

Atf İçin: Mertol, H. C. (2023). 6 Şubat 2023 Depremlerinde Gözlenen Betonarme Binalardaki Sorunların Hiyerarşik Bir Üçgen ile Açıklanması. *İğdır Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 13(4), 2717-2729.

To Cite: Mertol, H. C. (2023). Explanation of the Problems in Reinforced Concrete Buildings Observed in the February 6th, 2023 Earthquakes with a Hierarchical Triangle. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 13(4), 2717-2729.

6 Şubat 2023 Depremlerinde Gözlenen Betonarme Binalardaki Sorunların Hiyerarşik Bir Üçgen ile Açıklanması

Halit Cenan MERTOL¹

Öne Çıkanlar:

- Kahramanmaraş Depremleri
- Yıkılma nedenleri
- Hiyerarşik üçgen

Anahtar Kelimeler:

- Kahramanmaraş
- Deprem
- Betonarme bina
- Hiyerarşik üçgen
- Yıkılma nedenleri

ÖZET:

Ülkemiz 6 Şubat 2023 tarihinde, saat 04:17'de merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesi olan $M_w=7.7$ büyüklüğünde bir depremle sarsılmıştır. Yaklaşık dokuz saat sonra, saat 13:24'te, bu sefer merkez üssü Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesi olan $M_w=7.6$ büyüklüğünde ikinci bir deprem oluşmuştur. Depremlerin çevresinde bulunan 11 şehir afet bölgesi kapsamına alınmıştır. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın verilerine göre bölgede 582000 bağımsız bölüm ve 202000 binanın acil yıkılacak, ağır hasarlı veya yıkık olduğu saptanmıştır. Bu makalede, deprem bölgesine yapılan, depremin olduğu gün başlayan ve 5 gün süren incelemeler neticesinde, betonarme binalarda yıkılmaya neden olan sorunlar hiyerarşik bir üçgen şeklinde, önem sırasına göre anlatılmıştır. Yetersiz kenetlenme boyu, etriye uçlarının 135° derece bükülmemesi, malzeme ile ilgili sorunlar, kolon ve kiriş uç bölgelerinde sarılma bölgelerinin bulunmaması, güçlü kiriş-zayıf kolon, vb. sorunların yıkılmaların önemli bir kısmını oluşturduğu gözlemlenmiştir. Yıkılan yapıların, yapıldıkları dönemde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinin şartlarını yerine getirmediği görülmüştür.

Explanation of the Problems in Reinforced Concrete Buildings Observed in the February 6th, 2023 Earthquakes with a Hierarchical Triangle

Highlights:

- Kahramanmaraş Earthquakes
- Reasons of collapse
- Hierarchical triangle

Keywords:

- Kahramanmaraş
- Earthquake
- Reinforced concrete building
- Hierarchical triangle
- Reasons of collapse

ABSTRACT:

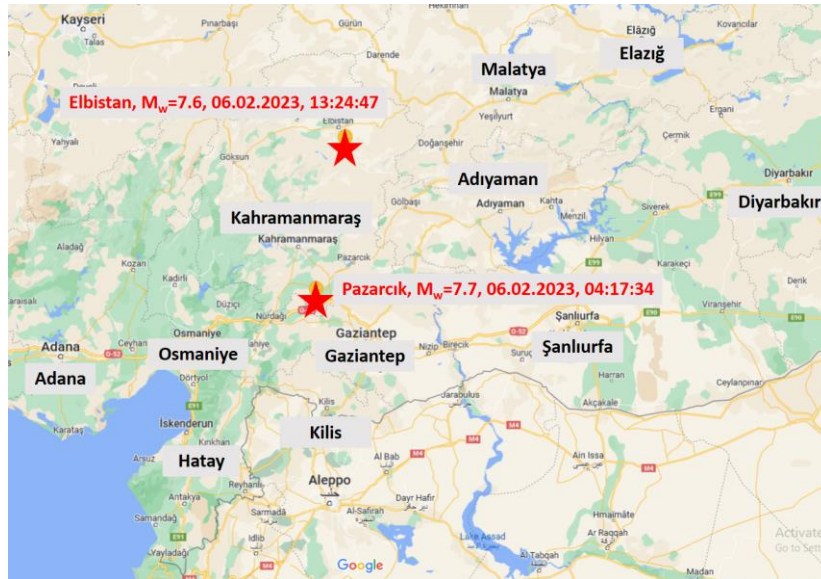
On February 6th, 2023, at 04:17, our country was struck by an earthquake with a magnitude of $M_w=7.7$. The epicenter was Pazarcık, Kahramanmaraş. About nine hours later, at 13:24, a second earthquake with a magnitude of $M_w=7.6$ occurred in Elbistan, Kahramanmaraş. After the earthquakes, 11 cities in the region were declared as disaster zones. According to the data of the Ministry of Environment, Urbanization and Climate Change, it has been determined that 582 thousand independent sections and 202 thousand buildings in the region are to be demolished immediately, heavily damaged or demolished. In this article, as a result of the investigations made in the earthquake effected regions, which started on the day of the earthquake and lasted for 5 days, the problems that caused the collapse of reinforced concrete buildings were explained in a hierarchical triangle, in the order of importance. Insufficient development length, end of the stirrups not bent at 135° , problems with the materials, lack of confinement regions at the ends of columns and beams, strong beam-weak column, etc. It has been observed that these problems constitute a significant part of the collapses. It was determined that the collapsed structures did not meet the requirements of the earthquake regulations in effect at the time they were built.

¹ Halit Cenan MERTOL ([Orcid ID: 0000-0001-8058-5798](https://orcid.org/0000-0001-8058-5798)) Atılım Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, Türkiye

*Sorumlu Yazar/Corresponding Author: Halit Cenan MERTOL, e-mail:cenan.mertol@atilim.edu.tr

GİRİŞ

6 Şubat 2023 saat 04:17'de merkez üssü Kahramanmaraş'ın Pazarcık ilçesi olan $M_w=7.7$ (derinlik 8.6 km) ve yaklaşık dokuz saat sonra, saat 13:24'te bu sefer merkez üssü Kahramanmaraş'ın Elbistan ilçesi olan $M_w=7.6$ (derinlik 7 km) büyüklüğünde depremler oluşmuştur (AFAD, 2023). Depremlerin etkileri tek bir il ile sınırlı kalmamıştır. Depremler bölgedeki 11 ilde bulunan binalarda ağır hasarlara, yıkımlara ve can kayıplarına neden olmuştur. Depremin ardından depremden etkilenen Adana, Adıyaman, Diyarbakır, Elazığ, Gaziantep, Hatay, Kahramanmaraş, Kilis, Malatya, Osmaniye ve Şanlıurfa afet bölgesi illeri olarak ilan edilmiştir. Kahramanmaraş Depremlerinin merkez üstleri ve afet bölgesi içinde yer alan il merkezlerinin konumları Şekil 1'de gösterilmiştir. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı'nın verilerine göre bölgede 637222 bağımsız bölümden oluşan 227027 binanın acil yıkılacak, ağır hasarlı veya yıkık olduğu saptanmıştır (ÇŞİDB, 2023).



Şekil 1. 6 Şubat 2023 tarihinde olan depremler ve afet bölgesi illeri (Google Haritalar, 2023)

Bu makalede elde edilen sonuçlara ulaşabilmek için, ilk depremin oluşumunun yaklaşık 18 saat sonrasında deprem bölgesine ulaşılarak yıkılan ve ağır hasarlı binalar incelenmeye başlanmıştır. Sırasıyla Adana, İskenderun, Antakya, Kahramanmaraş, Pazarcık, Adıyaman, Besni, Gaziantep, Nurdağı ve Osmaniye incelemelerde bulunulan merkezler arasındadır. Bu makalede, beş gün boyunca farklı illerde yapılan incelemeler sonucunda tespit edilen betonarme binalardaki sorunlar, önem sırasına göre hiyerarşik bir üçgenle açıklanmıştır.

Bu depremlerde tamamen veya kısmen yıkılmış betonarme yapıların büyük bir çoğunluğu 1975 yılından sonra inşa edilmiştir. Bu binaların tasarımlarının en azından Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmeliğe'ne (ABYYHY, 1975) göre yapılmış olması gerekmektedir. Günümüze kadar bu yönetmelik, Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik (ABYYHY, 1998), Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik (DBYBHY, 2007) ve Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY, 2018) isimleri altında değişikliklere uğramıştır. Bu makalede, betonarme binalardaki gözlenen sorunların yönetmelikler ışığında değerlendirilmesi de yapılmıştır.

MATERYAL VE METOT

Afet bölgesi illerinde yapılan gözlemlerin ve değerlendirmelerin daha anlaşılır bir şekilde ifade edilebilmesi için, Maslow (1943) tarafından geliştirilen Maslow Teorisi, bu makalede betonarme binalardaki sorunlar için kullanılmıştır. Maslow Teorisine (Maslow, 1943) göre, insanların temel

İhtiyaçları, fizyolojik, güvenlik, sevgi, saygınlık ve kendini gerçekleştirme olarak belirlenmiştir. Fizyolojik ihtiyaçlar olarak beslenme, nefes alma, uyuma, örtünme, vb.; güvenlik ihtiyaçları olarak tehlikesiz bir ortamda yaşama, sosyal güvenliğe sahip olma, olumsuz çevresel etkilerden korunma, vb.; sevgi ihtiyacı olarak sevmek, sevilme, ait olma, aile, arkadaşlık, dostluk, vb.; saygınlık ihtiyacı olarak kendine ve başkalarına saygı, özgüven, başkaları tarafından saygı duyulmak, vb.; ve kendini gerçekleştirme ihtiyacı olarak sahip olunan yeteneklerin yaratıcı bir şekilde kullanılması olarak tarif edilebilmektedir. Bu temel ihtiyaçların birbirleriyle, yukarıdaki sıralama düzeninde, hiyerarşik bir şekilde alakalı olduğu ifade edilmiştir. Teoriye göre, herhangi bir kategorideki ihtiyacın yeterli düzeyde sağlanmasından sonra, bir üst ihtiyaç kategorisine geçilebilmektedir. Maslow'un bu teorisinin üçgen şeklinde anlatıldığı görsel Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekilde en alttaki ihtiyaç kategorisi basamağının yeterli düzeyde sağlanamaması durumunda, bir üst ihtiyaç kategorisi birey tarafından düşünülmemektedir. Diğer kategoriler için de, bir altındakinin yeterli düzeyde sağlanması gerekmektedir.



Şekil 2. İhtiyaçlar hiyerarşisinin üçgen olarak gösterimi (Maslow, 1943)

Kahramanmaraş Depremlerinde görülen betonarme bina sorunlarının Maslow Teorisi (Maslow, 1943) kullanılarak anlatılması için hazırlanan üçgen Şekil 3'te gösterilmiştir. Bu gösterime göre, en alt kategorideki koşulunun sağlanamaması durumunda, yapımızın yıkılabileceği ve diğer üst kategorilerde yapılan çalışmaların hiçbir şey ifade etmeyeceği söylenebilir. Örnek olarak, etriye uçlarının 135° bükülmediği binalarda, en iyi malzemeleri kullansanız bile, bina yıkılabilmektedir.



Şekil 3. Betonarme binalardaki sorunlar hiyerarşisinin üçgen olarak gösterimi

Bu üçgende belirlenen sıralama oluşturulurken ilgili basamaklar için aşağıdaki bilgiler göz önüne alınmıştır:

• **Yeterli Kenetlenme Boyu:** Betonarme malzemesinin oluşabilmesi için betonla çelik donatı arasında yeterli aderans bulunmalıdır (Arslan ve Arslan, 2018). Bu aderansın olmaması donatının akmadan betondan sıyrılmasına ve hesaplanan eleman kapasitelerinin oluşmamasına (elemanların gerekli zorlanmalara maruz kalmadan geçmesine) neden olacaktır (Orakçal ve Chowdhury, 2011). Bu nedene ilk basamak olarak yeterli kenetlenme boyu seçilmiştir.

• **Etriye Uçlarının 135° Bükülmesi:** İkinci basamakta çelik donatı için sıyrılma probleminin bulunmadığı varsayılmaktadır. Bu nedenle kiriş ve kolonlar artık yükler altında zorlanmaya başlayacaktır. Bu zorlanmalar sonunda betonarme yapı davranışını sürdürürebilmek için, yapı elemanlarının içinde betonun bulunması gerekmektedir. Ancak etriye uçlarının 135° bükülmemesi, tersinir yükler altında zorlanan bölgelerde (kolon ve kirişlerin sonlarında) kabuk betonu döküldükten sonra çekirdek betonun da dökülmesine neden olmaktadır (Susanto ve diğerleri, 2020). Betonarme davranışı bu şekilde sonlanmaktadır.

• **Malzeme ile İlgili Sorunlar:** Birinci ve ikinci basamaktaki sorunların önlemlerinin alınması, yapısal elemanlarda betonarme davranışının oluşturulabileceğini göstermektedir. Yani çelik donatı ve beton, dayanımlarının sonlarına kadar zorlanabilecektir. Bu aşamada bu malzemelerin dayanımını etkileyen faktörler, yapısal elemanların hesaplanan kapasitelerini de etkileyecektir.

• **Sarılma Bölgesi:** Çelik donatının sıyrılmadığı, yapısal elemanlarında çekirdek betonun bulunduğu, iyi kalitede çelik donatı ve beton malzemesine sahip yapılarda, artık bir üst faktör olan sarılma bölgesi davranışta rol oynamaktadır. Yapı elemanlarının en çok zorlandığı eleman sonlarında sarılma bölgesinin bulunması, bu bölgede bulunan çekirdek betonun dayanımının artmasına neden olacaktır. Yani en çok zorlanan bölgelerin dayanımı sarılma bölgelerinin bulunması nedeniyle artacaktır.

• **Güçlü Kiriş, Daha Güçlü Kolon:** Eleman kapasitelerinin yeterli olması sonrasında, sistem davranışına bu basamakta yer verilmiştir. Kolonların kirişlerden daha güçlü olması deprem süresince azami enerji soğrulmasına neden olmaktadır (Bakırcı Er ve diğerleri, 2014).

• **Gelişmiş Konular:** Üçgenin alttan bütün basamaklarının sağlandığı halde yıkılmış olan bir yapının yıkılma nedeni olarak gelişmiş konular gösterilebilir. Bu konular yanlış tasarımdan, yanlış zemin raporu verilerine, çekiçleme etkisinden, kısa kolon etkisine, vb. durumları içermektedir.

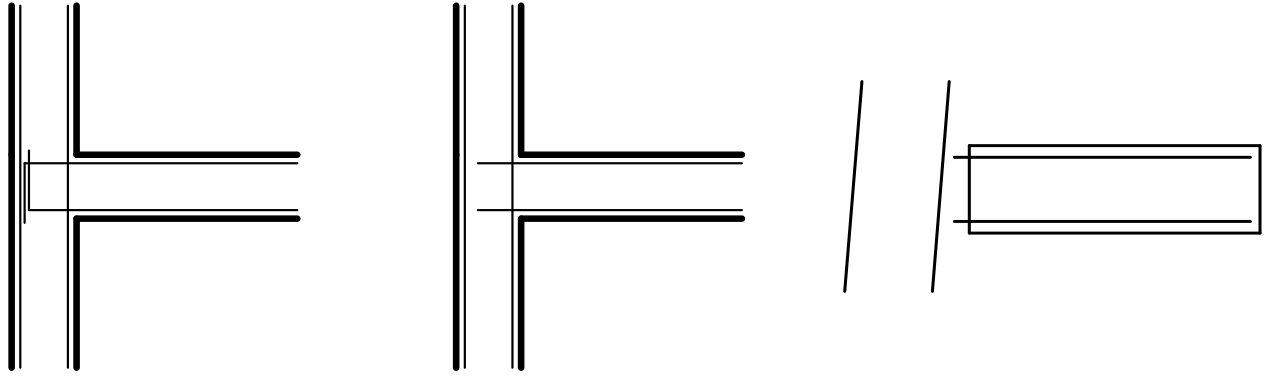
Şekilde gösterilen sorunlar aşağıdaki bölümde detaylı olarak anlatılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Betonarme Binalardaki Sorunlar

1. basamak: yeterli kenetlenme boyu

Kirişlerden gelen boyuna donatılar kolonlara yeterli bir şekilde ankre edilmelidir. Bu ankraji sağlamak için, kenar kolonlara saplanan kirişlerin boyuna donatıları, kolonların içlerine doğru bükülür (Şekil 4-a). Bu konudaki yanlış uygulama ise, kirişlerin boyuna donatılarının kolonun içine bükülmeden, kolonun içinde bir süre devam ettirilip sonlandırılmasıdır. Bu yanlış uygulama Şekil 4-b'de gösterilmiştir. Bu durumda deprem yükleri altında binanın kirişlerinin boyuna donatıları, kolonlardan sıyrılarak ayrılır ve yapının bütünlüğünün kaybolmasına (yıkılmasına) neden olur (Şekil 4-c). Donatıları yeterli kenetlenme boyuna sahip olmayan yapılar Şekil 3'te gösterilen üçgenin en alt basamağını oluşturmaktadır. Bu tip yapılar deprem süresinin ilk birkaç saniyesinde yıkılabilmektedir. Bu tip yapılarda üçgenin diğer basamakları ile ilgili ne yapıldığının hiçbir önemi bulunmamaktadır. Bu basamakta bina zaten yıkılmıştır. Deprem bölgesindeki incelemeler sırasında bunun gibi yanlış uygulamalarla karşılaşmıştır. Bir örneği Şekil 5'te gösterilmiştir.



a) Kiriş boyuna donatılarının kolon içinde bükülmesi

b) Yanlış uygulama olarak kiriş boyuna donatılarının kolon içinde yerleştirilmesi

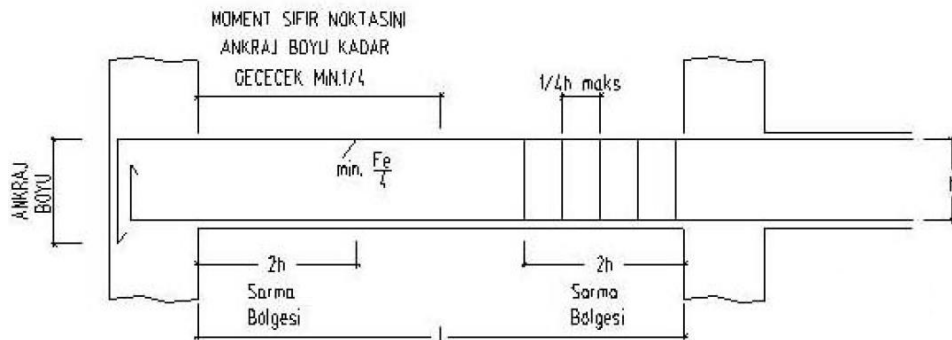
c) Yanlış uygulama sonucu kiriş boyuna donatılarının kolondan sıyrılarak ayrılması

Şekil 4. Kiriş boyuna donatılarının kolona bağlanması



Şekil 5. Yetersiz kenetlenme boyu (Kahramanmaraş)

ABYYHY (1975)'te bulunan ve kiriş boyuna donatılarının bükülerek, kolon içine yeterli düzeyde ankre edilmesi ile ilgili görsel Şekil 6'da gösterilmiştir. Bu koşullar, bu yönetmelikten sonra çıkan yönetmeliklerde de bulunmaktadır. Yeterli kenetlenme boyu konusunda ABYYHY (1975)'te belirtilen gerektirmelerin sağlanması, bu depremlerde yetersiz kenetlenme boyu nedeniyle yıkılan binaların ayakta kalmasına neden olabilecekti.



Şekil 6. Kiriş boyuna donatılarının kolon içinde yeterli ankraj boyunu gösteren yönetmelik görseli (ABYYHY, 1975)

2. basamak: etriye uçlarının 135° bükülmesi

Dikdörtgen kesitli kolon ve kirişlerdeki enine donatılar (etriyeler) süresiz olduğu için teker teker üretilmektedir. Dikdörtgen kesitli bir kolonda veya kirişte hazırlanması gereken enine donatı imalatının adımları Şekil 7-a'da gösterilmiştir. İmalat sırasında en önemli olan husus, etriye uçlarının ikisinin de birer kanca şeklinde (135°) bükülmesidir. Enine donatı imalatında yanlış bir uygulama olan,

etriye uçlarının ikisinin de 90° bükülmesi, inşaatlarda yaygın olarak görülmektedir. Bu imalat aynı zamanda yönetmeliklerimize de aykırıdır. Dikdörtgen kesitli bir kolonda veya kirişte yanlış olarak yapılan enine donatı imalatı Şekil 7-b’de gösterilmiştir.

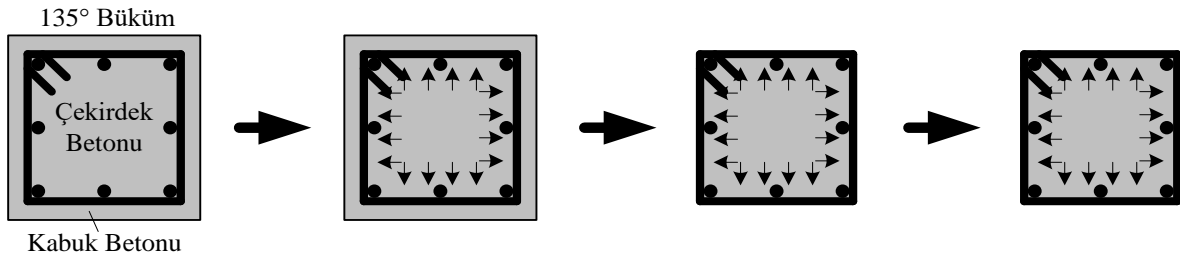


a) Yapılması gereken enine donatı imalatı (135° büküm)

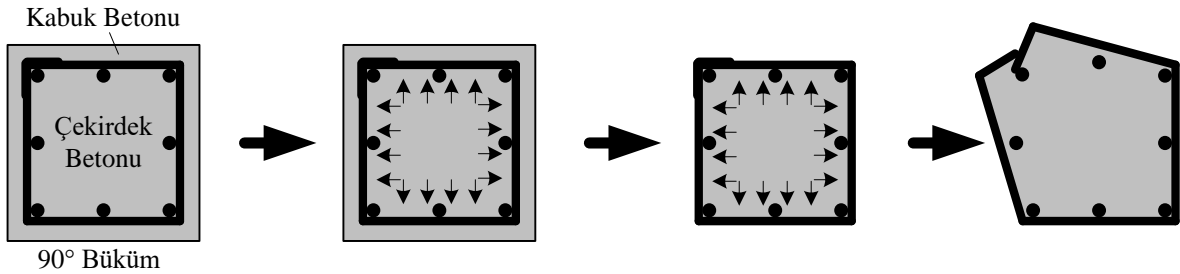
b) Yanlış uygulanan enine donatı imalatı (90° büküm)

Şekil 7. Enine donatı imalatı

Yüksek moment, kesme veya aksel yük kuvvetleri altında betonarme binalardaki yapısal elemanların öncelikle kabuk betonu hasar alır. Kabuk betonu etriyelerin dışında kaldığı ve onu yerinde tutan bir donatı olmadığı için, artan yük etkileri nedeniyle dökülmeye başlar. Etriye uçlarının 135° büküldüğü ve çekirdek betonun içine ankre edildiği durumda, etriyeler çekirdek betonunu sargılamayı sürdürür. Kabuk betonunu kaybeden yapısal eleman, sargılanmış çekirdek betonu sayesinde gelen yükleri taşımaya devam eder (Şekil 8-a). Etriye sonlarının 90° bükülülerek kabuk betona saplandığı durumda ise, kabuk betonun dökülmesinden sonra, etriye uçlarını açılır. Bu etriyeler artık betonu sargılama görevlerini sağlayamazlar (Şekil 8-b). Bu tipteki bir yapısal elemanın yüklere dayanımı tamamen kaybedilir. Bir başka deyişle, yapısal elemanların etriyesiz üretilmesi ile etriye uçların 90° bükerek üretilen elemanın yükler altındaki davranışı aynıdır.



a) 135° bükülmüş etriyelere sahip olan bir eleman

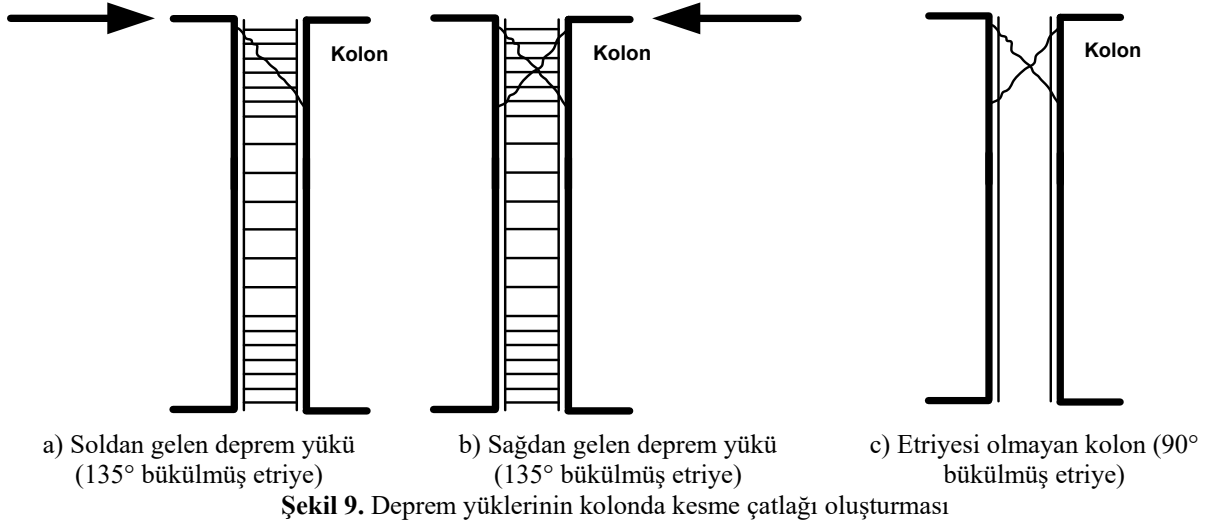


b) 90° bükülmüş etriyelere sahip olan bir eleman

Şekil 8. Betonarme elemanda kabuk betonun dökülmesi ve sonrası

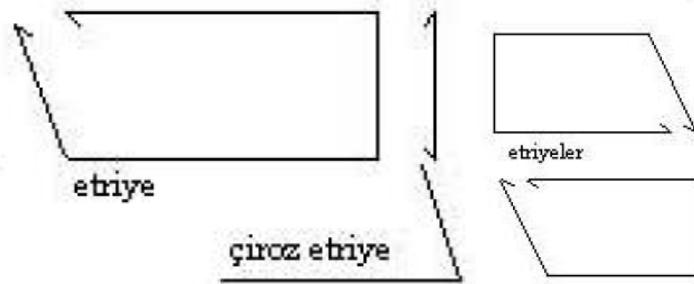
Deprem yükleri nedeniyle betonarme binaların kolonlarında kesme kuvveti oluşur. Bu kesme kuvveti kolonlardaki betonun kendi mukavemeti ile kolonlardaki etriyelerin dayanımı ile karşılanmaktadır. Kesme kuvveti betonun kesme dayanımından yüksek olduğu durumda, betonda çapraz bir çatlak oluşur (Şekil 9-a). Yükün diğer yönden geldiği durumda ise çapraz çatlak diğer yönde de oluşur ve çatlaklar birleşerek "X" şeklini alır (Şekil 9-b). Beton çatladıktan sonra, uygulanan kesme

kuvvetini karşılayacak tek unsur etriyelerdir. Etriye bulunmayan veya etriye uçları 90° bükülmüş etriyelere sahip yapılarda, deprem nedeniyle kolonlarda oluşan kesme kuvvetleri karşılanamaz ve yapı yıkılır (Şekil 9-c). Deprem bölgesindeki incelemeler sırasında yıkılan binaların kolonlarının ve kirişlerinin hiçbirinde etriyelerin iki ucu da 135° büküldüğü görülmemiştir. Bu tipteki yanlış uygulamaların örnekleri Şekil 10'da gösterilmiştir.



Şekil 10. Yıkılan binalardaki etriyelerin büküm şekillerinden örnekler

ABYYHY (1975)'te bulunan ve etriye uçlarının kanca şeklinde bükülmesini anlatan görsel Şekil 11'de gösterilmiştir. Bu koşullar, bu yönetmelikten sonra çıkan yönetmeliklerde de bulunmaktadır. Etriye uçlarının 135° bükülmesi konusunda ABYYHY (1975)'te belirtilen gerektirmelerin sağlanması, bu depremlerde etriye uçlarının 90° bükülmesi nedeniyle yıkılan binaların ayakta kalmasına neden olabilecekti.



Şekil 11. Etriye uçlarının bükülmesini gösteren yönetmelik görselleri (ABYYHY, 1975)

Yeterli kenetlenme boyuna sahip olan ve etriye uçlarının 135° büküldüğü yapılar Şekil 3'te gösterilen üçgenin en alttaki iki basamağını geçmiş demektir. Etriyelerin 135° bükülmesi ile artık çekirdek betonunun kolonlarda ve kirişlerde varlığını sürdürmesi sağlanmaktadır. Bu aşamadan sonra

malzemelerin kalitesi bir anlam kazanmaktadır. 90° bükülmüş etriyeleri olan binalarda ise, beton kolonun çekirdek bölgesinde tutulmadığı için, betonun kalitesinin hiçbir önemi yoktur.

3. basamak: malzeme ile ilgili sorunlar

a) Beton

Kahramanmaraş Depremlerinde yıkılan ve ağır hasar almış binalardaki yapısal elemanlarda beton kalitesinin istenilen nitelikte olmadığı gözlenmiştir. Saha ziyaretleri sırasında bazı binaların betonunda segregasyon, organik malzemeler, uygun olmayan gradasyon, vb. sorunlarla karşılaşmıştır. Betonda dairesel şekilli agregaların kullanımı, kırma taş agregaların kullanımına göre daha düşük aderansa neden olmaktadır (Neville, 2012). Özellikle dairesel agregalı betonun, kırma taş agregalı betona göre eğilme dayanımını daha düşüktür (ACI, 2023). Çok iri agrega kullanımı, betonun çekme dayanımını oldukça düşürebilmektedir (Tsiskreli ve Dzhvkhidze, 1970). Bölgedeki binaların bazılarında dairesel şekilli agregaların 50 mm çapından daha büyük olduğu belirlenmiştir. Bazı binalara ait beton kaliteleri ve iri agrega olarak kullanılan taş parçası Şekil 12’de gösterilmiştir.



Şekil 12. Yıkılan bazı binalarda gözlenen beton kalitesi

ABYYHY (1975)’te mesken amaçlı kullanılan binalar için asgari beton basınç dayanımı belirlenmemiştir. Ancak tasarımda belirlenen beton basınç dayanımının aynısının inşa sırasında da kullanılması gerekmektedir. Sonraki yıllarda, deprem bölgelerindeki tüm binalar için asgari beton basınç dayanımı ABYYHY (1998)’e göre 16 MPa, DBYBHY (2007)’ye göre 20 MPa ve TBDY (2018)’e göre 25 MPa olarak belirlenmiştir.

b) Çelik Donatı

Yıkılan veya ağır hasar almış binaların bazılarında donatının aşırı korozyona uğradığı görülmüştür. Korozyona uğrayan donatının (malzeme kaybindan dolayı) etkili kesit alanı küçülmektedir. Bu nedenle, tasarım sırasında hesaplanan çekme kuvvetlerini karşılama konusunda keside yerleştirilen donatı miktarı yetersiz kalmaktadır. Korozyona uğramış donatısı bulunan bir binanın yapısal eleman detayı Şekil 13-a’da gösterilmiştir.



a) Donatının aşırı korozyonu

a) Yetersiz donatı aralığı

Şekil 13. Yıkılan bazı binalarda gözlenen çelik donatılar

Her bir çelik donatının çevresi yeteri kadar beton örtüsü ile kaplanmalıdır. Bu beton örtüsü hem donatıya gerekli aderansı, hem de donatının dış etkenlerden korunmasını sağlar. Çelik donatılar yeteri kadar beton ile kaplanmaz ise, donatı tasarım sırasında hesaplanan çekme kuvvetlerini karşılayacak düzeyde deformasyona uğrayamaz ve bu nedenle yetersiz kalır (Döndüren ve diğerleri, 2006). Yıkılan bir binanın enkazından çıkarılan yapısal elemandaki uygun olmayan donatı düzenlemeleri Şekil 13-b’de gösterilmiştir.

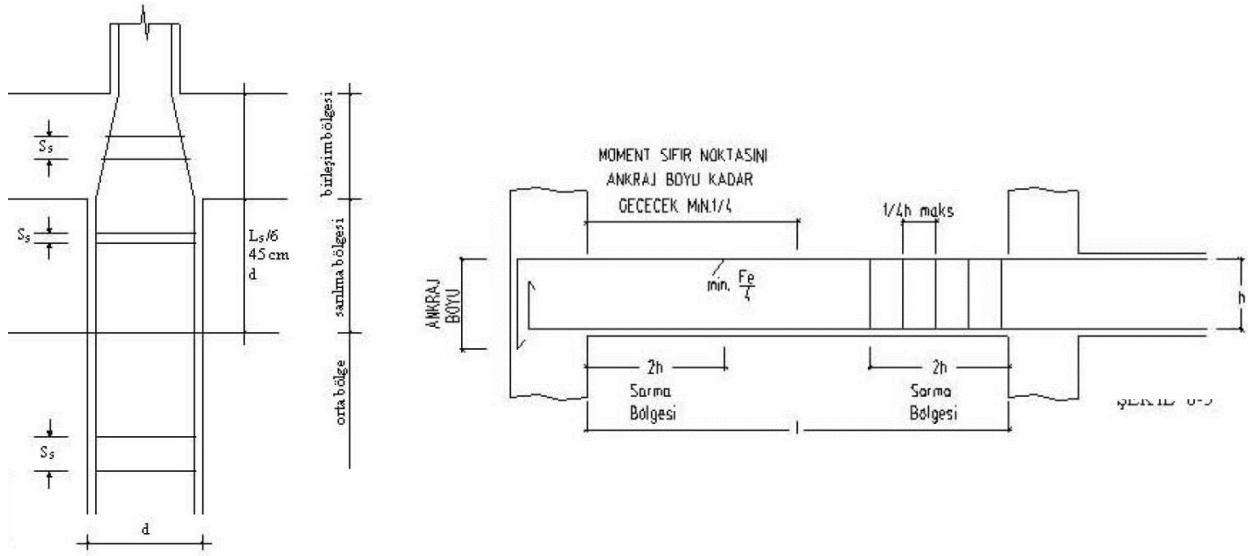
4. basamak: sarılma bölgeleri

Yeterli kenetlenme boyuna sahip olan, etriye uçlarının 135° büküldüğü ve malzeme ile ilgili sorunları bulunmayan yapılar, Şekil 3’te gösterilen üçgenin alttan üç basamağını sağlamıştır. Bir üst basamak olan, kolonlardaki ve kirişlerdeki sarılma bölgeleri bu bölümde ele alınmıştır. Deprem kuvvetleri altında yapısal elemanlardan kolon ve kirişlerin sonları en yüksek etkilere maruz kalmaktadır. Bu nedenle, kolonların alt ve üst ile kirişlerin sağ ve sol uçlarında etriye aralıkları, elemanların orta bölgelerine göre daha sık bir şekilde imal edilirler. Gelen yüksek yükler altında kolon ve kirişlerin uç bölgeleri kabuk betonunu kaybedecektir. Ancak, etriye sıklaştırılması yapılan sarılma bölgelerinde çekirdek betonu halen yerinde kalacak, sargılamının etkisi ile çekirdek betonun dayanımı artacak ve yapısal eleman yükleri taşımaya devam edecektir. Bu bölgelere “sarılma bölgeleri” denilmektedir. Bu depremlerde yıkılan bazı binaların sarılma bölgesi bulunmayan yapısal elemanlardaki donatı düzenlemeleri Şekil 14’te gösterilmiştir.



Şekil 14. Yıkılan bazı binalardaki yapısal elemanlarında sarılma bölgesi bulunmaması

ABYYHY (1975)’te bulunan ve kolon ve kiriş sarılma bölgelerini anlatan görsel Şekil 15’te gösterilmiştir. Bu koşullar, bu yönetmelikten sonra çıkan yönetmeliklerde de bulunmaktadır. Kolon ve kiriş sarılma bölgeleri konusunda ABYYHY (1975)’te belirtilen gerektirmelerin sağlanması, bu depremlerde sarılma bölgelerinin uygulanmaması nedeniyle yıkılan binaların ayakta kalmasına neden olabilecekti.



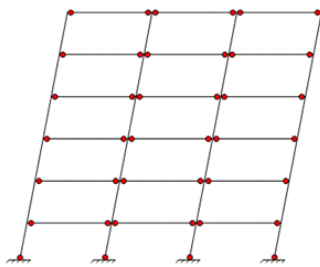
a) Kolon sarılma bölgesi

b) Kiriş sarılma bölgesi

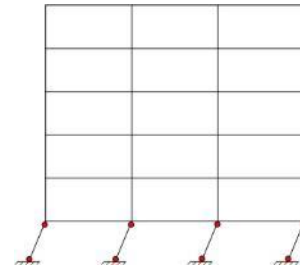
Şekil 15. Kolon ve kiriş sarılma bölgelerini gösteren yönetmelik görselleri (ABYYHY, 1975)

5. basamak: güçlü kiriş, daha güçlü kolon

Binalar deprem yüklerine maruz kalınca, ilk önce birinci kat kolonların alt ucunda hasar oluşur ve bu bölgeler plastik mafsala dönüşür. Kolonları kirişlerden daha güçlü olan yapılarda, daha az güçlü elemanların (kirişlerin) sağ ve sol uçlarında hasar oluşur ve bu bölgeler de plastik mafsala dönüşür. Bu binalarda göçmenin gerçekleşebilmesi, yani çerçevesi sistemin mekanizmaya dönüşmesi için, binada bulunan bütün kirişlerin her iki ucunun da plastik mafsala dönüşmesi gerekmektedir (Şekil 16-a) (Işık ve Özdemir, 2016). Tüm kirişlerin uçlarının plastik mafsala dönüşmesi hem uzun bir süreçtir, hem de çok yüksek düzeyde enerji gerektirir. Bu nedenle, kolonları kirişlerden daha güçlü olan binalar deprem süresince yıkılmadan ve en yüksek enerjiyi sönmüleyerek ayakta kalabilirler. Ancak uçları mafsallaşan kirişlerin çekirdek betonunun yükleri taşımaya devam edebilmesi için, Şekil 3'te gösterilen üçgenin alttan dört basamağının (yeterli kenetlenme boyu, etriye uçlarının 135° bükülmesi, malzeme ile ilgili sorunlar ve sarılma bölgesi) mutlaka sağlanması gerekmektedir. Güçlü kiriş, daha güçlü kolon koşulunu sağlamış ve Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılmamış ancak ağır hasar almış olan bir bina Şekil 17-a'da gösterilmiştir.



a) Kirişlerin uçlarının mafsallaşarak oluşan göçme mekanizması (kolonların kirişlerde güçlü olduğu istenen davranış)



b) Birinci kat kolonlarının uçlarının mafsallaşarak oluşan göçme mekanizması (kirişlerin kolonlardan güçlü olduğu istenmeyen davranış)

Şekil 16. Kolon kiriş güç dengesine göre göçme mekanizmaları



a) Kolonların kirişlerden daha güçlü olduğu bina



b) Alt katı göçen bina (kirişlerin kolonlarından daha güçlü olduğu bina)

Şekil 17. Kolon kiriş güç dengesine göre binaların davranışları

Kirişlerin kolonlardan daha güçlü olduğu binalarda, birinci kat kolonlarının alt uçlarında hasar (plastik mafsal) oluşmasının ardından, daha az güçlü elemanlarda yani birinci kat kolonlarının üst uçlarında da hasar oluşur ve bu bölgeler de plastik mafsala dönüşür. Bu durumda çerçevesi sistemin en alt katı mekanizmaya dönüşür ve yapı bir kat aşağıya doğru yıkılır (Şekil 16-b). Henüz depremin başlarında daha istenilen düzeyde enerji sönmülmeyen bina göçmüş olur. Kirişleri kolonlarından daha güçlü olan ve Kahramanmaraş Depremleri sırasında yıkılmış olan bir bina Şekil 17-b'de gösterilmiştir.

Kirişlerin güçlü, kolonların kirişlerden daha güçlü olmaları koşulu ABYYHY (1975)'te bulunmamaktadır. Bu koşulun sağlanma gerekliliğinden ilk olarak ABYYHY (1998)'de bahsedilmiştir. Bu yönetmeliğe göre, kolonların kirişlerden en az %20 oranında daha güçlü olması gerekmektedir. Bu koşul, bu yönetmelikten sonra çıkan yönetmeliklerde de bulunmaktadır. Kolonların kirişlerden daha güçlü olmaları konusunda ABYYHY (1998)'de belirtilen gerektirmelerin sağlanması, bu depremlerde kirişlerin kolonlardan güçlü olması nedeniyle yıkılan binaların ayakta kalmasına neden olabilecekti.

6. basamak: gelişmiş konular

Şekil 3'te gösterilen üçgenin alttan 5 kategorisinin de sağlayan ancak yıkılan bir yapının yıkılma nedeni olarak gelişmiş konuları gösterebiliriz. Bunlar üçgenin ilk beş basamağına girmeyen konulardan oluşmaktadır. Yanlış tasarımdan, yanlış zemin raporu verilerine, çekiçleme etkisinden, kısa kolon etkisine, birçok konu göz önünde bulundurulabilir.

SONUÇ

Birinci depremin meydana gelmesinden yaklaşık 18 saat sonra, depremlerden etkilenen illerde (Adana, İskenderun, Antakya, Kahramanmaraş, Adıyaman, Besni, Gaziantep, Nurdağı, Osmaniye) incelemelere başlanmış ve bölgede toplam beş gün bulunulmuştur. Bu incelemeler neticesinde elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda sıralanmıştır:

- Bu depremlerde yıkılan yapıların çok büyük bir çoğunluğunda, bu yapıların yapım döneminde yürürlükte olan deprem yönetmeliklerinde belirtilen kuralların ve koşulların önemli bir kısmının uygulanmadığı görülmüştür.

• Bu depremlerde yaşanan mevcut yıkımların nedenleri, Maslow (1943) tarafından geliştirilen ihtiyaçlar teorisi benzeri “Betonarme Binalardaki Sorunlar Hiyerarşisi Üçgeni” (Şekil 3) ile basitleştirilecek, bu makalede anlatılmıştır.

• Yıkılan binalardaki karşılaşılan en büyük sorunlar (önem sırasına göre, en önemliden başlayarak) yetersiz kenetlenme boyu, etriye uçlarının 90° bükülmesi, malzeme ile ilgili sorunlar, kolon ve kirişlerde sarılma bölgelerinin bulunmaması, kirişlerin kolonlardan daha güçlü olması olarak sıralanabilir.

• Karşılaşılan problemler sadece bu deprem ve bölgeye özgü olmamakla birlikte, 2011 yılında Van’da (Baran ve diğerleri, 2014), 2020 yılında Elazığ’da (Mertol ve diğerleri, 2021) ve yine 2020 yılında İzmir’de (Mertol ve diğerleri, 2023) gerçekleşen depremlerde karşılaşılan sorunlarla büyük benzerlik göstermektedir.

• Betonarme Binalardaki Sorunlar Hiyerarşisi Üçgeni’nin aşağıdan ilk beş basamağının sağlanması halinde bile, bu depremde yıkılan binaların önemli bir kısmının ayakta kalmasının sağlanabileceği düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR

Bölgedeki incelemelerin gerçekleştirilmesi için sağladıkları destekten dolayı Atılım Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dekanlığı’na, Rektörlüğü’ne ve Mütevelli Heyeti’ne teşekkür ederim. İnceleme ekibinde yer alan Prof. Dr. Tolga Akış’a, Araş. Gör. Yunus Kantekin’e ve Araş. Gör. İshak Can Aydın’a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

KAYNAKLAR

- ABYYHY. (1975). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. T. C. İmar ve İskan Bakanlığı, Ankara.
- ABYYHY. (1998). Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik. T. C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- AFAD (Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı). (2023). 06 Şubat 2023 Pazarcık (Kahramanmaraş) M_w 7.7 ve Elbistan (Kahramanmaraş) M_w 7.6 Depremlerine İlişkin Ön Değerlendirme Raporu. İçişleri Bakanlığı, Deprem Dairesi Başkanlığı, Ankara.
- American Concrete Institute (ACI). (2023). Erişim adresi: <https://www.concrete.org/tools/frequentlyaskedquestions.aspx?faqid=715> (Ulaşım Tarihi 8 Haziran 2023).
- Arslan, M. E. ve Arslan, T. (2018). Kenetlenme Boyu ve Donatı Çapının Beton-Donatı Aderansına Etkisinin Mafsallı Kiriş Deneyiyle İncelenmesi. *Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 30(2), 1-11.
- Bakırcı Er, Ş., Aykaç, S. ve Can, H. (2014). Betonarme Zayıf Kolon-Kiriş Birleşimlerinin Davranışı. *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 29(3), 537-547.
- Baran, E., Mertol, H. C. ve Güneş, B. (2014). Damage in reinforced-concrete buildings during the 2011 Van, Turkey, earthquakes. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 28, 466-479. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000396](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000396).
- ÇŞİDB. (2023). Bakan Kurum: “2 Ay İçerisinde 11 İlimizin Tamamında Toplam 309 Bin Bağımsız Bölümün İnşa Sürecini Başlatmış Olacağız”. Erişim adresi: <https://csb.gov.tr/bakan-kurum-2-ay-icerisinde-11-ilimizin-tamaminda-toplam-309-bin-bagimsiz-bolumun-insa-surecini-baslatmis-olacagiz-bakanlik-faaliyetleri-38466> (Ulaşım Tarihi: 8 Haziran 2023).

- DBYBHY. (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. T. C. Bayındırlık ve İskân Bakanlığı, Ankara.
- Döndüren, M. S., Çöğürçü, M. T. ve Altın, M. (2006). Betonla Donatı Arasındaki Aderans Davranışının Deneysel İncelenmesi,” *Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 21(3-4), 57-68.
- Google Haritalar. (2023). Erişim adresi: <https://www.google.com/maps> (Ulaşım Tarihi: 8 Haziran 2023).
- Işık, E. ve Özdemir, M. (2016). Betonarme Yapılarda Güçlü Kiriş – Zayıf Kolon Durumunun Yapı Performansına Etkisi. 1st International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Adana.
- Maslow, A. H. (1943). A theory of human motivation. *Psychological Review*, 50(4), 370–396. <https://doi.org/10.1037/h0054346>.
- Mertol, H. C., Tunç, G. ve Akış, T. (2021). Damage observation of reinforced concrete buildings after 2020 Sivrice (Elazığ) earthquake, Turkey. *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 35 (5). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0001619](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0001619).
- Mertol, H. C., Tunç, G. ve Akış, T. (2023). A site survey of damaged RC buildings in İzmir after the Aegean sea earthquake on October 30, 2020. *Gradevinar*, 75(5), 451-470. DOI: 10.14256/JCE.3343.2021.
- Neville, A. M. (2012). Properties of Concrete. *Trans-Atlantic Publications Inc.*, 5th Edition, 846 s.
- Susanto, A., Kasyanto, H. ve Susilahadi, S. (2020). Experimental Study of 90° Hook and Standard Hook at the End of Reinforced Concrete Beam Stirrup. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 830.
- Orakçal, K. ve Chowdhury, S. R. (2011). Betonarme Kolonlarda Donatı Sıyrılmasının Analitik Modellenmesi. 1. Türkiye Deprem Mühendisliği ve Sismoloji Konferansı, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Ankara.
- TBDY. (2018). Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar. T. C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Ankara.
- Tsiskreli, G. D. ve Dzhavakhidze, A. N. (1970). The effect of aggregate size on strength and deformation of concrete. *Hydrotechnical Construction*, 4, 448-453. <https://doi.org/10.1007/BF02376145>.