

Türkiye'deki 2023 Depremi Sonrası Viyadük Hasar Değerlendirmesi*

Türkiye'nin güneyindeki ana ulaşım güzergâhı olan Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Otoyolu üzerinde 14 viyadük, ve her iki yönde de üç şeritli trafik akışı bulunmaktadır. Bu 14 viyadükten beş tanesi, 2023 yılında meydana gelen 7,8 büyüklüğündeki depremde hasar görmüştür.

2000 yılından hemen önce inşa edilen bu beş viyadük, alçak dağların arasında yer alan, deprem davranışı açısından ilginç tasarım özelliklerine sahip, büyük ve etkileyici yapılardır. Hasar gören köprüler, 0,4 g'lik en büyük yer ivmesine (PGA) (yaklaşık 500 yıllık tekerrür periyodu) göre tasarlanmasına karşın öngörülenden çok daha fazla zemin sarsıntısına maruz kalmıştır. Bu hasar gören beş viyadüğün tümüne en yakın serbest saha kuvvetli yer hareketi istasyonunu olan 2712 numaralı istasyon, 0,607 g'lik bir PGA kaydetmiştir. Fay kırılma hattı boyunca bulunan diğer serbest saha kuvvetli yer hareketi istasyonları daha da yüksek PGA değerleri göstermiştir (USGS'den), ancak bunlar TAG Otoyolu'na veya hasar gören köprülerin hiçbirine yakın değildi (Şekil 1). Bu nedenle, mevcut ölçüm verileri ile söz konusu beş köprünün hem birbirlerine hem de 2712 numaralı istasyona olan yakınlıkları dikkate alındığında, her birinin tasarımda öngörülen değerlerin yaklaşık %50 üzerinde yüklemeye maruz kaldığı sonucuna ulaşılmıştır.

Şekil 1, Mw 7,8 büyüklüğündeki deprem için USGS tarafından tanımlanan fay kırılma hattının hasar gören beş köprüye ne kadar yakın olduğunu ve TAG Otoyolu'nun (Şekil 1'de O-52) bu hattı nasıl takip edip paralel olarak ilerledikten sonra tekrar uzaklaştığını göstermektedir. Fay hattına bu yakınlık, bu beş viyadüğün neden hasar gördüğünü ve TAG Otoyolu üzerindeki diğer dokuz viyadüğün neden hasar görmediğini

Viaduct Damage Assessment After the 2023 Earthquake in Turkey

Fourteen viaducts are situated along the Tarsus-Adana-Gaziantep (TAG) Highway, which is the main transportation route in Southern Turkey. Three lanes of traffic flow in each direction. Of the 14 viaducts, five were damaged during the 2023 Mw 7.8 earthquake.

Built just before the year 2000, all five viaducts are large and impressive structures set in the low mountains, with interesting designs for earthquake response. Originally designed for a peak ground acceleration (PGA) of 0.4 g (with return period of about 500 years), the damaged bridges were loaded with significantly more ground shaking than they were designed for.

açıklamaktadır; büyük bir depremde, PGA, deprem merkez üssüne olan mesafeden ziyade fay kırılma hattına olan dik (normal) mesafe ile azalır. Ayrıca, hasar gören bu köprülerin tümü kırılan fay hattına 225 metre) mesafede bulunduğundan, bu köprüler için yakın fay deprem koşulları mevcuttur.

Beş büyük köprüden ikisi olan Atatürk ve Turgut Özal Viyadükleri, hem ölçek hem de sismik tasarım özellikleri açısından birbirine çok benzerdir. Bu nedenle, geliştirilen sismik güçlendirme (retrofit) çözümleri de benzer olmuştur.

Atatürk ve Turgut Özal Viyadükleri için sismik güçlendirme tasarımları, PONTM Mühendislik A.Ş. bünyesinde görev yapan ve proje sorumlusu mühendis olarak görev alan Cenani Özkaya tarafından gerçekleştirilmiştir. Tipik bir köprü yapısının sismik güçlendirme tasarımı, genellikle gelecekte meydana gelmesi olası ancak muhtemelen hiçbir zaman gerçekleşmeyecek büyük bir deprem dikkate alınarak yapılır ve köprü-

nün özgün tasarımında öngörülmemiş yükleri kapsar. Ancak bu proje, halihazırda öngörülen maksimum depreme (MCE) maruz kalmış bir köprü için sismik güçlendirme tasarımıdır. Önemli olan, bu iki büyük köprü yapısı hasar görmüş ancak göçmemiştir; ayrıca özgün tasarımda dikkate alınan PGA değerlerinden daha yüksek değerlere göre yürütülen sismik güçlendirme çalışmaları sayesinde gelecekte kullanılmak üzere korunmuştur. Hem (1) orijinal tasarım detaylarının hem de (2) inşaatın yüksek kalitesi, şubat 2023'te yaşanan 7,8 büyüklüğündeki deprem sırasında bu viyadüklerin ayakta kalmasına katkı sağlayan önemli unsurlardır.

Güçlendirme çalışmaları SNH İnşaat Şirketi tarafından yürütülmekte olup, viyadüklerin sahibi Türkiye Cumhuriyeti Ulaş-

(*) Cenani Özkaya, Doktora, Robert K. Dowell, Doktora, PE ve Faruk Yıldız, 2 Eylül 2025

tırma ve Altyapı Bakanlığına bağlı Karayolları Genel Müdürlüğü Otoyollar Dairesidir.

Deprem Bilgileri

6 Şubat 2023 tarihinde, yerel saatle sabah 04.00'te, Türkiye'nin güneyinde 7,8 büyüklüğünde bir deprem meydana gelmiş ve bunu yalnızca altı saat sonra 7,5 büyüklüğünde ikinci bir deprem izlemiştir. İlk deprem, Türkiye'de şimdiye kadar kaydedilen en büyük deprem olup, Kaliforniya için tanımlanan maksimum deprem (MCE) ile uyumludur. Eski Richter ölçeğine çevrildiğinde, bu depremin büyüklüğü 8,1'dir; bu, ünlü 1906 San Francisco depremi ve Kaliforniya'da gelecekte meydana gelmesi beklenen "büyük deprem" ile aynı büyüklüktür. Ayrıca, 2023 Türkiye depremini oluşturan sağ yanal doğrultu atımlı fay mekanizması, Kaliforniya'daki geçmiş ve beklenen depremler için San Andreas Fayı boyunca gözlenen mekanizma ile aynıdır. Türkiye'nin, Caltrans'ın sismik köprü tasarımı şartnamelerini ve uygulamalarını yakından takip etmesi nedeniyle, bu çok büyük deprem sırasında Türkiye'deki büyük köprü ve viyadüklerin performansı Kaliforniya açısından özel bir önem taşımaktadır. Nitekim Kaliforniya'daki altyapı henüz bu ölçekte bir depremle test edilmemiştir (eyaletteki birçok köprü, 1906 depreminden sonra inşa edilmiştir).

Türkiye'de meydana gelen 7,8 büyüklüğündeki deprem, ülkemizin en aktif ikinci fay sistemi olan ve bu iki büyük viyadük açısından dikkate alınması gereken Doğu Anadolu Fay Zonu (EAFZ) boyunca meydana gelen ani bir kayma sonucu oluşmuştur.. Bu, 550 km uzunluğunda, Anadolu ve Arap tektonik plakalarını ayıran bir sağ yanal doğrultu atımlı fay sistemidir. Bu iki plaka, birbirlerine göre yılda yaklaşık 10 ila 12 mm hızla hareket etmektedir. 2023 depremi sırasında ölçülen maksimum 12.192 metrelik bağıl yer değiştirme ve levha hareketinin bağıl hızının üst değeri kullanıldığında, bu, böyle büyük bir depremin tekerrür periyodunun 1.017 yıl olduğu anlamına gelir. Bu nedenle, bölgede yaklaşık her 1.000 yılda bir büyük bir deprem beklenmektedir; Büyük bir deprem MÖ 30'da, ardından MS 1114'te meydana gelmiş ve en son deprem 2023 yılında gerçekleşmiştir. Bu üç tarihsel kayıtlar arasındaki ortalama süre 1.027 yıldır ve bu olaylar arasındaki yaklaşık 1.000 yıllık süre ile uyumludur.

Bölgedeki son büyük depremin MS 1114 yılında meydana geldiği bilindiğinden, zemin ve kayaç mukavemetindeki doğal değişkenlikleri hesaba katarak, her iki yönde yaklaşık 150 yıllık bir zaman aralığıyla, bu son büyük depremin 2114 yılında gerçekleşeceği tahmin edilebilir. Bu fay boyunca kayma meydana geldiğine göre, 1.000 yıl boyunca biriken gerilme enerjisi serbest kalmış ve tektonik levha arayüzündeki kayalar aniden kırarak tekrar büyük bir deprem oluşturacak kadar gerilme enerjisinin birikmesi için yaklaşık 1.000 yıl daha geçmesi gerekecektir.

Atatürk Viyadüğü

130 m'den fazla yüksekliğe sahip Atatürk Viyadüğü, inşa edildiğinde Türkiye'nin en yüksek viyadüğüydü ve bu büyüklükte bir depreme maruz kalan dünyanın en yüksek köprüsüdür. Köprü o kadar yüksektir ki bulut ve sis çoğu zaman üst yapının altında oluşmaktadır.

Viyadük, kolon tepe noktasında kulakçık/protrüzyonlar hariç 9 m x 6 m ana çekirdek kesit boyutlarına ve 0,60 m et kalınlığına sahip, içi boş dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar tarafından taşınmaktadır. Kolon genişlemeleri, kesit boyutlarını kolon tepesinden tabanına doğru doğrusal olarak artırmakta; ana düşey donatılar bu genişleyen bölgeleri takip ederek iç moment kolunu ve dolayısıyla moment kapasitesini, moment talebinin en yüksek olduğu kolon tabanına doğru artırmaktadır. Eşlik eden makalede incelenen diğer üç hasarlı köprüde olduğu gibi, bu kolonlarda da ana boyuna donatı kesintileri bulunmakla birlikte, bu viyadükte olumsuz bir etki gözlenmemiştir. En büyük betonarme temeller, planda 22 m x 34 m boyutlarında olup 6 m kalınlığındadır. Sekiz açıklıklı bu viyadüğün toplam uzunlu

luğu 802 m olup, açıklık uzunlukları 70,7 m ile 110 m arasında değişmektedir. Köprü, 1.200 m yarıçaplı yatay kurp üzerinde yer almakta ve %3 boyuna eğime sahiptir. Kolon yükseklikleri 130 m ile 9,62 m arasında değişmektedir. Köprü uçlarında genişleme derzleri bulunmaktadır.

Yan yana yerleştirilmiş üst yapılar, 9 m genişliğinde ve 4,9 m derinliğinde hava koşullarına dayanıklı çelik U kirişlerden oluşmaktadır; toplam genişlikleri 17,5 m olup, aralarında 4,5 m net boşluk bulunmaktadır. Kirişler itme sürme yöntemiyle

Station 2712, the closest free-field strong motion station to all five of these damaged viaducts, recorded a PGA of 0.607 g (see full references with the online article).

Other free-field strong motion stations along the fault rupture line showed even larger PGA values (from USGS), but these were not close to the TAG Highway, or any of the damaged bridges (Fig. 1). Hence, based on the available measured data, and how close these five bridges are to each other and to Station 2712, it is reasonable to expect that they were all overloaded by about 50% beyond what they were designed for.

Figure 1 shows how close the USGS-defined fault rupture line for the Mw 7.8 earthquake is to the five damaged bridges, and how the TAG Highway (O-52 in Fig. 1) turns and follows it, in parallel, before turning away again.

yerleştirilmiştir ve 39,5 cm kalınlığında yerinde dökme betonarme tabliye plakası ve sürüş yüzeyi için asfalt beton kaplamaya sahiptir. Çelik kirişler, ön gerilmeli beton enine kiriş ve betonarme tek kolonlu ayaklarla desteklenmektedir. Bu nedenle, betonarme kolonlar hem boyuna hem de enine doğrultuda konsol görevi görür; tabanlarında büyük betonarme temeller ve devrilmeyi önlemek için temellerin altında mikro kazıklar bulunur; ayrıca Nurdağ bölgesindeki tüm viyadükler boyunca mevcut olan karstik boşluklardan kaynaklanan sorunları ortadan kaldırır. 5, 6 ve 7 numaralı ayaklardaki en yüksek kolonlar keson temellere sahiptir.

Orijinal sismik tasarım, köprünün her iki ucundaki genişleme derzlerine ve boyuna kuvveti karşılayan 2, 3, 4, 5 ve 8 numaralı ayaklara eklenmiş çok sayıda darbe sönümleyici tamponları içeriyordu; diğer ayaklarda ise boyuna hareketi engelleyen çelik kirişler ve kayar çanak mesnetler bulunuyordu. Bu özgün, elastik ve yüksek kuvvet kapasiteli tamponlar, çekme ve basınç altında çalışacak şekilde tasarlanmış olup, deprem sonrasında viyadüğe kendi kendine merkezleme davranışı kazandırmayı amaçlıyordu. 6 ve 7 numaralı ayaklardaki yüksek kolonlar, yüklenici tarafından özel olarak tasarlanmış bir çelik bağlantı detayı kullanılarak boyuna doğrultuda yönlendirilmekteydi ancak, sismik zemin sarsıntısı viyadüğün tasarımında öngörülen değerden önemli ölçüde daha büyük olduğu için tamponlar ve genişleme derzleri hasar görmüş ve tamponlar depremden sonra işlevini yitirmiştir. Mesnetlerin kayma yüzeyleri de hasar görmüş ve artık işlevsel değildir. Enine doğrultuda köprü, çelik sismik desteklerle hareket etmemesi için sabitlenmişti.

Tamponların kuvvet-yer değiştirme tepkisi başlangıçta doğrusaldır, ancak yer değiştirmeler arttıkça eğimi de artar; dolayısıyla rijitliği artan bir yay karakteri sergilemektedir. Çelik üst yapı, kolonlar, temeller ve başlık kirişi depremde hasar görmemiştir. Viyadüğe bağlanan her iki yaklaşım yolu oturmuş, köprüye bitişik ağaçlar ise zemin içinde aşağı yamaç yönünde yer değiştirmiştir. Betonarme tabliye, genişleme derzleri civarında darbe etkileri nedeniyle lokal olarak hasar görmüş; asfalt beton kaplama burkulmuş ve sürüş yüzeyinde çok sayıda çukur, tümsek ve dalgalanma oluşmuştur. Bu durum trafiği önemli ölçüde olumsuz etkilemiştir.

Bu elastik tamponlar artık üretilmediğinden ve büyük, içi boş dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar ile büyük betonarme temellerin güçlendirilmesinin son derece zor olması nedeniyle, gelecekte oluşabilecek sismik kuvvetleri altyapı üzerinde azaltmak amacıyla tüm kolon başlarına sismik izolatörler yerleştirilmesine karar verilmiştir. Bu uygulama, yapının boyuna doğrultudaki periyodunu 2,6 saniyeden 3,45 saniyeye

uzatarak maksimum yapısal ivmeleri ve dolayısıyla altyapıya etkiyen sismik kuvvetleri azaltmıştır. Ayrıca, daha kısa ve rijit kolonların, daha uzun ve esnek kolonlara kıyasla daha fazla sismik yük almaması sağlanmıştır. Enine doğrultuda ise yapı periyodu yalnızca sınırlı bir artış göstererek 4,06 saniyeden 4,20 saniyeye yükselmiştir. Köprünün boyuna doğrultusunda ayrıca viskoz sönümleyiciler eklenmiştir. Nihai sismik güçlendirme tasarımı, doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler (NTHA) kullanılarak doğrulanmış ve tasarım esas alınan maksimum deprem (MCE) altında üstyapı, başlık kirişleri, kolonlar ve temellerin doğrusal elastik davranışta kaldığı gösterilmiştir. Bu viyadük, fay kırılma hattına 75 m mesafede bulunmaktadır.

Turgut Özal Viyadüğü

Turgut Özal Viyadüğü, uç genişleme derzlerinde ve daha kısa kolonlara sahip 2. ve 5. ayaklarda elastik, yüksek kuvvet kapasiteli tamponların kullanılması bakımından Atatürk Viyadüğü ile büyük benzerlik göstermektedir. Bu viyadük de Atatürk Viyadüğü ile aynı boyutlarda yan yana iki çelik üst yapıya sahip, çok büyük bir yapıdır; üst yapısı betonarme tabliye plakası ve sürüş yüzeyi için asfalt beton kaplamadan oluşmaktadır. Benzer şekilde, Turgut Özal Viyadüğü'nün üst yapısı, ön gerilmeli betonarme başlık kirişi ve hem boyuna hem de enine doğrultuda konsol görevi gören içi boş dikdörtgen kesitli betonarme kolonlar tarafından taşınmaktadır ancak, Atatürk Viyadüğü'nden farklı olarak, kolon genişlemeleri ve düşey donatı kesintileri yoktur. 2.600 m yarıçaplı ve %3 boyuna eğimli bir yatay kurp üzerindedir.

Betonarme kolon kesit detayları Atatürk Viyadüğü ile aynı olsa da, Turgut Özal Viyadüğü'nün en yüksek kolonu 76 m olup, bu Atatürk Viyadüğü'nün 130 m kolon yüksekliğinden önemli ölçüde daha kısadır. Ayrıca, Turgut Özal Viyadüğü'nün 424 m olan toplam uzunluğu, Atatürk Viyadüğü'nün 802 m uzunluğundan çok daha azdır. İç ayaklarda ve kenar ayaklarda kayar çanak mesnetler kullanılmıştır. Bu kayma yüzeyleri, yüksek kuvvet kapasiteli elastik tamponların yer değiştirme kapasitesiyle tutarlı bir yer değiştirme kapasitesine sahiptir; bu da tasarımın iyi olduğunu göstermektedir. 3 ve 4 numaralı ayaklardaki yüksek kolonların boyuna hareketi, çelik kirişler tarafından sınırlandırılmıştır. Bu nedenle deprem sırasında tüm ayaklar boyuna yükleri eşit şekilde paylaşmamıştır.

Elastik darbe tamponlarında, genişleme derzlerinde ve tüm kayıcı yüzeylerde hasar meydana gelmiş olup, bu elemanlar artık işlevini yitirmiştir. Atatürk Viyadüğü'nde olduğu gibi, sismik güçlendirme tasarımı kolon başlarına sismik izolasyon sağlanması ve köprünün boyuna doğrultusunda viskoz sönümleyiciler eklenmesi esasına dayanmaktadır. Bu uygu-

lama, yapının periyodunu uzatarak altyapıya etkiyen sismik kuvvetleri azaltmış ve gelecekte meydana gelebilecek dikkate alınan maksimum deprem (MCE) etkisi altında üstyapı, başlık kirişi, kolonlar ve temellerin doğrusal elastik davranış göstermesini sağlamıştır. Bu nedenle altyapı elemanlarında ilave bir güçlendirmeye gerek duyulmamıştır. Söz konusu viyadük, fay kırılma hattına 225 m mesafede yer almaktadır. Temeller altında 25 m uzunluğunda mikrokazıklar uygulanmıştır.

Doğrusal olmayan zaman tanım alanında analizler (NTHA), kolon başlarına yerleştirilen sismik izolasyon ile ilave edilen viskoz sönümleyicilerin birlikte kullanılmasının, Türkiye Deprem Yönetmeliği'ne göre yaklaşık 2.500 yıl tekerrür periyoduna sahip gelecekteki maksimum dikkate alınan deprem (MCE) etkisi altında viyadüğün ayakta kalmasını sağladığını göstermiştir. Taban hareketleri için 0,983 g en büyük yer ivmesi (PGA) değeri kullanılmış, ayrıca düşey ivmeler de bu analizlere dahil edilmiştir. Statik ve dinamik analizler için Larsa 4D programı kullanılmış, kesit moment-eğrilik analizlerinde ise XTRACT programından yararlanılmıştır. Herhangi bir kolon için, köprü üstyapısı ve başlık kirişi kaynaklı sabit yüklerden doğan eksenel kuvvet kolon boyunca sabit olmakla birlikte, kolonun kendi ağırlığının eklenmesiyle toplam eksenel kuvvet kolon yüksekliği boyunca değişmektedir. Bu durum, kolon yüksekliği boyunca farklı seviyelerde moment-eğrilik analizlerinin yapılmasını gerektirmiştir. Daha küçük ve tipik köprü yapılarında ise, kolonun kendi ağırlığından kaynaklanan eksenel kuvvet değişimi genellikle ihmal edilebilir. Bu durumda, kesit geometrisi ve/veya donatı detayları kolon boyunca değişmediği sürece, tek bir moment-eğrilik analizi tüm kolon yüksekliğini temsil etmek için yeterli olmaktadır.

Detaylı analizler, gerçekleştirilen bu sismik güçlendirme ile çelik üstyapı, öngörülen betonarme başlık kirişleri, betonarme kolonlar ve temellerin, dikkate alınan maksimum deprem (MCE) etkisi altında doğrusal elastik davranışta kaldığını göstermektedir. Bu nedenle söz konusu taşıyıcı elemanlar için ilave bir güçlendirme gerekmemiştir. Sismik izolasyon sistemi olarak tüm kolon başlarında küresel kayıcı (eğri yüzeyli, sürtünmeli sarkaç tipi) mesnetler kullanılmış, bu sayede gelecekteki bir depremde boyuna doğrultudaki kuvvetlerin tüm ayaklar arasında yaklaşık eşit dağılımı sağlanacaktır. İzolasyon sistemi kuvvetleri azaltırken yer değiştirmeleri artırdığından, yeterli yer değiştirme kapasitesinin sağlanması kritik olmuştur. Toplam 14 adet zaman tanım alanında analiz gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde üstyapının dönme kütle atalet etkileri de dikkate alınarak, bu etkinin tek kolonlu ayak sistemleri için önemli olduğu, Robert K. Dowell tarafın-

dan yapılan bir çalışmada da ortaya konmuştur.

Malzeme testleri, beton ve çeliğin orijinal tasarım projelerinde belirtilen değerlerle tutarlı (veya daha yüksek) mukavemet değerlerine sahip olduğunu göstermiştir. Hem Atatürk hem de Turgut Özal Viyadüklerinde, sismik izolasyon sistemi olarak kullanılan sürtünmeli sarkaç mesnetlerin dinamik sürtünme katsayısı 0,07 ve eğrilik yarıçapı 5 m olarak belirlenmiştir. Atatürk Viyadüğü'nde, bazı ayaklarda ve kenar ayaklarda ilave elastomerik mesnetler kullanılmış; bu mesnetler köprünün doğal periyodunu kontrol etmek amacıyla boyuna doğrultuda çalışacak şekilde düzenlenmiştir. Her iki viyadükte de, kısa kolonların yüksek deprem kuvvetlerinden korunabilmesi amacıyla, enine doğrultudaki hareketi kısıtlayan çapraz elemanlar kaldırılmış ve böylece enine sismik yer değiştirmeye izin verilmiştir.

Yazarlar Hakkında

Cenan Özkaya, lisans, yüksek lisans ve doktora derecelerini Orta Doğu Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden (Türkiye) almıştır. PONTEM Mühendislik Şirketi'nde Teknik Müdür olarak görev yapmaktadır.

Robert K. Dowell, lisans derecesini San Diego State Üniversitesi (SDSU) İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden, yüksek lisans ve doktora derecelerini ise California Üniversitesi San Diego (UCSD) Yapı Mühendisliği programından almıştır. Lisanslı bir inşaat mühendisi (PE) olup, SDSU'da Yapı Mühendisliği Profesörüdür.

Faruk Yıldız, lisans derecesini Yıldız Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nden (Türkiye) almıştır ve Türkiye Cumhuriyeti Karayolları Genel Müdürlüğü Otoyollar Dairesi Başkanlığı'nda çalışmaktadır.

Kaynaklar

Dowell, R. K. (2023). Gözlemlenen Yapısal Köprü Hasarlarına İlişkin Keşif Raporu: 2023 Mw 7.8 Türkiye Depremi. SDSU Yapı Mühendisliği Araştırma Projesi, Rapor No. SERP - 23/03, Mart 2023.

Dowell, R. K. (2023). 6 Şubat 2023 Türkiye Depremi (Mw 7.8) Sonucu Oluşan Köprü Hasarına İlişkin Gözlemler, STRUCTURE Dergisi, Ekim (Yıllık Köprü Sayısı)

Ozkula, G., Dowell, R.K., Baser, T., Lin, J.L., Numanoglu, O.A., Ilhan, O., Olgun, C.G., Huang, C.W., Uludag, T.D. (2023). 6 Şubat 2023 Türkiye Deprem Serisinden Saha Keşifleri ve Gözlemler, Doğal Afetler (2023) 119:663-700.

Kaynak: www.structuremag.org/article/viaduct-damage-assessment-after-the-2023-earthquake-in-turkey/