

23 Ekim 2011 Van Depreminde Ağır Hasar Alan Yapının Güçlendirme Önce ve Sonrasının Analitik İncelenmesi

Murat BİKÇE

İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hatay.
muratbikce@yahoo.com

(Geliş/Received: 16.01.2017; Kabul/Accepted:01.03.2017)

Özet

23 Ekim 2011 tarihinde $M_w = 7.2$ büyüklüğünde meydana gelen Van Depreminde, 48666 yapı yıkılmış/ağır hasar almış, 604 kişi hayatını kaybetmiş ve 1301 kişi yaralanmıştır. Bu deprem sırasında eski yönetmeliklere göre tasarlanmış yapıların yanı sıra 2007 Türk deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış binaların da ağır hasar görmesi dikkati çekmiştir. Güncel deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış ve 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar almış bir yapının, projedeki, uygulamadaki halleri ve hasar nedenleri literatürde incelenmiştir. Daha sonra hasarlı yapı, sahipleri tarafından güçlendirilmiştir. Bu çalışmada, bilgi düzeyi yüksek olan bu yapının, hasarsız, hasarlı ve güçlendirilmiş halde iken, analitik hesapları yapılarak dinamik özellikleri belirlenmiştir. Böylece, yapının deprem öncesi, sonrası ve güçlendirme sonrasındaki modal analiz sonuçları karşılaştırılmış ve analitik incelemelerden elde edilen ilk üç periyot sunularak dinamik özelliklerdeki değişim ortaya konulmuştur.

Anahtar kelimeler: Van depremi, Betonarme binalar, Ağır hasar, Güçlendirme

Analytical Investigation Before and After Strengthening of the Heavily Damaged Building in October 23, 2011 Van Earthquake

Abstract

$M_w = 7.2$ magnitude earthquake occurred in Van on 23rd October 2011, 48666 buildings demolished/heavily damaged, 604 people died and 1301 people were injured. During this earthquake severe damages were noted on structures were designed according to the old and also current regulations published in 2007. A building designed according to current regulations, which had heavily damages during this earthquake, has been examined in the literature according to design project, states of practice and reasons of damage. This damaged building had strengthened by the owners. In this study, while undamaged, damaged and strengthened of this building, which has high information level, has been determined by analytical calculations. Thus, the modal analysis results of the structure before and after the earthquake, and after strengthened were compared and the changes in the dynamic properties were presented by presenting the first three periods obtained from the analytical examination

Keywords: Van earthquake, Reinforced concrete buildings, Heavy damage, Strengthening

1. Giriş

Dünyanın en önemli deprem kuşaklarından olan Alp-Himalaya deprem kuşağında bulunan Türkiye’de can kayıplarına yol açan önemli depremler meydana gelmektedir. Türkiye, Avrasya, Afrika ve Arap Plakaların arasında kalan sismik olarak aktif bir bölge içinde yer almaktadır. Amerika Jeoloji Araştırma

Kurumu’nun (USGS) sunduğu, dünyada meydana gelmiş hasar veren tarihi deprem listesinde; toplam deprem sayısının yaklaşık %6’sını Türkiye’deki depremler oluşturmaktadır [1]. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğüne (MTA) göre; Türkiye’de büyüklüğü 5.5 ve üzeri deprem üretebilecek diri fay veya fay parçası

sayısının 485 olduğu belirtilmektedir [2, 3]. Türkiye, bu aktif faylardan Kuzey Anadolu Fayı-1350 km (KAF), Doğu Anadolu Fayı-580 km (DAF) ve alt parçaları dahi etkili deprem üretebilen büyük fay sistemleridir. Tarihsel depremlere bakıldığında; bu durumu teyit eden KAF, DAF ve Ege bölgesindeki yerel faylarda, can ve mal kayıplarının yaşandığı sayısız önemli depremlerin tekrarlandığı görülmektedir.

Önemli kayıpların yaşandığı 17 Ağustos 1999'da $M_w=7.6$ büyüklüğü olan Kocaeli depreminde, resmi kayıtlara göre 17.480 insan hayatını kaybetmiş, ağır hasarlı ve tamamen yıkılmış bina sayısının ise 73.000'den fazla olduğu belirtilmektedir [4]. Aynı depremde, toplam ekonomik kayıpların ise 15-17 milyar dolar arasında olduğu tahmin edilmektedir [4]. Genel olarak yapılarda oluşan hasar nedenleriyle ilgili; malzeme kalitesi sorunları, uygun olmayan agrega ve beton karışımları, kısa kolon, güçlü kiriş-zayıf kolon, donatı korozyonu, yetersiz etriye aralığı ve bağlantısı, bağlantı problemleri, işçilik hataları ve 1975 Türk deprem yönetmeliği (TDY) [5] ve öncesi yönetmeliklerindeki yetersizlikler gibi problemler gündeme gelmektedir. 1999 Kocaeli depreminden sonra da Türkiye'de can ve mal kaybının olduğu depremlerde, özellikle 1975 TDY ve öncesi yönetmeliklere göre yapılmış yapılarda meydana gelen yapısal hasarlara bakıldığında, benzer hataların tekrarlandığı görülmektedir [6-10]. Yıkılan ve ağır hasar alan yapılar incelendiğinde, bu binaların önemli bir kısmının inşa edildiği tarihte geçerli olan yönetmeliklere uygun olmadığı veya önemli tasarım eksikliklerinin bulunduğu tespit edilmiştir

[11].

23 Ekim 2011 tarihinde $M_w = 7.2$ büyüklüğünde meydana gelen Van Depreminde, 48666 yapı yıkık/ağır hasar almış, 604 kişi hayatını kaybetmiş ve 1301 kişi yaralanmıştır [12]. Bu deprem sırasında önceki yönetmeliğe göre tasarlanmış betonarme (BA) yapıların yanı sıra güncel Türk deprem yönetmeliğine (2007 TDY) göre tasarlanmış binaların da ağır hasar görmesi dikkati çekmiştir [13]. Son iki Türk deprem yönetmelikleri (1997 TDY [14] ve 2007 TDY) depreme dayanıklı yapı tasarımı için ciddi tedbirler içerdiğinden, güncel yönetmeliklere göre tasarlanmış yeni BA yapılarda bu denli ağır hasar veya yıkılma beklenmiyordu. Bu nedenle, statik ve dinamik hesaplar sonucu güncel TDY'ye göre yeterli olarak tasarlanan, ancak, son depremlerde ağır hasar alan BA yapıların hasar görme nedenlerinin ortaya konulması amacıyla çeşitli çalışmalar yürütülmüştür [6-10]. Bu çalışmalardan elde edilen bilgiler ve yaşananlardan alınan dersler, bundan sonra meydana gelebilecek benzer yapılardaki hasar ve can kayıplarını en aza indirmek bakımından oldukça önemlidir.

Literatürde statik ve dinamik hesaplar sonucu güncel TDY'ye göre yeterli olarak tasarlanan, ancak, son depremlerde ağır hasar alan BA yapıların hasar görme nedenlerinin ortaya konulması amacıyla; 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar almış (Şekil 1) bir yapı seçilerek detaylı bir şekilde incelenmiştir [15]. Literatürde yayınlanmış olan çalışmada, yapının projesindeki ve uygulamasındaki her iki durum ayrı ayrı modellenerek analiz edilmiş 2007 TDY'ye göre yetersiz elemanlar belirlenmiştir.



Şekil 1. Yapıdaki hasara ait örnek görüntüler

Her iki durumdan elde edilen analiz sonuçları; tasarım ve uygulama hataları, 2007 TDY'ye göre uygunluğu, modelleme ve kabul hataları bakımından değerlendirilmiştir. Yapı, projesine göre modellenerek analiz edildiğinde taşıyıcı elemanlarda herhangi bir yetersiz kolon elde edilmez iken, uygulamadakinin göre yapılan analizde; depremde hasar gören elemanlar yetersiz olarak elde edilmektedir. Programda yeterli, uygulamada yetersiz elde edilen elemanların neden olduğu sorusu akla gelmektedir. Bu durumda model dikkatle incelemelidir. Projeden farklı uygulamalar, 2007 TDY'ye uyumsuz imalat ve denetim yetersizlikleri gibi nedenlerin, yapıdaki hasarların temel sebepleri olduğu belirlenmiştir.

Depremden sonra 29 Ekim 2011 tarihinde yapı üzerinde incelemeler yapılmış ve hasar tespitleri ve yapı ile ilgili bilgiler alınmıştır. Bu çalışmada, söz konusu yapının hasar öncesi uygulamadaki halinin modeli oluşturulmuştur. Hasar sonrası yapıda oluşan çatlak kesitler elemanlar üzerine modelde tekrar girilerek hasar sonrası model de oluşturulmuştur. Depremden sonra yapı sahipleri tarafından güçlendirme çalışması yapılmış, bunla ilgili bilgiler de model düzenlenerek güçlendirme sonraki durum için de model elde edilmiştir. Daha sonra, modal analizlerinden elde edilen ilk üç periyot sunularak, yapının deprem öncesi, deprem sonrası ve güçlendirme sonrasındaki modal analiz sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapıda güçlendirme neticesinde dinamik özelliklerdeki iyileşme de ortaya konulmuştur.

2. Yapı İle İlgili Bilgiler

Bu çalışmada göz önüne alınan yapı; Van'ın kuzeyinde ve merkeze 102 km uzaklıkta bulunan Erciş ilçesindedir (Şekil 2). Deprem oluş tarihi de dikkate alındığında incelenen yapı 2007 TDY'ye göre tasarlanmıştır. İş Merkezi olması nedeniyle yüksek bir maliyetle inşa edilmiş ve kullanıma açılmak üzere iken 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar almıştır.

Birinci derece deprem bölgesinde yer alan yapı; Bodrum + Zemin + 5 kat olmak üzere toplamda 7 katlıdır (Şekil 2). Plan boyutları 17.6 x

28.42 m, taban alanı 1480 m² ve toplam kapalı alanı 9866 m² olan betonarme binada, kat yükseklikleri; bodrumdan yukarıya sırasıyla 3.26, 5.16, 3.80, 4.13, 3.13, 3.63, 3.63 m'dir. Yapı, 25.98 m kotuna kadar betonarmeden inşa edilmiştir. Ayrıca, en üst katta çelik konstrüksiyondan 2.5 m yüksekliğinde çatı bulunmaktadır. Yapı üç bloktan (A, B ve C) oluşmaktadır. Bloklar dilatasyonlarla birbirinden ayrılmıştır. Yapının projesinde malzeme özellikleri; C20-S420a, zemin emniyet gerilmesi 1.20 kg/cm², zemin sınıfı Z3 olarak verilmiştir.

Yapının arkasında ve tek tarafta boydan boya dış duvar bulunmaktadır. Bu durum gerçek yapıyı yansıtabilmek amacıyla, bu çalışmadaki modelde diyagonal çapraz elemanlarla tanımlanmaktadır.

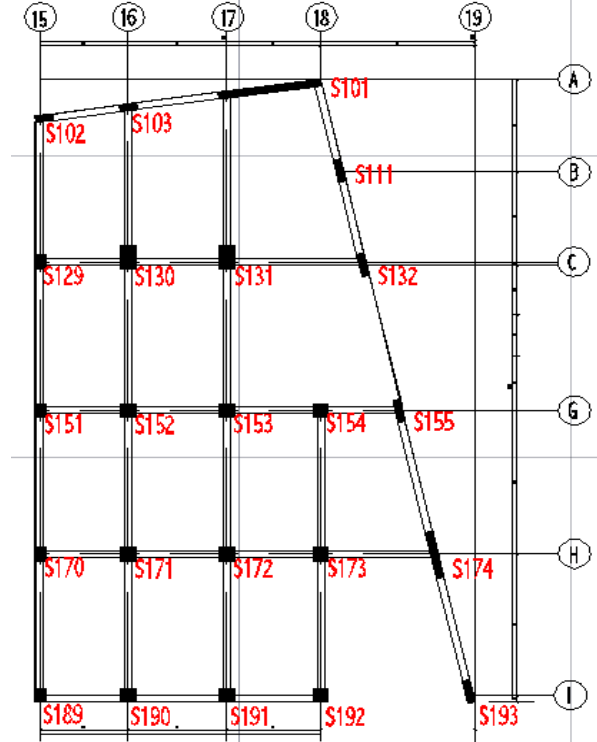


Şekil 2. Yapının önden görünüşü [16]

C bloğun diğer bloklara göre daha ağır hasar görmesi nedeniyle, C blok seçilerek araştırılmıştır. Yapının projesi üzerinde ve depremden sonra hasarlı halde detaylı incelemeler yapılmıştır. Bu incelemelerde, yapının C bloğunun (Şekil 3), statik projesi ile gerçek uygulaması arasında, zemin kattaki taşıyıcı elemanlarda farklar dikkati çekmiştir. Bu nedenle, yapı imalatının 2007 TDY tasarım kurallarına uyumluluğu detaylı olarak gözden geçirilmiş, proje ile uygulama arasındaki farklar ve hasar nedenleri belirlenmiştir [15].

Literatürdeki çalışmadan farklı olarak bu çalışmada, özellikleri bilinen söz konusu yapının uygulamada depremden önceki hali, depremden sonra hasar gören elemanlarda oluşan hasarların modele işlenmesi ile oluşan hali ve

güçlendirmeden sonraki hali olmak üzere üç durum için modal analizleri gerçekleştirilmiştir.

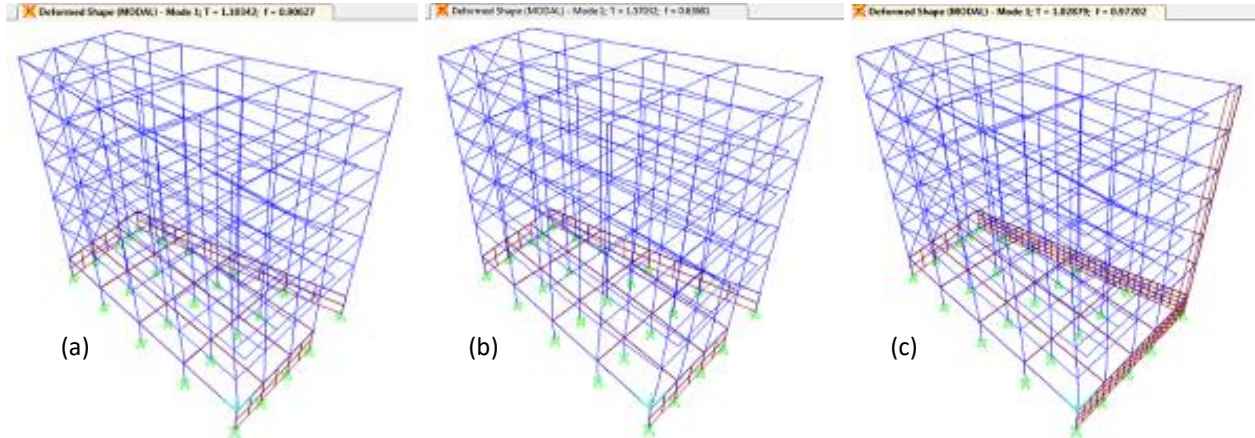


Şekil 3. C bloğun uygulamadaki planı

3. Yapının Deprem Öncesi, Sonrası ve Güçlendirme Modellerinin Analizi

Seçilen yapının deprem öncesi hasar almamış durumu, projedeki ve uygulamadaki haller olmak üzere literatürde incelenmiş ve SAP2000’de [17] modellenmiştir (Şekil 4a). Yapının hasar almadan önceki çevresel titreşim ölçümleri bulunmadığından modal analiz sonuçları karşılaştırılamamıştır. Deprem sonrası yapılan incelemelerde hasar almış taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar belirlenmiştir [15]. Deprem sonrası hasar almış yapıdan çevresel titreşimler ölçülmüş ve bunların Hızlı Fourier dönüşümleri (Fast Fourier Transform-FFT) neticesinde periyotlar belirlenmiştir. Bu değerlerin karşılaştırılmasını yapmak üzere, deprem sonrası hasarlı olarak tespit edilen taşıyıcı olan ve olmayan elemanlar uygulamadaki yapı modeline tanımlanarak hasarlı yapı modeli oluşturulmuştur (Şekil 4b).

Yapı sahipleri tarafından, depremden sonra güçlendirme yapılarak hasarlı yapı iyileştirilmiştir. Garaj girişi kapatılarak projeden farklı elemanlar projeye uygun hale getirilmiştir. Güçlendirme sonrası zemin katında 18A-19I arası kolonlar mantolanmış ve ağır hasar alan S193 kolonu temelden en üst kata kadar perdeye dönüştürülmüştür.



Şekil 4. Yapının analitik modelleri, a) Deprem öncesi b) Deprem sonrası c) Güçlendirilmiş

Güçlendirmede, 18A-19I akslarına denk gelen hasarlı yapıların tamamı tüm cephelerinden iç ve yan cephelerinden 15cm mantolamaya tabi tutulmuştur. Ayrıca, 19I aksına denk gelen S193

kolonu perdeye dönüştürülerek tüm yapı yüksekliğince devam ettirilmiştir. Yapının S192 ve S193 kolonları arasına uygulamada yapılan giriş kapatılarak perdeye dönüştürülmüştür. Açık olarak

birakılan 18,19H-18,19I arası bodrum kat tavan döşemesi üzeri 15cm kalınlığında döşeme yapılmıştır. Garaj girişi nedeniyle yapılmayan giriş sürekli hale dönüştürülmüştür. Güçlendirme neticesinde yapılan tüm değişiklikler modele

yansıtılarak analiz yinelenmiştir (Şekil 4c). Şekil 5a-d'de güçlendirme öncesi ve sonrasına ait yapıdan görüntüler yer almaktadır. Yapının deprem öncesi, sonrası ve güçlendirmiş hallerin modal analiz sonuçları tablo 1'de sunulmuştur.



Şekil 5. İncelenen yapının hasarlı hali (a, b) ve güçlendirme sonrası (c, d) görüntüleri

4. Sonuçlar ve Değerlendirmeler

Bu çalışmada, güncel deprem yönetmeliğine göre tasarlanmış ve 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar görmüş bir yapının deprem sonrası ve güçlendirme sonrası periyotlarındaki değişim incelenmiştir. Seçilen yapıda hasar ve nedenleri literatürde daha önce incelenmiştir. Söz konusu yapıdan deprem sonrası hasar almış haldeyken çevresel titreşim testi yapılmıştır. Elde edilen verilerin işlenmesi sonucunda ilk üç periyot belirlenmiştir (tablo 1). Ayrıca, yapının deprem

öncesi, deprem sonrası ve güçlendirme sonrasındaki modal analiz sonuçları ve dinamik özelliklerdeki değişim tablo 1'de sunulmuştur.

Deprem sonrası hasarlı hal ve deprem öncesi hasarsız hal için sonuçların uyumlu olduğunu söylemek mümkündür. Yapılan incelemeler sonucunda 2007 TDY'ye göre tasarlanan yapının; projesinde önemli bir sorun gözlenmemesine rağmen, uygulamadaki problemler ve proje dışı yapılan uygulamalar nedeniyle 23 Ekim 2011 Van depreminde ağır hasar aldığı anlaşılmaktadır [15]. İncelenen yapıda taşıyıcı olan ve olmayan

elamanlarda meydana gelen ağır hasar nedeniyle, deprem sonrası modal analiz sonuçları deprem öncesine göre çok büyük oranda arttırarak yapıyı riskli bir hale getirdiği ve hasara yol açtığı görülmektedir. Yapılan güçlendirme neticesinde incelenen bina depremden önceki projesinde öngörülen periyodu yakalamıştır.

Tablo 1. Analitik hesaplamalara göre modal analiz sonuçları

Mod	Modal Analiz Sonuçları (SAP2000)		
	Deprem	Deprem	Güçlendirilmiş
	Öncesi Hal	Sonrası Hal	Hal
1	1.104 (Y)	1.570 (Y)	1.029 (Y)
2	1.016 (X)	1.414 (X)	0.972 (X)
3	0.615 (B)	0.588 (B)	0.522 (B)

Yapının projesinde öngörülen periyodlara ulaşarak güçlendirmeden yarar sağlanmıştır. Tasarımcıların, yapının oluşturacakları matematiksel modele doğru yansıtıklarından emin olmaları ve sonrasında program çıktılarını değerlendirmeleri mutlak gereklidir. Türkiye’de can ve mal kayıplarının minimize edilmesi açısından; uygulamalarda projeye tam olarak uyulması, TDY’de öngörülen sınırlamalara uygulamada azami hassasiyetin gösterilmesi, yapının tüm imalatlarında denetime özen gösterilmesi son derece önemlidir.

Sorumluluk Reddi Beyanı

Yazar örnek olarak seçtiği yapıyla ilgili yürüttüğü bu bilimsel çalışmada, hukuki açıdan herhangi bir yasal görüşte olmadığını beyan eder.

5. Teşekkür

Van Depremi sonrası bölgede yapılan araştırmalar, Mustafa Kemal Üniversitesi’nden (MKÜ) M.C. Geneş, H.T. Türker ve S. Kaçın ile birlikte MKÜ İnşaat Mühendisliği Öğrencileri M. S. Lenk, B. Danyıldız, A. Güler ve İ. Başaran olmak üzere MKÜ’nün sağladığı destekle yürütülmüştür. Ayrıca, Hatay İnşaat Mühendisleri Odası (İMO) ve Van İMO çalışmalarında yardımcı

olmuştur. Van ve Erciş’te çalışan İnş. Müh. İ. Günay ve İnş. Müh. F. Toro’da bölgedeki incelemelerimize katkı sağlamıştır. Ayrıca, İnş. Müh. T.B. Çelik yardımcı olmuştur. Yazar; yukarıda söz edilen kişi, kurum ve kuruluşlara verdikleri katkı için teşekkürlerini sunar.

6. Kaynaklar

1. USGS - Amerika Jeoloji Araştırma Kurumu. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/histori-cal.php> (Erişim tarihi 12.10.16).
2. MTA - Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü. http://www.mta.gov.tr/v2.0/tek_dosyalar/CD_basin.ppt (Erişim tarihi 12.10.16).
3. MTA - Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü. http://www.mta.gov.tr/v2.0/deprem/index.php?id=di-rifay_son (Erişim tarihi 12.10.16).
4. Youd, T. L., Bardet J. P. and Bray J. D. (2000). Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999: Reconnaissance Report. *Earthquake Spectra Supplement A*, **16**, 163-189.
5. TDY (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 63s.
6. Kaplan, H., Yılmaz, S., Binici, H., Yazar, E., Çetinkaya, N. (2004). May 1, 2003 Turkey Bingöl earthquake: damage in reinforced concrete structures. *Engineering Failure Analysis*, **11**, 279–291.
7. Binici, H. (2007). March 12 and June 6, 2005 Bingöl–Karlıova earthquakes and the damages caused by the material quality and low workmanship in the recent earthquakes. *Engineering Failure Analysis*, **14**, 233–238.
8. Celep, Z., Erken, A., Taşkın, B., İlki A. (2011). Failures of masonry and concrete buildings during the March 8, 2010 Kovancilar and Palu (Elazığ) earthquakes in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, **18**, 868–89.
9. Sayın, E., Yon, B., Calayır, Y., Karaton, M. (2013). Failures of masonry and adobe buildings during the June 23, 2011 Maden-(Elazığ) earthquake in Turkey. *Engineering Failure Analysis*, **34**, 779–91.
10. Tapan, M., Cömert, M., Demir, C., Sayan, Y., Orakçal, K., İlki, A. (2013). Failures of structures during the October 23, 2011 Tabanlı (Van) and November 9, 2011 Edremit (Van) earthquakes in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, **34**, 606–28.
11. Alyamaç, K. E. ve Erdoğan, A. S. (2005). Geçmişten günümüze afet yönetmelikleri ve uygulamada karşılaşılan tasarım hataları. Kocaeli

- Üniversitesi *Kocaeli Deprem Sempozyumu*, (23-25 Mart 2005), İzmit, 707-715.
12. AFAD (2011). Van Deprem Raporu Aralık 2011. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı Deprem Dairesi Yayınları, Ankara, 100s.
 13. TDY (2007). Afet Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 159s.
 14. TDY (1997). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Yayınları, Ankara, 86s.
 15. Bikçe, M., Çelik T. B. (2016). Failure analysis of newly constructed RC buildings designed according to 2007 Turkish Seismic Code during the October 23, 2011 Van earthquake. *Engineering Failure Analysis*, **64**, 67-84.
 16. Bikçe, M., Geneş, M.C., Türker, H.T. ve Kaçın, S., 2011. Mustafa Kemal Üniversitesi Teknik Rapor, 23 Ekim 2011 Mw 7.2 Van Depremi Sismik ve Yapısal Hasara İlişkin Saha Gözlemleri ve Tespitler. MKÜ Basım Yayınları.
 17. SAP2000 v17 (2014). Computer and Structures, Inc. Berkeley, CA, USA.