



## Betonarme Çerçevelerde Yumuşak Kat Etkilerinin Yeni Nesil Dolgu Duvarlar ile Azaltılması

### Reducing Soft-Story Effects in Reinforced Concrete Frames with New Generation Infill Walls

Prost Iverden BALENDA BAKALA<sup>1</sup>, İbrahim Serkan MISIR<sup>2</sup>, Ömer ALDEMİR<sup>3\*</sup>

<sup>1,2</sup> Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, İzmir, TÜRKİYE

<sup>3</sup> Gazi Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ankara, TÜRKİYE

Sorumlu Yazar / Corresponding Author\*: omeraldemir@gazi.edu.tr

#### Öz

Çeşitli amaçlarla özellikle zemin kat dolgu duvarları kaldırılmış çok sayıda binanın depremler sırasında bu katta artan yanıl deplasman talebiyle yumuşak kat/zayıf kat mekanizmaları sergilediği ve binanın bu kat üzerine çöktüğü geçmiş depremlerden bilinmektedir. Sunulan çalışmanın amacı, 2018 Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde de kabul gören yeni nesil dolgu duvarların betonarme çerçevelerde yumuşak kat oluşumunu azaltmadaki etkilerini araştırmaktır. Çalışma kapsamında dolgulu betonarme çerçeve modelleri üzerinde doğrusal olmayan analizler gerçekleştirilmiş, göz önüne alınan çok katlı düzlemsel çerçevelerde yumuşak kat etkilerinin belirgin hale gelmesi için modellerde yalnızca üst katların açıklıklarında dolgu duvar etkisi dikkate alınmıştır. Analizde kullanılan çerçeve ve dolgu duvar parametreleri, dolgu duvarlı ve dolgu duvarsız düzlemsel betonarme çerçeveler üzerinde daha önce yürütülen yarı statik testlerden elde edilmiştir. Simülasyonlar, geleneksel dolgu duvar duruma kıyasla yeni nesil duvar kullanımının, ilk katları dolgunsuz binalarda bile yumuşak/zayıf kat oluşumunu azaltma potansiyeline sahip olduğunu göstermektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgulu betonarme çerçeveler, deprem güvenliği, yumuşak kat düzensizliği, yeni nesil dolgu duvarlar, esnek duvar

#### Abstract

Past earthquakes have shown that many buildings with infill walls, especially due to the walls being removed for various purposes on the first floor, exhibit soft-story/weak story mechanisms due to increased lateral displacement demand during earthquakes and building collapse on that floor. The aim of the present study is to investigate the effect of new generation infill walls, introduced as a new concept in the Turkish Building Earthquake Code-2018, in reducing the soft story formation in reinforced concrete frames. Within the scope of the study, nonlinear analyses were performed on numerical models of reinforced concrete frames with only the upper stories infilled in order to force the models to exhibit soft-story irregularities. The frame and infill wall parameters used in the analysis were obtained from the quasi-static tests on planar reinforced concrete frames with and without infill walls. Numerical simulations showed that the use of new generation infill walls has the potential to reduce the soft story formation even in the buildings with unfilled first stories, compared to fully infilled model cases.

**Keywords:** Infilled reinforced concrete frames, earthquake safety, soft storey irregularity, new generation infill walls, flexible wall

#### EXTENDED ABSTRACT

##### Introduction

The conventional practice of neglecting the stiffness and strength properties of infill walls in structural design for reinforced concrete structures overlooks their significant impact on the structural behavior. Recent studies have highlighted this effect, emphasizing the need for attention to infill walls. Moreover, irregular layout of infill walls between adjacent floors introduces variations in stiffness, potentially leading to undesirable collapse mechanisms. To address these concerns, some novel infill wall designs have been proposed based on experimental research such as Misir et al. (2012) and Preti et al. (2012). The proposed designs minimized the panel action of the walls by using horizontal sliding joints on some or each mortarless bed joints between the brick layers.

##### Materials and Methods

Misir et al. (2015) constructed and analyzed Finite Element (FE) models representing the test specimens. Calibration parameters derived from the simulations of the numerical models were then utilized to construct multi-story frame models. These models investigated the impact of using sliding walls on the soft story mechanism. Furthermore, nonlinear two-dimensional FE models were constructed to represent the previously tested infilled frame specimens. Numerical model parameters were calibrated using experimental data. Subsequent numerical analyses simulated damage distribution, load-displacement envelope curves, and experimental outcomes with acceptable accuracy. Three-story frame models, with varying infill conditions, were examined using the damage patterns.

## Conclusion

In the analyzed configurations, the ground floors were constructed without infill walls, aligning with common practices in our region and neighboring areas, while infill walls were integrated into the upper floors. It was observed that traditional brick wall usage on the ground floor led to an increase in displacement demand and facilitated the formation of the soft story mechanism. Upon analysis, it was evident that the ground floor of traditional infilled models exhibited significantly higher

deformation demands compared to both empty frame and sliding infill frame models. Similarly, in three-story models equipped with sliding infill walls, which possess lower in-plane stiffness, deformations closely resembled those of frames without infill for all floors. Importantly, noninfilled ground floor in this model helped to mitigate the adverse effects and minimized the potential for soft story formation.

## 1. Giriş

Betonarme yapılar, sağladığı esnek tasarım olanakları ve yapım kolaylığı nedeniyle oldukça sık tercih edilmektedir. Genellikle betonarme yapıların inşasında, iç mekânı dışarıdan izole etmek ve bölmek için, betonarme çerçeveler arasına dolgu duvarlar inşa edilir. Böylece dolgu duvar ve betonarme çerçevelerin birleşiminden doğan daha karmaşık bir kompozit yapı oluşturulur. Betonarme binalarda kullanılan yatay delikli donatısız yığma duvarların yapının çeşitli yüklemeler altındaki davranışını önemli ölçüde değiştirebileceği bilinmesine rağmen güncel şartnamelerde yapısal olmayan eleman kategorisinde ele alınmaktadır. Bu nedenle yeni binaların tasarımında ve mevcut binaların değerlendirilmesinde dolgu duvarların yapısal davranış üzerindeki etkileri göz ardı edilir [1, 2]. Ayrıca, dolgu duvarlı betonarme (BA) çerçeve sistemler üzerine yapılan araştırmalarda dolgu duvarların varlığının yapısal sistem davranışına etkisi enerji tüketim ilişkileri ve ötelenme limitleri açısından tam olarak belirlenememiştir [3]. Deprem etkisi altındaki dolgu duvarlı betonarme çerçevelerin irdelendiği bir diğer çalışmada [4], dolgu duvarlı yapı hasarının, dolgu duvar ve çerçeve arasındaki etkileşim nedeniyle boş çerçeve yapıdan açıkça farklı olduğu gösterilmiştir. Dolgu duvar yapısal olmayan bir eleman olarak dikkate alınmasına rağmen, deprem etkileri altında yapısal sistemin mekanik davranışı ve deprem performansı üzerinde önemli bir etkiye sahiptir [5, 6]. Negro ve Verzeletti [7] tarafından yapılan çalışmalarda da yığma duvar kullanımının ana yapının dış yükler altındaki davranışını önemli ölçüde etkilediğini belirtmektedir. Genel olarak, yapısal olmayan duvar panellerinin varlığı, yapının yatay yük taşıma kapasitesini önemli ölçüde arttırdığı için faydalı bir etkiye sahiptir. Bunun yanında, yapının başlangıç rijitliğini artırarak serbest titreşim periyodunun azalmasına sebep olur. Dolgu duvarlar çerçevenin hem rijitliği hem de ötelenme davranışı üzerinde büyük değişikliklere neden olmakta ve değişikliklerin etkisi duvarın göçme moduna bağlı olarak avantajlı veya dezavantajlı olabilmektedir. Dolgu duvar, yapının başlangıç rijitliğini ve statik yükler altındaki dayanımını artırmasına rağmen, araştırmalar, yığma dolgu duvar varlığının yapının dinamik yükler altındaki davranışını olumsuz etkileyerek, dayanım, rijitlik ve enerji tüketme kapasitesinde ani kayıplara neden olduğunu göstermiştir [8, 9]. Ayrıca, yığma dolgu duvarların kontrolsüz kullanımı yumuşak kat mekanizmaları ve kısa kolon davranışı gibi bazı istenmeyen durumlara neden olmaktadır. Geçmiş depremlerde yaşanan can kayıpları, çoğunlukla dolgu duvarların bilinçsizce kullanımından doğan ani göçmeler ile ilişkilendirilmiştir [16]. Depremlerde can kaybına sebep olabilecek bu tür göçme mekanizmaları gerçekleşmesi kullanılan dolgu duvar malzemesinin ve derz özelliklerinin (harçlı derz, kuru derz) mekanik özellikleri ile yakından ilişkilidir. Çoğunlukla harç derzinin mekanik özellikleri ve daha özel olarak kesme davranışı, yığma yapıların zayıf noktalarına karşılık geldikleri ve doğrusal olmayan davranışı domine ettikleri için duvar davranışında baskın bir rol oynar [10]. Birçok ülkede, öncelikle

bir park yeri veya mağaza oluşturmak için, dolgu duvarlı BA çerçeve binaların ilk katının açık bırakılması yaygındır. Bu binalarda ilk kat dışındaki tüm katlarda yığma dolgu duvarlar mevcuttur [11, 12, 13, 14]. Bu, yumuşak kat mekanizması olarak bilinen depremlerdeki en yaygın göçme nedenlerinden birine öncülük eder.

Yeni yapılacak binaların tasarımında ve mevcut binaların değerlendirilmesinde yapısal olmayan dolgu duvarların kendi deprem performansı ve içinde bulunduğu yapının deprem performansına etkisi ayrı ayrı öneme sahiptir. Bu nedenle, yapısal davranışın iyileştirilmesine katkı sağlayacak yeni nesil yığma dolgu duvar yapım tekniklerinin geliştirilmesi sürdürülebilir kentler oluşturabilmek için önemli bir konu haline gelmiştir. Bu teknikler çoğunlukla yığma birim, harç, donatı, bağlantı elemanları vb. gibi malzemelerin geliştirilmesi üzerinde yoğunlaşmıştır. Geliştirilen yeni teknikler ile deprem hasarı ve göçme riskini azaltacak, gerekli fonksiyonel (termal, akustik ve deformasyon) dayanıklılığı karşılayacak duvar tasarımları hedeflenmektedir. Bu amaçla Mısır vd. [12] tarafından yapılan araştırmada dolgu duvar hasarının sünek göçme modları ile gerçekleştiği bir yapım tekniği önerilmiştir. Bu çalışmada üst yüzünde uzunlamasına bir ray ve alt yüzünde uzunlamasına bir oluk bulunan yatay delikli "kilitli" kil tuğlalardan yapılmış dolgu duvarların performansını betonarme çerçeveler içinde test edilmiştir. Ardışık tuğla sıraları, harçsız olarak yerleştirildiğinden dolgu duvarın düzlem içi yönde hareketi serbest hale getirilmiştir. 150 mm genişliğinde geleneksel tuğla ve harçsız kilitli tuğla kullanılan iki adet dolgu çerçeve ve bir adet boş çerçeve olmak üzere toplam üç adet tek açıklıklı tek katlı BA çerçeve numunesi %3,5 ötelenme oranına kadar çevrimsel yük altında test edilmiştir. Yapılan testlerde geleneksel dolgu duvar ile üretilen numuneye kıyasla kilitli dolgu duvar ile inşa edilen çerçeve numunesinin çerçevenin yanal yük direncine katkısı belirgin derecede düşük kalmıştır. Kilitli duvar blokları  $\pm\%3,5$  ötelenme oranlarında dahi neredeyse hasar almadan çerçeve ile birlikte deforme olabilmisti. Bu çalışma kapsamında, bahsi geçen deneysel çalışmadaki test numunelerinin FE modelleri analiz edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Bu referans numuneleri benzeştiren sayısal modellerin analizinden elde edilen kalibrasyon parametreleri kullanılarak çok katlı çerçeve modelleri kurulmuş ve kayar tuğla duvar kullanımının yumuşak kat mekanizması üzerindeki etkisi incelenmiştir.

## 2. Amaç

Genellikle yapı elemanlarının veya sistemlerinin yapısal davranışının incelenmesi için laboratuvar testlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Ne var ki maliyet, zaman ve fiziksel kısıtlar yeterli çeşitlilikte laboratuvar testinin yapılmasının önünde bir engeldir. Bu nedenle deneysel çalışmaların planlama aşamasında, numune ve deney düzeneğinin tasarımı süreçlerinde ve deneyi yapılamayan büyük boyutlu numunelerin davranışının irdelenebilmesi amacıyla sayısal model çalışmalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Ancak inşaat mühendisliği malzemelerinin ve yapılarının sahip olduğu belirsizlikler nedeniyle numunelerin

gerçekçi sonuçlar verecek sayısal modellerinin kurulması kolay değildir. Bu nedenle sayısal model sonuçlarının deneysel verilerle kalibre edilmesi ve belirsiz model parametrelerinin tespit edilmesi gerekmektedir. Böylece kalibre edilmiş model parametreleri kullanılarak parametrik analizler yürütmek ve bulguları genelleştirmek mümkün hale gelmektedir. Bu çalışma kapsamında, bahsi geçen referans dolgu betonarme çerçeve numunelerinin sayısal modelleri kurulmuş, deney sonuçlarıyla kalibre edilmiş model parametreleri elde edilmiştir. Elde edilen kalibrasyon parametrelerini kullanarak deprem etkisi altındaki çok katlı çerçeve yapılarında kayar tuğla kullanımının yumuşak kat mekanizması üzerindeki etkisini irdelemek amaçlanmıştır.

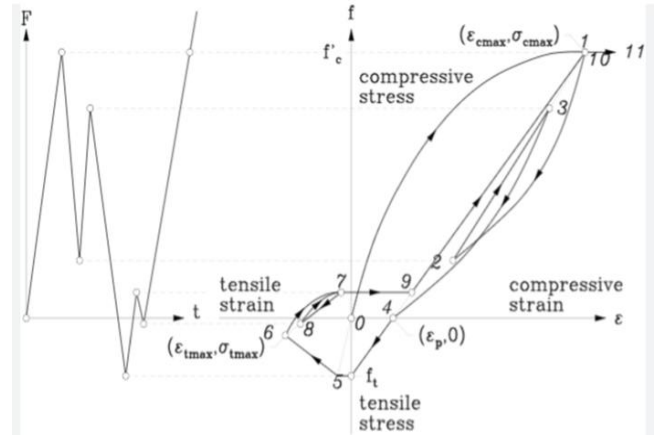
### 3. Sayısal Modeller ve Model Kalibrasyonu

Kalibrasyon parametrelerin elde edilmesi amacıyla Mısır vd. [12] tarafından test edilen iki adet dolgu ve bir adet dolgunsuz çerçeve numunesinin sayısal modelleri hazırlanmıştır. Deney numuneleri ve test düzeneğine ilişkin detaylı bilgiler ilgili makalede yer almaktadır. Sayısal modellerin oluşturulması sırasında dikkate alınan numune geometrisi ve tuğla birimlere ait görüntüler Şekil 3'te sunulmuştur.

Kalibrasyon için yapılan analizlerde deney numuneleri ile aynı geometrik özelliklere sahip sayısal modeller kullanılmıştır (Şekil 4). Sayısal modeller DIANA FEA v10.3 [15] yazılımında iki boyutlu olarak hazırlanmış, referans olarak dikkate alınan deney numunelerin donatı konfigürasyonu ve malzeme karakteristiği dikkate alınarak gerekli tanımlamalar modele eklenmiştir. Modeller iki boyutlu olarak tasarlandığı için kolon ve giriş elemanlarda enine donatılar nedeniyle oluşan sargı etkisi *Maekawa Concrete* [17] beton modeli kullanılarak sargılı betonun mekanik özellikleri elde edilmiş ve sayısal modele tanımlanmıştır. Dikkate alınan beton modeline ait histeretik yüklemeler altındaki gerilme-birim şekil değiştirme eğrisi Şekil 1'de verilmiştir. Donatı çeliği için Menegotto-Pinto [19] modeli dikkate alınmıştır (Şekil 2). Yığma duvar birimleri ise kayar tuğla özelliklerini de dikkate alabilmek için mezo modelleme tekniği esas alınarak hazırlanmıştır.

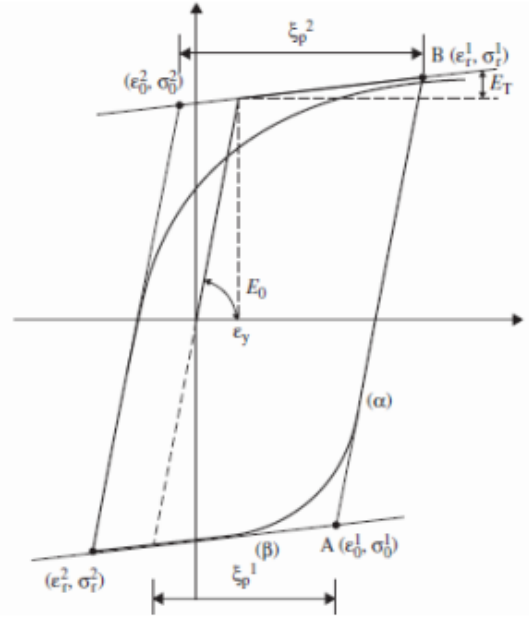
Hazırlanan sayısal modeller referans numunelerin deney düzeneğine uygun olarak (Şekil 5) yüklenmiş ve elde edilen nümerik sonuçlar deney sonuçları ile kıyaslanarak gerekli kalibrasyon yapılmıştır. Kalibrasyon parametresi olarak yığma duvar biriminin elastisite modülü dikkate alınmıştır. Kalibrasyon sonucunda duvar biriminin elastisite modülü 1100 MPa olarak dikkate alınmıştır. Bu kapsamda normal tuğla duvar (SBF), ilgili çalışmada önerilen kayar tuğla duvar (LBF) ve dolgu duvarsız (BaF) hazırlanmış çerçeve sistemler analiz edilmiştir. Yapılan analizler sonucunda SBF ve LBF modellerinin %0,20; %0,62; %2,00 ve %3,00 ötelenme oranına karşılık gelen hasar görselleri sırasıyla Şekil 6 ve Şekil 7'de sunulmuştur. İlgili görsellerde bulunan  $E_{cw}$  değerleri ötelenme seviyelerindeki çatlak genişliğine karşılık gelmektedir. Yapılan sayısal çalışmalarda ileri ötelenme seviyelerinde kayar tuğla duvarlı numunenin geleneksel tuğla duvarlı numuneye kıyasla daha az hasara uğradığı gözlemlenmiştir. Bu gözlem referans deney sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Arayüz, beton ve duvar birimleri için kalibre edilen parametreler sırası ile Tablo 1-3'te sunulmuştur. Kayar tuğla duvarlar arasında harç birimlerinin bulunmaması nedeniyle duvar-duvar arayüzü yalnızca sürtünme etkileri dikkate alınarak tanımlanmıştır.



Şekil 1. Maekeva beton modeli histeretik gerilme birim şekil değiştirme eğrisi [18]

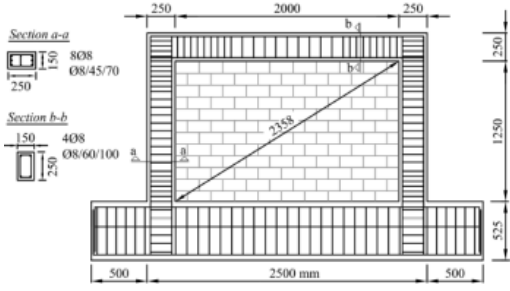
Figure 1. The hysteresis stress-strain curve of the Maekeva concrete model [18]



Şekil 2. Menegotto-Pinto modeli gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi [18]

Figure 2. The stress strain curve of Menegotto-Pinto model [18]

Referans numunelere uygulanan çevrimsel yükleme ile uyumlu şekil değiştirme kontrollü yarı-statik yüklemeye maruz bırakılan sayısal modellerin analizi sonucunda, kurulan sayısal modellerin ötelenme seviyeleri ve dayanım açısından oldukça uyumlu olduğu görülmüştür. Buna karşılık kullanılan malzemelerin sahip olduğu birtakım belirsizlikler nedeniyle başlangıç rijitliği açısından deney numuneleri ve sayısal modeller arasında bir fark meydana gelmektedir. Deneysel ve sayısal tepe yükü-kat ötelenme oranı grafikleri Şekil 8'de verilmiştir.



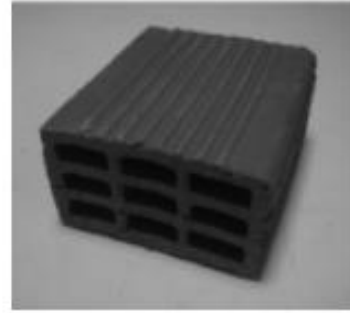
(a)



(b)



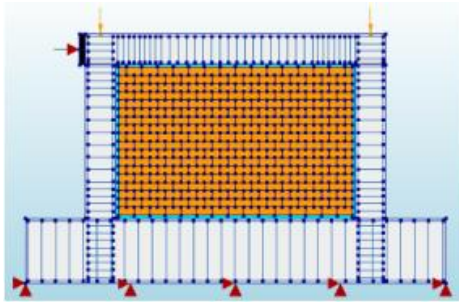
(c)



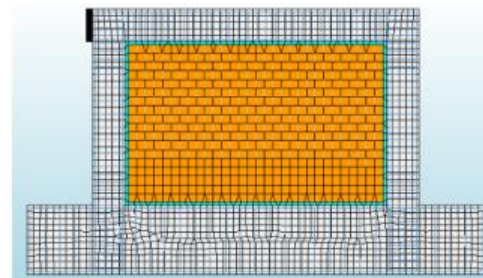
(d)

**Şekil 3.** (a) Deney elemanlarının geometrik özellikleri, (b) kayar duvar imalat aşaması, (c) kilitli tuğla birimleri ve (d) standart tuğla birimi [13].

**Figure 3.** (a) The geometric properties of test specimens, (b) construction stage of the sliding wall, (c) interlocking brick units, and (d) standard brick unit [13].



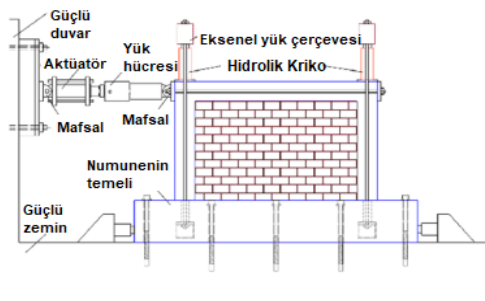
(a)



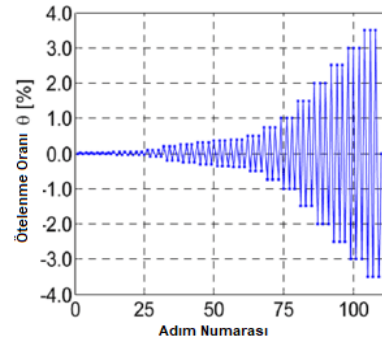
(b)

**Şekil 4.** (a) Sayısal modellere ait (a) donatı ve yükleme şeması ve (b) sonlu eleman ağı

**Figure 4.** (a) Reinforcement and loading diagram of the numerical models, and (b) the finite element mesh



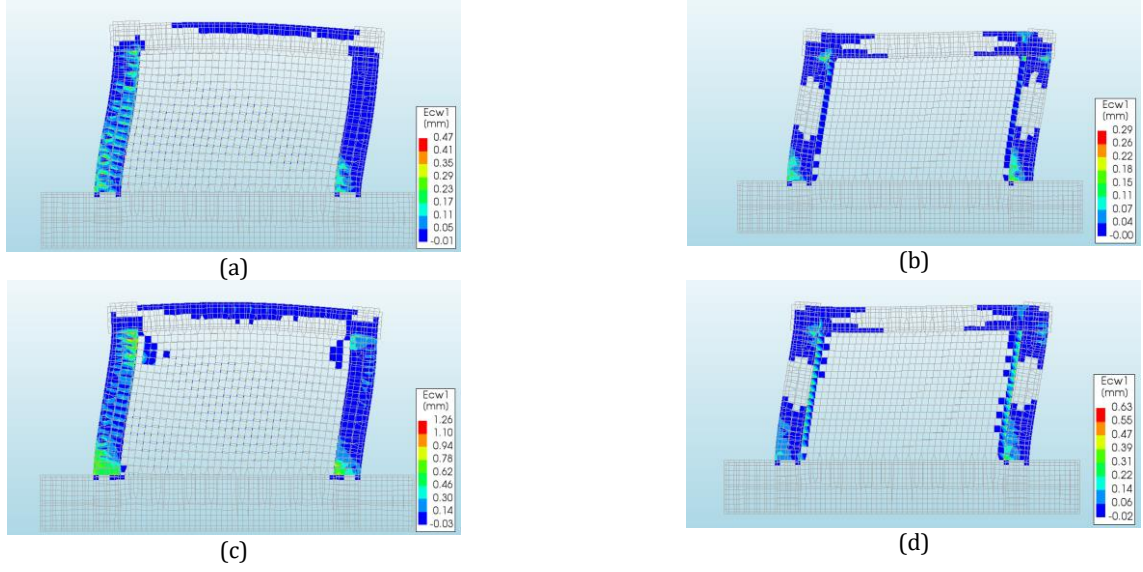
(a)



(b)

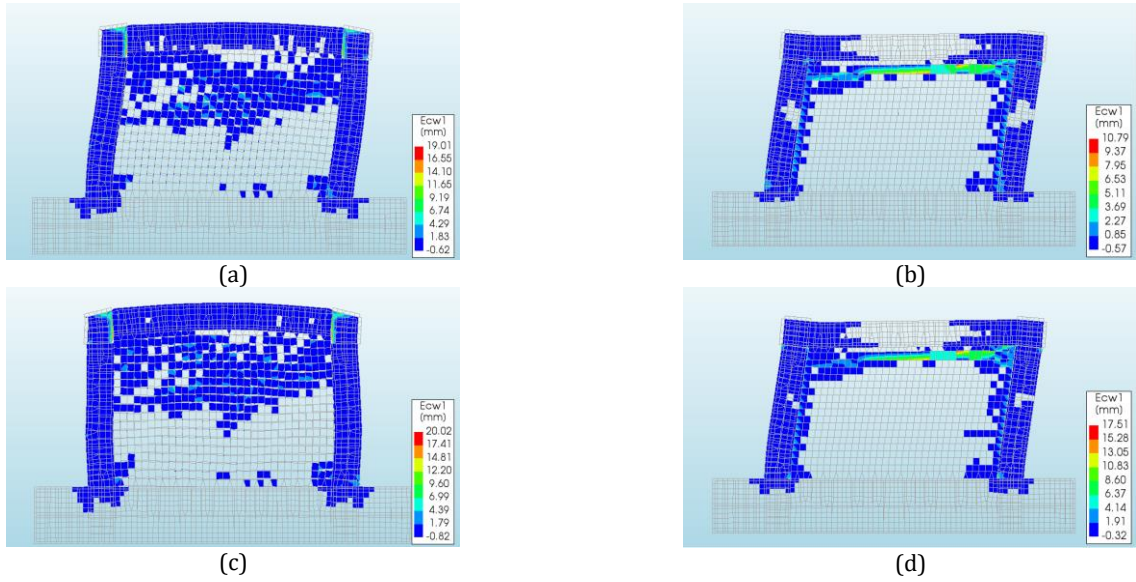
**Şekil 5.** (a) Yükleme sistemi ve (b) yükleme geçmişi

**Figure 5.** (a) Loading system and (b) loading history



Şekil 6. SBF ve LBF'nin % 0,20 (a, b) ve % 0,62 (c, d) ötelenme oranı için hasar dağılımı

Figure 6. Damage distribution of SBF and LBF for 0.20% (a, b) and 0.62% (c, d) drift ratio.



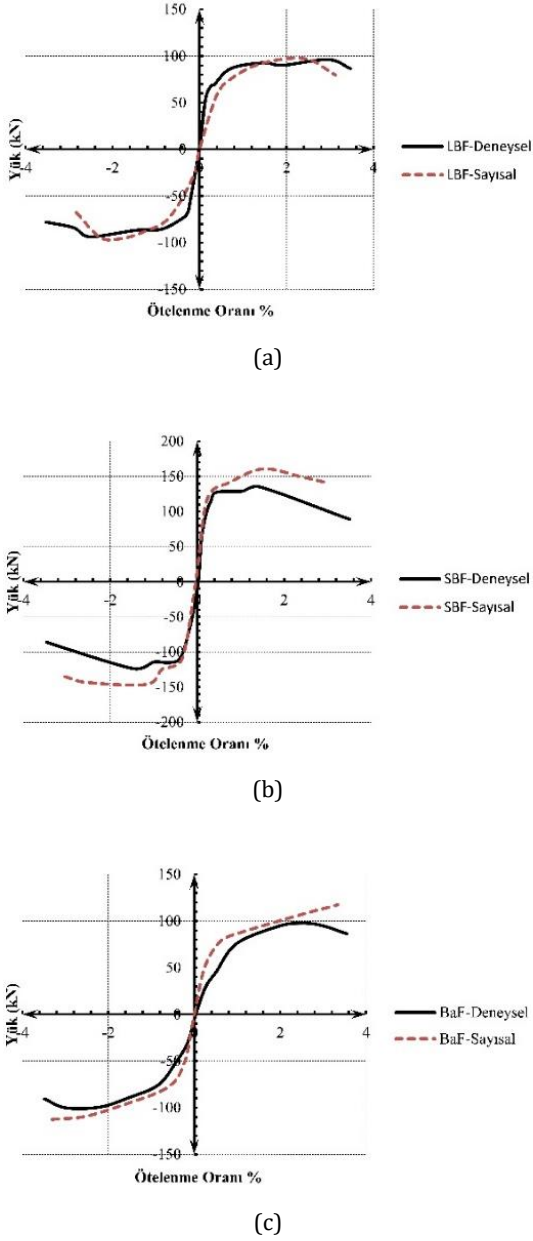
Şekil 7. SBF ve LBF'nin %2,0 (a, b) ve %3,0 (c, d) ötelenme oranı için çatlak genişliği cinsinden hasar dağılımı

Figure 7. Damage distribution of SBF and LBF in terms of crack width for 2.0% (a, b) and 3.0% (c, d) drift ratio

Tablo 1. Duvar-Duvar arayüzü (Coulomb Sürtünme Modeli) için model parametreleri

Table 1. Model parameters for Wall-Wall interface (Coulomb Friction Model)

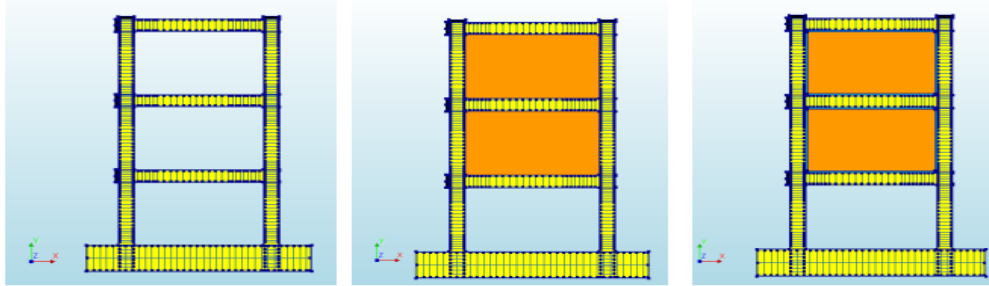
	Y yönü	X yönü
Normal Rijitlik (N/mm <sup>3</sup> )	6000	30
Kayma Rijitliği (N/mm <sup>3</sup> )	30	6000
Sürtünme Açısı	30°	30°
Genişleme Açısı	0	0



Şekil 8. Sayısal ve deneysel zarf eğrilerinin karşılaştırılması

Figure 8. Comparison of numerical and experimental envelope curves

#### 4. Üç Katlı Çerçeve Modellerinin Analizleri



Şekil 9. (a) Dolgusuz (BaF3), (b) 2. ve 3. katları geleneksel dolgu duvarlı (SBF3) ve (c) 2. ve 3. katları kayar dolgu duvarlı (LBF3) çerçeve modelleri

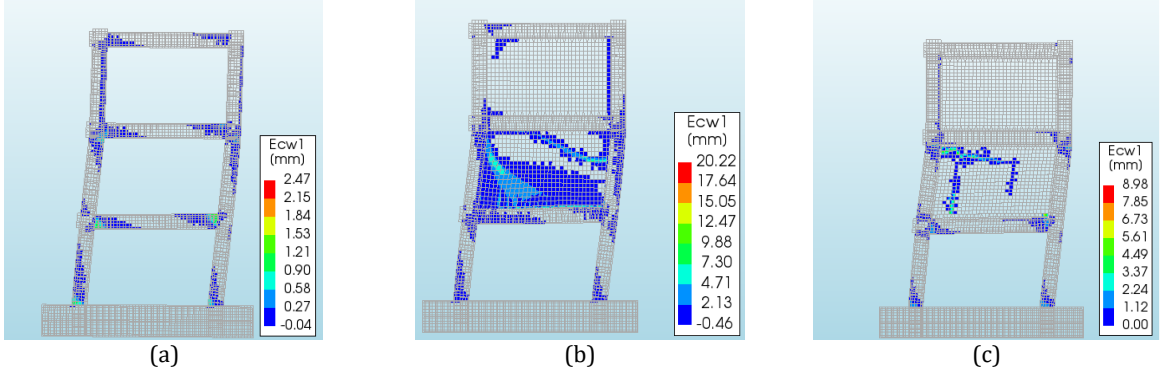
Figure 9. Frame models with (a) unfilled (BaF3), (b) conventional infill walls (SBF3) on the 2nd and 3rd floors, and (c) sliding infill walls (LBF3) on the 2nd and 3rd floors

Elde edilen kalibre edilmiş model parametreleri kullanılarak aynı çerçeve açıklığına ve kat yüksekliğine sahip üç katlı tek açıklıklı betonarme çerçeve modelleri (a) dolgusuz (BaF3), (b) yalnızca 2. ve 3. katı geleneksel dolgu duvarlı (SBF3) ve (c) yalnızca 2. ve 3. katı kayar dolgu duvarlı (LBF3) olmak üzere üç farklı dolgu duvar düzeninde kurulmuş (Şekil 9) ve analiz edilmiştir. Üç katlı çerçeve modellerinde tüm kolonların üst ucundan eksenel yük kapasitelerinin %10'u mertebesinde eksenel basınç kuvveti uygulanmıştır. Ayrıca kat hizalarından uygulanan 1. mod şekliyle uyumlu yanal yer değiştirme yükleri altında doğrusal olmayan analizler tamamlanmış ve analiz sonucunda elde edilen hasar dağılımları Şekil 10'da sunulmuştur. Gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizler kapsamında ikinci merbete etkileri dikkate alınmıştır. Analiz sonucunda üç katlı her bir çerçeve model için elde edilen kapasite eğrileri Şekil 11'de verilmiştir. Bu sonuçlara göre zemin katı boş bırakılan geleneksel dolgulu üç katlı model (SBF3) hasarın zemin katta yoğunlaşarak yumuşak kat mekanizmasına eriştiği görülmüştür. Geleneksel dolgulu model kayar duvar özellikleri tanımlanmış modele (LBF3) kıyasla belirgin olarak daha yüksek şekil değiştirmeler ve dolayısıyla hasar göstermiştir. Kayar duvarlı LBF3 modeliyle elde edilen şekil değiştirmeler tüm katları boş çerçevenin sonuçlarına yakın olarak elde edilmiş, LBF3 modelinde zemin katın dolgusuz bırakılmasının olumsuz etkisinin sınırlı kaldığı görülmüştür. Böylece önerilen yapım tekniğinin kullanımı ile yumuşak kat mekanizmasının olumsuz etkilerinin ortadan kaldırılabileceği görülmüştür.

Tablo 2. Beton malzemesi model parametreleri

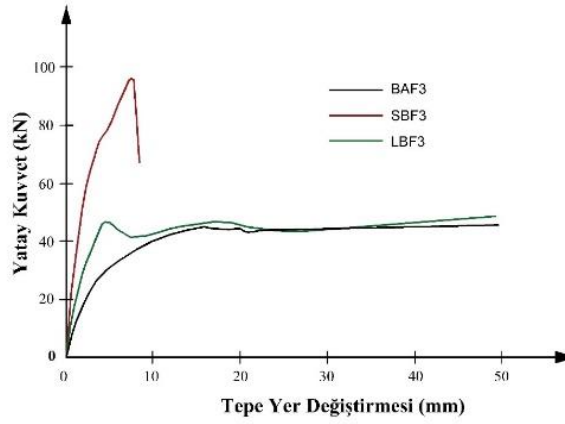
Table 2. Concrete material model parameters

Concrete Total Crack Strain Model (TCSM) [20]	
Elastisite Modülü	28000 MPa
Poisson Oranı	0,2
Yoğunluk	2400kg/m <sup>3</sup>
Çatlak Oryantasyonu	Rotation
Çatlak Bant Genişliği	Rots
Çekme Davranışı/CEB FIB MODEL Code 2010 [21]	
Çekme Dayanımı	2,21 MPa
Mode-I kırılma enerjisi	125,17 N/m
Basınç Davranışı: Maekawa Concrete Model	
Basınç Dayanımı	20 MPa



**Şekil 10.** (a) BaF3, (b) SBF3 ve (c) LBF3 modellerine ait çatlak genişliği cinsinden hasar dağılımları

**Figure 10.** Damage distributions in terms of crack width for (a) BaF3, (b) SBF3, and (c) LBF3 models



**Şekil 11.** Üç katlı dolgu duvarsız çerçeve (BAF), standart dolgu duvarlı çerçeve (SBF) ve kayar dolgu duvarlı çerçeve (LBF3) modellerinin kapasite eğrileri

**Figure 11.** Capacity curves of three-storey frame without infill walls (BAF3), frame with standard infill walls (SBF), and frame with sliding infill walls (LBF3)

**Tablo 3.** Tuğla birimlerin model parametreleri

**Table 3.** Model parameters of brick units

Concrete Total Crack Strain Model (TCSM)	
Elastisite Modülü	1100 MPa
Poisson Oranı	0,2
Yoğunluk	1800kg/m <sup>3</sup>
Çatlak Oryantasyonu	Rotating
Çatlak Bant Genişliği	Rots
Çekme Davranışı/CEB FIB MODEL Code 2010	
Çekme Dayanımı	0,2 MPa
Mode-I kırılma enerjisi	0,02 N/m
Basınç Davranışı: Maekawa Concrete Model	
Basınç Dayanımı	1,1 MPa

## 5. Sonuç

Bu çalışmada daha önce test edilen dolgulu ve dolgusuz çerçeve numunelerini temsil eden doğrusal olmayan iki boyutlu sonlu elemanlar modelleri hazırlanmış ve deneysel sonuçlar kullanılarak sayısal modellerin parametreleri kalibre edilmiştir. Sayısal analizler sonucunda elde edilen hasar dağılımı, yük-

ötenme zarf eğrileri ve deney sonuçları kabul edilebilir yakınlıkta simüle edilmiştir. Elde edilen model kalibrasyon parametreleri kullanılarak farklı dolgu durumlarına sahip üç katlı çerçeveler analiz edilmiştir. Bu çerçeve modelleri ülkemizde ve komşu ülkelerde sıklıkla karşılaşıldığı gibi zemin katı dolgu duvarsız, üst katları ise dolgu duvarlı olacak şekilde kurulmuştur. Bu durum geleneksel tuğla duvar kullanılması halinde zemin katın ötelenme talebini artırmakta ve yumuşak kat mekanizması oluşma potansiyelini artırmaktadır. Nitekim yapılan sayısal analizler sonucunda elde edilen hasar dağılımlarında zemin katı boş geleneksel dolgulu modelde boş çerçeve ve kayar dolgulu çerçeve modellerine göre belirgin şekilde daha yüksek şekil değiştirme talepleri oluşmuştur. Benzer şekilde düzlem içi rijitliği daha düşük olan kayar dolgu duvar tanımlanarak analiz edilen üç katlı modellerde ise şekil değiştirmeler tüm katları dolgusuz çerçevenin sonuçlarına yakın elde edilmiş, bu modelde zemin katın dolgusuz bırakılmasının olumsuz etkisinin sınırlı kaldığı ve yumuşak kat oluşma potansiyelini azalttığı görülmüştür.

## Etik kurul onayı ve çıkar çatışması beyanı

Hazırlanan makalede etik kurul izni alınmasına gerek yoktur.

Hazırlanan makalede herhangi bir kişi/kurum ile çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## Yazar katkılarının beyanı

Yazar 1: Analiz ve yorum, Literatür taraması, Eleştirel inceleme

Yazar 2: Fikir/Kavram, Denetleme/Danışmanlık, Eleştirel inceleme

Yazar 3: Analiz ve yorum, Eleştirel inceleme, Yazım

## Kaynaklar

- [1] Rodrigues, H., Varum, H., and Costa, A., 2010. Simplified Macro-Model for Infill Masonry Panels, *Journal Earthquake Engineering*, Vol. 14, No. 3, pp 390-416
- [2] Mohammadi, M., and Akrami, V., 2010. Application of Frictional Sliding Fuse in Infilled Frames, Fuse Adjustment and Influencing Parameters, *Structural Engineering Mech*, Vol. 36, No. 6, pp 715-727
- [3] Dimova, S.L. and Negro, P., 2005. Seismic Assessment of an Industrial Frame Structure Designed According to Eurocodes. Part 1: Experimental Tests and Their Numerical Simulation, *Eng Struct*, Vol. 27, pp 709-723
- [4] Yan, P.L., Sun, B.T., and Zhang, H.Y., 2014. Seismic damage to RC frame teaching building in Lushan MS7.0 Earthquake, *China Civil Eng J*, Vol. 47, pp 24-28
- [5] Ricci, P., De Risi, M.T., Verderame, G.M., Manfredi, G., 2013. Influence of Infill Distribution and Design Typology on Seismic Performance of Low- and Mid-Rise RC Buildings, *Bull Earthq Eng*, Vol. 11, pp 1585-1616
- [6] Hashemi, A., and Mosalam, K.M., 2007. Seismic Evaluation of Reinforced Concrete Buildings Including Effects of Infill Masonry Walls, *Pacific Earthquake Engineering Research Center-PEER, USA*, No: 100, 268 p.
- [7] Negro P. and Verzeletti G., 1996. Effect of Infills on the Global Behavior of RC Frames: Energy Considerations from Pseudodynamic Tests, *Earthq Eng Struct Dyn*, Vol. 25, pp 753-773
- [8] Negro, P., Colombo, A., 1997. Irregularities Induced by Nonstructural Masonry Panels in Framed Buildings, *Eng Struct*, Vol. 17, No.7, pp 576-585
- [9] Dolsek, M., and Fajfar, P., 2008. The Effect of Masonry Infills on The Seismic Response of a Four-Storey Reinforced Concrete Frame: A Deterministic Assessment, *Eng Struct*, Vol. 30, pp 1991-2001
- [10] Stavridis, A., Shing, P.B., 2010. Finite Element Modeling of Nonlinear Behavior of Masonry Infilled RC Frames, *J Struct Eng*, Vol. 136, No. 3 , pp 285-296
- [11] Kaushik, H.B., Rai, D.C., Jain, S.K., 2009. Effectiveness of Some Strengthening Options for Masonry-Infilled RC Frames with Open First Story, *J Struct Eng*, Vol. 135, No. 8, pp 925-937
- [12] Misir, I.S., Ozcelik, O., Girgin, S.G., and Kahraman, S., 2012. Experimental Work on Seismic Behavior of Various Types of Masonry Infilled RC Frames, *Struct Eng & Mech*, Vol. 44, No. 6, December, pp 763-774
- [13] Misir, I.S., Ozcelik, O., Girgin, S.C., and Yucel, U., 2016. The Behavior of Infill Walls in RC Frames Under Combined Bidirectional Loading, *J Earthq Eng*, Vol. 20, No. 4, pp 559-586
- [14] Misir, I.S., 2015. Potential Use of Locked Brick Infill Walls to Decrease Soft-Story Formation in Frame Buildings, *J Perform Constr Facil*, Vol. 29, No. 5, 04014133
- [15] DIANA FEA BV. DIANA Finite Element Analysis, User's Manual release 10.3. Delft, The Netherlands.
- [16] Yakut, A., Sucuoğlu, H., Binici, B., Canbay, E., Donmez, C., İlki, A., ... & Ay, B. Ö., 2021. Performance of structures in İzmir after the Samos Island earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 1-26.
- [17] Maekawa, K., Okamura, H., & Izumo, J., 1987. Reinforced concrete plate element subjected to cyclic loading, *IABSE Colloquium Delft*, August, 575-590.
- [18] DIANA User's Manual Release 10.1 [www.dianafea.com](http://www.dianafea.com)
- [19] Menegotto, M. and Pinto E. 1973. Method of Analysis for Cyclically Loaded Reinforced Concrete Plane Frames Including Changes in Geometry and Non-Elastic Behaviour of Elements Under Combined Normal Force and Bending. *IABSE Symposium on the Resistance and Ultimate Deformability of Structures Acted on by Well-Defined Repeated Loads*. Lisbon, Portugal.
- [20] Ngekpe B., 2016. Application of Total-Strain Crack Model in Finite Element Analysis for Punching Shear at Edge Connection, vol. 06.
- [21] FIB, in: *fib Model Code for Concrete Structures 2010*, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, 2013, <https://doi.org/10.1002/9783433604090>.
- [22] Preti, M., Bettini, N., and Plizzari, G., 2012. Infill walls with sliding joints to limit infill-frame seismic interaction: Large-scale experimental test, *Journal of Earthquake Engineering* 16(1), 125-141.