

Investigation of Reinforced School Buildings Before the February 6, 2023 Earthquakes and Their Post-Earthquake Conditions: The Kahramanmaraş Province Example

Hakan Akbaba ¹ , Muhammet Ömer Sezer ² , Mert Yaba ³ , Taner Kılıç ³ , Mehmet Metin Köse ⁴ , Ali Demir ³ , Halil Nohutcu ³ 

¹ Uşak University, Banaz Vocational School of Higher Education, Department of Construction, 64200 Uşak, Türkiye

² İzmir Governorate Investment Monitoring and Coordination Directorate, 35000 İzmir, Türkiye

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 45140 Manisa, Türkiye

⁴ Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye

Keywords

Reinforcement, School buildings, Earthquake safety, Reinforced concrete, Reinforcement curtain

Highlights

- * The effect of reinforcement
- * School buildings after earthquakes
- * Earthquake resistance in educational building

Aim

Determining the effectiveness of buildings that were reinforced before the earthquake

Location

Kahramanmaraş, Türkiye

Methods

The effectiveness of reinforcement works carried out on school buildings prior to the earthquake was evaluated through on-site observation and implementation projects

Results

Buildings can withstand earthquakes without damage if they are reinforced, and this process must be carried out by qualified personnel

Supporting Institutions

TÜBİTAK

Financial Disclosure

Supported by TÜBİTAK under project number 124M080

Peer-review

Externally peer-reviewed

Conflict of Interest

The authors have no conflicts of interest to declare

How to cite

Akbaba H., Sezer M.Ö., Yaba M., Kılıç T., Köse M.M., Demir A., Nohutcu H., 2026. Investigation of Reinforced School Buildings Before the February 6, 2023 Earthquakes and Their Post-Earthquake Conditions: The Kahramanmaraş Province Example, Turk Deprem Arastirma Dergisi 8(1), 128-140, DOI:10.46464/tdad.1811337.

Manuscript

Research Article

Received: 27.10.2025

Revised: --

Accepted: 04.11.2025

Printed: 30.04.2026

DOI

10.46464/tdad.1811337



Content of this journal is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International Non-Commercial License

Corresponding Author

Hakan Akbaba

Email: hakan.akbaba@usak.edu.tr



Figure
Seismic fault lines in the study area Kahramanmaraş

6 Şubat 2023 Depremleri Öncesinde Güçlendirilmiş Okul Binalarının İncelenmesi ve Deprem Sonrası Durumları: Kahramanmaraş İli Örneği

Hakan Akbaba¹ , Muhammet Ömer Sezer² , Mert Yaba³ , Taner Kılıç³ , Mehmet Metin Köse⁴ , Ali Demir³ , Halil Nohutcu³

¹ Uşak Üniversitesi, Banaz Meslek Yüksek Okulu, İnşaat Bölümü, 64200 Uşak, Türkiye

² İzmir Valiliği Yatırım İzleme ve Koordinasyon Başkanlığı, 35000 İzmir, Türkiye

³ Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, Türkiye

⁴ Kahramanmaraş Sütçü İmam Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye

ÖZET

Bu çalışma, 6 Şubat 2023 depremlerinin meydana geldiği (Pazarlık Mw 7.7 ve Elbistan Mw 7.6) Kahramanmaraş ilinde bulunan Milli Eğitim Bakanlığı'na bağlı, daha önce güçlendirme uygulaması yapılmış okul binalarını kapsamaktadır. Çalışma kapsamında güçlendirme uygulaması yapılmış hedef okul binaların, depremleri atlama, hasarsız, az/orta hasarlı, ağır hasarlı veya göçme durumlarına göre ne ölçüde başarılı olduğu, uygulanan güçlendirme projeleri ve yerinde yapılan arazi çalışmaları yardımıyla tespit edilerek, güçlendirme çalışmalarının etkinliği belirlenmiştir. Deprem sonrası bölgede yapılan incelemelerden, güçlendirme uygulaması yapılmış binaların depremi hasarsız olarak atlattığı, bunun yanında bahse konu okul binalarının genel olarak depremden hemen sonra afet ve koordinasyon merkezleri olarak kullanıldıkları görülmektedir. Çalışma ile depremden önce güçlendirme yapılmayan bazı okul binalarının ciddi hasarlar alarak ağır hasarlı duruma geldiği, bazılarının kısmen yıkılmış olduğu tespit edilmiştir. Güçlendirilmiş binaların büyük çoğunluğunun ise hasar görmemiş ya da minimum seviyede hasar gördüğü belirlenmiştir. Sonuç olarak; mevcut yapılar için betonarme perde ile güçlendirme yönteminin, olası depremlerde binanın hasar almasını çok büyük ölçüde engellediği açıkça görülmektedir.

Anahtar Kelimeler

Güçlendirme, Okul binaları, Deprem güvenliği, Betonarme, Güçlendirme perdesi

Öne Çıkanlar

- * Güçlendirmenin etkisi
- * Eğitim yapılarında deprem dayanımı
- * Deprem sonrası okul binaları

Makale

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.10.2025

Düzeltilme: --

Kabul: 04.11.2025

Basım: 30.04.2026

DOI

10.46464/tdad.1811337

Sorumlu yazar

Hakan Akbaba

E-posta:

hakan.akbaba@usak.edu.tr

Investigation of Reinforced School Buildings Before the February 6, 2023 Earthquakes and Their Post-Earthquake Conditions: The Kahramanmaraş Province Example

Hakan Akbaba¹ , Muhammet Ömer Sezer² , Mert Yaba³ , Taner Kılıç³ , Mehmet Metin Köse⁴ , Ali Demir³ , Halil Nohutcu³

¹ Uşak University, Banaz Vocational School of Higher Education, Department of Construction, 64200 Uşak, Türkiye

² İzmir Governorate Investment Monitoring and Coordination Directorate, 35000 İzmir, Türkiye

³ Manisa Celal Bayar University, Faculty of Engineering and Natural Sciences, Department of Civil Engineering, 45140 Manisa, Türkiye

⁴ Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Engineering and Architecture, Department of Civil Engineering, 46100 Kahramanmaraş, Türkiye

ABSTRACT

This study covers school buildings affiliated with the Ministry of National Education located in the province of Kahramanmaraş, where the earthquakes of February 6, 2023 (Pazarlık Mw7.7 and Elbistan Mw7.6) occurred, and which had previously undergone reinforcement. Within the scope of the study, the extent to which the target school buildings that had undergone reinforcement measures were successful in withstanding the earthquakes, categorized as undamaged, slightly/moderately damaged, severely damaged, or collapsed, was determined through the reinforcement projects implemented and on-site field studies, thereby assessing the effectiveness of the reinforcement efforts. Post-earthquake inspections in the region revealed that buildings that had undergone reinforcement measures survived the earthquake without damage. Additionally, it was observed that the aforementioned school buildings were generally used as disaster and coordination centers immediately after the earthquake. The study found that some school buildings that had not been reinforced before the earthquake suffered serious damage and were severely damaged, while some were partially destroyed. In reinforced buildings, it was determined that the vast majority were undamaged or suffered minimal damage. In conclusion, it is clearly evident that the reinforced concrete wall reinforcement method for existing structures significantly prevents building damage in potential earthquakes.

Keywords

Reinforcement, School buildings, Earthquake safety, Reinforced concrete, Reinforcement curtain

Highlights

- * The effect of reinforcement
- * School buildings after earthquakes
- * Earthquake resistance in educational building

Manuscript

Research Article

Received: 27.10.2025

Revised: --

Accepted: 04.11.2025

Printed: 30.04.2026

DOI

10.46464/tdad.1811337

Corresponding Author

Hakan Akbaba

Email:

hakan.akbaba@usak.edu.tr

1. GİRİŞ

Deprem gibi doğa kaynaklı tehlikelerin meydana gelmesini veya oluşma sıklığını azaltmak mümkün değildir. Bu konuda yapılabilecekler, bugün ve gelecekte oluşabilecek hasar ve kayıpları azaltmaya yönelik çalışmalar olmalıdır. Dünya üzerinde bulunan aktif fay hatlarına yakın bölgeleri etkisine alan büyük depremler, insanlar için en zararlı ve ölümcül doğa kaynaklı afetlerin başında gelir. Son birkaç yılda, meydana gelen yıkıcı depremler binlerce insanın hayatını kaybetmesine, yaralanmasına ve sayısız binanın hasar görmesine veya çökmesine neden olmuştur.

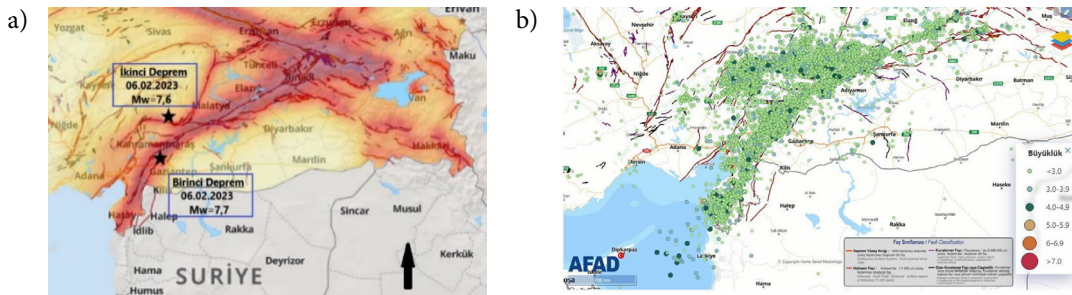
Ülkemizdeki mevcut bina stokunun büyük bir kısmı, düşük ve orta yükseklikteki betonarme yapılardan oluşmaktadır. Bu binaların yaklaşık %50'sinin 2000 yılından önce inşa edildiği ve bu nedenle 1998 ve sonraki yıllarda oluşturulan yönetmeliklere uygun olmadığı tahmin edilmektedir. Bu durum bahse konu binaların depreme karşı dayanıklılığı konusunda şüphe oluşturmaktadır. Geçmiş yıllarda yaşanan deprem olayları bu şüphelerde ne kadar haklı olduğunu kanıtlar niteliktedir (Küçükaslan ve Altan 2021, Yakut ve Binici 2023). Deprem denildiğinde ilk akla gelen ve yüz yılın felaketi olarak ifade edilen 6 Şubat 2023 tarihinde Türkiye saati ile 04:17'de ve 13:24'te merkez üssü Pazarcık (Kahramanmaraş) ve Elbistan (Kahramanmaraş) olan Mw: 7.7 ve Mw: 7.6 büyüğündeki depremler sonucu resmi rakamlara göre 53 bin 537 kişi hayatını kaybetmiş, 107 bin 213 kişi yaralanmış ve 2023 TBMM Deprem Araştırma Komisyonu'nun raporuna göre depremlerin toplam maliyeti Türkiye'de 148.8 milyar dolar olmuştur (TBMM 2023, İçişleri Bakanlığı 2024).

Doğu Anadolu Fay Zonu üzerinde gerçekleşen bu depremler Hatay, Kahramanmaraş, Adıyaman illeri başta olmak üzere 10 ilimizi etkilemiş, çok sayıda binanın yıkılarak enkaz haline gelmesine neden olmuştur. Depremler sonrası sahada yapılan incelemeler neticesinde binalarda bu derece büyük hasarların

oluşmasındaki etkili faktörlerin yetersiz kenetlenme ve aderans sorunları, taşıyıcı sistem elemanlarında kullanılan malzemelerin (beton ve donatı) kalitesinin kötü olmasından kaynaklı yapı hasarları, tasarım hatalarından kaynaklı (yumuşak kat düzensizliği, etriye sıklaştırması yapılmaması, komşu katlar arası rijit düzensizlikler) yapı hasarları, zemin kaynaklı sıvılaşma sonucu oluşan yapı hasarları ve genel olarak işçilik kalitesinin kötü olmasından kaynaklandığı belirtilmiştir (AFAD 2023, İTÜ 2023, MCBÜ 2023, Toprak ve diğ. 2023).

Araştırmaya konu olan 6 Şubat depremleri Türkiye'nin en etkin ve diri fay sistemlerinden biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu'na bağlı olarak gerçekleşmiştir (Şekil 1a) (Avgın ve Köse 2023). Anadolu ve Arap plakaları arasındaki sınırı oluşturan Doğu Anadolu Fay Zonu ile Kuzey Anadolu Fay Zonu, Anadolu Levhasının batıya hareketini karşılamaktadır. Yapılan araştırmalar kayma hareketi hızının yıllık ortalama 11 ± 2 mm mertebesinde olduğunu ortaya koymuştur. Doğu Anadolu Fay Zonu, kuzeydoğuda Karlıova kesişim noktasından (Kargapazarı) başlayarak, Çelikhân'ın batısına kadar uzanmaktadır. Bu noktada iki kola ayrılan fayın güney kolu Gölbaşı havzası ve Pazarcık kuzeyinden güneybatıda Türkoğlu kavşağına kadar devam etmektedir. Türkoğlu'nun güneyinde sağa sıçrayan fay Sağlık, Kocagöl ve Amik ovalarını batıdan sınırlayarak devam ederek Kırıkhan'ın güneyinde saçılarak sonlanmaktadır. Çelikhân'ın batısından ayrılan kuzey kol ise Güneydoğu Toros Dağ Kuşağının morfolojisine uyarak kuzeye dışbükey büküm oluşturmaktadır. Bu kol Sürgü parçası, Çardak parçası ile Göksundan Güney Batıya dönerek Savrun, Çökak ve Toprakkale parçalarından oluşmaktadır (SBB 2023).

6 Şubat 2023 günü Pazarcık ve Elbistan merkezli dermeler sonrası, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığının (AFAD) 13 Mart 2023 tarihine kadar bölgede yaptığı ölçümlerden 17 bin'e yakın artçı depremin meydana geldiği tespit edilmiştir (Şekil 1b) (AFAD 2023).



Şekil 1: a) 6 Şubat 2023'de Doğu Anadolu Fay Zonu'na bağlı olarak meydana gelen depremlerin merkez üsleri, b) Artçı depremlere ait ($3.0 \geq Mw$) (06.02.2023- 13.03.2023 arası) veriler (AFAD2023)

Figure 1: a) The epicenters of the earthquakes that occurred on February 6, 2023, along the East Anatolian Fault Zone, b) Data on aftershocks ($3.0 \geq Mw$) (between February 6, 2023, and March 13, 2023) (AFAD2023)

Ülkemiz topraklarının büyük bir kısmının deprem tehlikesi altında olmasının yanında, özellikle nüfusun da deprem potansiyeli yüksek fay hatlarına yakın bölgelerde yoğunlaşması, bu bölgelerdeki mevcut binalara öncelik verilerek deprem güvenliğinin sorgulanmasını beraberinde getirir. Bu sayede gerekli tedbirlerin alınarak olası depremde meydana gelecek can ve mal kayıplarının en aza indirilmesi amaçlanır. Kamuya

ait binalar arasında okul ve hastane binaları öncelikli olarak değerlendirilmesi gereken binalardandır.

17 Ağustos 1999 Marmara depreminde, 12 Kasım 1999 Düzce depreminde ve 1 Mayıs 2003 Bingöl depreminde ilkökuller binalarında meydana gelen hasarlar, büyük ölçüde betonarme olarak inşa edilen bu yapıların incelenmesi ve gerektiğinde

hızla ve etkili bir şekilde güçlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymuştur (Elnashai 2000, Sezen 2003, Çağatay 2005).

Binaların doğa kaynaklı afetlere karşı dayanıklılığını artırmak ve bu tür olaylar sırasında öncelikle can güvenliğini sağlamak son derece önemlidir. Binanın yapım amacı ve ekonomik ömrü göz önüne alınarak, hizmet verdiği süre boyunca karşılaşılabileceği durumlar için beklenen performans düzeyini de karşılaması gerekir. Bu yapıların başında kamu ve okul binaları yer almaktadır.

Tipik olarak, standart projeler olarak tasarlanan okul binaları, bazı farklılıklarla birlikte benzer özellikleri paylaşır. Birçok eğitim yapısı dikdörtgen bir kat planına sahiptir. Ülkemizdeki okul binalarının büyük çoğunluğu betonarme olarak inşa edilmekte ve taşıyıcı sistemleri düzgün formdadır. Bu nedenle depremde diğer binalara oranla daha az harar görebilirler. Son yıllarda yaşanan büyük ölçekli depremler sonucu ortaya çıkan ağır bilanço, binalarımızın daha tasarım ve konumu itibarıyla jeolojik yapıya uygun inşa edilmediğini gözler önüne sermektedir. Ülkemiz coğrafi konumu ve meydana gelen/gelmesi muhtemel tektonik hareketlilik sonucu oluşacak depremler göz önüne alındığında yeni inşa edilecek binaların yönetmeliğe uygun şekilde tasarlanması, imalatların da sıkı denetimlerle gerçekleştirilmesi son derece önemlidir. Yine yaşanan depremler mevcut binaların da mevcut performanslarının güçlendirme yolu ile artırılmasının gerekliliğini gözler önüne sermiştir. Özellikle kamu binalarının yönetmelikte belirlenmiş performans seviyelerini karşılayarak, olası bir afet sonrası kamuya hizmet verecek şekilde performansa sahip olması gerekmektedir. Okul binaları yaşanan birçok depremde, bölgede korunma, konaklama ve koordinasyon hizmetlerinin yürütülmesinde öncelikli olarak kullanılmıştır.

Kamu binaları özelinde sismik güçlendirilme çalışmaları son yıllarda önemli ivme kazanmış olup, bütçe imkânları ve temin edilen ödenekler nispetinde depreme karşı daha güçlü kamu binaları oluşturulması için çalışılmaktadır. Yapıya perde duvar eklenmesi, kolon mantolama, Karbon Fiber Takviyeli Polimer (CFRP) vb. yöntemlerle gerçekleşen güçlendirme çalışmalarının, akademik anlamda tetkiki, laboratuvar deneyleri ve proje verilerin çeşitli programlarla simülasyonu sonucunda etkili olduğunu kanıtlayan çok sayıda çalışma mevcuttur (Altın 2009, Balık ve Bahadır 2019, Raza ve diğ. 2019, Zaiter ve Lau 2021).

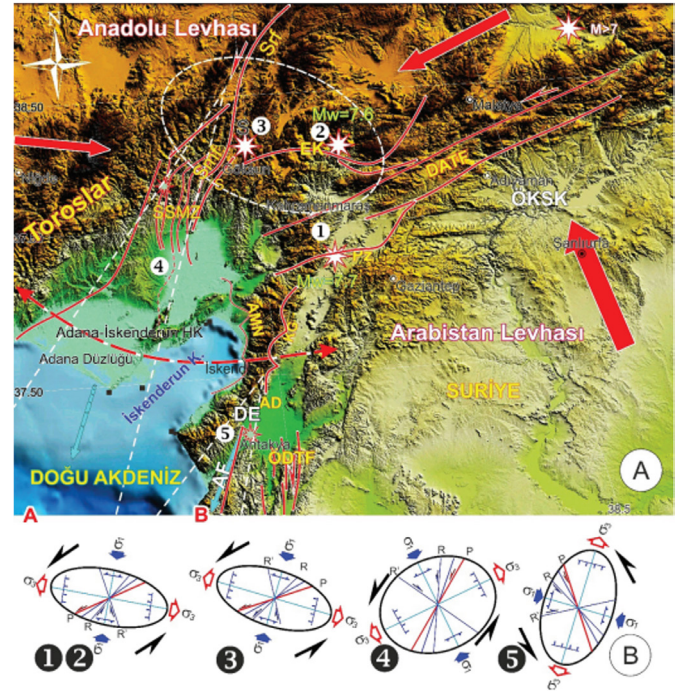
Ülkemizde temel eğitim düzeyinde gerçekleşen eğitim-öğretim faaliyetleri Millî Eğitim Bakanlığı'na bağlı olarak anaokulu, ilköğretim, ortaokul ve lise binalarında gerçekleştirilmektedir. Millî Eğitim istatistikleri 2023-2024 verilerine göre toplam 75 bin 467 okulda, 18 milyon 710 bin 265 öğrencimizin örgün eğitim aldığı belirtilmektedir (MEB 2024).

2. KAHRAMANMARAŞ İLİ DEPREMSELLİĞİ VE ZEMİN YAPISI

Kahramanmaraş bölgesi ve çevresi, şiddet derecesi yüksek, yıkıcı depremler için yüksek potansiyele sahip bir bölgede yer almaktadır. Bu bölge ve çevresi, tektonik yapısı nedeniyle önemli sismik aktivite ile karakterize edilen risk düzeyi çok yüksek deprem bölgesi içinde yer almaktadır. Kahramanmaraş kentsel yerleşim alanının bir kısmı ve sanayi tesislerinin çoğu alüvyon yelpazeler üzerinde yer almaktadır. 6 Şubat 2023'te

meydana gelen depremlerde, toprak zemin özelliğine sahip olan bu durum, depremlerde zemin büyütmesine neden olması ve yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olduğu kesimlerin sıvılaşma potansiyeli taşınması nedeniyle, bu zeminler üzerine inşa edilen yapılarda önemli hasar ve yıkımlara neden olmuştur (Avgın ve diğ. 2024).

Yapılan araştırmalar Antakya-Maraş bölgesinin depremselliğini üç aktif fay kuşağının etkilediğini belirtmişlerdir. Doğu Anadolu Fay Zonu'nun (DAFZ) güney ucu, Ölü Deniz Fayı Zonu'nun (ÖDFZ) kuzey ucu ve Kıbrıs Yayı. Bu nedenle bölge sismik risk seviyesi derecelendirmesinde en yüksek risk bölgesine sınıflanır (Abrahamczyk ve diğ. 2013). Yaklaşık 2 milyon yıl öncesine dayanan aktivitesiyle bilinen Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), yer yer 5 ila 25 kilometre genişliğinde aktif bir deformasyon kuşağı olarak, Bingöl Karlıova'dan başlayarak Elâzığ, Malatya, Adıyaman, Kahramanmaraş ve Hatay Bölgesi boyunca devam etmektedir. Bölgede önemli deprem tehlikesi taşıyan bir diğer fay zonu Ölü Deniz Fay Zonu'dur (ÖDFZ). Bu fay, Kızıldeniz'den kuzeye doğru devam eder ve Hatay bölgesinin kuzeyindeki Karasu Vadisi'nin güney ucundan kuzeydoğu yönünde Gaziantep'e kadar uzanır. Arap ve Afrika tektonik levhaları arasındaki sınırı belirleyen transform nitelikte bir fay sistemidir. Genel olarak Kahramanmaraş ili, jeolojik olarak Doğu Toros sıradağları içerisinde yer almakta olup, önemli oranda doğrudan atımlı fayların yer aldığı bir coğrafyada bulunmaktadır (TMMOB 2021, Ünlügenç ve diğ. 2023).



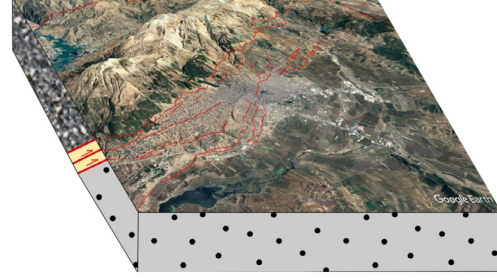
Şekil 2: Deprem bölgesinin tektonik niteliklerini özetleyen morfolotektonik harita (Yılmaz ve diğ. 2023)

Figure 2: Morphotectonic map summarizing the tectonic characteristics of the earthquake zone (Yılmaz et al. 2023)

Deprem bölgesinin tektonik özelliklerini özetleyen Şekil 2'deki morfolotektonik haritada kalın kırmızı oklar, Arap levhası ve Anadolu levhasının hareket yönlerini ve Toros dağlarının göreceli direncini göstermektedir. Kesik beyaz çizgi, yaklaşan levhaların neden olduğu sıkıştırma bölgesini temsil eden bir elipsi göstermektedir. Beyaz konturlu kırmızı kesik

çizgi, Toros Dağları'ndan Amanos Dağları'na uzanan geniş bir kuşak boyunca uzanan gerilme yönünü göstermektedir. Yıldızlar deprem şokunun gerçekleştiği deprem odaklarını

göstermektedir; 1: Pazarcık, 2: Ekinözü, 3: Sarız-Saimbeyli, 4: Kozan, 5: Defne depremlerini gösterir. Şekil 2b'de yer alan deformasyon elipsleri ilgili depremlere karşılık gelmektedir (Yılmaz ve diğ. 2023).



Şekil 3: a) Kahramanmaraş'ın genel yeraltı yapısı-kırmızı çizgiler diri fayları göstermektedir (TMMOB 2021), b) Kahramanmaraş'ın genel yeraltı yapısı-noktalı gri alan alüvyonları göstermektedir (TMMOB 2021)

Figure 3: a) The general underground structure of Kahramanmaraş- red lines indicate active faults (TMMOB 2021), b) The general underground structure of Kahramanmaraş-the dotted gray areas indicate alluvial deposits (TMMOB 2021)

Araziyi oluşturan formasyonların litolojik özellikleri ve bir bütün olarak zeminin kalitesi ile deprem şiddeti arasında bir ilişki olduğu bir gerçektir. Belirli bir bölgede meydana gelen derem kaynaklı hasarın büyüklüğü, arazinin jeolojik ve jeomorfolojik özellikleri ile yapıların mühendislik özelliklerine bağlı olarak çeşitli faktörlerden etkilenir. Burada depremin özellikleri en önemli unsurdur. Zemin yapısı ile deprem şiddeti arasındaki ilişki yadsınamaz derecede önemlidir. Bu nedenle, arazinin jeolojik ve jeomorfolojik özelliklerinin toprak yapısıyla ilişkisinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesi esastır (Biricik ve Korkmaz 2001). Araştırmaya konu depremlerin meydana geldiği Kahramanmaraş iline ait yeraltı yapısı (diri fay ve alüvyonlu bölge) Şekil 3a ve Şekil 3b'de gösterilmektedir.

Genellikle homojen litolojik birimlerden oluşan katı zeminler depremi aynen iletirken, yumuşak ve gevşek dokulu, ıslak zeminler deprem şiddetini 2-3 derece artırabilir. Deprem sırasında, sağlam kayalık zeminler üzerine inşa edilmiş az (düşük) katlı yapılar hasar alırken, yumuşak, gevşek zemin üzerine inşa edilmiş çok (yüksek) katlı binalarda önemli hasarlar oluşur. Bu duruma, deprem sırasındaki zemin hareketlerinin binaları etkilemesi ve her binanın kendine özgü salınım yapması neden olmaktadır (Seed ve diğ. 1969, Biricik ve Korkmaz 2001).

3. GÜÇLENDİRME GEREKSİNİMİ VE BETONARME PERDE İLE GÜÇLENDİRME

Güçlendirme, bir yapının veya yapıya ait taşıyıcı elemanlardan bazılarının, yük taşıma kapasitesini (taşıma gücünü), rijitliğini, sünekliğini (duktilitesini) ve stabilitesini ya da bunlardan bazılarının hasar öncesi durumundan veya mevcut durumundan daha iyi düzeye çıkarmak amacı ile yapılan bir dizi teknik iyileştirme müdahalesi olarak tanımlanabilir (Aydoğan 2000, Aköz 2008, Ören 2010)

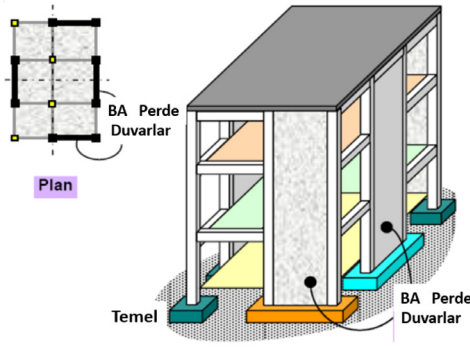
Güçlendirme gereksinimi olan her yapıda kendine özgü problemler oluşabilir. Güçlendirme uygulaması yapılacak elemanlar genelde kapasite artırımına ve/veya sargı etkisi

oluşturmaya yönelik çözümleri içerir. Güçlendirme yöntemleri kolon, kiriş, perde vb. elemanlar ile birleşim bölgelerinin mantolanması veya lifli polimer esaslı malzemelerle sarılarak iyileştirilmesi esasına dayanırken, sistem bazlı güçlendirme yapının taşıyıcı sisteminin iyileştirilmesine yönelik yük taşıma kapasitesinin ve deformasyon direncinin artırılması, kuvvetlerin dağılımında sürekliliğin sağlanması, yapıya yeni elemanların dahil edilmesi ve bağlantı alanlarının güçlendirilmesi ya da yapının genel kütlelerini azaltarak, deprem etkilerinin hafifletilmesini amaçlayan uygulamalarla binanın çeşitli kuvvetlere karşı genel kararlılığını ve dayanıklılığının artırılması esasına dayanır (Özkaya 2009, Uluöz 2010).

Binanın deprem dayanımının artırılması amacıyla yapılan işlemler için 'takviye' ve 'güçlendirme' gibi terimler kullanılmaktadır. Güçlendirmede temel amaç, çeşitli teknikler aracılığıyla mevcut yapının bir veya daha fazla davranışsal özelliğini (örneğin dayanım, rijitlik ve süneklik) geliştirmek ve böylece öngörülen gelecekteki koşullar için performansını iyileştirmektir (Çelik 2024).

Güçlendirme yöntemleri genellikle iki kategori altında incelenmektedir. Yapıdan beklenen yapısal performansın mevcut durum ile karşılanamaması neticesinde "eleman bazında güçlendirme" veya "sistem bazında güçlendirme" stratejilerinden biri uygulanır. Bazı durumlarda eleman ve sistem bazında güçlendirme yöntemleri birlikte de uygulanabilir.

Betonarme perde duvar elemanları, binaya etki eden yatay yükleri etkili bir şekilde karşılayan dikey yapısal bileşenlerdir. Bu elemanların planlarında uzun kenar/kısa kenar kalınlık oranı en az (7) yedidir. Perde duvar elemanlar, bir yapı içinde bağımsız olarak işlev görebilir ve özellikle çerçeve sistemiyle entegre edildiklerinde, önemli rijitlikleri sayesinde deprem veya rüzgâr kaynaklı neredeyse tüm yatay yükleri karşılayabilirler (Öztürk 2005). Perde duvar yerleşimi mümkün mertebe simetrik, temelden çatıya sürekli ve bina dış taşıyıcı sistem strükture anklajlanarak uygulanır (Şekil 4).



Şekil 4: BA Perde duvarların konumu (Civil Concept 2025)
Figure 4: RC Location of shear walls (Civil Concept 2025)

Zamanla revize edilen deprem yönetmeliklerinin varlığı, yeni binaların güncel yönetmeliklere uygun inşa edilmesini sağlarken, eski yapıların ise zamanla dayanım kaybetmesi, bazı yetersizlikler, korozyon, yanlış uygulamalar vb.



Şekil 5: Çeltiksuyu YİBO a) Yurt binası, b) Eğitim binasına ait enkaz görüntüsü.
Figure 5: Destruction of the a) dormitory building, b) academic building of Çeltiksuyu Regional Boarding School

Kaplan ve diğ. (2003) 1 Mayıs 2003 de yaşanan ve aletsel büyüklüğü 6.4 olan Bingöl depreminden sonra bölgede depremden etkilenen yapıların hasar durumlarının ve malzeme kalitesinin araştırılmasına yönelik çalışmalar yapmıştır. Hazırlanan raporda, yapılardaki hasarların nedenleri arasında; yetersiz ve standart dışı malzeme kullanımı, beton dayanımının yetersizliği, plansız inşaat uygulamaları, denetim eksikliği ve en önemlisi depreme dayanıklı olmayan yapıların inşa edilmesinin geldiğini belirtmişlerdir. 6.4 büyüklüğündeki bir depremde, mühendislik açısından cinayet sayılabilecek uygulamalar sonucu birçok betonarme yapının yıkılmış ya da ağır hasar aldığı belirtilmiştir. Binaların yıkılmasına sebep olan faktörlerin başında beton kalitesinin düşüklüğü gelmektedir (Şekil 5). Raporda ağırlıklı olarak eğitim binalarında meydana gelen hasarlar incelenmiştir. İncelenen eğitim kurumları arasında en dikkat çekici ve depremin en ağır faturasını ödeyen Çeltiksuyu Yatılı Bölge İlköğretim Okulu (YİBO) olduğu belirtilerek, bahse konu okul binasında yaklaşık 100 ilköğretim öğrencisinin hayatını kaybettiği bilgisine yer verilmiştir (Kaplan ve diğ. 2003).

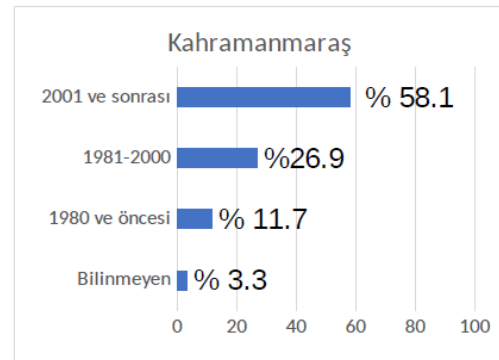
4. METODOLOJİ

Türkiye'de hanelerin %17.3'ünün iki katlı, %14.4'ünün beş katlı, %13'ünün altı katlı ve %11.7'sinin tek katlı yapılarda ikamet ettiği bilinmektedir. Öte yandan, on ve daha fazla

nedenlerden dolayı maalesef depreme karşı kendilerinden beklenen performansı ortaya koyamadığı bilinen bir gerçektir. Arslan (2017) ve Nohutcu (2019) çalışmalarında, deprem bölgelerindeki çoğu eski yapı stokunun, malzeme dayanımı, rijitlik ve süneklik açısından yeterli seviyede olmadığını ve dolayısıyla deprem sonrasında bu binalarda çok ciddi hasarlar ve yıkımla karşı karşıya kalılabileceği sonucuna varmışlardır. Bahse konu binalar özellikle deprem anında oluşacak yanal ötelenmelerin (görelî kat ötelenmesi) belli sınırlar içerisinde kalmasını sağlayacak biçimde dizayn edilememiştir. Bu yapılar için çeşitli güçlendirme yöntemleri bulunmakla beraber, güçlendirilmesi gereken eleman sayısının fazla olduğu binalarda, her iki yönde betonarme perde elemanlar ekleyerek yanal rijitliğin artırılması yoluna gidilmesi, göreceli olarak pratik ve ekonomik bir yöntemdir (Altun ve diğ. 2003, Arslan 2007, Aktan ve Kırac 2010).

Ülkemiz, jeolojik ve coğrafi özellikleri nedeniyle afetlerden en çok etkilenen ülkeler arasında yer almaktadır. Depremler, en sık karşılaşılan doğal afetler arasında yer almakta ve etkileri bakımından en yıkıcı olanıdır.

katlı binalarda yaşayan hanelerin oranı ise %9.5'tir. TÜİK araştırma verilerine göre, yapıların inşa yıllarına bakıldığında, %30.9'unun 1981-2000 yılları arasında, %28.1'inin 2011-2021 yılları arasında, %19.3'ünün 2001-2010 yılları arasında, %12.6'sının ise 1980 ve öncesinde inşa edildiği görülmektedir (Şekil 6). Aynı çalışmada Kahramanmaraş ilinde bulunan bina türü yapıların yapım yılı itibarıyla sayısal ve yüzdesel değerleri aşağıda verilmiştir (TÜİK 2022).



Şekil 6: Kahramanmaraş ilinde bulunan bina türü yapıların yapım yılı itibarıyla sayıları (TÜİK 2022)
Figure 6: Number of buildings by type in Kahramanmaraş province, by year of construction (TÜİK 2022)





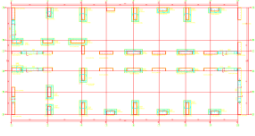

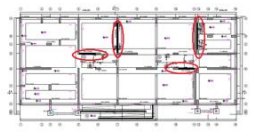




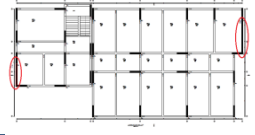
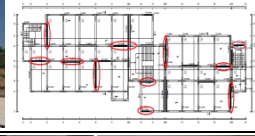






Araştırmaya konu deprem bölgesinde bulunan eğitim binalarının durumu değerlendirildiğinde, Türkiye Cumhuriyeti Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı tarafından yayımlanan rapora göre, 6 Şubat 2023 tarihinde Kahramanmaraş'ta meydana gelen iki deprem 10 ili etkilemiş ve 72 okul binasının yıkılmasına neden olmuştur. Ayrıca, 504 okul ağır hasar görürken, 331 okul orta derecede hasar görmüştür. Bu eğitim binalarının yeniden inşası ve onarımı için ihtiyaç duyulan kaynağın yaklaşık 39.69 milyar lira olduğu belirtilmiştir (SBB 2023).

Saha çalışmaları öncesi yapılan planlamalara göre güçlendirme uygulaması yapılmış okul binaları listesi teyit edilerek, güçlendirme uygulamasının yanında hasar durumlarıyla ilgili net bilgiler elde edilmeye çalışılmıştır. Okul binalarına ait bilgi ve depremden hemen sonraki hasar durumlarına ilişkin verilerin elde edilmesi amacıyla binalar yerinde ziyaret edilerek, okul yöneticileri ile birebir mülakat ve görüşmeler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca Milli Eğitim Müdürlükleri başta

olmak üzere diğer resmî kurumlardan ulaşılmaya çalışılan depremin hemen ardından gerçekleştirilmiş hasar durumları ile hasar tespit fotoğraf ve raporlarına ulaşılmıştır. Her bir okul binasına ait yerinde yapılan incelemelerde, güçlendirme varsa buna ilişkin bilgiler, binanın depremden hemen sonraki durumu, şu anki durumu, konum, zemin yapısı, çevredeki hasarlı veya göçen binaların durumu, can kaybına ilişkin bilgiler, not edilerek tespitler gerçekleştirilmiştir.

Araştırmada, 6 Şubat depremleri sonrası Kahramanmaraş ilindeki deprem öncesi güçlendirilmemiş (3 ad.) ve güçlendirilen (6 ad.) okul binalarının, yaşanan depremler sonrası performansı yerinde gözlemlenerek, bahse konu okul binalarına dair konum, görsel ve proje (mimari, statik, güçlendirme) bilgileri elde edilmiştir (Tablo 1). Ayrıca güçlendirme uygulama projelerinden elde edilen bilgiler yardımıyla okul binalarına ait güçlendirme öncesi ve güçlendirme sonrasında dair durumlar sonlu elemanlar yöntemiyle modellenerek, yapısal çözümler gerçekleştirilmiştir.

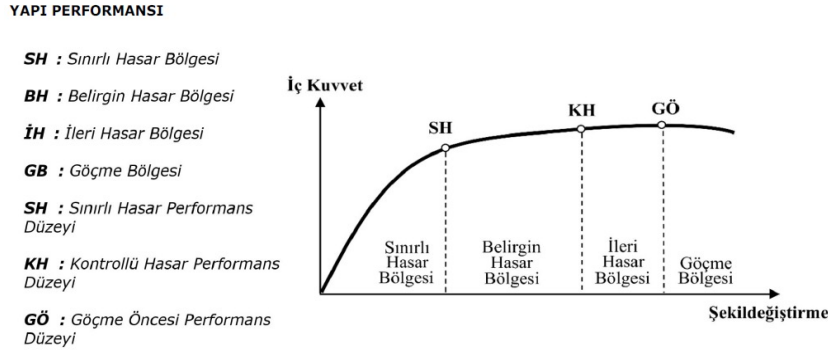
Tablo 1: İncelenen okullara ait bilgiler
Table 1: Information about the schools that were reviewed

Okul Adı	İl / İlçe	Binanın Konumu	Bina Görselleri ve Projeler (Statik)
Güçlendirilmiş Okul Bina Örnekleri	Okul Binası 1 (OB1)	Kahramanmaraş/ Onikişubat	  
	Okul Binası 2 (OB2)	Kahramanmaraş/ Pazarcık	  
	Okul Binası 3 (OB3)	Kahramanmaraş/ Onikişubat	  
	Okul Binası 4 (OB4)	Kahramanmaraş/ Pazarcık	  
	Okul Binası 5 (OB5)	Kahramanmaraş/ Onikişubat	  
	Okul Binası 6 (OB6)	Kahramanmaraş/ Onikişubat	  
Güçlendirilmemiş Okul Bina Örnekleri	Okul Binası 7 (OB7)	Kahramanmaraş/ Onikişubat	  
	Okul Binası 8 (OB8)	Kahramanmaraş/ Dulkadiroğlu	  
	Okul Binası 9 (OB9)	Kahramanmaraş/ Dulkadiroğlu	  

Okul binalarına ait çözümler kısmı kısmı STA4CAD ve İde Statik programları ile modellenmiş ve TBDY-2018 yönetmeliğinde belirtilen doğrusal elastik olmayan hesap yöntemine göre şekil değiştirme ve yer değiştirme odaklı itme analizi yöntemi yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Sonlu elemanlar modellemesinde çubuk elemanlar, her düğümde altı serbestlik dereceli olarak tanımlanmıştır. İdeCAD ve Sta4CAD programlar piyasada en güncel ve yaygın olarak kullanılan yapı analiz ve tasarım programlarıdır. Binaların TBDY-2018'e göre performans ve güçlendirme analizleri yapılmış olup, binaların mevcut durumu için güçlendirme uygulanmış ve sonuçları yorumlanmıştır. Üç adet bina çözümü için İdeCAD, altı bina için ise STA4CAD programı kullanılmıştır. Elde edilen analiz sonuçlarından mevcut yapı performansı ve güçlendirilmiş yapı performansın yeterli düzeyde olup olmadığı araştırılmıştır.

Yapının performansının belirlenmesinde, TBDY-2018'de verilen hesap yöntemleri açıklanarak, iç kuvvetlere karşılık

gelen sınır değerler ve hasar sınır bölgeleri tanımlanmıştır. Sınırlı Hasar (SH), Kontrollü Hasar (KH) ve Göçme Öncesi Hasar (GÖ) durumları olarak ifade edilir (Şekil 7). TBDY-2018 kapsamında, deprem tehlike haritaları ve yer hareketi düzeyleri belirli standartlara göre oluşturulmuştur. Deprem tehlike haritaları, deprem etkileri altında yapıların tasarımına temel teşkil edecek yer hareketlerine ilişkin veriler içermektedir. TBDY 2018'de dört farklı (DD-1, DD-2, DD-3 ve DD-4) yer hareketi düzeyi tanımlanmıştır. DD-1, çok nadir (tekrarlanma periyodu 2475 yıl-en büyük deprem) yer hareketini temsil ederken, DD-2, seyrek (tekrarlanma periyodu 475 yıl- standart tasarım deprem) yer hareketini, DD-3, sık (tekrarlanma periyodu 72 yıl-sık deprem) yer hareketini, DD-4, çok sık (tekrarlanma periyodu 43 yıl-servis deprem) yer hareketini karakterize etmektedir. Bu seviyeler, 50 yıllık bir süre boyunca spektral büyüklükleri aşma olasılıkları ve ilgili tekrarlanma aralıkları esas alınarak belirlenmiştir (TBDY 2018).



Şekil 7: TBDY-2018 kesit hasar bölgeleri
Figure 7: TEC-2018 Sectional damaged areas

Depremden önce güçlendirilmemiş ve güçlendirilmiş okul binaları için; yapıların zeminini ve yakın çevresi ile o bölgede oluşan hasarlar da dikkate alınarak, yapının hasar durumu tespiti yapılmıştır. Gözle yerinde incelenen binaların, depremden sonraki durumları, çatlaklar ve taşıyıcı/taşıyıcı olmayan elemanlarda meydana gelmiş olan hasar ve tespitler gözlenmiştir (Şekil 8). Korozyon, çatlak genişliği ve yeri, kısa

kolon özelliği, zemin durumu, çevredeki hasarlar, yapının deprem deplasmanı, kesme ve eğilme çatlakları, yapıdaki burulma ve taşıyıcı sistemin durumu, betonarme perde durumu, güçlendirme yapıp yapılmadığı, güçlendirme projesinin uygunluğu, güçlendirme uygulamasının uygun yapıp yapılmadığı, güçlendirme türü ve şekli gibi parametreler dikkate alınarak değerlendirmeler yapılmış olup, ulaşılan bilgiler sonuç ve öneriler bölümünde aktarılmıştır.



Şekil 8: İncelenen binalarda karşılaşılan hasar ve tespitlere dair fotoğraflar
Figure 8: Photographs of the damage and findings encountered in the inspected buildings

5. BULGULAR

Ülkemizde mevcut betonarme binaların depreme karşı güçlendirilmesinde kullanılan yöntemlerin başında, bina yanal rijitliğinin artırılması amacıyla taşıyıcı sisteme betonarme perde duvar eklenerek yapı sisteminin iyileştirilmesi gelmektedir. Bu

yöntem binada bulunan bazı dolgu duvarların kaldırılarak taşıyıcı perde duvar elemanlara dönüştürülmesiyle, deprem kuvvetiyle oluşabilecek yanal deplasmanları sınırlandırılması esasına dayanır.

6 Şubat 2023 Depremleri sonrası okul binalarının durumlarını konu alan bu araştırma kapsamında toplam 9 adet okul binası (6 adet deprem öncesi güçlendirilmiş, 3 adet güçlendirilmemiş)

incelenmiştir (Şekil 9-17). İncelenme yapılan okullara ait bazı fiziksel özellikler, taşıyıcı eleman malzeme dayanımları ile deprem öncesi ve sonrası hasar durumuna ilişkin bilgiler Tablo 2'de verilmiştir.

Tablo 2: İncelenme yapılan okullara ait elde edilen bilgiler
Table 2: Information obtained from the schools examined

Bina ve Özellikleri	Bina Yapım Yılı	Kat Sayısı	Mevcut Beton Dayanımı (MPa)	Yerel Zemin Sınıfı	Deprem Öncesi Güçlendirme Durumu	Deprem Sonrası Hasar Durumu
Okul Binası 1 (OB1)	-	B+Z+2	12	ZE	VAR (✓)	HASARSIZ
Okul Binası 2 (OB2)	1995	Z+3	6	ZD	VAR (✓)	HAFİF HASAR
Okul Binası 3 (OB3)	1976	Z+1	14	ZD	VAR (✓)	HASARSIZ
Okul Binası 4 (OB4)	-	B+Z+1	12	ZD	VAR (✓)	HASARSIZ
Okul Binası 5 (OB5)	2004	B+Z+1	13	ZC	VAR (✓)	HASARSIZ
Okul Binası 6 (OB6)	2005	Z+3	25	ZD	VAR (✓)	HASARSIZ
Okul Binası 7 (OB7)	1997	B+Z+2	17	ZD	YOK (X)	ORTA HASARLI
Okul Binası 8 (OB8)	2018	B+Z+3	-	-	YOK (X)	ORTA HASARLI
Okul Binası 9 (OB9)	1970	Z+3	-	-	YOK (X)	KİSMİ GÖÇME

Deprem öncesi güçlendirme uygulaması yapılan binaların depremi hasarsız veya hafif hasarlı olarak atlattığı ve yine okul yöneticilerinden alınan bilgilerden, depremin hemen ardından bu binaların afet ve koordinasyon merkezleri olarak kullanıldığı anlaşılmaktadır. Ülkemizde ve dünyada, eğitim yapılarının tasarımı ve inşası deprem güvenliği açısından ayrıca değerlendirmeyi gerektirir. Bu yapılar için öncelikle bu alanları yoğun bir şekilde kullanan kullanıcılarının gereksinimlerini karşılayacak nitelikte olmalıdır. Özellikle afet ve acil durum zamanlarında idari işlevler için sevk ve organize merkezlerinin yanı sıra, deprem sonrasında geçici barınma alanları olarak da okul binaları kullanılmaktadır.

İncelenen yapılar genellikle standart tip proje olarak tasarlanmış okul binalarından oluşmaktadır. Birçok eğitim yapısı dikdörtgen bir kat planına sahiptir. Genellikle giriş aksları binanın merkezinde yer alır. Ülkemizdeki okul binalarının büyük çoğunluğu betonarme olarak inşa edilmekte ve taşıyıcı sistemleri düzgün formdadır. Bu nedenle depremde diğer binalara oranla daha az hasar görebilirler.



Şekil 11: Okul Binası 3 (Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 11: School Building 3 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 12: Okul Binası 4 ((Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 12: School Building 4 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 9: Okul Binası 1 (Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 9: School Building 1 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 13: Okul Binası 5 ((Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 13: School Building 5 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 10: Okul Binası 2 ((Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 10: School Building 2 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 14: Okul Binası 6 ((Deprem öncesi güçlendirilmiş)
Figure 14: School Building 6 (Reinforced before the earthquake)



Şekil 15: Okul Binası 7 (Güçlendirilmemiş)

Figure 15: School Building 7 (unreinforced)



Şekil 16: Okul Binası 8 (Güçlendirilmemiş)

Figure 16: School Building 8 (unreinforced)

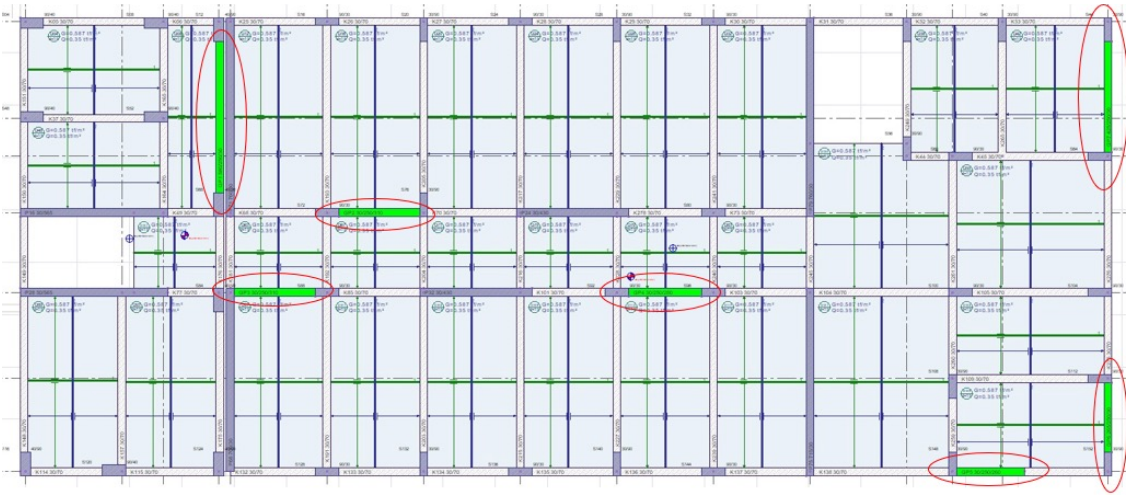


Şekil 17: Okul Binası 9 (Güçlendirilmemiş)

Figure 17: School Building 9 (unreinforced)

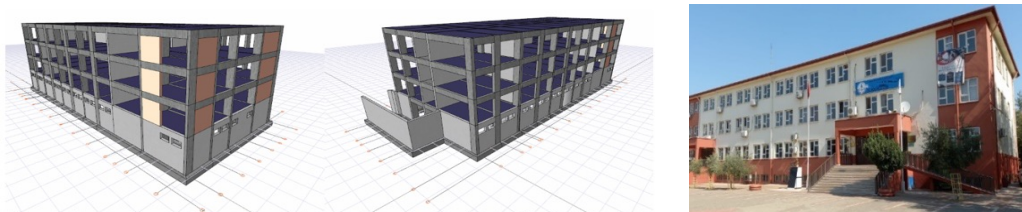
Güçlendirme uygulaması yapılmış binalarda, güçlendirme öncesi ve sonrası durum için uygulanan güçlendirme projelerinin değerlendirilmesine örnek göstermek amacıyla OB1 ve OB5 kod numaralı binalarda (Şekil 19 ve Şekil 21) uygulanan güçlendirme projesinden elde edilen veriler yardımıyla performans analizi yapılmış olup, periyot değişimleri, deplasman değerleri ve hasar durumları için elde edilen sonuçlar Tablo 3 ve Tablo 4'te gösterilmiştir. Güçlendirilmemiş bina için ise OB7 kod numaralı bina (Şekil 23) çözümü örnek gösterilmiştir (Tablo 5). Okul binalarına ait mevcut ve güçlendirilmiş durumları için yapılan analizlerde İdeCAD Statik programı itme analizinin yanı sıra, STA4CAD paket programları kullanılmıştır. Çözümler için nonlineer itme analizi yöntemi kullanılarak performans analizleri yapılmıştır. Bu çözümlerlerde binaların İdeCAD ve STA4CAD analiz sonuçlarında benzer davranış gösterdikleri görülmüştür.

Güçlendirme uygulaması yapılan okul binalarına ait mevcut ve güçlendirilmiş durumu gösteren kat planları da (sisteme eklenen perde duvarlar dahil) Şekil 18 ve Şekil 20'de sunulmuştur. Depremlerden önce güçlendirme uygulaması yapılmayan OB7, OB8 ve OB9 kod numaralı okul binaları (Şekil 15, Şekil 16 ve Şekil 17) ise depremler nedeniyle orta ve ileri derecede hasar almışlardır. OB7 binasına ait mevcut durumu gösteren kat planı Şekil 23'te sunulmuştur. Yerinde yapılan gözlemsel incelemelerden, özellikle zemin yapısının görece daha sağlam görüldüğü kayalık ve tepelik bölgelerde hasarın daha az olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 18: OB1 binasına ait mevcut ve güçlendirilmiş durumu gösteren kat planı (sisteme eklenen perde duvarlar işaretlenmiştir)

Figure 18: Floor plan showing the current and reinforced condition of the OB1 building (curtain walls added to the system are marked)



Şekil 19: OB1 binasına ait sonlu eleman modeli ve görseli

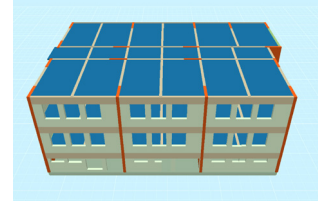
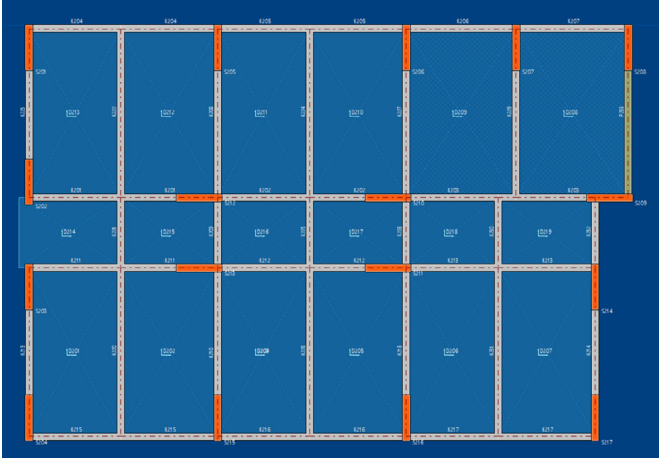
Figure 19: Finite element model and visual of OB1 building

OB1 binası için yapılan performans analizleri sonucu güçlendirilen yapının doğal titreşim periyodu ve görel

ötenmesi önemli ölçüde azalmıştır. Bu güçlendirme ile yapı deprem performans değerlerini sağlamaktadır.

Tablo 3: OB1 binasına ait performans analizi sonucu.
Table 3: Performance analysis results for the OB1 building.

Güçlendirilmiş Yapı (OB1)			
DD-1		DD-3	
Konrollü Hasar ✓		Sınırlı Hasar ✓	
	Güçlendirme Öncesi (Güçlendirmesiz)	Güçlendirme Sonrası (Güçlendirmeli)	Değişim (%)
T _x (s)	0.388	0.284	-27
T _y (s)	0.261	0.176	-33
δ _x (mm)	44.59	18.23	-59
δ _y (mm)	74.87	47.84	-36



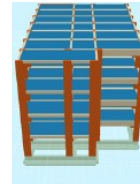
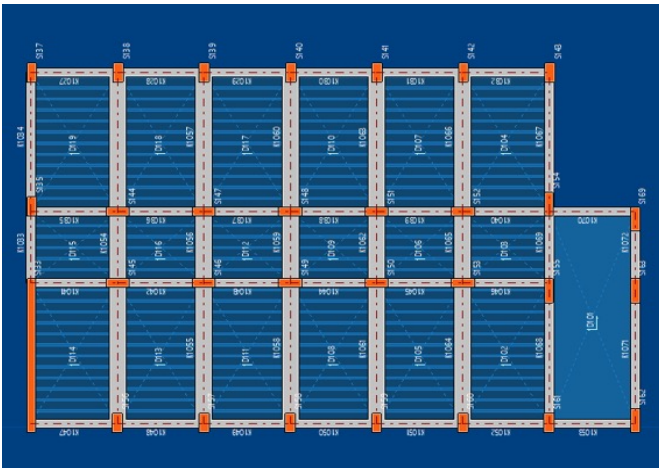
Şekil 21: OB5 binasına ait sonlu eleman modeli ve görseli
Figure 21. Finite element model and visual of OB5 building

Şekil 20: OB5 Binasına ait mevcut ve güçlendirilmiş durumu gösteren kat planı (sisteme eklenen perde duvarlar işaretlenmiştir)
Figure 20: Floor plan showing the current and reinforced condition of the OB5 building (curtain walls added to the system are marked)

Güçlendirilen OB5 binasının doğal titreşim periyodu ve görel kat ötenmesi önemli ölçüde azalmıştır. Bu güçlendirme ile yapı deprem performans değerlerini sağlamaktadır.

Tablo 4: OB5 binasına ait performans analizi sonucu
Table 4: Performance analysis results for the OB5 building

Güçlendirilmiş Yapı (OB5)			
DD-1		DD-3	
Konrollü Hasar ✓		Sınırlı Hasar ✓	
	Güçlendirme Öncesi (Güçlendirmesiz)	Güçlendirme Sonrası (Güçlendirmeli)	Değişim (%)
T _x (s)	0.315	0.294	-6
T _y (s)	0.242	0.223	-8
δ _x (mm)	54.66	38.73	-29
δ _y (mm)	40.39	15.18	-62



Şekil 23: OB7 binasına ait sonlu eleman modeli ve görseli
Figure 23: Finite element model and visual of OB7 building

Şekil 22: OB7 binasına ait mevcut durumu gösteren kat planı
Figure 22: Floor plan showing the current status of the OB7 building

Güçlendirme yapılmayan ve bahse konu depremler (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) sonrasında "orta hasarlı" olarak değerlendirilen OB7 binasının doğal titreşim periyodu ve görel kat ötenmesi değerleri Tablo 5'te sunulmuştur. Periyot ve deplasman değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir.

Tablo 5: OB7 binasına ait mevcut durum (güçlendirme yok) için performans analizi sonucu
Table 5: Performance analysis results for the current condition (no reinforcement) of the OB7 building

Güçlendirilmiş Yapı (OB7)			
DD-1		DD-3	
Konrollü Hasar ✓		Sınırlı Hasar ✓	
	Güçlendirme Öncesi (Güçlendirmesiz)	Güçlendirme Sonrası (Güçlendirmeli)	Değişim (%)
T _x (s)	0.71	-	-
T _y (s)	0.57	-	-
δ _x (mm)	108,99	-	-
δ _y (mm)	109,10	-	-

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizin büyük bir bölümü deprem tehlikesi altındadır ve 6 Şubat 2023'te meydana gelen (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) depremler Türkiye'nin en etkin ve diri fay sistemlerinden biri olan Doğu Anadolu Fay Zonu'na bağlı olarak gerçekleşmiştir. Bu bölge fayların birleştiği noktada olması nedeniyle de büyük depremler oluşturma potansiyeline sahiptir. Kahramanmaraş ili zemin yapısı için bazı bölgelerde büyük alüvyon birikintiler bulunmakta ve bu birikintiler üzerinde yapı yapmak çok büyük sakıncalar ve maliyet doğuracağından şehirleşmeyi mümkün olduğu kadar sağlam zeminlere yapmak gerekmektedir.

Bu çalışmada nonlinear itme analizi yöntemi kullanılarak, gerçek davranışa göre yapı performansı belirleme çalışmaları yapılmış olup, analiz sonuçlarından betonarme perde elemanlar ile güçlendirilen okul binalarının doğal titreşim periyodu ve görelî kat ötelenmesi değerlerinin önemli ölçüde

azaldığı görülmektedir. Periyot değeri ortalama %20, görelî kat ötelenme değeri ise ortalama %28 oranında azalarak olası depremleri hasarsız veya az hasarlı olarak atlatabilmelerine imkân tanımaktadır. Okul binaları için güçlendirmenin etkisi, yaşanmış gerçek depremler (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) konu edilerek, net bir şekilde ortaya konulmuştur. Deprem esnasında binalarda bulunan güçlendirme elemanlarının çalıştığı, 6-12 MPa aralığındaki düşük beton dayanımına sahip binaların dahi, uygun güçlendirme yöntem ve uygulamaları sayesinde depreme kaynaklı, hasar seviyelerinin düşük düzeyde kaldığı anlaşılmaktadır.

Ülkemizde sıklıkla kullanılan betonarme perde ile güçlendirme yönteminin ne kadar etkili bir yöntem ve özellikle binanın göçmesini engelleyerek, can kaybının önlenmesi konusunda etkin bir uygulama olduğu bu çalışmadan açıkça görülmektedir. Yaşanmış depremler sonrası perde duvar elemanlarla güçlendirmenin etkisini konu alan bu çalışmadan elde edilen sonuçlar literatürdeki benzer çalışmalarla uyumaktadır.

KAYNAKLAR

Abrahamczyk L., Schwarz J., Langhammer T., Genes M.C., Bikce M., Kacin S., Gulkan P., 2013. Seismic risk assessment and mitigation in the Antakya–Maras region (SERAMAR): Empirical studies on the basis of EMS-98, Earthquake Spectra, 29(3), 683-704.

AFAD, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık-Elbistan Kahramanmaraş (Mw: 7.7– Mw: 7.6) Depremleri Raporu, T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, Erişim adresi: https://deprem.afad.gov.tr/assets/pdf/Kahramanmara%C5%9F%20Depremi%20%20Raporu_02.06.2023.pdf

Aköz A.H., 2008. Deprem Etkisi Altındaki Tarihi Yığma Yapıların Onarım ve Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Aktan S., Kırac N., 2010. "Betonarme Binalarda Perdelerin Davranışa Etkileri", Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 15-32.

Altın M., 2009. Aynı İki Tip Okul Binasının Güçlendirme Öncesi ve Sonrası Karşılaştırılması, Engineering Sciences, 4(4), 504-517.

Altun F., Kara H.B., Uncuoğlu E., Karahan O., 2003. Betonarme Yapılarda Deprem Hasarları ve 6 Katlı Bir Yapının Güçlendirme Çalışmaları, Gazi Univ. Fen Bilimleri Dergisi, 16-2, 309- 318, 2003.

Arslan M.H., 2007. Kolonları Çekme Kırılması Gösteren Sünek Olmayan Betonarme Cercevelerin Dış Perde Duvar Uygulaması ile Güçlendirilmesi, Selçuk Üniversitesi FBE, Doktora Tezi, Konya.

Avğın S., Köse M., 2023. Mosques and minarets damages in the earthquakes on February 6, 2023, (In Proceedings of the 3rd International Civil Engineering & Architecture Conference (Vol. 1).).

Avğın S., Köse M.M., Ozbek A., 2024. Damage assessment of structural and geotechnical damages in Kahramanmaraş during the February 6, 2023 Earthquakes, Engineering Science and Technology, an International Journal, 57, 101811.

Aydoğan M., 2000. Betonarme Binalarda Onarım ve Güçlendirme Sistemleri ve Tasarımı, Tmmob İnşaat Müh. Odası, İstanbul.

- Balık F.S., Bahadır F., 2019. Farklı Güçlendirme Yöntemleri Kullanılarak 1/5 Ölçekli Betonarme Çerçeveselde Kısa Kolon Davranışlarının İncelenmesi, *Journal of the Institute of Science & Technology/Fen Bilimleri Estitüsü Dergisi*, 9(1), 433-445, <https://doi.org/10.21597/jist.444766>
- Biricik A.S., Korkmaz H., 2001. Kahramanmaraş'ın Depremselliği, *Marmara Coğrafya Dergisi*, (3), 53-82, <https://izlik.org/JA57AR56DH>
- Civil Concept, 2025. What is shear wall Why and Where it is provided-Best Location, Civil Concept (Buildings Interior and Interior Design, Estimation, Structure) (Contributed by Rajan Shrestha), Erişim adresi: <https://www.civilconcept.com/what-is-shear-wall-why-and-where-it-is-provided/>
- Çağatay İ.H., 2005. Experimental evaluation of buildings damaged in recent earthquakes in Turkey, *Engineering Failure Analysis*, 12(3), 440-452.
- Çelik O.C., 2024. Etkin Güçlendirme Yöntemlerine Örnekler, *İTU Vakfı Dergisi*, 91, 58.
- Elnashai A.S., 2000. Analysis of the damage potential of the Kocaeli (Turkey) earthquake of 17 August 1999, *Engineering Structures*, 22(7), 746-754.
- İçişleri Bakanlığı, 2024. Türkiye'nin Birlik ve Dayanışma Gücü Depremle Sınandı, Asrın Felaketi Asrın Dayanışmasına Dönüştü!, T.C. İçişleri Bakanlığı, Erişim adresi: <https://www.icisleri.gov.tr/turkiyenin-birlik-ve-dayanisma-gucu-depremlerle-sinandi-asrin-felaketi-asrin-dayanishmasına-donustu8>
- İTÜ, 2023. 6 Şubat 2023 04.17 Mw 7,8 Kahramanmaraş (Pazarcık, Türkoğlu), Hatay (Kırıkhan), ve 13.24 Mw 7,7 Kahramanmaraş (Elbistan / Nurhak-Çardak) Depremleri Nihai Rapor, Mart 2023, 252s.
- Kaplan H., Yılmaz S., Binici H., Yazar E., Çetinkaya N., 2003. 01 Mayıs 2003 Bingöl Depremi Mühendislik Raporu, Pamukkale Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Denizli, 58 s.
- Küçükaslan N., Altan M.F., 2021. Güçlendirilen Mevcut Bir Yapının TDY 2007 ile 2018 Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Gore Performansının Tekrar İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Uluslararası Mühendislik Teknolojileri ve Uygulamalı Bilimler Dergisi, 4(1), 18-36.
- MCBÜ, 2023. 06 Şubat 2023 Pazarcık ve Elbistan Depremleri Sonrasında Yaşanan Yapısal Hasarların/Yıkımların İncelenmesi ve Manisa Ölçeğinde Alınması Gereken Önlemlerin Belirlenmesi, TUBİTAK 1002-C Acil Destek Programı Araştırma Sonuç Raporu, Manisa Celal Bayar Üniversitesi, 2023.
- MEB, 2024. Milli Eğitim İstatistikleri Orgun Eğitim 2023/24, Milli Eğitim Bakanlığı Yayınları.
- Nohutcu H., 2019. Seismic Failure Pattern Prediction In A Historical Masonry Minaret Under Different Earthquakes, *Advances In Civil Engineering*, 2019(1), 8752465.
- Ören P., 2010. Öngermeli veya Ardçekmeli Prefabrik Betonarme Binaların Güçlendirilmesi: Bir Durum Çalışması, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Özkaya A.Ş., 2009. Betonarme Bir Kamu Binasının 2007 Deprem Yönetmeliğine Göre Güçlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Antakya/Hatay.
- Öztürk T., 2005. Betonarme Binalarda Deprem Perdelerinin Yerleşimi ve Tasarımı, İMO İstanbul Şubesi, Mesleki Eğitim Kursları.
- Raza S., Khan M.K., Menegon S.J., Tsang H.H., Wilson J.L., 2019. Strengthening and repair of reinforced concrete columns by jacketing: State-of-the-art review, *Sustainability*, 11(11), 3208.
- SBB, 2023. 2023 Kahramanmaraş ve Hatay Depremleri Raporu, T.C. Cumhurbaşkanlığı Strateji ve Bütçe Başkanlığı, Ankara, Erisim adresi: <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2023/03/2023-Kahramanmaraş-ve-Hatay-Depremleri-Raporu.pdf>
- Seed H.B., Idriss I.M., 1969. Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes, *Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division*, 95(1), 99-137.
- Sezen H., Whittaker A.S., Elwood K.J., Mosalam K.M., 2003. Performance of reinforced concrete buildings during the August 17, 1999 Kocaeli, Turkey earthquake, and seismic design and construction practise in Turkey, *Engineering Structures*, 25(1), 103-114.
- TBDY, 2018. Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
- T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2023. Deprem ve Risk Azaltma Genel Müdürlüğü, Deprem Dairesi Başkanlığı. Erişim adresi: <https://x.com/DepremDairesi/status/1635287791910387712/photo/1>
- TBMM, 2023. Kahramanmaraş Merkezli Depremlerin Sonuçlarının Tüm Yönleriyle Araştırılması, Depreme Dirençli Yapı Stokunun Oluşturulması ve Kentsel Dönüşüm Uygulamalarının Etkinliğinin Artırılması İçin Alınması Gereken Tedbirlerin Belirlenmesi Amacıyla Kurulan Meclis Araştırması Komisyonu Raporu, Türkiye Büyük Millet Meclisi, Yasama Dönemi: 27, Yasama Yılı 6, Sıra sayısı 449, 787 s, Erişim adresi: <https://cdn.tbmm.gov.tr/KKBSPublicFile/D27/Y6/T10/DosyaKomisyonRaporun uVerdi/165734cc-0d4f-4030-863d-b278567c0a55.pdf>
- TMMOB, 2021. Fay Üzerinde Yaşayan İllerimiz, Kahramanmaraş Raporu-9, Jeoloji Mühendisleri Odası, 14s, Erişim adresi: https://www.jmo.org.tr/resimler/ekler/2ee63a7a4ec1d37_ek.pdf

Toprak S., Zülfikar A.C., Karabulut S., Mutlu A., Tuğsal Ü.M., Nacaroğlu E., Ceylan M., Ozdemir K., Parlak S., 2023. 6 Şubat 2023 Maraş Depremleri (Pazarcık Mw7.7 ve Elbistan Mw7.6) Sonrasında Kuvvetli Yer Hareketi, Geoteknik, Ust Yapı ve Altyapılara İlişkin Saha Gözlemleri (Ön İnceleme Raporu), GTÜ/MARTEST 2023-1 (Gebze teknik Üniversitesi/ Marmara Afetlerle Baş Edebilir Yapılar için Uygulama ve Araştırma Merkezi (MARTEST), 7 Mart 2023, 80 s.

TÜİK, 2022. Bina ve Konut Nitelikleri Araştırması, 2021, Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK), Veri Portalı, Erişim adresi: <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Survey-on-Building-and-Dwelling-Characteristics-2021-45870>

Uluöz D., 2010. Mevcut Binaların Güçlendirme Maliyetlerine Etki Eden Parametreler, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.

Ünlügenc U.C., Türkmen S., Çetin H., Güneyli H., Nurlu N., Akıncı A.C., 2023. 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş Depremleri (Mw 7,8- Mw 7,6) Değerlendirme ve Saha Gözlem Raporu, Çukurova Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Erişim adresi: https://jeoloji.cu.edu.tr/storage/Duyurular/cu_deprem23.pdf

Yakut A., Binici B., 2023. Ülkemizde Riskli Yapıların Genel Özellikleri ve Deprem Performansı, Çevre, Şehir ve İklim Dergisi, 2(4), 220-237.

Yılmaz Y., Gurer O.F., Yiğitbaş E., 2023. Kahramanmaraş Deprem Fayları üzerinde Gözlemler ve Değerlendirmeler/ Field Data and Some Thoughts on the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes Faults, Türkiye Jeoloji Bülteni, 68(4), 1-33.

Zaiter A., Lau T.L., 2021. Experimental study of jacket height and reinforcement effects on seismic retrofitting of concrete columns, Structures, 31, 1084-1095.

ARAŞTIRMA VERİSİ (Research Data)

Çalışma kapsamında araştırmacıların deprem bölgesinde yapmış oldukları arazi gözlemleri ve değerlendirmelerinden elde edilen verilerin yanında, Kahramanmaraş İl Millî Eğitim Müdürlüğü, Kahramanmaraş Çevre ve Şehircilik İl Müdürlüğü tarafından arşivlenmiş ihale dosyaları ile hazırlatılan raporlardan yararlanılmıştır. Ayrıca deprem öncesi EKAP sisteminde var olan ihale dosyalarından faydalanılmıştır.

ÇIKAR ÇATIŞMASI / İLİŞKİSİ (Conflict of Interest / Relationship)

Araştırma kapsamında yer alan bilgiler; herhangi bir kişiye, kuruma, ekipmana çıkar sağlamayı veya kişisel/kurumsal menfaat kazandırmayı amaçlamamaktadır. Aynı şekilde çalışmada yer alan hususlar objektif değerlendirme sınırları dışına çıkarak herhangi bir şekilde kişi, kurum, kuruluş nezdinde zarara, kastı aşan kötü niyetli yoruma ya da itibar kaybına yol açmamaktadır.

YAZARLARIN KATKI ORANI BEYANI (Author Contributions)

- Çalışmanın tasarlanması (*Designing of the study*): H.A., H.N., M.Ö.S.
- Literatür araştırması (*Literature research*): H.A., H.N., M.Ö.S.
- Saha çalışması, veri temini/derleme (*Fieldwork, collection/ compilation of data*): H.A., H.N., M.Ö.S., M.M.K.
- Verilerin işlenmesi/analiz edilmesi (*Processing/analysis of data*): H.A., M.Y., T.K., H.N., M.Ö.S., M.M.K., A.D.
- Şekil/Tablo/Yazılım hazırlanması (*Preparation of figures/ tables/software*): H.A., M.Y., H.N., M.Ö.S.
- Bulguların yorumlanması (*Interpretation of findings*): H.A., H.N., M.Ö.S., A.D., M.M.K.
- Makale yazımı, düzenleme, kontrol (*Writing, editing and checking of manuscript*): H.A., M.Y., T.K., H.N., M.Ö.S., M.M.K., A.D.