

24 Ocak 2020 Sivrice Depremi Sonrasında Elazığ İlinde Bulunan Minarelerde Meydana Gelen Hasarların Araştırılması ve Değerlendirilmesi

Musa YETKİN^{1*}, İbrahim Özgür DEDEOĞLU², Yusuf CALAYIR³

¹ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

² İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Batman Üniversitesi, Batman, Türkiye

³ İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik Fakültesi, Fırat Üniversitesi, Elazığ, Türkiye

*¹ musayetkin@firat.edu.tr, ² iozgur.dedeoglu@batman.edu.tr, ³ ycalayir@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 09/12/2020;

Kabul/Accepted: 02/03/2021)

Öz: Minareler uzun ve ince bir mimari görünümde, genellikle betonarme, yığma ve ahşap olarak bazen camiden bağımsız bazen de cami ile bitişik olarak inşa edilen yapılardır. Bu yapılar mimari görünümünün beraberinde getirmiş olduğu yapısal etkenler nedeniyle depremler karşısında hasar görebilmekte veya yıkılabilmektedir. Minarelerde meydana gelen bu hasarlar can ve mal kayıplarına sebep olmaktadır. Bu nedenle minarelerin deprem güvenilirliğinin sağlanması elzem bir durumdur. Bu çalışma kapsamında, 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ ilinin Sivrice ilçesinde meydana gelen Mw = 6.8 büyüklüğündeki deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılmıştır. İncelenen minarelerde hasarların olduğu bölümler belirlenmiş ve bu hasarların oluşum nedenleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, mevcut hasarlı minarelerin onarım ve güçlendirilmesi ve yeni yapılacak minarelerin inşası için bir takım tavsiyelerde bulunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Minare, 24 Ocak 2020 Sivrice depremi, hasar.

Investigation and Assessment of Damages in the Minarets Existing at Elazig After 24 January 2020 Sivrice Earthquake

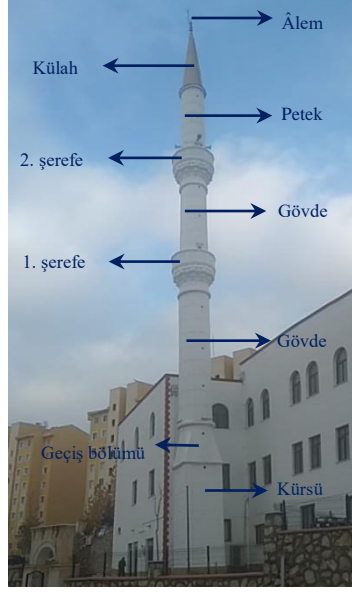
Abstract: The minarets with tall and thin architectural appearance, usually made of reinforced concrete, masonry and wood, are sometimes adjacent to the mosque and sometimes independent from it. These structures can be damaged or collapsed under earthquake ground motion due to structural factors caused by their architectural appearance. The damages in the minarets have resulted in loss of life and property. Therefore, it is important to provide earthquake reliability of the minarets. In this study, the damages occurred at the minarets in Elazig after the Mw = 6.8 magnitude earthquake that took place in Sivrice district of Elazig on January 24, 2020 were investigated. In the examined minarets, the parts which the damages occurred in were determined and the causes of these damages were evaluated. At the end of the study, some recommendations were made for the repair and strengthening of damaged minarets and the construction of new minarets.

Key words: Minaret, 24 Ocak 2020 Sivrice earthquake, damage.

1. Giriş

Minareler, insanları ibadete çağırmak için kullanılan ve genellikle uzun ve ince olarak inşa edilen kule tipi yapılardır. En eski camiler minareler olmadan inşa edilmiş olsa da, yıllar geçtikçe minareler İslam geleneğinin bir parçası haline gelmiştir. Minareler dünyanın değişik bölgelerinde farklı yüksekliklerde ve farklı malzemelerle yığma, betonarme ve ahşap olarak inşa edilmekte olup minarelerin içerisinde genellikle spiral şeklinde yükselen bir merdiven de bulunmaktadır [1]. Tipik bir minarenin bölümleri Şekil 1’de gösterilmiştir.

* Sorumlu yazar: musayetkin@firat.edu.tr. Yazarların ORCID Numarası: ¹ 0000-0002-6259-4137, ² 0000-0001-5356-6655, ³ 0000-0002-6387-5360



Şekil 1. Tipik bir minarenin bölümleri

Minareler inşa edildikleri bölgelere ve onları inşa eden ulusların kültürlerine bağlı olarak farklı geometrik özellikler göstermektedir. Bu farklılıklar, yüzyıllar sonra bile minarelerin yapıldıkları bölge ve zaman hakkında bilgiler vermektedir. Bölgelerin birbirine olan yakınlığı ve kültürel ilişkileri minarelerin mimari özelliklerini de etkilemiştir. Genel olarak Türk, Arap, İran, Hint, Mısır ve Fas minare mimarilerinden bahsedilebilir. Türk minareleri, Selçuklu ve Osmanlı minareleri olmak üzere iki kısımda incelenebilir. Selçuklu minareleri genel olarak kısa boylu olup, petek bölümü gövde bölümüne göre daha kısadır. Bunlar çoğunlukla caminin ana giriş kapısının her iki yanında tuğladan ikiz olarak yapılmıştır. Osmanlı tarzı minareler ise ince ve dairesel bir şekle sahip olup, petek ve kûlah bölümü diğer minare örneklerine göre uzundur. Bu yüzden boyları daha uzun ve zarif görünümüne sahiptirler. Osmanlı camilerinde minarelerin sayısı altıya kadar çıkabilmektedir. Tek minareler caminin sağ tarafında inşa edilirler. Arap minareleri dört köşeli taban üzerine inşa edilmiş, köşeli kule tipi yapılardır. Irak tarzı minareler çoğunlukla konik şeklinde olup, sarmal bir merdiven minareyi dıştan çevirmektedir. İran minareleri çoğunlukla silindirik bir gövdeye sahiptir ancak bu minarelerin silindirik gövdeleri ile Türk minarelerinin silindirik gövdeleri arasında biçim ve düzenleme açısından farklılıklar vardır. Suriye mimarisinde minareler genellikle kare biçimli ve küçük yüksekliklerde inşa edilmiştir. Mısır mimarisinde minareler genel olarak altta kare, ortada sekizgen ve üstte kubbe şeklinde yapılmıştır ve genelde iki şerefeye sahiptir ve üstteki şerefe alttaki şerefedenden daha küçüktür. Geçiş bölümleri genellikle süslü olarak tasarlanmaktadır. Fas tarzı minareler normalde kare olup, çoğu caminin genellikle bir minaresi vardır [2]. Şu anda dünyanın en yüksek minaresi 210 m yüksekliği ile Fas'ta bulunan II. Hasan Camisine ait minaredir (Şekil 2).



Şekil 2. Dünyanın en yüksek minaresi [3]

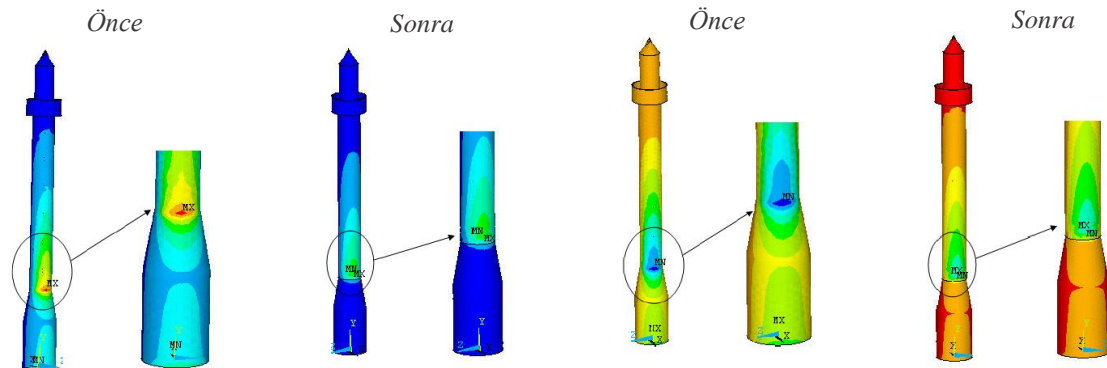
Depremler dünya yaşamını ve düzenini etkileyen en önemli doğal afetlerden biridir. Depremler meydana geldiğinde, yeryüzünde yer alan tüm yapı çeşitleri bu durumdan etkilenmektedir. Bu yapı çeşitlerinden birisi de genellikle uzun ve ince bir mimariye sahip olan minarelerdir. Minareler bu mimari görünümlerinin beraberinde getirmiş olduğu yapısal etkenler nedeniyle depremler karşısında hasar görebilmekte veya yıkılabilmektedir. Minarelerde meydana gelen hasarlar o minarenin deprem güvenilirliğini kaybetmesine ve oluşabilecek diğer depremlerde yıkılabileceğinin düşünülmesine sebep olmaktadır. Ayrıca minarelerde meydana gelen yıkımlar ise geçmişte bazı insanların hayatını kaybetmesine yol açmıştır [4]. Bu nedenle minarelerin deprem güvenilirliğinin sağlanması elzem bir durumdur. Aksi takdirde insanların gerek can gerekse mal güvenliğinin tehlikede olacağı bilinmelidir. Minarelerin depremler karşısında gösterdikleri davranış birçok araştırmacının da ilgisini çekmiş ve bu hasarların oluşumunu anlamak ve oluşabilecek deprem senaryoları karşısındaki davranışını önceden tahmin edebilmek amacıyla birçok çalışma yapmışlardır.

Doğangün ve Livaoğlu [5], Türkiye'deki yığma minarelerin yapım uygulamalarını gözden geçirmiş ve bu yapılarda gözlenen deprem hasarlarını araştırmışlardır. Deprem etkileri altında caminin âlem, külah, petek, şerefe ve minarenin geçiş bölümlerinde hasarların daha çok oluştuğunu ifade etmişlerdir (Şekil 3).



Şekil 3. Deprem etkileri altında minarelerin hasara uğradığı bölümlere örnekler [5]

Doğangün vd. [6] yapmış oldukları çalışmada, 20, 25 ve 30 m yüksekliğe sahip olacak şekilde donatısız yığma olarak modelledikleri üç temsili minarenin dinamik davranışlarını 1999 Kocaeli ve Düzce depremlerinde kaydedilen verileri kullanarak araştırmışlardır. Analizlerden elde ettikleri veriler ışığında minarenin özellikle alt bölümlerinde gerilme bakımından zorlanmaların olduğunu belirtmişlerdir. Altunışık [7] yapmış olduğu çalışmada İskender Paşa (Trabzon) tarihi taş minaresinin FRP (Fiber Reinforced Polymer) malzemesi ile güçlendirilmeden önce ve güçlendirildikten sonraki dinamik davranışını Erzincan (1992) deprem ivme kayıtlarını kullanarak analitik olarak belirlemeye çalışmıştır. Çalışmanın sonunda, maksimum ve minimum asal gerilmelerin gerek güçlendirme öncesi gerekse güçlendirme sonrası için yapmış olduğu tüm modellerde minarenin geçiş ve gövde bölümlerinde meydana geldiğini belirlemiştir (Şekil 4).



a) Maksimum asal gerilmelerin değişimi

b) Minimum asal gerilmelerin değişimi

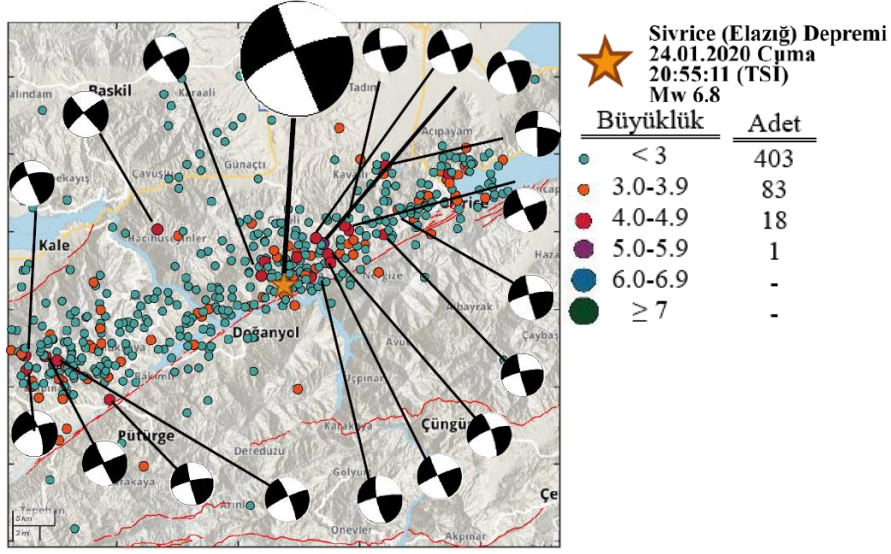
Şekil 4. İskender Paşa minaresinin güçlendirme öncesi ve sonrası için asal gerilme dağılımları [7]

Haciefendioğlu ve Birinci [8] çalışmalarında rastgele yeraltı patlamasına ve deprem kaynaklı yer hareketlerine maruz kalan yığma minarelerin stokastik sismik davranışını belirlemeye çalışmışlardır. Samsun Ulu Camisi minaresi için oluşturdukları sonlu elemanlar modeli için yaptıkları analizler neticesinde yer altı patlaması ve deprem etkilerinin minarenin stokastik davranışını önemli ölçüde etkilediğini belirtmişlerdir. Örmecioğlu vd. [9] yaptıkları çalışmada Antalya'daki Selçuklu eserlerinden olan tarihi Yivli minarenin olası bir deprem durumundaki tepkisini, oluşturdukları sonlu elemanlar modeline bağlı olarak belirlemeye çalışmışlardır. Oliveira vd. [10], farklı büyüklüklerdeki tarihi minarelerin çevresel titreşim testleri yardımıyla dinamik karakteristiklerini belirlemişlerdir. Daha sonra bu minareler için oluşturdukları sonlu eleman modelleri için elde ettikleri dinamik karakteristikleri deneysel sonuçlar ile karşılaştırmışlardır. Birinci moda ait frekans değerlerini elde etmek için, enine kesitin ataleti ve ana gövdenin yüksekliğine bağlı olarak bir formülasyon geliştirmişlerdir. Pekgökgöz vd. [11] çalışmalarında yığma minarelerin depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan düşey ard germe uygulamasının minareye etkisini belirlemeye çalışmışlardır. Ard germe uygulaması olmayan ve olan temsili bir minare için yapmış oldukları spektral ve zaman-tanım alanı analizleri neticesinde dikey ard germe uygulamasının, eksenel çekme gerilmelerini ve yanıl deplasmanları azaltmak ve yığma minarelerin depreme karşı devrilme güvenliğini sağlamak için çok etkili bir yöntem olduğunu söylemişlerdir. Uğurlu vd. [12], tarihi Şeyh Mutahhar Camisinin (Diyarbakır) Dört Ayaklı minaresinde bulunan yapısal çatlakların nedenini araştırmışlardır. Sütunlar ve zemin arasındaki ilişkiyi de göz önünde bulundurarak minarenin makro modelini oluşturup minarenin deprem etkileri altındaki davranışını araştırmışlardır. Ural ve Çelik [13], Aksaray il merkezinde yer alan tek şerefeli 7 adet yığma minarenin deprem davranışlarını incelemişlerdir. Minarelerin özellikle çekme gerilmeleri yönünden oldukça zorlandığını ifade etmişlerdir. Yetkin vd. [14], Elazığ ili Fırat Üniversitesi Mühendislik Kampüsü Camisi minaresinin dinamik karakteristiklerini Operasyonel Modal Analiz yöntemi yardımıyla belirlemişlerdir. Elde ettikleri dinamik karakteristiklere bağlı olarak minare için oluşturdukları sonlu elemanlar modelini güncellemişlerdir. Işık ve Antep [15], tarihi Kadı Mahmut Camisine (Bitlis) ait yığma minarenin farklı yükleme durumlarına göre deprem davranışını, oluşturdukları sonlu elemanlar modeli yardımıyla belirlemeye çalışmışlardır. Hökelekli [16], tarihi yığma bir minarenin esnek ve ankastre mesnetlenme durumları için deprem davranışlarını araştırmıştır. Minare için oluşturduğu üç boyutlu sonlu elemanlar modelini Operasyonel Modal Analiz Yöntemi deneysel sonuçlarına göre güncellemiştir. Güncellenmiş sonlu elemanlar modeli için minare-zemin etkileşim sisteminin yatay, yatay+düşey yer hareketleri altında lineer deprem davranışlarını, farklı zemin ve ankastre mesnetlenme durumları için karşılaştırmıştır. Türker ve Yanık [17], tarihi İlyasbey Camisinin (Aydın) çevresel titreşim testleri yardımıyla dinamik karakteristiklerini belirlemiş ve daha sonra bu karakteristikler ışığında caminin mevcut durumunu en iyi şekilde yansıtabilecek üç boyutlu sonlu elemanlar modelini oluşturmuşlardır. Oluşturdukları modelin sabit yük, rüzgâr yükü ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (2018) için DD-2 tasarım deprem yükü etkileri altında analizlerini yapmışlardır. Analizler neticesinde, bu etkiler altında minarede herhangi bir hasarın oluşmayacağını öngördüklerini ifade etmişlerdir.

Bu çalışma kapsamında, 24 Ocak 2020 tarihinde Elazığ'ın Sivrice ilçesinde meydana gelen $M_w = 6.8$ büyüklüğündeki deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılarak, hasarların oluştuğu bölümler belirlenmiş ve bu hasarların oluşum nedenleri değerlendirilmiştir. Çalışmanın sonunda, mevcut hasarlı minarelerin onarım ve güçlendirmesi için ve yeni yapılacak minarelerin inşası için bir takım önerilerde bulunulmuştur.

2. 24 Ocak 2020 $M_w = 6.8$ Sivrice (Elazığ) Depremi

24 Ocak 2020 tarihinde saat 20:55'te (TSİ) merkez üssü Sivrice (Elazığ) olan orta büyüklükte bir deprem meydana gelmiştir. Depremın odak noktasına en yakın olan yerleşim yeri Sivrice ilçesine bağlı olan Çevrimtaş köyüdür. Meydana gelen bu deprem Çevrimtaş köyünden başlayarak Elazığ'ın Sivrice ilçesi ve diğer ilçeleri ile birlikte daha birçok ilde hissedilmiştir. Ana şok sonrasında 1 gün içerisinde 1.0-5.1 arasındaki büyüklüklerde 505 artçı deprem kaydedilmiştir (Şekil 5) [18].



Şekil 5. Ana şok sonrasında 1 gün içerisinde bölgede meydana gelen depremlerin lokasyonları [18]

Meydana gelen ana şok için 6 sismoloji istasyonu tarafından paylaşılan depremin yeri ve büyüklüğü bilgileri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Depremin karakteristikleri

Deprem Kayıt İstasyonları	Büyüklik (M_w)	Derinlik (km)	Boylam	Enlem
Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD)	6.8	8.06	39.06	38.36
Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi	6.5	5.0	39.24	38.37
European-Mediterranean Seismological Centre (Fransa)	6.8	15.0	39.22	38.37
German Research Center for Geosciences	6.8	10.0	39.20	38.36
Instituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (Roma)	6.8	11.0	39.12	38.39
United States Geological Survey	6.7	11.9	39.08	38.39

Deprem sonrasında Elazığ’da 37 kişi ve Malatya’da 4 kişi olmak üzere toplamda 41 kişi hayatını kaybetmiştir. Ayrıca konut, iş yeri, ibadethane, hayvan barınağı gibi birçok yapıda hasarlar meydana gelmiş bu yapıların bir kısmı da yıkılmıştır (Şekil 6). Hasar tespit birimlerince yapılan incelemeler neticesinde Elazığ ili için bina hasar durumları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Elazığ ili için hasar tespit değerlendirme sonuçları* [19]

	Bina Sayısı	Bağımsız Bölüm Sayısı
Acil Yıkılacak	404	1656
Ağır Hasarlı	6092	14653
Orta Hasarlı	1391	13440
Az Hasarlı	14208	63851
Hasarsız	23307	98546
Yıkık	188	290

* Verilen bu sayılar Nisan 2020 için kesinleşen hasar tespit değerlendirme sonuçlarıdır.



a) Çevrimtaş Köyü [20]

b) Mustafa Paşa Mah.

c) Sivrice (Merkez)

d) Dilek Sitesi

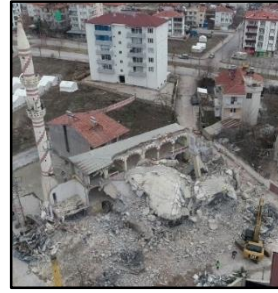
Şekil 6. Deprem sonrasında Elazığ ilinde yıkılan bazı binalar

3. Bulgular ve Tartışma

24 Ocak 2020 tarihinde meydana gelen şiddetli deprem sonrasında konut, iş yeri, hayvan barınağı gibi yapıların yanı sıra birçok cami ve minarelerde de hasarlar meydana gelmiştir. Depremde hasar gören cami ve minareler incelendiğinde, camilerin bir kısmında ciddi hasarlar olmasına rağmen (Şekil 7), bu camilerin minarelerinde herhangi bir hasar gözlenmemiş veya hafif hasar oluşmuş iken, bazı camilerde de bu durumun tam tersi meydana gelmiştir. Minareleri hasarlı olan camiler için eğer camide herhangi bir hasar yoksa veya az hasarlı ise ilgili minare onarılmıştır/onarılacaktır. Ancak, ağır hasarlı olan Beyzade Efendi, Çatal Çeşme, Gayret, Hacı Osman, Kubbeli ve Sivrice Merkez camileri, minareleri ile birlikte yıkılmıştır/yıkılacaktır. Elazığ ili için depremden etkilenen minarelere ait özellikler Tablo 3'te, bu minarelerin lokasyonları Şekil 8'de verilmiştir.



a) Beyzade Efendi Camisi



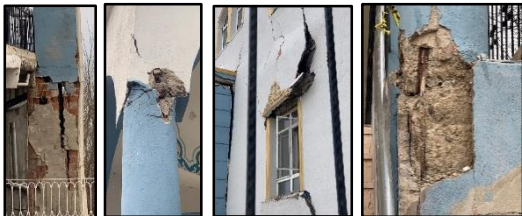
b) Çatal Çeşme Camisi



c) Hacı Osman Camisi



e) Gayret Camisi



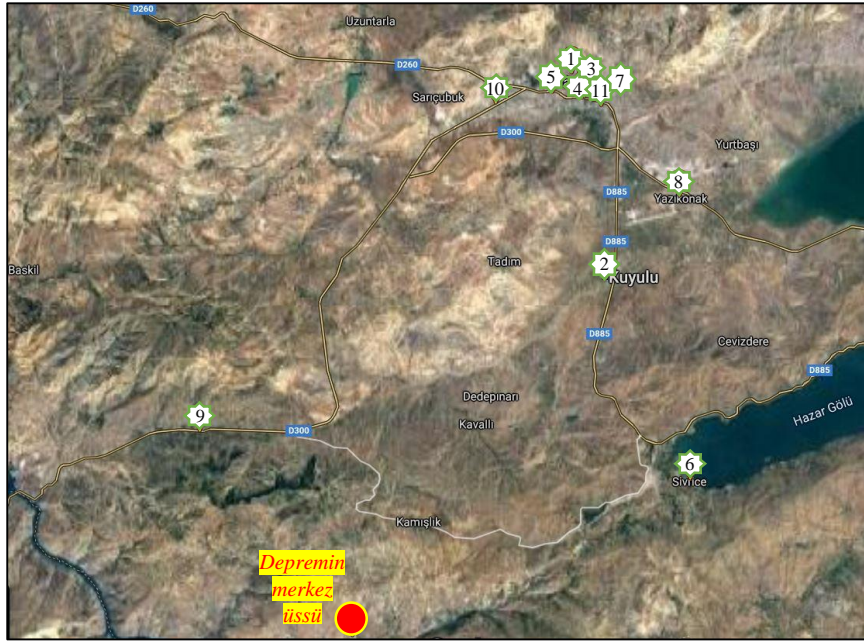
d) Sivrice Merkez Camisi

Şekil 7. Yıkılmış/yıkılacak olan camilere örnekler

Tablo 3. Elazığ ili için depremden etkilenen minarelere ait özellikler

Numara*	Cami Adı	Adres	Yapım Yılı	Yapı Taşıyıcı Sistemi	Mevcut Durumu	Şerefe Sayısı	Derz Kalınlığı (cm)	Taban Kesiti (m)	Minare Yüksekliği (m)
1	Kubbeli	İzzet Paşa Mah.	1960	Yığma	Yıkıldı	1	1.5	2.0x2.0	30.5
2	Kuyulu	Kuyulu Köyü	1974	Yığma	Yıkılacak	1	2.0	2.0x2.0	26.5
3	Hacı Osman	Mustafa Paşa Mah.	1975	Yığma	Yıkıldı	2	2	2.0x2.0	33.3
4	Yolüstü	Rüstem Paşa Mah.	1986	Yığma	Minare hasarlı	2	1.5	2.2x2.2	27.4
5	Beyzade Efendi	Olgunlar Mah.	1987	Yığma	Yıkıldı	2	2.0	2.0x2.0	27.0
6	Sivrice Merkez	Sivrice/Gölbaşı Mah.	1994	Betonarme	Yıkıldı	2	-	-	-
7	Çatal Çeşme	Çatal Çeşme Mah.	1995	Yığma	Yıkıldı	2	1.5	2.0x2.0	29.5
8	Seyyid Hıdır Baba	Yazıkönak Belediyesi	2002	Yığma	Minare hasarlı	2	2.0	2.0x2.0	29.9
9	Eyüb Sultan	Koçharmanı Köyü	2007	Yığma	Minare hasarlı	1	2.0	2.0x2.0	20.3
10	TEDAŞ	Cumhuriyet Mah.	-	Yığma	Minare hasarlı	2	1.5	2.0x2.0	31.1
11	Gayret	Kızılay Mah.	-	Yığma	Yıkılacak	1	2.0	2.0x2.0	23.5

* Verilen numaralar Şekil 8'de minare lokasyonlarını belirtmek için kullanılmıştır.

**Şekil 8.** Hasar gören minarelerin lokasyonları [21]

Tablo 3 incelendiğinde, minarelerin yapım yıllarının 1960-2007 arasında olduğu ve yapı taşıyıcı sistemi olarak, Sivrice Merkez Camisi minareleri (2 adet betonarme minare) hariç yığma olarak tasarlandığı belirlenmiştir. Minarelerin şerefe sayılarında ise çeşitlilik bulunmakta olup bazı minareler tek şerefeden bazı minareler ise iki şerefeden oluşmaktadır. Minarelerin taban bölgesi kare kesitli olup, tüm minareler için yaklaşık olarak 2.0 x 2.0 m² boyutlarındadır ve minarelerin toplam yükseklikleri ise 20.3-33.3 m aralığındadır.

Minarelerde meydana gelen hasarlar;

- Beyzade Efendi, Gayret, Kuyulu ve TEDAŞ Camisi minareleri için yalnızca külah bölümünde bir göçmenin olduğu görülmüştür (Şekil 9.a,d).
- Sivrice Merkez camisinin betonarme olan iki minaresinden yalnızca birinin âlem bölümünde hasarın olduğu belirlenmiştir (Şekil 9.e).

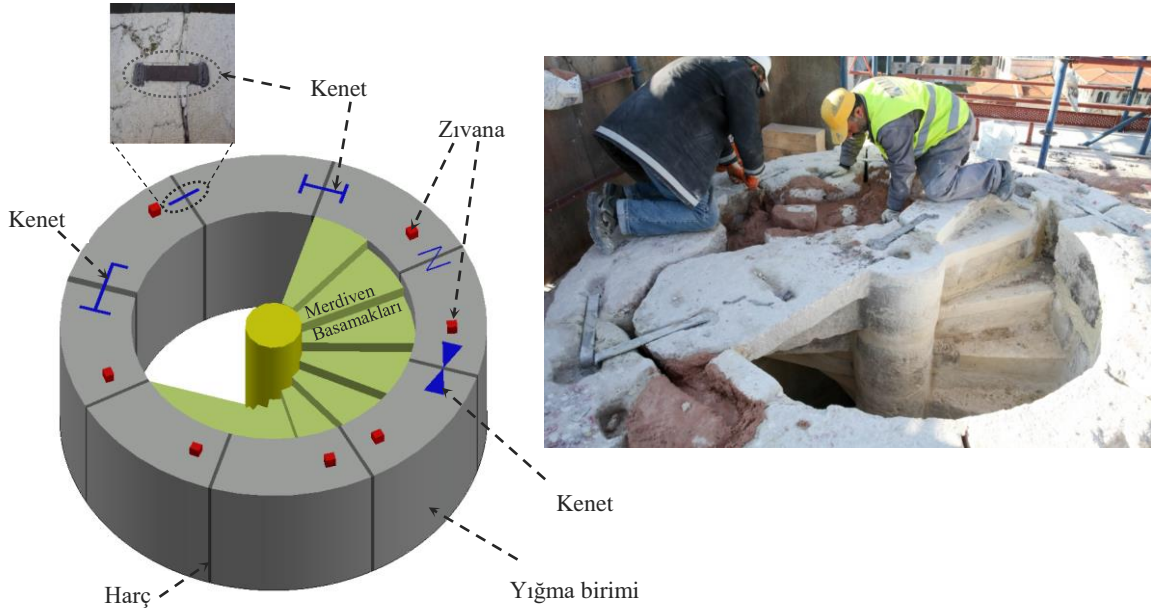
- Eyüb Sultan Camisi minaresinde de Sivrice Merkez camisinde olduğu gibi âlem bölümünde bir bozulma olduğu belirlenmiş ancak âlem bölümüne yakın yerlerdeki taşların göçtüğü ve ayrıca geçiş bölümü ve kürsü bölümünde de çatlakların olduğu gözlenmiştir (Şekil 9.f).
- Seyyid Hıdır Baba Camisi minaresinde külah bölümünde göçmelerin ve kürsü bölümünde çatlakların olduğu tespit edilmiştir (Şekil 9.g).
- Yolüstü Camisi minaresinde külah bölümündeki göçmelerin ve kürsü bölümündeki çatlakların yanı sıra 2. şerefenin de hasara uğradığı görülmüştür (Şekil 9.h).
- Çatal Çeşme Camisi minaresinde âlem bölümündeki bozulmanın yanı sıra 1. şerefenin alt ve üst bölümlerinde de hasarların meydana geldiği belirlenmiştir (Şekil 9.i).

Doğangün ve Livaoğlu [5]'nin çalışmalarında belirttikleri minarelerin külah, âlem, kürsü ve geçiş bölümlerinde hasarların yoğunlaştığı, Oliveira vd. [10]'nin çalışmalarında değindikleri petek bölümlerinde hasarların artan kütleyle bağlı olarak oluştuğu, Ural ve Çelik [13] ile Işık ve Antep [15] tarafından yapılan çalışmalarda belirttikleri "minarelerin çekme gerilmeleri açısından zorlandığı" vurgusu Elazığ'da deprem sonrasında minarelerde meydana gelen hasarlarda gözlenmiştir. Ayrıca, minarelerin kürsü bölümünden gövdeye geçişteki kesit değişimi sebebiyle geçiş bölümlerinde hasarın oluşabileceği birçok araştırmacı tarafından ifade edilmiştir [22-25]. Geçiş bölümü hasarı yalnızca Eyüb Sultan Camisi minaresinde gözlenmiş olup, diğer minarelerde böyle bir hasara rastlanmamıştır. Minareler konusunda yapılan çalışmalardan da anlaşılacağı üzere, bu yapılarda oluşan hasarlar çoğunlukla çekme gerilmeleri kaynaklı olarak ortaya çıkmaktadır. Gerek tasarım aşamasında gerekse onarım ve güçlendirme aşamalarında, çekme gerilmelerinin karşılanmasına yönelik tedbirlerin alınması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada incelenen hasarlı minarelerin hiçbirinde söz konusu tedbirlere uyulmamıştır. Mühendislik hizmeti görmüş tarihi minarelerde deprem ve benzeri yüklere bağlı olarak yapıda oluşabilecek çekme gerilmelerini karşılamak amacıyla yığma birimleri arasında kenet ve zıvana uygulamasına rastlamak mümkündür.



Şekil 9. Deprem sonrasında minarelerde meydana gelen hasarlara örnekler

Hasar gören minarelerin hasar şekillerine ve düzeylerine bağlı olarak onarım ve güçlendirme uygulamaları yapılabilir ya da yıkımlarına karar verilebilir. Minarelerin şerefelerinde meydana gelen hasarlar ve malzeme kayıpları aslına uygun malzeme ve teknikle restore edilmelidir. Derzlerde ve yığma birimlerinde meydana gelen boşluklar, çatlaklar ve yarıklar detaylı bir şekilde incelenmelidir. Hasarın seviyesinin az olduğu durumlarda ilgili bölümler renk ve dokuya uygun olarak hazırlanacak bir harç ile onarılmalıdır. Onarım işlemlerinde çimento esaslı harç ve sönmüş kireç harcı kullanılabilmesi gibi kimyasal katkılı esnek harçlar veya fiber takviyeli çimento esaslı harçlar da tercih edilebilir [26-30]. Hasar seviyesinin ileri düzeyde olduğu bölümlerde düşey doğrultuda zıvana ve yatay doğrultuda kenet bağlantı elemanları kullanılarak (Şekil 10) ilgili kısımlar çekme gerilmelerine karşı güçlendirilebilir [31-32]. Minarelerin genel stabilitesini sağlamak amacıyla petek ve külah bölümleri arasındaki geçiş bölümünde galvanizli çelik çekme çemberi uygulaması da araştırmacılar tarafından tavsiye edilen güçlendirme yöntemlerinden birisidir. Sesigür vd. [33], çelik çekme çemberi uygulaması için birleşimlerde yüksek mukavemetli bulonlar kullanılarak ve bu bulonların sıkılması yoluyla çekme çemberinin boşluğu alınarak bir miktar ön gerilme verilebileceğini tavsiye etmişlerdir. Mortezaei vd. [34] ise çelik çekme çemberinin yanı sıra külah bölümündeki hasarların en aza indirgenebilmesi için külah bölümünün yüzeylerinde fiber takviyeli polimer malzemelerin kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.



Şekil 10. Tipik bir minare kesiti için kenet ve zıvana uygulaması ve mevcut bir minarede uygulaması [35-36]

Yeni yapılacak yığma minarelerde yukarıda tavsiye edilen harç tiplerinin kullanılması uygundur. Ayrıca yığma minarelerde kenet ve zıvana gibi bağlantı elemanlarının veya fiber takviyeli kompozitlerin kullanımı, minarelerin çekme gerilmelerine karşı mukavemetini artıracaktır. Mevcut yapı yönetmeliklerine uygun olarak tasarlanıp inşa edilen betonarme minarelerde ise Sivrice Merkez camisinin minarelerinde de gözlendiği gibi kayda değer yapısal hasarların oluşumu beklenmemektedir. Ayrıca, yeni yapılacak minarelerde sismik izolatör kullanımı, minarenin hasar görülebilirliğini azaltmak için uygulanabilecek çözümlerdendir. El-Attar vd. [37] minarelerin temelinde yüksek sönümlü kauçuk yastıkların yerleştirilmesinin yapı esnekliğini ve sönümlemesini artırdığını ifade etmişlerdir.

4. Sonuçlar

24 Ocak 2020 tarihinde saat 20:55'te (TSİ) merkez üssü Elazığ ilinin Sivrice ilçesi olan bir deprem meydana gelmiştir. Depremin büyüklüğü AFAD tarafından $M_w = 6.8$ olarak açıklanmıştır. Orta büyüklükteki bu deprem sonrasında 41 kişi hayatını kaybetmiş ve birçok kişi yaralanmıştır. Ayrıca konut, iş yeri, ibadethane, hayvan barınağı gibi birçok yapıda hasarlar meydana gelmiş ve bu yapıların bir kısmı da yıkılmıştır. Depremden etkilenen yapı çeşitlerinden birisi de uzun ve ince bir mimariye sahip olan minarelerdir. Bu çalışma kapsamında, deprem sonrasında Elazığ ilindeki minarelerde oluşan hasarlar araştırılmıştır. İncelenen minarelerden bir tanesi betonarme,

diğerleri ise yığma minarelerdir. Betonarme minarenin sadece âlem bölümünde hasar oluşmuştur. Yığma minarelerdeki hasarlar çoğunlukla âlem, külah ve petek bölümlerinde ve bazı minarelerde ise, şerefe, kürsü ve geçiş bölümlerinde olduğu gözlenmiştir. Bu hasarların en büyük oluşum sebebi çekme gerilmeleri kaynaklıdır ve minarelerin bu gerilmelere bağlı olarak hasara uğradığı birçok araştırmacı tarafından da ifade edilmiştir. Bu nedenle, gerek tasarım aşamasında gerekse onarım ve güçlendirme aşamalarında, minarelerin çekme gerilmelerine karşı mukavemetlerinin artırılması büyük önem arz etmektedir. İncelenen minarelerin hiçbirinde söz konusu tedbirlere uyulmamıştır. Minarelerdeki hasarlar göz önünde bulundurularak;

- Şerefelerde meydana gelen hasarlar ve malzeme kayıpları aslına uygun malzeme ve tekniklerle onarılmalıdır.
- Hasar seviyesinin az olduğu yığma minarelerde ilgili bölümler mevcut mimari görünüm göz önünde bulundurularak, renk ve dokuya uygun olarak hazırlanacak bir harç ile onarılmalıdır. Hasar seviyesinin ileri düzeyde olduğu bölümlerde ise düşey doğrultuda zıvana ve yatay doğrultuda kenet bağlantı elemanları kullanılarak ilgili kısımlar çekme gerilmelerine karşı güçlendirilebilir.
- Petek ve külah bölümleri arasındaki geçiş bölümünde galvanizli çelik çekme çemberi uygulaması ve külah bölümünün yüzeylerinde fiber takviyeli polimer malzemelerin kullanılması, bu bölümlerin çekme gerilmelerine karşı dayanımını artıracaktır.

Yeni yapılacak minarelerde ise;

- Yığma minarelerin güçlendirilmesi ile ilgili yukarıda verilen tavsiyelere uygun olarak, yeni yapılacak yığma minareler tasarlanır ve inşa edilirse, bu yapılarda çekme gerilmelerine bağlı olarak oluşabilecek hasarlar azaltılacaktır.
- Betonarme minarelerin mevcut yönetmelik kurallarına bağlı kalınarak tasarlanması ve inşa edilmesi halinde, Sivrice depremi gibi orta büyüklükteki depremlerde bu tip yapılarda ciddi yapısal hasarların oluşumu beklenmemektedir.
- Ayrıca, minarelerin hasar görebilirliğini azaltmak için bu yapılara sismik izolatörlerin yerleştirilmesi uygulaması yapılabilir.

Kaynaklar

- [1] Pekgökgöz RK, Taş G. Ayarlı kütle sönümleyicili yüksek minarelerin dinamik analizi. Gazi Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi 2017; 32(1): 265-282.
- [2] Dehghanian K. Comparison of scaled real strong motions and Turkish earthquake design spectrum for modern reinforced concrete minarets. MSc, Istanbul Technical University, Istanbul, Turkey, 2015.
- [3] URL-1, <https://tr.pinterest.com/pin/600738037773974308/>. Erişim: 27.01.2021.
- [4] Köse F. Arşiv belgelerine göre Edirnekapı Mihrimah Sultan camii tamirleri ve onarımları. Vakıf Restorasyon Yıllığı 2014; 9: 24-32.
- [5] Doğançün A, Livaoglu R. Traditional turkish masonry monumental structures and their earthquake response. International Journal of Architectural Heritage 2007; 1(3): 251-271.
- [6] Dogangun A, Acar R, Sezen H, Livaoglu R. Investigation of dynamic response of masonry minaret structures. Bulletin of Earthquake Engineering 2008; 6(3): 505-517.
- [7] Altunışık AC. Dynamic response of masonry minarets strengthened with Fiber Reinforced Polymer (FRP) composites. Natural Hazards and Earth System Sciences 2011; 11(7): 2011-2019.
- [8] Hacıfendioğlu K, Birinci F. Stochastic dynamic response of masonry minarets subjected to random blast and earthquake-induced ground motions. The Structural Design of Tall and Special Buildings 2011; 20(6): 669-678.
- [9] Örmecioğlu HT, Akan AE, Beeson ST, Özmen C. Yivli Minare'nin yapısal analizi ve sismik davranışı. Uluslararası Teknolojik Bilimler Dergisi 2011; 3(3): 52-61.
- [10] Oliveira CS, Çaktı E, Stengel D, Branco M. Minaret behavior under earthquake loading: The case of historical Istanbul. Earthquake Engineering and Structural Dynamics 2012; 41(1): 19-39.
- [11] Pekgökgöz RK, Gürel MA, Mammadov Z, Çili F. Dynamic analysis of vertically post-tensioned masonry minarets. Journal of Earthquake Engineering 2013; 17(4): 560-589.
- [12] Uğurlu MA, Günaslan SE, Karaşin A. Dört Ayaklı Minare'nin modellenmesi ve yapısal analizi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2017; 8(2): 413-422.
- [13] Ural A, Çelik T. Tek şerefeli yığma minarelerin deprem davranışı ve dinamik analizi. Aksaray University Journal of Science and Engineering 2018; 2(1): 13-27.
- [14] Yetkin M, Erkek H, Calayır Y. Determining dynamic characteristics of reinforced concrete minarets and updating of their finite element models using environmental vibration data, Firat University Turkish Journal of Science & Technology 2018; 13(1): 93-98.
- [15] Işık E, Antep B. Ahlat İlçesinde Yer Alan Tarihi Yığma Minarenin Yapısal Analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi 2018; 7(1): s.46-56.

- [16] Hökelekli E. Yapı-Zemin Etkileşiminin Tarihi Yığma Minarelerin Deprem Davranışına Etkisi. Dicle Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Dergisi 2020; 11(2): 825-838.
- [17] Türker T, Yanık Y. İlyasbey Camisi'nin yapısal davranışının çevresel titreşim testi ve sonlu eleman yöntemleriyle incelenmesi. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi 2020; 8(2): 1431-1453.
- [18] URL-2, <https://deprem.afad.gov.tr/depremdokumanlari/1825>. Erişim: 27.01.2021.
- [19] Elazığ Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü. "24 Ocak 2020 depremi için kesinleşmiş hasar tespit sonuçları", Elazığ, 2020.
- [20] URL-3, http://www.imo.org.tr/resimler/dosya_ekler/c95549114fbc3f5_ek.pdf?tipi=79&turu=X&sube=3. Erişim: 27.01.2021.
- [21] URL-4, <https://www.google.com.tr/maps>. Erişim: 27.01.2021.
- [22] Calp C. Tarihi minarelerin dinamik özellikleri ve deprem performansları. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2018.
- [23] Çelik LF. Yivli minarenin depreme karşı dayanıklılığının araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Akdeniz Üniversitesi, Antalya, Türkiye, 2019.
- [24] Duman C. Yüksekliğin ve şerefe sayısının yığma minarelerin dinamik davranışlarına etkisi. Yüksek Lisans Tezi, Adıyaman Üniversitesi, Adıyaman, Türkiye, 2020.
- [25] Bilgiç EA. Diyarbakır Hoca Ahmed (Aynı minare) camii restorasyon önerisi. Yüksek Lisans Tezi, Dicle Üniversitesi, Diyarbakır, Türkiye, 2020.
- [26] Aköz AH. Deprem etkisi altındaki tarihi yığma yapıların onarım ve güçlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye, 2008.
- [27] Pineda P, Robador MD, Perez-Rodriguez JL. Characterization and repair measures of the medieval building materials of a Hispanic-Islamic construction. Construction and Building Materials 2013; 41: 612-633.
- [28] Işık N, Halifeoğlu FM. Tarihi Diyarbakır camilerinde tespit edilen taşıyıcı sistem hasarları ile güçlendirme önerileri. Anadolu 2. Uluslararası Uygulamalı Bilimler Kongresi 2019; s.359-375.
- [29] Preciado A, Santos JC, Silva C, Ramírez-Gaytán A, Falcon JM. Seismic damage and retrofitting identification in unreinforced masonry Churches and bell towers by the september 19, 2017 ($M_w=7.1$) Puebla-Morelos earthquake. Engineering Failure Analysis 2020; 118, 104924.
- [30] Bayraktar A, Hökelekli E. A cost-effective FRCC technique for seismic strengthening of minarets. Engineering Structures 2021; 229, 111672.
- [31] Kasapgil ME. Eski eserlerde, yığma duvarların, kubbelerin, tonozların ve temellerin enjeksiyon reçineleri ve ankraj sistemleriyle güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu 2007, s.215-218.
- [32] Turk AM, Cosgun C. Seismic behaviour and retrofit of historic masonry minaret. Gradevinar 2012; 64(1): 39-45.
- [33] Sesigür H, Çelik OC, Çılı F. Ahî Çelebi Camisinin onarımı ve güçlendirilmesi. Tarihi Eserlerin Güçlendirilmesi ve Geleceğe Güvenle Devredilmesi Sempozyumu 2007, s.231-238.
- [34] Mortezaei A, Kheyroddin A, Ronagh HR. Finite element analysis and seismic rehabilitation of a 1000-year-old heritage listed tall masonry mosque. The Structural Design of Tall and Special Buildings 2012; 21(5): 334-353.
- [35] Karabork T, Kocak Y. New metal connectors developed to improve the shear strength of stone masonry walls. Structural Engineering and Mechanics 2014; 50(1): 121-135.
- [36] URL-5, <http://www.ucuncunesil.com/2016/02/11/4101>. Erişim: 27.01.2021.
- [37] El-Attar AG, Saleh AM, Zaghaw AH. Conservation of a slender historical Mamluk-style minaret by passive control techniques. Structural Control and Health Monitoring: The Official Journal of the International Association for Structural Control and Monitoring and of the European Association for the Control of Structures 2005; 12(2): 157-177.