Farklı Özeliklerdeki Betonarme Çerçevelerin Çevresel Titreşimler Altında Dinamik Karakteristiklerinin Deneysel Modal Analiz Yöntemiyle Belirlenmesi

[*1]Mehmet Emin Arslan ve [2] Ahmet Durmuş
[*1]Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Düzce Üniversitesi, Türkiye
[2]Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Karadeniz Teknik Üniversitesi, Türkiye

Özet

Gerçekleştirilen bu çalışmada, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen, dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin doğal frekans ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristikleri çevresel titreşimler kullanılarak deneysel modal analiz yöntemiyle karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Bu amaçla, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla gerçek boyutlarda, tek katlı ve tek açıklı betonarme çerçeveler üretilmiştir. Çerçevelere titreşimler küçük darbelerle uygulanmış ve deneyler boyunca dönüş sinyalleri hassas ivmeölçerlerle ölçülmüştür. Ölçüm süresi, frekans aralığı ve etkili mod sayısı teknik literatürdeki benzer çalışmalar göz önünde bulundurularak belirlenmiştir. Dinamik karakteristikleri deneysel olarak elde etmek için Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma Yöntemi kullanılmıştır. Deneylerden elde edilen bulgular, dinamik karakteristiklerin malzeme özelikleri ve dolgu duvarın varlığına göre oldukça değişiklik sergilediğini göstermiştir. Ayrıca, betonarme çerçevelerin etkili modlarının belirlenmesinde çevresel titreşimlerin yeterli olduğu da görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Dinamik karakteristikler, deneysel modal analiz, betonarme çerçeve, dolgu duvar.

Abstract

In this study, dynamic characteristics of plane and in-filled RC frames with low and normal strength concrete are determined and compared with each other using Operational Modal Analysis method under ambient vibration. For this purpose full scaled, one bay and one story RC frames with low and normal strength concrete are produced. RC frames are vibrated by natural excitations with small impact effects and the response signals are measured using sensitive accelerometers during ambient vibration tests. Measurement time-frequency span and effective mode number are determined by considering similar studies and literature. To obtain experimental dynamic characteristics Enhanced Frequency Domain Decomposition method is considered. Results of ambient vibration tests show that dynamic characteristics change significantly depending on the material properties and existence of infill walls. It is shown that the ambient vibration measurements are enough to identify the most significant modes of RC frames as well.

Keywords: Dynamic characteristics, Operational modal analysis, RC frames, Infill wall.

1. Giriş

Betonarme çerçeve sisteme sahip çok katlı yapılarda bölme duvarlar genellikle tuğla ya da gaz betonla oluşturulmaktadır. Bu tür dolgu duvarlı çerçevelerin, depremden dolayı oluşan yatay yüklere karşı yeterli rijitliklerinin bulunması gerekmektedir [1,7]. Depremden dolayı yapıya

*Corresponding author: Address: Faculty of Technology, Department of Civil Engineering Duzce University, 81620, Duzce TURKEY. E-mail address: eminarslan81@yahoo.com, Phone: +903805421133 Fax: +903805421134

etkiyecek yüklerin daha kesin tahmin edilebilmesi, yapıya ait doğal frekansları, mod şekilleri ve sönüm oranları gibi dinamik karakteristiklerin doğru belirlenmesine bağlıdır. Dinamik karakteristikler dolgu duvarın bulunması durumunda oldukça değişiklik göstermektedir. Ancak, yönetmeliklerdeki bağıntılar dolgu duvarların etkilerini tam olarak dikkate alamamaktadır. Öyle ki, yapılan çalışmalar, deneysel olarak ölçülen ve teorik olarak hesaplanan doğal frekanslar arasında ±%50'den fazla hata olduğunu göstermiştir [8]. Bu sebeple, dolgu duvarlı bir çerçevenin dinamik karakteristikleri belirlenirken dolgu duvarın etkisinin de dikkate alınması gerekmektedir.

Dinamik karakteristikler, yapının, sınır koşullarını, malzeme özeliklerini, taşıyıcı sistemini ve hasar durumunu da dikkate alarak analitik ya da deneysel olarak belirlenebilmektedir. Analitik dinamik karakteristikler mevcut yapının gerçek özeliklerini yansıtmamaktadır [9, 13]. Bu sebeple, analitik dinamik karakteristikleri doğrulamak ve deprem yüklerini daha doğru belirlemek için deneysel yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Teknik literatürde deneysel yöntemlere ilişkin birçok çalışma bulunmaktadır [14, 19].
Dolgu duvarların etkilerini incelemek amacıyla gerçekleştirilen çalışmalar, dolgu duvarların, yapının deprem davranışını etkilediğini göstermiştir. Bunun yanında, yapısal çözümlemelerde dikkate alınan malzeme özelikleri, yapıdakinden farklı olabilmektedir. Bu sebeple, yapısal çözümlemelerde daha tutarlı sonuçların elde edilmesi için, dinamik karakteristiklerin, yapının mevcut durumunu dikkate alarak, modal test yöntemleriyle belirlenmesi oldukça önemli olmaktadır. Sonuç olarak, bu çalışmada, gerçek boyutlarda, tek açıklıklı ve tek katlı, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen dolgusuz ve tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin, doğal frekanslar ve mod şekilleri gibi dinamik karakteristikleri, Çevresel Titreşim Yöntemi (ÇTY) yardımıyla belirlenmiştir.

2. Materyal ve Metot

Deneysel Modal Çözümleme (DMÇ) yöntemi, yapıların dinamik özelikleri olan; doğal frekanslarını, mod şekillerini ve sönüm oranlarını belirlemede kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem, yapılara uygulanan yük türüne göre Çevresel Titreşim Yöntemi ve Zorlanmış Titreşim Yöntemi (ZTY) olarak ikiye ayrılmaktadır. ZTY de yapı darbe çekici, sarsıcı ya da sarsma tablası gibi uygulanan yükün ölçülebildiği aletlerle titreştirilirken, ÇTY de yapı doğal çevresel etkiler (rüzgar, trafik, yaya vb.) kullanılarak titreştirilmektedir. Daha sonra bu veriler yaygın olarak kullanılan metotlarla işlenmektedir [20-21]. Geliştirilmiş Frekans Tanım Alanında Ayrıştırma (GFTAA) ve Stokastik Altalan Belirleme (SAB) yöntemleri en sık kullanılan çevresel titreşim yöntemleridir. Bu konuya ilişkin ayrıntılı bilgi teknik literatürde verilmektedir [22, 26].

2.1. Çalışmada kullanılan betonların karışım oranları ve bazı mekanik özelikleri

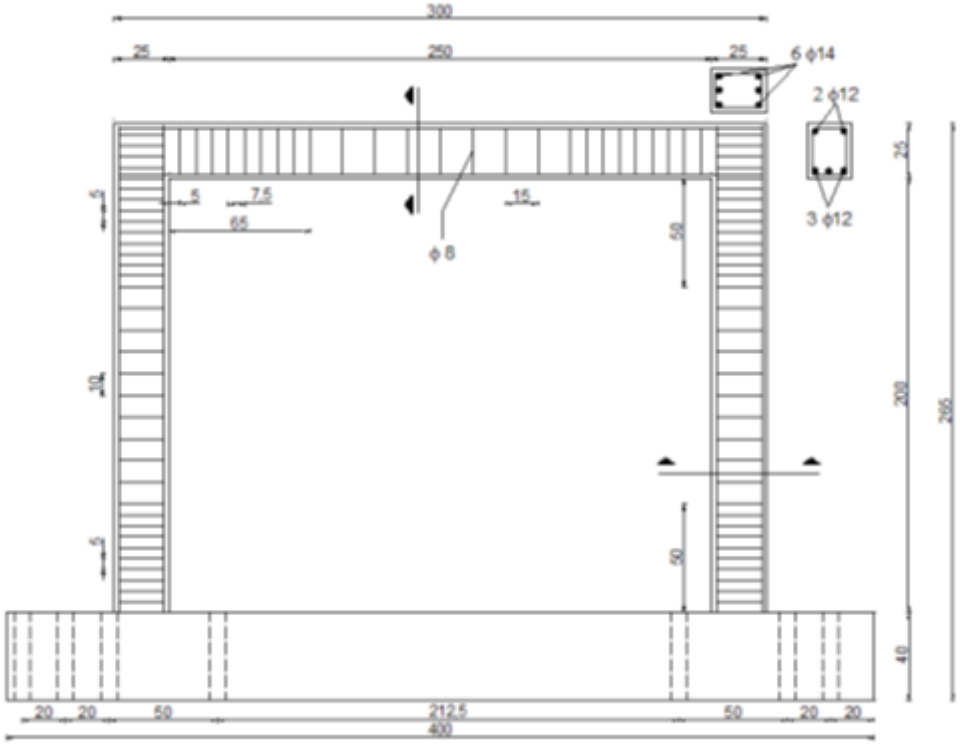
Betonların üretiminde CEM II / B-M 32,5 R (P-LL) çimentosu kullanılmıştır. Geleneksel ve düşük dayanımlı betonların bileşim hesaplarında mutlak hacim yöntemi kullanılmıştır [27]. Buna göre üretilen betonların bir eksenli merkezi basınç deneylerinden elde edilen bazı mekanik özelikler aşağıdaki Çizelge 1'de verilmektedir.

Çizelge 1. Üretimlerde kullanılan geleneksel ve düşük dayanımlı betonların bazı mekanik özelikleri

Beton Türü	GB (MPa)	DDB (MPa)
Ortalama Standart Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	27.15	9.87
Karakteristik Standart Silindir Basınç Dayanımı (MPa)	25.14	9.75
Ortalama Küp Basınç Dayanımı (15x15x15) (MPa)	32.32	11.48
Karakteristik Küp Basınç Dayanımı (15x15x15) (MPa)	30.27	11.33
Başlangıç Elastisite Modülü (MPa)	28000	11250

2.2. Deney çerçevelerinin boyutları ve donatı detayları

Betonarme deney çerçevelerinin boyutları ve şematik donatı detayları Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. Deney çerçevelerinin boyutları ve şematik donatı planları

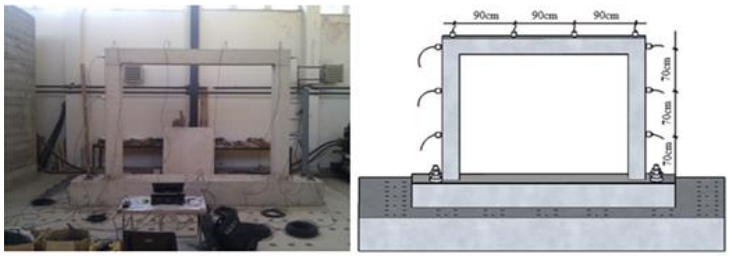
3. Deneysel Modal Çözümleme Bulguları

Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin dinamik özeliklerini belirlemek için, DMÇ yöntemlerinden biri olan ÇTY uygulanmıştır. Ölçümlerde B&K8340 tipi bir eksenli ivmeölçerler kullanılmıştır. Bu ölçümlerde frekans aralığı, sonlu elemanlar modellerinden elde edilen frekansları da dikkate almak suretiyle, 0.1Hz ve 300Hz arasında seçilmiştir. Doğal frekansları ve mod şekillerini doğru olarak belirleyebilmek için, çerçeve kirişlerine düşey doğrultuda 4, kolonlarına ise yatay doğrultuda 3'er adet ivmeölçer yerleştirilmiştir. Bu deneylerde, çerçevelere uygulanan yüklerin büyüklüğü ve

zamanla değişimi bilinmediğinden, doğru bulgulara ulaşabilmek için ölçümler, 15 dakika süreyle, 17 kanallı B&K 3560 tipi veri toplama sistemiyle kaydedilmiş ve OMA [28] yazılımıyla işlenmiştir. Böylece, çerçevelerin dinamik özelikleri, toplanan verilerin GFTAA yöntemleriyle ayrıştırmak suretiyle, belirlenmiştir.

3.1. Düşük Dayanımlı Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve Ölçümleri

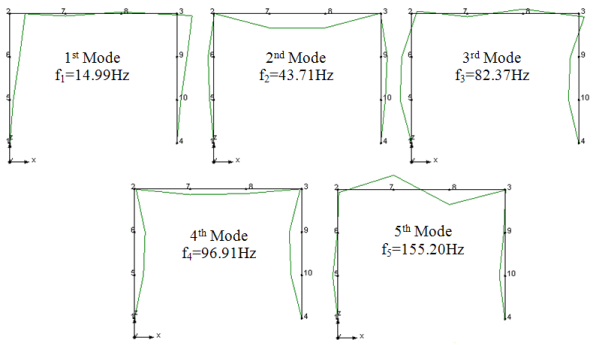
Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin deney anından bir görünüm ve bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu aşağıdaki Şekil 2'de verilmektedir.



(a) (b)

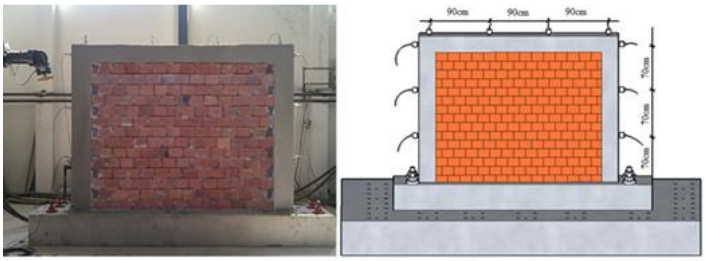
Şekil 2. (a) Düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümleme deneyine ait bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu

Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçeve ölçümlerinden elde edilen mod şekilleri ve frekans değerleri Şekil 3'te verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi, 14-156Hz frekans aralığında 5 adet doğal frekans elde edilmiştir.



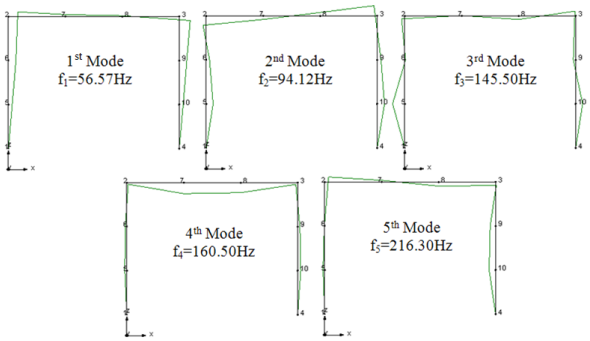
Şekil 3. Düşük dayanımlı dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlemesinden elde edilen mod şekilleri

Dolgu duvarların, çerçevelerin dinamik özelikleri üzerindeki etkisini belirlemek için, tuğla dolgu duvarlı düşük dayanımlı bir çerçeve üzerinde de dinamik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu deneyden bir görünüm ve ivmeölçerlerin konumu Şekil 4'de verilmektedir. Bu çerçeveye ilişkin elde edilen mod şekilleri ve frekans değerleri ise Şekil 5'te verilmektedir.



(a) (b)

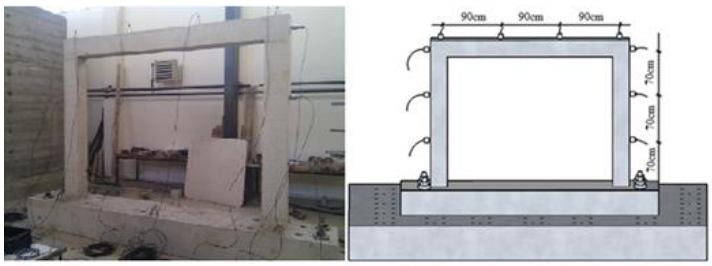
Şekil 4. (a) Düşük dayanımlı betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümleme deneyine ait bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumları



Şekil 5. Düşük dayanımlı tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlemelerinden elde edilen modlar

3.2. Geleneksel Betonlu Dolgu Duvarsız ve Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçeve Ölçümleri

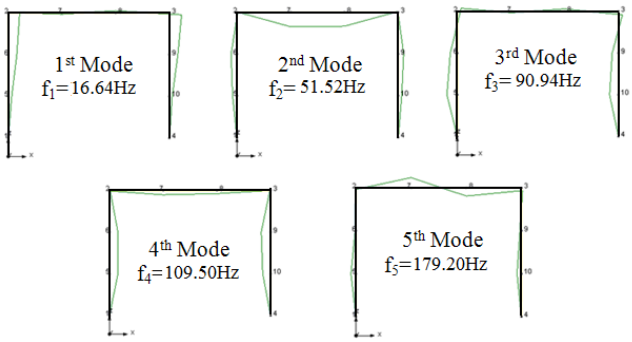
Dolgu duvarsız çerçevenin deney anından bir görünüm ve bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu aşağıdaki Şekil 6'da verilmektedir.



(a) (b)

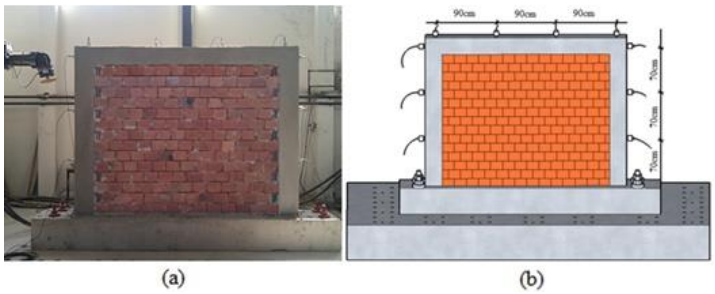
Şekil 6. (a) Geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümleme deneyine ait bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumu

Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçeve ölçümlerinden elde edilen mod şekilleri ile bunlara karşılık gelen doğal frekans değerleri Şekil 7'de verilmektedir.

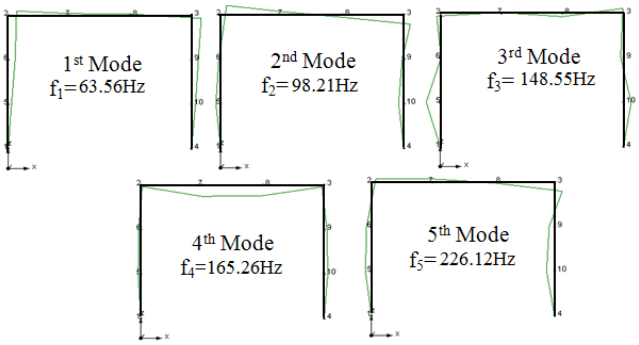


Şekil 7. Geleneksel betonlu dolgu duvarsız çerçevenin deneysel modal çözümlemelerinden elde edilen modlar

Geleneksel betonla üretilen tuğla dolgu duvarlı çerçeve üzerinde yapılan deneyden bir görünüm ve ivmeölçerlerin konumu Şekil 8'de verilmektedir. Alınan ölçümlerinden elde edilen mod şekilleri ile bunlara karşılık gelen doğal frekans değerleri Şekil 9'da verilmektedir.



Şekil 8. (a) Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümleme deneyine ait bir görünüm ve (b) bu çerçeve üzerinde ivmeölçerlerin konumları



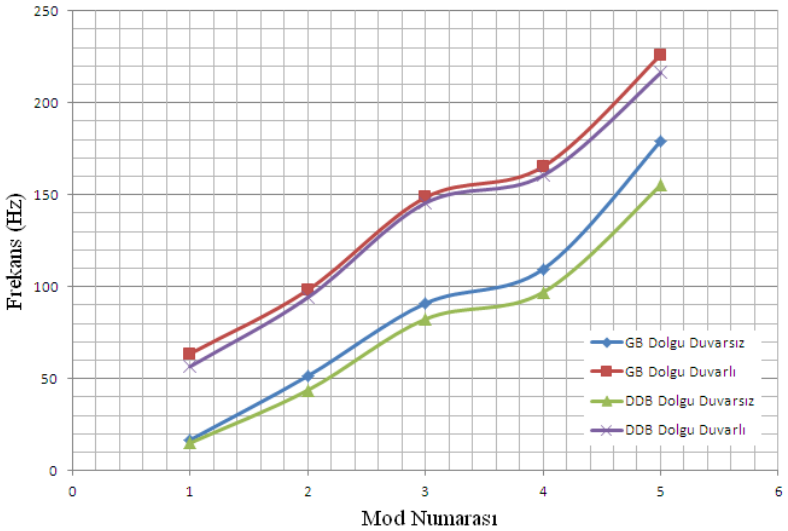
Şekil 9. Geleneksel betonlu tuğla dolgu duvarlı çerçevenin deneysel modal çözümlemelerinden elde edilen mod şekilleri

4. Deneysel Modal Çözümleme Deneysel Ölçüm Bulgularının İrdelenmesi

Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçeveler üzerinde çevresel titreşimler altında gerçekleştirilen deneysel modal çözümleme ölçümleri, dolgu duvarların çerçevelerin frekanslarını ve rijitliklerini önemli ölçüde artırdığını göstermiştir. Değişen frekans ve rijitliklere paralel olarak mod şekilleri de değişiklik göstermektedir. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin çevresel titreşimleri kullanan deneysel modal çözümleme yöntemiyle elde edilen doğal frekansları Çizelge 2'de verilmektedir. Çizelgeden de görüldüğü gibi, geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin doğal frekans değerleri düşük dayanımlı betonla üretilenlerinkinden daha yüksektir. Bu durum, geleneksel betonla üretilen çerçevelerin rijitliklerinin daha yüksek olmasından kaynaklandığını düşündürmektedir. Zira geleneksel betonun elastisite modülünün eğilme rijitliğini artırması bu düşünceyi doğrulamaktadır. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin ÇTY ile elde edilmiş doğal frekanslarının değişimi Şekil 10'da verilmektedir.

Çizelge 6. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin çevresel titreşim yöntemiyle elde edilen doğal frekansları

Modlar	Deneysel Modal Çözümlemeyle Elde Edilen Doğal Frekanslar (Hz)			
	Düşük Dayanımlı Betonlu		Geleneksel Betonlu	
	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı	Dolgu duvarsız	Tuğla dolgu duvarlı
1	14.99	56.57	16.64	63.56
2	43.71	94.12	51.52	98.21
3	82.37	145.50	90.94	148.55
4	96.91	160.50	109.50	165.26
5	155.20	216.30	179.20	226.12



Şekil 10. Düşük dayanımlı ve geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı çerçevelerin deneysel modal çözümleme yöntemiyle elde edilen doğal frekanslarının değişimi

Sonuçlar ve Öneriler

Gerçekleştirilen bu çalışmada, gerçek boyutlarda, tek açıklıklı ve tek katlı, geleneksel ve düşük dayanımlı betonlarla üretilen dolgusuz ve tuğla dolgulu betonarme çerçevelerin, dinamik karakteristikleri olan doğal frekansları ve mod şekilleri, ÇTY yardımıyla belirlenmiştir. Çalışma sonunda elde edilen bulguların değerlendirilmesiyle çıkarılabilecek başlıca sonuçlar aşağıda özetlenmektedir.

- Çevresel titreşimler altında düşük dayanımlı ve geleneksel betonlarla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin dinamik ölçümlerinin her biri için 5 farklı doğal frekans ve mod şekli belirlenmiştir. Elde edilen bu 5 mod değerlendirildiğinde, bunların eğilme ve ötelenme modları olduğu görülmektedir.
- Ölçülen ilk 5 doğal frekans değerleri dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı düşük dayanımlı betonla üretilen çerçeveler için sırasıyla, 14-156Hz ve 56-217Hz arasındadır. Bu frekans değerleri geleneksel betonla üretilen dolgu duvarsız ve tuğla dolgu duvarlı betonarme çerçeveler için ise 16-180Hz ve 63-227Hz arasındadır.
- Her iki betonla üretilen çerçevelerde, dolgu duvarların frekans değerlerini artırarak rijitliği önemli ölçüde artırdığı, bunun yanında mod şekillerini de değiştirdiği görülmüştür. Bu durum dinamik davranışın oldukça değiştiğini göstermektedir.
- Geleneksel ve düşük dayanımlı betonla üretilen dolgu duvarsız çerçevelerde elde edilen mod şekillerinin birbiri içerisinde uyumlu olduğu görülmektedir. Aynı uyum dolgu duvarlı çerçeveler için de sağlanmıştır.

Özetle, dolgu duvarlar dinamik özelikleri önemli ölçüde değiştirmektedir. Dolayısıyla, bu durumun yapısal çözümlemelerde dikkate alınması gerekmekte, aksi takdirde, yapıların depremlerden daha olumsuz şekilde etkilenebilme ihtimali ortaya çıkmaktadır. Çünkü deprem yükü azaltma katsayısı belirlenirken taşıyıcı sistem türü göz önünde bulundurulmakta, dolgu duvarların katkısı dikkate alınmamaktadır. Dolayısıyla dolgu duvarların hesaplarda ihmal edilmesi her zaman için güvenli tarafta kalınacağı anlamı taşımamaktadır.

References

[1] Smith BS, Lateral stiffness of ınfilled frames. ASCE Structural Division Journal 1962;183-199.
[2] Klingner RE, Bertero VV. Earthquake resistance of infilled frames. ASCE Journal of Structural Engineering 1978; 104: 973-989.
[3] Mehrabi AB, Shing PB. Schuller MP. Noland JL. Hysteretic response of reinforced concrete ınfilled frames. ASCE Journal of Structural Engineering 1996; 122(3): 228-237.
[4] FEMA 356. Pre-standard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington: 2000.
[5] DBYBHY-2007. Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Ankara: 2007.

[6] Sahoo DR, Rai DC. Seismic strengthening of non-ductile reinforced concrete frames using aluminum shear links as energy-dissipation devices. Engineerin Structures 2010; 32: 3548-3557.
[7] Özsayın B, Yılmaz E, İspir M, Özkaynak H, Yüksel E, İlki A. Characteristics of CFRP retrofitted hollow brick infill walls of reinforced concrete frames. Construction and Building Materials, 2011; 25: 4017-4024.
[8] Ewins DJ. Modal testing: Theory and practice. England: Research Studies Press Ltd.; 1984.
[9] Sun X, Philip JA. Study on experimental modal analysis for seismic response assessment of underground facilities. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 1997; 34: 491-491.
[10] Reynolds P, Pavic A, Prichard S. Dynamic analysis and testing of a high performance floor structure. International Conference on Structural Dynamic Modeling-Test, Analysis, Correlation and Validation 2002; Maderia Island, Portugal.
[11] Morin PB, Léger P, Tinawi R. Seismic behavior of post-tensioned gravity dams: shake table experiments and numerical simulations. Journal of Structural Engineering, ASCE 2002; 128: 140-252.
[12] Sasaki T, Kanenawa K, Yamaguchi Y. Simple estimating method of damages of concrete gravity dam based on linear dynamic analysis. 13th World Conference on Earthquake Engineering, 2004; Vancouver, B.C., Canada.
[13] Law SS, Li XY, Lu ZR. Structural damage detection from wavelet coefficient sensitivity with model errors. Journal of Engineering Mechanics, ASCE 2006; 132: 1077-1087.
[14] Maia NMM. Silva JMM. Theoretical and experimental modal analysis. England: Research Studies Press Ltd.; 1997.
[15] Ren WX, Zhao T, Harik IE. Experimental and analytical modal analysis of steel arch bridge. Journal of Structural Engineering, ASCE 2004; 130: 1022-1031.
[16] Dooms D, Degrande G, Roeck G, Reynders E. Finite element modeling of a silo based on experimental modal analysis. Engineering Structures 2006; 28: 532-542.
[17] Zivanovic S, Pavic A, Reynolds P. Finite-element modeling and updating of a lively footbridge: The complete process. Journal of Sound and Vibration 2007; 301: 126–145.
[18] Brencich A, Sabia, D. Experimental identification of a multi-span masonry bridge: The Tanaro Bridge. Construction and Building Materials 2008; 22(10): 2087–2099.
[19] Bayraktar A, Sevim B, Altunışık AC, Türker T. Analytical and operational modal analyses of Turkish style reinforced concrete minarets for structural identification. Experimental. Techniques 2009; 33(2): 65-75.
[20] Sevim B, Bayraktar A, Altunışık AC, Adanur S, Akköse M. Modal Parameter Identification of a Prototype Arch Dam Using Enhanced Frequency Domain Decomposition and Stochastic Subspace Identification Techniques., Journal of Testing and Evaluation 2010; 38(5): 1-10.
[21] Altunışık AC, Bayraktar A, Sevim B, Özdemir H. Experimental and analytical system identification of eynel arch type steel highway bridge. Journal of Structural Steel Research 2011; 67: 1912-1921.
[22] Jacobsen NJ, Andersen P, Brincker R. Using enhanced frequency domain decomposition as a robust technique to harmonic excitation in operational modal analysis", Proceedings of ISMA2006: International Conference on Noise and Vibration Engineering 2006; Leuven, Belgium.
[23] Van OP, De Moor B. Subspace Identification for Linear Systems: Theory, Implementation and Applications, Dordrecht, Netherlands: Kluwer Academic Publishers; 1996.

[24] Peeters B, De Roeck G. reference based stochastic subspace ıdentification in civil engineering. Proceedings of the Second International Conference on Identification in Engineering Systems, 1999; Swansea, United Kingdom, 639–648.
[25] Yu DJ, Ren WX. EMD-Based stochastic subspace ıdentification of structures from operational vibration measurements. Engineering Structures 2005; 27: 1741–1751.
[26] Schwarz BJ, Richardson MH.. Experimental Modal Analysis. Orlando: CSI Reliability Week; 1999.
[27] TS 802. Beton Karşımı Hesap Esasları. TSE, Ankara: 2009.
[28] OMA. Operational modal analysis, Release 4.0. Denmark: Structural Vibration Solution A/S; 2006.