

NÖHÜ Müh. Bilim. Derg. / NOHU J. Eng. Sci., 2025; 14(3), 1071-1081 Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi Niğde Ömer Halisdemir University Journal of Engineering Sciences

Araștırma makalesi / Research article

www.dergipark.org.tr/tr/pub/ngumuh / www.dergipark.org.tr/en/pub/ngumuh



Ağır çıkma bulunan betonarme binalarda dış çerçeve düzensizliğinin deprem davranışına etkisinin incelenmesi

Investigation of the effect of external frame irregularity on seismic behavior in reinforced concrete buildings with heavy overhangs

Ömer Faruk Osmanlı¹⁽¹⁾, Ömer Faruk Taş^{2,*}⁽¹⁾, Burak Çakıl³⁽¹⁾, Ozan İnce⁴⁽¹⁾, Erkut Sayın⁵⁽¹⁾, Muhammet Karaton⁶⁽¹⁾

1.2.3.4.5.6 Fırat Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

Öz

Bu çalışmada kapalı ağır çıkma bulunan betonarme binalarda dış çerçeve düzensizliğinin yapısal sistemin sismik yükler altındaki davranışına etkileri incelenmiştir. Bu amaçla dış çerçeve bağlantılarının farklı olarak tasarlandığı ağır çıkma bulunan betonarme iki yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiştir. Nümerik analizlerde kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi kullanılmış ve çözümler SeismoStruct programı ile elde edilmiştir. Deprem yüklemesi olarak Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) depreminin Türkoğlu istasyonunda ölçülen ivme kayıtları kullanılmıştır. Binaların deprem tepkilerinin karşılaştırmalarında tepe yerdeğiştirme, dönme, taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, göreli kat yerdeğiştirme, doğrusal hız ve ivme, açısal hız ve ivme değerleri dikkate alınmıştır. Ayrıca oluşturulan her iki modelde meydana gelen hasarlı kolon ve kiriş eleman sayıları belirlenen hasar sınır seviyelerine göre karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, ağır çıkma bulunan betonarme binalarda dış çerçeve sürekliliğinin olmaması binanın deprem davranışı açısından önemli derecede olumsuz etkilere sebep olduğu belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ağır çıkmalar, Çerçeve düzensizliği, Kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi, Deprem davranışı, Hasar Sınırları

1 Giriş

Mühendislik yapıları depremlere maruz kaldıklarında, sismik aktivitenin yoğunluğuna ve büyüklüğüne bağlı olarak değişen derecelerde hasar alırlar. Bu yapıların tasarımı ve inşasında kusurların ve düzensizliklerin varlığı, deprem sırasında meydana gelen hasarın derecesini daha da artırabilir. Depreme dayanıklı binalarda hem tasarım aşaması hem de sonraki inşaat aşamasını titizlikle uygulamak kritik öneme sahiptir. Özellikle deprem tehlikelerine karşı savunmasız olan yerleşim alanlarında potansiyel can kaybını ve mülkün tahrip edilmesini en aza indirmek gerekmektedir. Deprem sebebiyle özellikle betonarme binalarda meydana gelen olumsuz etkileri artıran çok sayıda faktör vardır. Bu

Abstract

This study investigates the effects of external frame irregularities on the seismic behavior of structural systems in reinforced concrete buildings with heavy overhangs. For this purpose, nonlinear time history analyses of two reinforced concrete buildings with heavy overhangs, designed with different external frame connection configurations, were conducted. The force-based fiber element method was used in numerical analyses, and the solutions were obtained using the SeismoStruct software. The acceleration records measured at the Türkoğlu station during the Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) earthquake were utilized as seismic loading. In the comparison of the seismic responses of the buildings, parameters such as top displacement, rotation, base shear force, base overturning moment, interstory drift, linear velocity and acceleration, as well as angular velocity and acceleration, were considered. Additionally, the number of damaged column and beam elements in both models was evaluated and compared according to the defined damage limit levels. As a result, it was determined that the lack of external frame continuity in reinforced concrete buildings with heavy overhangs significantly adversely affects the seismic behavior of the building.

Keywords: Heavy overhangs, frame irregularity, forcebased fiber element method, earthquake behavior, damage limits

faktörler genel olarak malzemeden kaynaklanan hasarlar, tasarımdan kaynaklanan hasarlar, donatı detaylarından kaynaklanan hasarlar olarak sınıflandırılmaktadır. Tasarımdan kaynaklanan hasarlar ise kısa kolon, güçlü kirişzayıf kolon, yetersiz kesme dayanımı, yumuşak ve zayıf kat, çerçeve süreksizliği ve ağır çıkma vb. olarak detaylandırılmaktadır [1-10].

Bina performansını etkileyen unsurlardan biri olan ağır çıkmalar, yapının statik ve dinamik davranışını değiştirebilmekte ve özellikle sismik yükler altında, binanın rijitliği, kütle dağılımı ve periyodu gibi temel parametrelerini etkileyerek deprem performansında olumsuz sonuçlar doğurabilmektedir. Yapılardaki ağır çıkmalar, tipik olarak zemin katın üstünde yer alan seviyelerde mevcut yaşam

^{*} Sorumlu yazar / Corresponding author, e-posta / e-mail: oftas@firat.edu.tr (Ö. F. Taş) Geliş / Received: 18.04.2025 Kabul / Accepted: 10.06.2025 Yayımlanma / Published: 15.07.2025 doi: 10.28948/ngumuh.1677915

alanını artırmak amacıyla inşa edilen önemli yapısal elemanlar olarak hizmet eder. Genellikle binanın dış cephesindeki ağır çıkmalar, hem konut hem de ticari mimari çalışmalarda kullanılmaktadır. Bununla birlikte, bu ağır çıkmaların betonarme yapılara dâhil edilmesi, söz konusu binanın statik ve dinamik özelliklerini değiştirebilmektedir. Bu tür yapısal değişiklikler, tüm yapının rijitliğini, kütle dağılımını ve salınım periyodunu etkileyebilir ve böylece genel yapısal performansıyla ilgili olumsuz sonuçlara yol açabilir [11].

Çok katlı betonarme binalardaki ağır balkonlar ve çıkma katlar, kütle merkezini yukarı kaydırmakta; buna bağlı olarak deprem sırasında sismik yanal kuvvetleri ve devrilme momentlerini artırmaktadır. Ağır beton parapetlerle çevrelenmiş geniş çıkma konsol açıklıklarına sahip balkonlu binalar, Türkiye'de meydana gelen son depremlerde, normal binalara kıyasla daha ağır hasarlar almıştır [12]. 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrasında ağır çıkma bulunan betonarme binalarda meydana gelen hasar örnekleri Şekil 1'de görülmektedir.



Şekil 1. 2023 Kahramanmaraş depremleri sonrası ağır çıkma bulunan hasarlı bina örnekleri [3]

Bu ağır çıkmaların betonarme binaların deprem dayanıklılığı üzerindeki etkilerinin kapsamlı bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Literatürde ağır çıkmaların deprem esnasında etkilerini inceleyen çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Işık ve Akat [11] çalışmalarında, betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan farklı ağır çıkmaların binanın deprem performansı üzerindeki etkileri incelenmiştir. Sayısal analizler için, ağır çıkma olmayan bir referans bina modeli seçilmiş ve bu modelin farklı cephelerine çeşitli uzunluklarda ağır çıkmalar eklenerek toplam 16 yapı tasarlanmıştır. Analizler sonucunda, ağır çıkmaların artmasıyla taban kesme kuvveti, periyot ve kütlenin arttığı, deprem performansının ise azaldığı belirlenmiş ve deprem performansının ağır çıkma miktarındaki artıstan olumsuz etkilendiği görülmüstür. Doğangün [13] çalışmasında 1 Mayıs 2003'te Bingöl depreminde meydana gelen yapısal hasarın nedenlerinden birinin ağır çıkmaya sahip binaların olduğunu tespit etmiştir. Işık ve Tozlu [14] çalışmalarında hızlı değerlendirme yöntemini kullanmışlardır. Dikkate alınan ağır çıkmaya sahip binaların performansı üzerindeki etkilerini incelemişlerdir. Meral ve İnel [15] çalışmaları kapsamında 2, 4 ve 7 katlı olmak üzere 3 farklı kat için toplam 144 bina modeli oluşturmuşlardır. Farklı parametrelerin etkilerini ortaya çıkarmak için doğrusal olmayan itme analizlerini ağır çıkmaya sahip binalara uygulamış ve sonuçlarını

incelemişlerdir. Öz [16] çalışmasında, üç farklı kat için 1.50 m çıkma ile oluşturduğu yapısal modeller üzerinde doğrusal ve doğrusal olmayan zaman alanında analizler gerçekleştirmiş ve kapalı ağır çıkmaların binanın sismik davranışı üzerindeki etkisini incelemiştir. Meral [17] çalışmasında kapalı çıkmaların betonarme binaların deprem davranısına etkilerini doğrusal olmayan zaman tanım alanında yapılan analizlerle incelemistir. 2, 4 ve 7 katlı referans binalara kapalı çıkmalar eklenerek kirişli ve kirişsiz kapalı çıkmalı modeller oluşturulmuş ve doğruşal olmayan analizler uygulanmıştır. Sonuç olarak, kirişsiz kapalı çıkmalı binalarda taban kesme kuvvetinin daha düşük, deplasman taleplerinin ise daha yüksek olduğunu tespit etmiştir. Karki ve Parajuli [18] bu çalışmalarında betonarme çerçeve binaların sismik tepki parametreleri üzerinde konsol çıkmalarının etkisi incelenmiştir. Çalışma kapsamında, bir ve iki cephede farklı uzunluklarda konsol çıkmalar eklenmiş 3 katlı ve 5 katlı toplam 18 bina modeli olusturulmus ve analizler uygulanmıştır. Elde edilen bulgular, konsol çıkmaların periyot, taban kesme kuvveti, katlar arası ötelenme oranı ve devrilme momenti gibi sismik tepki yol göstermiştir. parametrelerinde artışa açtığını Kolonlardaki burulma momenti 3.53 kat, eğilme momenti ise 1.5 kat artarken, konsol sehimi izin verilen sınırları aşmıştır. Bu sonuçlarla, sismik güvenlik için konsol çıkmalar üzerinde uygun mühendislik analizlerinin yapılmasının önemini vurgulamışlardır.

Literatürde ağır çıkma bulunan betonarme binalar farklı parametreler açısından ve farklı analiz yöntemleri ile değerlendirilmis olsa da bu tip binalarda dış cerceve süreksizliğinin ve ağır çıkma bulunan doğrultuların, yapının deprem davranışına etkisi belirsizliğini korumaktadır. Bu çalışmada, özellikle kapalı ağır çıkmalar içeren betonarme binalarda, dış çerçeve düzensizliğinin yapısal sistemin sismik yükler altındaki davranışına olan etkileri incelenmiştir. Bu doğrultuda, dış çerçeve bağlantılarının farklı şekilde tasarlandığı ağır çıkmalı iki betonarme yapının zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi ile elde edilmiştir. Binaların deprem davranışları, tepe yerdeğiştirme, dönme, taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, göreli kat yerdeğiştirme, doğrusal hız ve ivme ile açısal hız ve ivme değerleri üzerinden karşılaştırılmıştır. Ayrıca, her iki modelde meydana gelen hasarlı kolon ve kiriş eleman sayıları da kıyaslanmıştır.

2 Materyal ve metot

2.1 Fiber eleman yöntemi

Fiber Eleman Yöntemi temelinde hem kuvvete dayalı hem de deplasmana dayalı formülasyonlara dayanmaktadır. Kuvvete dayalı Fiber Eleman Yönteminde dikkate alınan betonarme eleman kesitinin kuvvet-yerdeğiştirme ilişkisi boyuna fiberlerin tek eksenli gerilme-şekil değiştirme bağlantısı kullanılmaktadır. Bu yöntemde düzlem kesitlerin deformasyon süresi boyunca yine düzlem kaldığı varsayılmaktadır. Ayrıca betonarme bir elemanın doğrusal olmayan davranışı, kesitte kullanılan fiberlerin doğrusal olmayan gerilme-şekil değiştirme davranışı ile sağlanmaktadır.



Şekil 2. Fiber Eleman Yönteminde betonarme eleman ve kesit detayları

Fiber Eleman Yönteminde betonarme eleman kesiti entegrasyon noktalarından kesitlere ayrılır. Ayrılan kesitler; beton kabuk fiberleri, beton çekirdek fiberleri ve çelik olarak sınıflandırılmış fiber fiberler elemanlara ayrıklaştırılır. Bu yöntemde kullanılan entegrasyon noktaları ve fiber eleman ayrıklaştırılması Şekil 2'de verilmiştir. Bir elemandaki entegrasyon noktalarının sayısı ve bir kesitteki fiberlerin sayısı, elemanın davranışını ve dolayısıyla yapının davranışını etkilemektedir [19, 20]. Betonarme bir elemanın kuvvete dayalı Fiber Eleman Yönteminin formülasyonunda deformasyon enterpolasyon fonksiyonu a(x) ve kuvvet enterpolasyon fonksiyonu b(x) kullanılmaktadır. Eleman fleksibilite matrisi F^{i-1} ve enterpolasyon fonksiyon matrisine dayanan bir matris olarak tanımlanan T matrisi aşağıda yer alan denklemlerle ifade edilmektedir.

$$\boldsymbol{F}^{i-1} = \begin{bmatrix} \int_{0}^{L} b^{T}(x) \cdot \boldsymbol{f}^{i-1}(x) \cdot b(x) \cdot dx \end{bmatrix}$$
(1)

$$\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} \int_{0}^{L} b^{T}(x) \cdot a(x) \cdot dx \end{bmatrix}$$
(2)

Eleman deformasyon bölgesi, aşağıdaki denklemler kullanılarak esnekliğe bağlı şekil fonksiyonları ile temsil edilir;

$$a(x) = \boldsymbol{f}^{i-1}(x) \cdot \boldsymbol{b}(x) \cdot \left[\boldsymbol{F}^{i-1}\right]^{-1}$$
(3)

Burada, f bir kesitin fleksibilite matrisidir. Üst indis i ise yapısal düzeyde Newton-Raphson iterasyon döngüsünün iterasyon sayısını gösterir (Taucer vd. 1991). Böylece f^{i-1} matrisi, (i-1), inci Newton-Raphson iterasyonunda bir kesitin fleksibilite matrisini gösterir. Enterpolasyon fonksiyonları kullanılarak, kesit deformasyonları ile eleman deformasyonları arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilebilir;

$$\Delta d^{i}(x) = \boldsymbol{f}^{i-1}(x) \cdot \boldsymbol{b}(x) \cdot \left[\boldsymbol{F}^{i-1}\right]^{-1} \Delta q^{i}$$
(4)

Burada, Δd ve Δq sırasıyla değişken kesit deformasyonu ve değişken eleman deformasyonudur. Tmatrisi, deformasyon şekil fonksiyonlarının özel seçimi kullanılarak 3x3 tanımlı I matrisine dönüşür. Bu dönüşüm durumu aşağıdaki denklem ile gösterilebilir;

$$\boldsymbol{T} = \begin{bmatrix} \int_{0}^{L} \boldsymbol{b}^{T}(\boldsymbol{x}) \cdot \boldsymbol{a}(\boldsymbol{x}) \cdot d\boldsymbol{x} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \int_{0}^{L} \boldsymbol{b}^{T}(\boldsymbol{x}) \cdot \boldsymbol{f}^{i-1}(\boldsymbol{x}) \cdot \boldsymbol{b}(\boldsymbol{x}) \cdot d\boldsymbol{x} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \boldsymbol{F}^{i-1} \end{bmatrix}^{-1} = \boldsymbol{I}$$
(5)

Deformasyon enterpolasyon fonksiyonu döngüsel çözüm sırasında değişmektedir. Bu nedenle, bu çalışmada önerilen yöntem kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi olarak adlandırılmaktadır. Kuvvet alanı, iki eğilme momentinin doğrusal ve eksenel kuvvetin sabit olduğu kesit kuvvet vektörü kullanılarak ifade edilir (Taucer vd., 1991). Böylece, kuvvet enterpolasyon fonksiyonu bu ifadenin matris formundaki sonucu ile aşağıdaki gibi elde edilir;

$$b(x) = \begin{bmatrix} \left(\frac{x}{L} - 1\right) & \left(\frac{x}{L}\right) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \left(\frac{x}{L} - 1\right) & \left(\frac{x}{L}\right) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$
(6)

Kuvvet enterpolasyon fonksiyonu, b(x) aşağıdaki denklemi kullanarak eleman kuvvet vektörü ile eleman boyunca kuvvet dağılımları arasındaki ilişkiyi sağlar.

$$\Delta \mathbf{D}^{i}(x) = b(x) \cdot \Delta \mathbf{Q}^{i} \tag{7}$$

Burada, $\Delta \mathbf{D}(x)$ ve $\Delta \mathbf{Q}$ sırasıyla değişken kesit kuvvet vektörü ve değişken eleman kuvvet vektörüdür. Fiber şekildeğiştirme $\Delta \mathbf{e}^{j}(x)$ 'nin artışları,

$$\Delta \mathbf{e}^{j}(x) = I(x) \cdot \Delta \mathbf{d}^{j}(x) \tag{8}$$

denklemi yardımıyla ifade edilmektedir. Burada, üst simge j eleman seviyesindeki iterasyon sayısı, $\Delta \mathbf{d}^{j}(x)$ verilen

deformasyon artışları ve $\mathbf{I}(x)$ olarak tanımlanabilen kesit uyumluluk matrisidir ve bu matris,

$$\mathbf{I}(x) = \begin{bmatrix} -y_1 & z_1 & 1\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ -y_{ifib} & z_{ifib} & 1\\ \vdots & \vdots & \vdots\\ -y_n & z_n & 1 \end{bmatrix}$$
(9)

şeklinde gösterilmektedir. Bu denklemde x, ilgili elemanın doğrultusu boyunca belirlenen entegrasyon noktasının konumunu, y_{ifib} ve z_{ifib} ise belirlenen entegrasyon kesitindeki fiberin konumunu göstermektedir. Fiber şekil değiştirmedeki artışlar dikkate alınarak, fiberin uygun gerilme-şekil değiştirme ilişkisi kullanılarak tüm fiberlerin yeni tanjant modülü (\boldsymbol{E}_{ifrb}) ve gerilmesi $(\boldsymbol{\sigma}_{ifib}^{j})$ hesaplanmaktadır. Bu durumda kesitinin yeni teğet rijitlik matrisi $(\mathbf{k}^{j}(x))$ aşağıdaki denklem ile belirlenir,

$$\mathbf{k}^{j}(x) = \mathbf{I}^{T}(x) \cdot (\mathbf{E}_{tan}^{j} \mathbf{A}) \cdot \mathbf{I}(x)$$
(10)

Burada, \mathbf{E}_{tan}^{j} diyagonal matris formundaki fiber gerilmelerinden oluşan tanjant modülü ve \mathbf{A} ise fiber alanlarının (A_{ifib}) diyagonal matris formudur. Sonuç olarak kesitin yeni tanjant rijitlik matrisi açık formda şu şekilde ifade edilebilir,

$$\mathbf{k}^{j}(\mathbf{x}) = \begin{bmatrix} \sum_{\substack{\beta b = 1 \\ \beta b = 1 \\$$

Kesitinin yeni tanjant fleksibilite matrisi $(f^{J}(x))$, kesit için yeni tanjant rijitlik matrisinin ters çevrilmiş haliyle elde edilir [19-21].

3 Sayısal çalışma

Bu çalışmada nümerik analizler kapsamında yapı stokunda yoğun bir şekilde yer alan kapalı ağır çıkmaya sahip binaların çerçeve düzensizliği durumu farklı 2 tip betonarme bina modeliyle incelenmiştir. Her iki modelde de kapalı ağır çıkma durumu göz önünde bulundurulmuştur. Model 1 tüm kolonlar arası kirişlerle bağlanarak modellenirken, Model 2 ağır çıkma bulunan çevre kolonlar arasındaki kirisler konsol ucunda olacak sekilde modellenmiştir. Kapalı ağır çıkma bulunan betonarme binalarda cerceve düzensizliğinin incelenmesi için betonarme kesitler, malzeme özellikleri, donatı konfigürasyonu, statik ve dinamik yükleme durumları her iki modelde de özdeş olarak modellenmiştir. Nümerik analizlerde kullanılan kolon kiriş kesit özellikleri, beton ve çelik için kullanılacak malzeme özellikleri ve betonarme kesitler için donatı detayları gibi parametreler için uygulamada yaygın olarak kullanılan değerler dikkate alınmıştır. Bu parametreler için seçilen değerler aşağıda detaylandırılmaktadır. Nümerik analizlerde her iki

betonarme bina modeli de 14.5x14.5 m plan boyutlarında simetrik olarak dikkate alınmıştır. Bina modellerine ait kat planları Şekil 3'te verilmiştir.



Şekil 3. Bina modellerine ait kat planları

Her iki modelde de x ve y doğrultularında bir yönde 1.5m uzunluğunda konsol ağır çıkma yer almaktadır. Betonarme kolonların tamamı için kesit ölçüleri 50x50 cm olarak alınmıştır. Boyuna donatı için 8 adet Φ 20 donatı çeliği ve etriyeler için Φ 8 donatı çeliği 10 cm aralıklarla kullanılmıştır. Betonarme kiriş ölçüleri ise 30x50 cm olarak alınmış ve 8 Φ 14 boyuna donatı, Φ 8/10 cm etriye donatı konfigürasyonu kullanılmıştır. Modellerde kullanılan betonarme elemanların kesit detayları Şekil 4'te verilmiştir. Beton malzemenin basınç dayanımı 25 MPa, çelik malzemenin akma dayanımı ise 420 MPa olarak hesaba katılmıştır.



Kiriş boyutları: 30 x 50 cm Donatı: 8 Φ 14 - Etriye: Φ8/10 cm Şekil 4. Betonarme elemanların kesit detayları

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizler için SeismoStruct programı kullanılmıştır [22]. Betonarme elemanların sonlu eleman çözümleri için kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi dikkate alınmıştır. Doğrusal olmayan dinamik analizlerin çözümünde Hilber-Hughes-Taylor entegrasyon algoritması kullanılmış ve α değeri -0.1 olarak dikkate alınmıştır. Sönüm tipi olarak Rayleigh sönümü ile çözümler elde edilmiş ve sönüm oranı ise %5 olarak dikkate alınmıştır. Beton malzemenin doğrusal olmayan davranış modeli için sargı etkisini de dikkate alan Mander modeli kullanılmıştır [23]. Çelik malzemenin doğrusal olmayan davranışı için ise geliştirilmiş Menegotto-Pinto çelik modeli kullanılmıştır [24,25]. Beton ve çelik malzemelerin doğrusal olmayan davranış modelleri Şekil 5'te verilmiştir. Nümerik sonuçlar, kesitlerdeki çelik ve beton liflerin doğrusal olmayan davranışı için tanımlanan malzeme modellerinden etkilenmektedir.



a) Mander-Priestley-Park beton modeli [23]



(b) Geliştirilmiş Menegotto-Pinto çelik modeli [25]

Şekil 5. Beton ve çelik malzeme modelleri

Nümerik analizlerde Model 1 de duvar yükleri konsol ucuna ağırlık olarak eklenirken Model 2 de ise kiriş üzerlerine ağırlık olarak etki ettirilmiştir. Döşemeler rijit diyafram olarak dikkate alınmıştır. Oluşturulan modellerin üç boyutlu görünümleri Şekil 6'da verilmiştir.







Şekil 6. Bina modellerinin 3 boyutlu görüntüsü

Binaların dinamik özelliklerini belirlemek için öncelikle modal analizler gerçekleştirilmiştir ve elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir. Bu tabloda sırasıyla x, y ve z yönleri için deplasman değerleri açısından her bir moda ait kütle katılım oranları yüzde olarak verilmiştir. Modal analiz sonuçlarına göre her iki doğrultu için etkin modal kütle katılım oranları en yüksek olan 2 modun periyod değerleri dikkate alınmıştır. Diğer modların kütle katılım oranları çok düşük olduğundan bu tabloda yer verilmemiştir. Model 1' de 5. ve 6. modun periyod değerleri kullanılırken Model 2' de 3. ve 4. modun periyod değerleri kullanılmıştır.

Tablo 1. Modal analiz sonuçları

	Mod	Periyot(s)	U _x (%)	U _y (%)	U _z (%)
Madal 1	5	0.604	40.91	40.91	0.03
Model-1	6	0.601	38.11	Uy(%) 1 40.91 1 38.11 5 40.45 4 27.74	0.00
M- 1-1 2	3	0.672	40.45	40.45	0.05
wodel-2	4	0.607	27.74	27.74	0.00

Yapının dinamik özellikleri belirlendikten sonra zaman tanım alanında doğrusal olmayan dinamik analizler gerçekleştirilmiştir. Dinamik analizlerde uygulanacak deprem yüklemesi için her iki modelde de Kahramanmaraş-Pazarcık (Mw=7.7) depreminin Türkoğlu istasyonunda doğu-batı doğrultusunda ölçülen ivme kaydı modellerin x yönünde etki ettirilmiştir. Uygulanan depremin pik değeri 0.513g olarak ölçülmüştür ve bu deprem kaydına ait ivmezaman grafiği Şekil 7'de verilmiştir.



Şekil 7. Kahramanmaraş (Pazarcık) depreminin Türkoğlu istasyonunda ölçülen ivme kaydı (T.C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2024)

Zaman tanım alanında doğrusal olmayan analiz sonuçları her iki model için öncelikle tepe yerdeğiştirme değerleri açısından değerlendirilmiştir. Model 1 ve Model 2 için tepe yerdeğiştirme – zaman grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Bu grafiklerden görüldüğü üzere, Model 1 için maksimum tepe yer değiştirme değeri –x yönünde 131.67 mm olarak elde edilirken, Model 2 için bu değer 192.02 mm olarak elde edilmiştir. Bina modellerinin deprem tepkilerinin karşılaştırılması amacıyla, tepe yer değiştirme değerleri, dönme açıları, taban kesme kuvveti ve taban devrilme momenti değerleri karşılaştırmalı olarak Tablo 2'de verilmiştir. Bu tablodan görüldüğü üzere, Model 1 ve Model 2 arasında tepe yer değiştirme değerleri açısından %45.83, dönme değerleri açısından %583.33 mertebelerinde bir artış görülmüştür. Taban kesme kuvveti ve taban devrilme momentleri arasında önemli bir fark gözlemlenmemiştir.



Şekil 8. Bina modellerine ait tepe yerdeğiştirme – zaman grafikleri

Tablo 2. Deprem	tepkilerinin	en yüksek	değerleri	ve	bina
modelleri arasında	aki farklar				

	Model 1	Model 2	Maksimum değerler arasındaki farklar
Tepe yerdeğiştirme	123.61	170.68	%45.83
(mm)	-131.67	-192.02	/0+3.05
Dönme	0.0011	0.0079	0/ 592 22
(rad)	-0.0012	-0.0082	%383.33
Taban kesme kuvveti	3060	2779	N 0.57
(kN)	-3333	-3014	%-9.57
Taban devrilme momenti	6049	6038	ov 1.92
(y ekseni) (kN/m)	-6310	-6195	%-1.82

	Moo	lel -1	Moo	Model -2		
	(x) yönü (mm)	(-x) yönü (mm)	(x) yönü (mm)	(-x) yönü (mm)	farklar	
	29.13	34.82	34.90	49.12		
	29.00	34.34	33.23	46.39		
1. Kat	27.64	30.24	25.13	31.35	%41.08	
	27.81	30.19	25.23	31.57		
	36.60	39.37	48.47	56.61		
	36.37	38.95	46.05	54.03		
2. Kat	34.39	35.66	33.48	37.51	%43.81	
	34.40	35.65	33.47	37.52		
	30.77	32.67	45.89	46.84		
	30.49	32.46	43.27	44.50		
3. Kat	28.51	30.45	43.89 40.84 43.27 44.50 29.54 31.87 ^{%4}	%43.37		
	28.53	30.39	29.58	31.78		
	19.72	21.40	33.78	31.54		
	19.54	21.30	31.99	29.70		
4. Kat	18.29	20.33	19.33	22.57	%47.38	
	18.29	20.30	19.34	22.50		
	9.94	12.43	21.16	19.62		
	9.85	12.38	19.82	18.66		
5. Kat	9.15	11.96	9.53	14.04	%57.85	
	9.15	11.95	9.57	13.95		
			ORTALAMA		%46 70	

Tablo 3. Binaların dört köşe kolonlarından hesaplanan göreli kat yerdeğiştirme değerleri

Ağır çıkma durumunda olan betonarme binalarda çerçeve sürekliliğinin etkisini gözlemlemek amacıyla her iki modelin burulma davranışı incelenmiştir. Binaların burulma davranışının incelenmesi amacıyla her kat seviyesi için binaların dört köşe kolonlarının üst uç noktalarından göreli yerdeğiştirme değerleri hesaplanmış ve bu değerler her iki model için Tablo 3'te verilmiştir. Her iki modelde de maksimum göreli kat yer değiştirme değerleri -x yönünde meydana geldiğinden bu yöndeki göreli kat yerdeğiştirme değerleri dikkate alınmıştır. Her iki bina modelinde köşe kolonların üst uç noktalarında meydana gelen yerdeğiştirme değerleri her kat seviyesi için karşılaştırmalı olarak Şekil 9'da verilmiştir. Şekilde görüldüğü üzere Model 2'den elde edilen yer değiştirme değerleri tüm kat seviyeleri için Model 1'den elde edilen yer değiştirme değerlerine göre önemli bir artış meydana gelmiştir. Model 1 ve Model 2 arasında göreli kat yerdeğiştirme değerleri açısından tüm katlarda meydana gelen farklar dikkate alındığında ortalama olarak %46.70 değerinde bir artış elde edilmiştir. Şekil 9 ve Tablo 3 dikkate alındığında ağır çıkma durumunda olan betonarme bir binada çerçeve sürekliliği sağlanmaması durumunda göreli kat yerdeğiştirme değerleri önemli ölçüde artmaktadır. Bina modellerinin sismik tepkilerinin incelenmesi için uygulanan deprem yönünde elde edilen doğrusal hız ve doğrusal ivme değerleri karşılaştırılmıştır.



Şekil 9. Kat seviyesi – yerdeğiştirme ilişkisi

Bina modellerinin sismik tepkilerinin incelenmesi için uygulanan deprem yönünde elde edilen doğrusal hız ve doğrusal ivme değerleri karşılaştırılmıştır. Ayrıca burulma etkilerinin incelenmesi amacıyla açısal hız ve açısal ivme değerleri incelenmiştir. (Tablo 4). Hız ve ivme değerleri incelemelerinde bina modellerinin tepe noktalarından elde edilen değerler dikkate alınmıştır. Model 1 hız ve ivme tepkilerine göre Model 2'den elde edilen tepkilerde acısal ivme değerleri istisna olmak üzere genel olarak bir artış söz konusudur. En yüksek artış açısal hız değerinde %423.19 olarak elde edilmiştir. Doğrusal ivme değerleri arasında ise %23.59'luk bir fark elde edilmiştir. Ağır çıkma bulunan betonarme bina modellerinde çevre akslarda yer alan çerçeve sisteminin düzenli olmaması durumunda doğrusal ivme değerleri önemli ölçüde artmaktadır. Yine bu tip yapılarda, çerçeve sistemi düzenli olan yapıya göre burulma düzensizliğinin bir göstergesi olan açısal hız değeri ise çok yüksek bir oranda artış göstermektedir.

Tablo 4. Hız ve ivme parametreleri için tepe noktasında elde edilen en yüksek değerler ve bina modelleri arasındaki farklar

	Model 1	Model 2	Maksimum değerler arasındaki farklar
Doğrusal hız (x ekseni) (m/s)	0.6554 -1.1804	0.8220 -1.2040	%2.00
Açısal hız (z ekseni)	0.0069	0.0332	%423.19
(rad/s)	-0.0069	-0.0361	
(x ekseni)	4.3336	4.1823	%23.59
(m/s ²)	-4.1577	-5.1387	
Açısal ivme	0.1703	0.2755	04 15 62
(z eksell) (m/s^2)	-0.2612	-0.2204	-7013.02

Bina modellerinin hasar durumlarının belirlenmesinde TBDY-2018 de yer alan performans hedefleri dikkate alınarak hasar sınırları hesaplanmıştır. Hasar sınırı hesabında beton malzemenin hasar sınırları için sargı etkisi dikkate alınmıştır. Hesaplanan hasar sınırları Tablo 5'te verilmiştir. Bu tabloda ε_c beton malzeme için birim şekil değiştirmeyi ve ε_s ise çelik malzemenin birim şekil değiştirmesini göstermektedir. Belirlenen bu hasar sınır değerlerine göre beton ve çelik için hasarlı kolon ve kiriş eleman sayıları tespit edilmiş ve modellerin en fazla hasar almış görünümleri Şekil 10'da verilmiştir. Bu şekilde kırmızı renk göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan elemanları, turuncu renk

Tablo 6. Hasarlı eleman sayıları

kontrollü hasar sınırına ulaşan elemanları, yeşil renk ise sınırlı hasar sınırına ulaşan elemanları göstermektedir. Hasarlı model görünümlerinde beton veya çelik malzemeden en yüksek mertebede hasar sınırına ulaşan elemanın en kötü durumu gösterilmektedir. Her iki modelde de hasarların yoğun olarak zemin kat seviyesinde meydana geldiği ve Model 1'e kıyasla, göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan eleman sayısının Model 2'de daha fazla olduğu açıkça görülmektedir.

Tablo 5.	TBDY-2018'e	göre	hesaplanan	hasar	sınır
değerleri					

U			
	Sınırlı	Kontrollü	Göçmenin
	Hasar	Hasar	Önlenmesi
ϵ_c (Sargılı beton)	0.0025	0.0085	0.0113
$\epsilon_c \ (Sarg1s1z \ beton)$	0.0025	0.0026	0.0035
ε _s (Çelik)	0.0075	0.0240	0.0320

Belirlenen hasar sınırlarına göre bina modelleri için hasarlı kolon ve kiriş eleman sayıları Tablo 6'da verilmiştir. Bu tabloya göre betonarme elemanlardan hiçbirisi çelik malzemenin göçmenin önlenmesi hasar sınır değerlerine ulaşmamıştır. Her iki bina modelinde de hasarların daha çok betonun ezilmesi (ε_c) sebebiyle olustuğu, donatı akmasından (ε_s) kaynaklı hasarların sınırlı kaldığı tespit edilmiştir. Dolayısıyla yapısal davranışın baskın olarak beton ezilmesiyle sınırlı kaldığı tespit edilmistir. Celik malzemeden kaynaklanan hasarlar incelendiğinde, Model 1 yapısında hiçbir eleman kontrollü hasar seviyesine ulaşmazken Model 2 yapısında 7 adet kolon kontrollü hasar sınırına ulaşmıştır. Ayrıca Model 1 ve Model 2 binaları için sırasıyla 30 ve 19 kolon sınırlı hasar seviyesine ulaşmıştır. Beton malzemenin sınır değerleri incelendiğinde ise Model 1 binasında 16 adet kolon göçmenin önlenmesi sınırını aşarken, Model 2 binasında 20 adet kolon bu sınırı aşmaktadır. Ayrıca, Model 1'de göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan kirişlerin toplam kiriş sayısına oranı %60 iken, Model 2'de bu oran %45 seviyelerine ulaşmıştır. Ağır durumundaki çıkma betonarme binalarda cerceve düzensizliğinin karşılaştırmalı olarak incelenmesi amacıyla özellikle beton malzemeden kaynaklı hasar sınırına ulaşan kolon eleman sayıları dikkate alınmış ve bu sonuçlar grafik halinde Sekil 11'de verilmiştir. Grafiklerden görüldüğü üzere Model 1'de göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan kolonların toplam kolon sayısına oranı %20 iken Model 2'de bu oran %25 seviyelerine ulaşmıştır.

		Has	arsız	Sınırlı	Hasar	Kontrollü Hasar		Göçmenin Önlenmesi		TOPLAM
		M-1	M-2	M-1	M-2	M-1	M-2	M-1	M-2	
Deter (c)	Kolon	41	39	14	15	9	6	16	20	80
Beton (ε_c)	Kiriş	24	28	0	3	0	2	36	27	60
Çelik (ε_s)	Kolon	50	54	30	19	0	7	0	0	80
	Kiriş	36	42	24	18	0	0	0	0	60



Şekil 10. Hasar sınırlarına göre renklendirilmiş bina modelleri



Şekil 11. Hasar sınırlarına göre hasarlı kolon elemanların toplam kolon sayısına oranları

4 Sonuçlar

Bu çalışmada, ağır çıkma bulunan betonarme binalarda dış çerçeve düzensizliğinin deprem davranışına etkileri incelenmiştir. İki farklı betonarme dış çerçeve sistemi kiriş bağlantıları sağlanarak ve kirişler konsol uçlarında olacak şekilde tasarlanmıştır. Yapıların zaman tanım alanında doğrusal olmayan analizleri gerçekleştirilmiş ve kuvvete dayalı fiber eleman yöntemi kullanılmıştır. 2023 Kahramanmaraş-Pazarcık depremi etkisi altında incelenen binalar, tepe yerdeğiştirme, dönme, taban kesme kuvveti, taban devrilme momenti, göreli kat yerdeğiştirme, doğrusal hız ve ivme, açısal hız ve ivme değerleri açısından karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda:

• Model 1 ve Model 2 arasında tepe yer değiştirme değerleri açısından %45.83, dönme değerleri

açısından %583.33 seviyesinde bir artış görülmüştür.

- Model 1 ve Model 2 arasında göreli kat yerdeğiştirme değerleri açısından tüm katlarda meydana gelen farklar dikkate alındığında ortalama olarak %46.70 değerinde bir artış elde edilmiştir.
- Hız ve ivme tepkileri incelendiğinde Model 1 binasına göre Model 2 binasından elde edilen sonuçlarda genel olarak bir artış söz konusudur. En yüksek artış burulma etkilerini de gösteren açısal hız değerlerinde meydana gelmiştir.
- Hasar durumu incelemelerinde; Model 1'de göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan kolonların toplam kolon sayısına oranı %20 iken Model 2'de bu oran %25 seviyelerine ulaşmıştır.

- Model 1'de göçmenin önlenmesi hasar sınırına ulaşan kirişlerin toplam kiriş sayısına oranı %60 iken Model 2'de bu oran %45 seviyelerine ulaşmıştır.
- Her iki modelde de donatılarda göçmenin önlenmesi performans düzeylerine ulaşılmamıştır. Yalnızca Model 2'de 7 adet kolon kontrollü hasar sınırına ulaşmıştır. Ağır çıkma bulunan betonarme binalarda dış çerçeve bağlantılarının konsol uçlarında yapılması betonarme elemanlarda donatı kaynaklı hasarlara da neden olabilmektedir.

Ağır çıkma bulunan betonarme binalarda uygulamada sıklıkla görülen dış çerçeve düzensizliği binanın deprem davranışına olumsuz yönde etki etmektedir. Binanın deprem tepkilerinde, özellikle burulma davranışını gösteren parametrelerde çok yüksek mertebelerde artış görülmüştür ve bu durum deprem sonrası yapılan saha incelemeleriyle doğrulanmaktadır. Ağır çıkma bulunan betonarme binaların tasarımı yapılırken konsol uçlarına yerleştirilen kirişlerden ziyade dış kolonların kiriş ile birbirine bağlanması önerilmektedir. Ağır çıkma bulunan hasarlı veya hasar göreceği nümerik analizlerle doğrulanan mevcut betonarme binalar uygun güçlendirme teknikleriyle güçlendirilmesi gerekmektedir.

Çıkar çatışması

Yazarlar çıkar çatışması olmadığını beyan etmektedir.

Benzerlik oranı (iThenticate): %9

Kaynaklar

- O. İnce, Structural damage assessment of reinforced concrete buildings in Adıyaman after Kahramanmaraş (Türkiye) Earthquakes on 6 February 2023. Engineering Failure Analysis, 156, 107799, 2024. https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2023.107799.
- [2] A. Özmen, O. İnce, Ö. F. Taş, et al., Seismic performance assessment of structures in Malatya Province after 6 February 2023 Turkey earthquake sequences. Natural Hazards, 2024. https://doi.org/10.1007/s11069-024-07017-x.
- [3] B. Yön, İ. Ö. Dedeoğlu, M. Yetkin, et al., Evaluation of the seismic response of reinforced concrete buildings in the light of lessons learned from the February 6, 2023, Kahramanmaraş, Türkiye earthquake sequences. Natural Hazards, 121, 873–909, 2025. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06859-9.
- [4] A. Demir, E. Celebi, H. Ozturk, et al., Destructive impact of successive high magnitude earthquakes occurred in Türkiye's Kahramanmaraş on February 6, 2023. Bull Earthquake Eng 23, 893–919 2025. https://doi.org/10.1007/s10518-024-01865-5
- [5] E. Işık, M. Hadzima-Nyarko, D. Radu, and B. Bulajić, Study on effectiveness of regional risk prioritisation in reinforced concrete structures after earthquakes. Applied Sciences, 14(16), 6992. 2024 https://doi.org/10.3390/app14166992

- [6] Y. Erbaş, Ö. Mercimek, Ö. Anıl, et al., Design deficiencies, failure modes and recommendations for strengthening in reinforced concrete structures exposed to the February 6, 2023 Kahramanmaraş Earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6). Nat Hazards 121, 3153–3194 2025. https://doi.org/10.1007/s11069-024-06925-2
- J. Yuzbasi, Post-Earthquake Damage Assessment: Field Observations and Recent Developments with Recommendations from the Kahramanmaraş Earthquakes in Türkiye on February 6th, 2023 (Pazarcık M7.8 and Elbistan M7.6). Journal of Earthquake Engineering, 1–26. 2024. https://doi.org/10.1080/13632469.2024.2353864
- [8] B. Sevim, Y. Ayvaz, S. Akbulut, M. F. Aydıner, S. Uzun, and A. Ari, Seismic Performance and Damage Evaluation of Reinforced Concrete Structures Based on Field Investigation Made After February 6, 2023, Kahramanmaraş Earthquakes. Journal of Earthquake and Tsunami, 18(1), 2350032, 2024. https://doi.org/10.1142/S179343112350032X
- [9] E. Gültepe, H. G. Çömlekoğlu, B. Öztürk, C. Dönmez, Discussion on the Causes of the Observed Damages in the 2023 Kahramanmaraş Earthquakes. In: Uckan, E., Akgun, H., Gok, E., Yenidogan, C. (eds) Proceedings of the 7th International Conference on Earthquake Engineering and Seismology. ICEES 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 488. Springer, Cham, 2024. https://doi.org/10.1007/978-3-031-57659-1_6
- [10] B. Yon, E. Sayin, Y. Calayir, Z. C. Ulucan, M. Karatas, H. Sahin, K. E. Alyamaç, A. T. Bildik, Lessons learned from recent destructive Van, Turkey earthquakes. Earthquakes and Structures 9(2), 431–453, 2015. https://doi.org/10.12989/eas.2015.9.2.431
- [11] E. Işık, F. Akat, The effect of different heavy overhang on structural performance in reinforced concrete structures. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 12(1), 261-271, 2023. https://doi.org/10.17798/bitlisfen.1232889.
- [12] H. Sucuoğlu, U. Yazgan, Simple survey procedures for seismic risk assessment in urban building stocks. Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, 29, 97-118, 2003. https://doi.org/10.1007/978-94-010-0021-5 7
- [13] A. Doğangün, Performance of reinforced concrete buildings during the May 1, 2003 Bingöl earthquake in Turkey. Engineering Structures, 26(6), 841-856, 2004. https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.02.005
- [14] E. Işık, Z. Tozlu, Farklı değişkenler kullanılarak yapı performans puanının hesaplanması. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 4(2), 161-172, 2015. https://doi.org/10.17798/beufen.42155
- [15] E. Meral, M. İnel, Düşük ve orta yükseklikteki betonarme binaların yapısal parametre özelliklerinin değerlendirilmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(6), 468-477, 2016. https://doi.org/ 10.5505/pajes.2016.29291

- [16] S. B. Öz, Kapalı Çıkma Düzensizliğinin Betonarme Yapıların Sismik Davranışına Etkilerinin Doğrusal Elastik Olmayan Analizle Belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Osmaniye, 2019.
- [17] E. Meral, Kapalı çıkmalı betonarme binaların deprem davranışının değerlendirilmesi. Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 31(2), 309-318, 2019. https://doi.org/10.35234/fumbd.613265
- [18] I. Karki, H. R. Parajuli, Effects of cantilever projections on seismic performances of RC buildings. Journal of Innovations in Engineering Education, 6(1), 110117, 2023. https://doi.org/10.3126/jiee.v6i1.56965.
- [19] F. F. Taucer, E. Spacone, F. C. Filippou, A fiber beamcolumn element for seismic response analysis of reinforced concrete structures. Report No. UCB/EERC-91/17, Earthquake Engineering Research Center, College of Engineering, University of California, Berkeley, 1991.
- [20] M. Karaton, Ö. F. Osmanlı, M. E. Gülşan, Numerical simulation of reinforced concrete shear walls using force-based fiber element method: effect of damping type and damping ratio. Bulletin of Earthquake Engineering, 19(14), 6129-6156, 2021. https://doi.org/10.1007/s10518-021-01221-x.
- [21] M. Karaton, Ö. F. Osmanlı, and H. A. Awla, Comparison of ACI-318 and TS-500 codes for

nonlinear seismic analysis of RC structures using forcebased fiber element approach. Structures 57, 105291, 2023. https://doi.org/10.1016/j.istruc.2023.105291.

- [22] Seismosoft, SeismoStruct 2025 A computer program for static and dynamic nonlinear analysis of framed structures, 2025. Available from: http://www.seismosoft.com.
- [23] J. B. Mander, M. J. N. Priestley, R. Park, Theoretical stress-strain model for confined concrete. Journal of Structural Engineering, 114(8), 1804–1826, 1988. https://doi.org/10.1061/(ASCE)07339445(1988)114:8(1804).
- [24] M. Menegotto, P. E. Pinto, Method of analysis for cyclically loaded RC plane frames including changes in geometry and non-elastic behaviour of elements under combined normal force and bending. Proceedings of IABSE Symposium on Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well Defined Repeated Loads, Lisbon, pp. 15–22, 1973. https://doi.org/10.3130/aijt.14.143
- [25] K. Kolozvari, T. A. Tran, K. Orakcal, J. W. Wallace, Modeling of cyclic shear-flexure interaction in reinforced concrete structural walls. II: Experimental validation. Journal of Structural Engineering 141(5), 04014136, 2015. https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001083

