binanın iyileştirilmemiş modelinde depremden ötürü oluşan eşdeğer gerilmelerin (Von Mises) dağılımı ise Şekil 10'da verilmektedir.



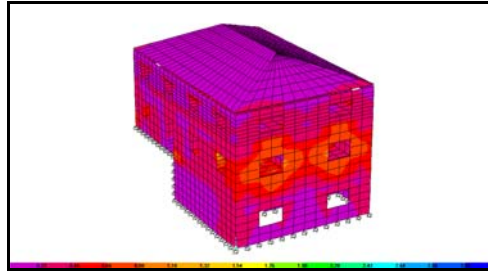
Şekil-10. Yığma binanın iyileştirilmemiş modelinde oluşan eşdeğer gerilme dağılımı.

Yığma binanın iyileştirilmiş modeli deneysel ölçümlerden elde edilen her bir moda ait sönüm değerleri için analiz edilmiştir. Gerçekleştirilen dinamik analizler neticesinde yığma binanın iyileştirilmiş modelinde depremden ötürü oluşan maksimum yerdeğiştirme durumu ve maksimum yerdeğiştirmenin zamanla değişimi Şekil 11'de verilmektedir.



Şekil-11. Yiğma binanın iyileştirilmiş modelinde maksimum yerdeğiştirmenin olduğu andaki durum ve maksimum yerdeğiştirmenin zamanla değişimi.

Yiğma binanın iyileştirilmiş modelinde depremden ötürü oluşan eşdeğer gerilmelerin dağılımı ise Şekil 12’de verilmektedir.



Şekil-12. Yiğma binanın iyileştirilmiş modelinde oluşan eşdeğer gerilme dağılımı.

Yiğma binanın iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş modelleri üzerinde gerçekleştirilen dinamik analizlerden elde edilen yerdeğiştirme ve gerilme değerleri Tablo 7’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo-7. Yiğma binanın iyileştirilmemiş ve iyileştirilmiş modellerine ait maksimum yerdeğiştirme ve eşdeğer gerilme değerleri.

	İyileştirilmemiş Modelinde	İyileştirilmiş Modelde
Maksimum Yerdeğiştirme (mm)	1.536	6.214
Eşdeğer Gerilme (MPa)	1.680	3.080

SONUÇ

Bu çalışmada, analitik model iyileştirmenin yiğma binaların deprem davranışları üzerine etkisi belirlenmiştir. Yarım bodrum, zemin kat ve çatı katından oluşan yiğma bir bina uygulama amacıyla seçilmiştir. Gerçekleştirilen teorik ve deneysel modal analizlerin sonuçlarına göre yiğma binanın analitik modeli iyileştirilmiştir. Ayrıca seçilen ivme kaydı için iyileştirilmiş ve iyileştirilmemiş modellerin deprem analizleri gerçekleştirilmiştir. Yapılan analizler neticesinde, analitik model iyileştirmenin yiğma binanın deprem davranışı üzerine etkisi ortaya konulmuştur.

Çalışmadan,

- Yığma binanın iyileştirilmemiş teorik modelinden elde edilen frekansların ölçüm sonucu belirlenen frekanslardan oldukça büyük olduğu,
- Malzemelerin mekanik özelliklerinde değişiklikler yapılarak elde edilen iyileştirilmiş modelden elde edilen frekanslar ile ölçüm sonucu bulunan frekansların birbirine yakın olduğu,
- Yığma binanın doğal frekanslarındaki azalmanın sebeplerinin yapının kullanım süresine bağlı olarak yaşlanma ve çevredeki taş ocağında yapılan patlatmalarda ile diğer çevresel faktörlerden meydana gelen hasarlar olduğu,
- Eşdeğer gerilmelerin pencere boşlukları civarında olduğu ve yapının ön tarafında daha yoğun olduğu,
- Yapılan dinamik analizlerden iyileştirilmiş model üzerinde elde edilen yerdeğiştirmelerin iyileştirilmemiş modele göre yaklaşık dört kat, gerilmelerin ise yaklaşık iki kat arttığı,
- Yapının mevcut haliyle bölgede oluşabilecek depremlerden beklenenden fazla zarar görebileceği

sonuçlarına varılmıştır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma, TÜBİTAK Bilimsel Araştırma Programı tarafından desteklenen 106M038 numaralı araştırma projesi ve Karadeniz Teknik Üniversitesi Bilimsel Araştırma Birimi tarafından desteklenen 2005.112.001.1 numaralı araştırma projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

KAYNAKLAR

Angotti F., Vignoli A., Giuseppetti G., and Panzeri P., 1992, Experimental evaluation of the dynamic behaviour of a stone masonry building causing progressive damage, **In: Proceedings of the 10th World Conference on Earthquake Engineering**, Madrid, Spain.

Antonacci E., De Sortis A., and Vestroni F., 2000, Dynamic identification of a masonry building by forced vibration tests, **In: Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering**, Katholieke University Leuven, Belgium.

Bendat, J.S. and Piersol A.G., 1986, **Random Data Analysis and Measurement Procedures**, John Wiley & Sons, 1986.

Benedetti D. and Gentile C., 1994, Identification of modal quantities from two earthquake responses, **Earthquake Engineering and Structural Dynamics**, 23(4), 447-62.

El-Borgi, S., Smaoui, H., Cherif, F., Bahlous, S., and Ghrairi, A., 2004, Modal identification and finite element model updating of a reinforced concrete bridge, **Emirates Journal for Engineering Research**, 9, 2, 29-34.

Gentile, C. and Saisi, A., 2007, Ambient vibration testing of historic masonry towers for structural identification and damage assessment, **Construction and Building Materials**, 21, 1311-1321.

Jaishi, B. and Ren, W.-X., 2005, Structural finite element model updating using ambient vibration test results, **Journal of Structural Engineering**, ASCE, 131, 4, 617-628.

Rainieri, C., Fabbrocino, G., Cosenza, E., and Manfredi, G., 2007, The operational modal analysis for the identification of historical structures: the tower of the nations in Naples, **International Operational Modal Analysis Conference**, Copenhagen, Denmark, Paper no: 39.

Slastan J.A. and Foissner P., 1995, Masonry building dynamic characteristics evaluation by means of ambient vibration. **In: Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering**, Vienna, Austria.

Turek, M., Thibert, K., Ventura, C., and Kuan, S., 2006, Ambient vibration testing of three unreinforced brick masonry buildings in Vancouver, Canada, **Proceedings of the 24th International Modal Analysis Conference (IMAC)**, St. Louis, Missouri.

Vestroni F., Beolchini G.C., Antonacci E., and Modena C., 1996, Identification of dynamic characteristics of masonry buildings from forced vibration tests, **In: Proceedings of the 11th World conference on Earthquake Engineering**, Acapulco, Mexico.

Zabel V., Bucher C., and Riedel J., 2000, The dynamic behaviour of a historical bell tower—in situ tests and numerical investigations, **In: Proceedings of the International Conference on Noise and Vibration Engineering**, Katholieke University Leuven, Belgium.