

## DOLGU DUVARIN YAPISAL DÜZENSİZLİKLERE VE PERFORMANSA ETKİSİNİN MEVCUT BİR YAPI ÜZERİNDE İNCELENMESİ

Osman Fatih BAYRAK <sup>\*ID</sup>

Murat BİKÇE <sup>\*\*ID</sup>

Alınma: 02.11.2018; düzeltme: 18.03.2019; kabul: 23.10.2019

**Öz:** Betonarme yapı sistemlerinde dolgu duvarlar yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Dolgu duvarların yapıya sadece olumlu etkisinin olacağı ve bu etkiyi rezerv tutma düşüncesiyle, genellikle konvansiyonel analiz programlarında dolgu duvarlar salt düşey yük olarak çerçeveye etki ettirilmektedir. Oysaki yaşanan depremler sonrası yapılan araştırmalar, dolgu duvarların betonarme çerçeveye olumlu/olumsuz etkilerinin olduğunu göstermektedir. Dolgu duvar etkisinin modele yansıtılmaması, tasarımcıların yaptığı analizlerde çeşitli yapısal düzensizlikleri de görememesine neden olabilmektedir. Bu çalışmada, mevcut bir yapı seçilmiş ve öncelikle dolgu duvarlar salt düşey yük (DY) olarak ideCAD yapı analiz programında modellenmiş daha sonra dolgu duvarlar DY ve hem düşey yük hem de eşdeğer basınç çubuğu (DY+EBÇ) olarak Sap2000 yapı analiz programında oluşturulmuştur. Sap2000'deki DY+EBÇ modeli DY modeli ile mukayese edildiğinde; yapı performansının arttığı, burulma ve yumuşak kat gibi düzensizlik değerlerinin değiştiği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Dolgu duvar, burulma, yumuşak kat, performans

### Investigation of the Effect of Infill Wall on Structural Irregularities and Performance on an Existing Structure

**Abstract:** Infill walls are widely used in reinforced concrete building systems. With the idea that the infill walls will have only positive effect on the structure and reserve this effect, the infill walls are generally affected in the frame as a vertical load in conventional analysis programs. However, after the earthquakes researches show that the infill walls have positive / negative effects on the reinforced concrete frame. Failure to reflect the infill wall effect on the model may cause the designers not to see various structural irregularities in their analysis. In this study, an existing structure was chosen and firstly infill walls were modeled in ideCAD structure analysis program as vertical load (DY) and then infill walls were formed as DY and vertical load and equivalent compression strut (DY + ETC) as Sap2000 structure analysis program. DY + EBÇ model in Sap2000 compared to DY model; It was observed that the structure performance increased and torsional and soft floor values changed.

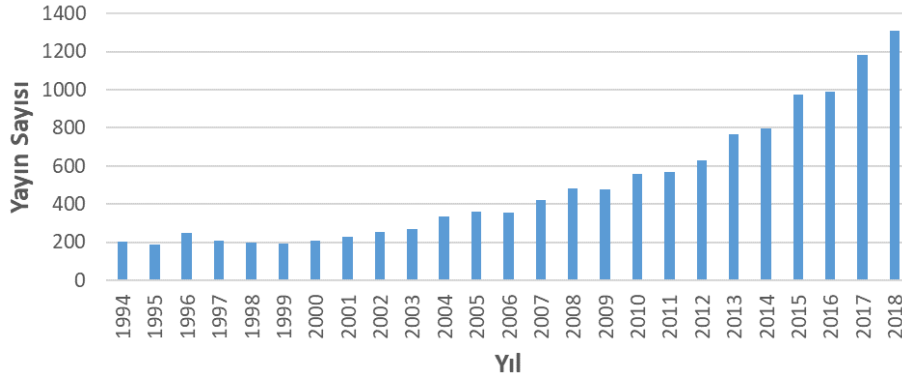
**Keywords:** Infill wall, Torsion, Soft floor, Weak floor, Performance

\* İskenderun Teknik Üniversitesi, Mühendislik ve Doğa Bilimleri Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 31200, Hatay

\*\* İletişim Yazarı: Murat BİKÇE ([murat.bikce@iste.edu.tr](mailto:murat.bikce@iste.edu.tr))

## 1. GİRİŞ

Günümüzde, betonarme yapı sistemlerinin birçoğunda dolgu duvarlar yaygın olarak kullanılmaktadır. Kolon ve kiriş arasına imal edilen dolgu duvarlar yapıda kompozit bir çerçeve meydana getirmektedir. Bu tip çerçeveli yapıların analizlerinde, genellikle dolgu duvarların düşey yük etkisi dikkate alınmakta ve olumlu/olumsuz diğer etkileri göz ardı edilmektedir. Oysaki dolgu duvarların yapı davranışını değiştirdiği yapılmış akademik araştırmalardan ve yaşanan depremlerden anlaşılmaktadır (Polyakov, 1950, Holmes, 1961, Beklen ve Çağatay, 2009, Dönmez, 2006, Güney, 2011, Yalçın, 1999, Beklen, 2009). Bu durumda dolgu duvar etkisinin yapılan analizlere dâhil edilmesi gerekliliği ortaya çıkmaktadır. Ancak duvar davranışının birçok parametreye göre değişkenlik göstermesi, modellemede dolgu duvarı temsil edebilecek güvenilir ve pratik bir yöntem olmaması gibi nedenler dolgu duvar etkisinin analizlerinde dikkate alınmasını zorlaştırmaktadır. Bu güçlüğü gidermek üzere, araştırmacıların dolgu duvarlar üzerine yaptıkları incelemeler artarak devam etmektedir (Şekil 1).



Şekil 1:

Dolgu duvarın yayın sayısının yıllara göre dağılımı (<http://www.sciencedirect.com>)

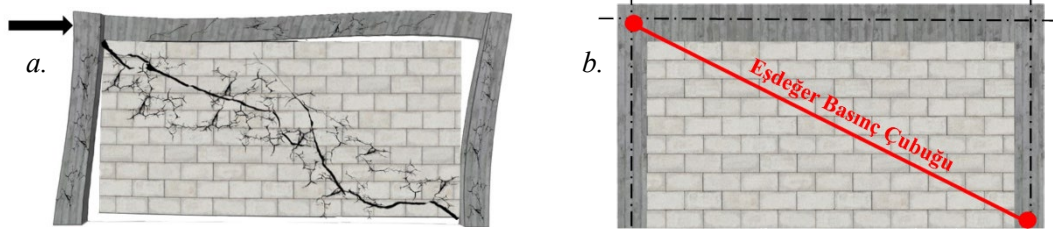
Çerçeve sistemlerin analiz ve tasarımlarında, dolgu duvarlar genellikle olumlu rezerv olarak görülmektedir. Deprem etkisine maruz kalan yapılarda oluşan hasarı öncelikle, taşıyıcı sisteme göre daha az rijitlik ve dayanıma sahip olan dolgu duvarlar almaktadır. Ayrıca çerçeve sistem içerisinde bulunan dolgu duvarın, cephelerinin sıvanmasıyla perde duvara benzer davranış göstermektedir (Doğan ve Bakırcı Er, 2011, Çağatay, 2007). Deprem yönüne ve çerçeveye paralel oluşturulan dolgu duvarların, yapının yatay yük taşıma kapasitesini arttırdığı, yatay ötelemeleri azalttığı, hakim titreşim periyodunu düşürdüğü ve çerçeve rijitliğine katkı sağladığı analitik ve deneysel incelemelerden anlaşılmaktadır (Ersoy ve diğ., 1971, Toker, 2007, Kızıloğlu, 2006). Son zamanlarda dolgu duvarlar üzerine yapılan çalışmalar, bahsi geçen olumlu etkilerin yanı sıra, olumsuz etkilerinin de önemsenecek düzeyde olduğunu göstermektedir. Çerçeve ile sıkı iletişim içerisinde olan dolgu duvarların, yatayda ve düşeyde asimetrik yerleştirilmesi çeşitli düzensizliklerin oluşmasına sebep olabilmektedir (Sivri ve diğ., 2006, Baran, 2012). Dolgu duvarların yapı planının bir bölgesinde yoğunlaşmasıyla rijitlik (RM) ve kütle merkezi (KM) değişebilmektedir. RM ve KM'nin değişmesi ilave dışmerkezliğe neden olabileceğinden, tasarımda öngörülme ek burulma etkileri oluşabilmektedir (Kaplan, 2008, Mutlu, 2007). Bu nedenle tasarımcıların dolgu duvar davranışı hakkında bilgi sahibi olması, yapıda oluşabilecek olumsuz etkilere önlem alabilmesi açısından önem arz etmektedir (Bayülke, 2003). Ayrıca giriş katlarının ticari olarak değerlendirilmesiyle, dolgu duvar yerine vitrin tercih edilmesi katlar arası rijitlik farkının oluşmasına, zayıf ve yumuşak kat etkisinin artışına neden olabilmektedir (Kaplan, 2008). Diğer bir önemli husus da kısa kolon etkisidir. Bazı katlarda aydınlatma ihtiyacı nedeniyle duvarın üst kısmında pencere boşluğu bırakılmaktadır (Mutlu, 2007). Çerçeve içindeki dolgu duvar köşeleri, depremde oluşan diyagonal basınç etkisiyle

ezilerek dağılmaktadır. Bunun sonucunda duvar uç kısımlarında oluşan boşluklar, benzer etkiyi tetikleyecektir.

Dolgu duvar etkilerinin bilinen yöntemler ile yapı modeline katılarak analiz edilmesi, tasarımcının yapısal davranışı görebilmesini sağlayacaktır. Zira yaygın kullanılan ticari tasarım programlarında, dolgu duvarların yatay rijitliği değiştirmesinden dolayı olumlu/olumsuz etkilerinin ihmal edilmesine, uygulama ile model arasında farklılığın oluşmasına neden olabilmektedir. Bu çalışmada, dolgu duvarların mevcut bir yapı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. İskenderun kent merkezinde bulunan mevcut bir yapının, dolgu duvarların salt düşey yük olarak dikkate alındığı (DY) ideCAD (ideYAPI, 2018) modeli analiz sonuçları ile aynı yapının Sap2000 (Sap2000, 1999) programında oluşturulmuş DY ve hem düşey yük hem de eşdeğer basınç çubuğu (DY+EBÇ) olarak modellendiği analiz sonuçları mukayese edilmiştir.

## 2. DOLGU DUVAR MODELİ

Lozem Dolgu duvarların modele etkisini yansıtmak amacıyla; bulunduğu çerçevenin dayanımlarının artırılması, kabuk eleman ve eşdeğer basınç çubuğu yöntemleri kullanılmaktadır. 1960'lı yıllardan bu yana kullanılan eşdeğer basınç çubuğu yöntemi, günümüzde çok sayıda deprem yönetmeliği tarafından çeşitli kabullerle benimsenmektedir (Cod de proiectare seismică, 2006, FEMA-356, 2000). Bu çalışmada tercih edilen ve literatürde yaygın olarak kabul gören eşdeğer basınç çubuğu yönteminde, diyagonal fiktif çubuklar sadece basınca çalışacak şekilde çerçeve modeline ilave edilmektedir (Beklen, 2009, Samoila, 2013). Eşdeğer basınç çubuğunun elastisite modülü ve kalınlığı fiktif olarak dolgu duvarı temsil etmektedir (Şekil 2a, b).



Şekil 2:

a. Eksenel basınçtan oluşabilecek çatlaklar b. Eşdeğer basınç çubuğu

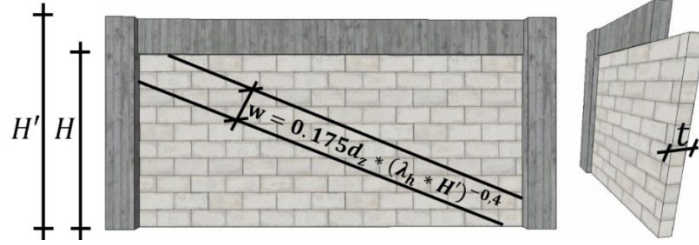
Dolgu duvar eşdeğer basınç çubuğu modelinde, Stafford (1966),  $\lambda_h$ , dolgu duvarın göreceli rijitlik parametresini,

$$\lambda_h = 4 \sqrt{\frac{E_z \times t \times \sin(2\theta)}{4 \times E_b \times I_s \times H}} \quad (1)$$

olarak alınabileceğini ifade etmiştir. Burada  $E_z$  ve  $E_b$ , sırasıyla dolgu duvarın ve çerçevenin elastisite modüllerini,  $t$ , boşluksuz dolgu duvarın ve eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığını,  $I_s$ , kolonların atalet momenti,  $H$ , dolgu duvar yüksekliğini ve  $\theta$  eşdeğer basınç çubuğunun yatay ile yaptığı açığı tanımlamaktadır. Mainstone (1974) çalışmasında, eşdeğer basınç çubuğu genişliği ifadesini, rijitlik parametresi kullanarak,

$$w = 0.175 \times d_z \times (\lambda_h \times H)^{-0.4} \quad (2)$$

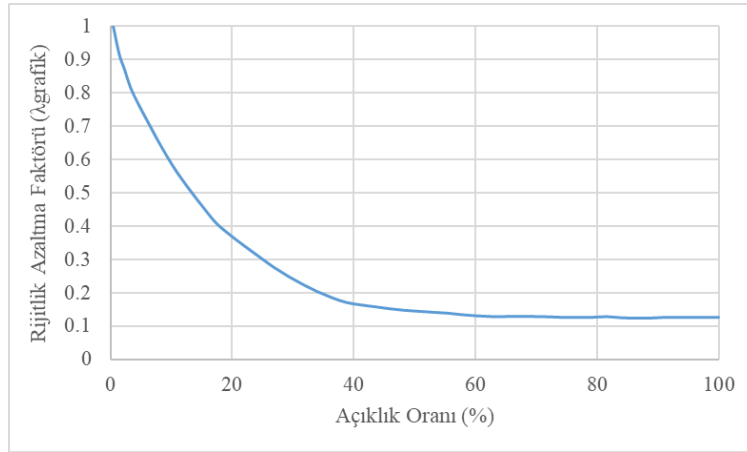
şeklinde belirlenmiştir. Burada,  $d_z$ , eşdeğer basınç çubuğu uzunluğu,  $H'$ , kat yüksekliği ve  $H$ , dolgu duvar yüksekliğidir. Bu çalışmada eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığı için, araştırmalarda, yönetmeliklerde yaygın olarak kullanılan ve Şekil 3'te görülen formül tercih edilmiştir (FEMA-356, 2000, Mainstone, 1974, Öztürkoğlu ve diğ., 2015, DBYBHY, 2007).



**Şekil 3:**

*Eşdeğer basınç çubuğu genişliği ve dolgu duvar kalınlığı*

Öte yandan dolgu duvarlarda kapı ve pencere gibi mimari gerekçelerle bırakılan boşluklar, dayanımı ne ölçüde azaltacağı belirlenmelidir. Asteris (2003), bu konu ile ilgili yaptığı çalışmada, dolgu duvar rijitliğinde yapılacak azaltmayı, dolgu duvarda bırakılan boşluk yüzdesi (boşluk alanı/dolgu duvar alanı) bağlı olarak bir katsayıyla hesaba dâhil edecek şekilde, “Rijitlik Azaltma Faktörü ( $\lambda_{\text{grafik}}$ )” tanımı ile önermiştir (Şekil 4). Rijitlik Azaltma Faktörü ( $\lambda_{\text{grafik}}$ ) boşluk olması durumundaki rijitliğin boşluksuz durumdaki rijitliğe oranı olarak açıklanabilir. Hesaplanan eşdeğer basınç çubuğu genişliği ( $w$ ) ile azaltma faktörünün çarpılması, duvar boşluğunun dikkate alınması için yaygın olarak kullanılan bir yöntemdir. Şekil 4'ten de görülebileceği üzere boşluk yüzdesi arttıkça çerçeve rijitliği azalmakta ve boşluk yüzdesi 50’yi geçtiğinde rijitlik azaltma faktörü sabit bir değer almaktadır.



**Şekil 4:**

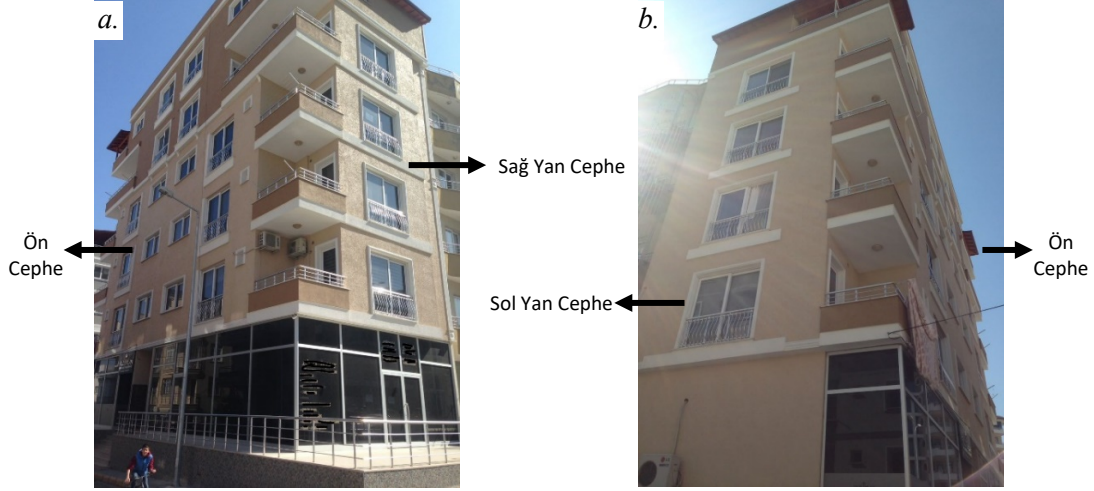
*Açıklık oranı ile rijitlik azaltma faktörü arasındaki ilişki (Asteris, 2003)*

### 3. İNCELENEN YAPI

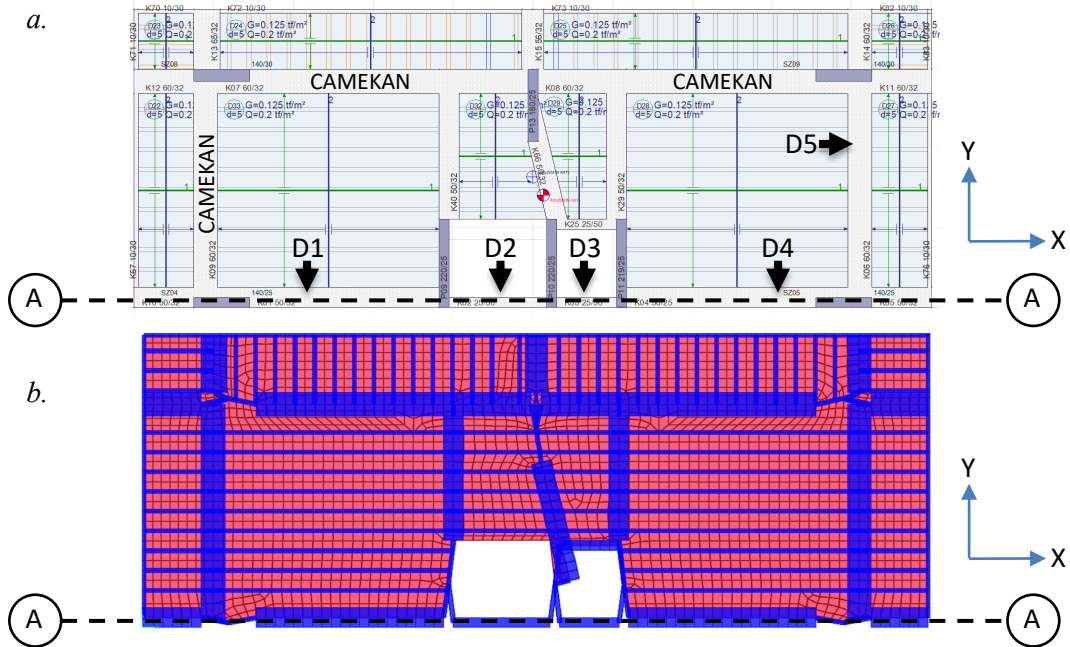
#### 3.1. Yapının Özellikleri

Lorem Dolgu duvarların yapısal düzensizliklerine etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için, üç cephesi açık diğer cephesi bitişik nizam olarak uygulanmış mevcut bir yapı seçilmiştir. Bodrum + zemin + 4 normal ve çatı olmak üzere toplam 7 katlı yapı İskenderun merkezinde inşa edilmiştir (Şekil 5a, b).

Yapının A aksı bitişik nizam olup düşey doğrultuda dolgu duvar sürekliliğine sahiptir (Şekil 6a). Bodrum katında tüm akslar perde olarak oluşturulmuştur. Zemin kattın sol yan ve arka cephesi dolgu duvar iken sağ yan ve ön cephesi camedân olarak tasarlanmıştır (Şekil 5a, b, 6a). Zemin katta bulunan dolgu duvarlar numaralandırılarak (D1-D5) konumları Şekil 6b'de gösterilmiştir. Yapının normal katlarında ve çatı katında A aksı dolgu duvar, diğer cepheler pencere/kapı boşlukları içeren dolgu duvarlardan oluşmaktadır. Yapının beton ve donatı sınıfları sırasıyla C30, S420a olarak projelendirilmiştir. Yapının döşemeleri gaz beton dolgu duvar dışı döşeme (asmolen) olarak tasarlanmıştır.



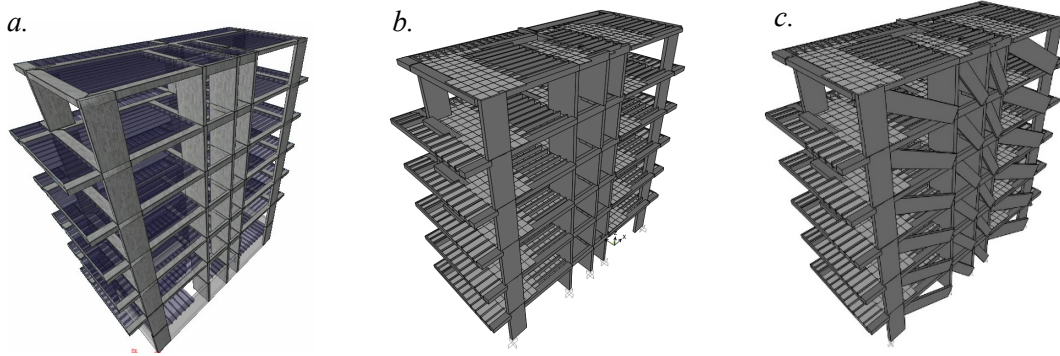
**Şekil 5:**  
*a. Sağ yan ve ön cephe b. Sol yan ve ön cephe*



**Şekil 6:**  
*a. Mevcut yapı normal kat planı (İdeYAPI, 2018), b. Sap2000 modeli ve duvar konumları (Sap2000, 1999)*

### 3.2. Yapının Modelleri ve Analizleri

Dolgu duvarın modele etkisini belirlemek amacıyla seçilen yapının DY ve DY+EBC durumları, tasarımında yaygın kullanılan ideCAD ve Sap2000 yapı analizi programında modellenmiştir. DY olarak adlandırılan durumda, yapıdaki dolgu duvarlar, yaygın olarak modellendiği şekliyle hem ideCAD’te (Şekil 7a) hem de Sap2000’de (Şekil 7b) sadece düşey yük etkisi dikkate alınarak modellenmiştir. DY+EBC olarak adlandırılan durumda ise, sadece Sap2000 yapı analizi programında oluşturulmuştur. Bu modelde mevcut yapıdaki dolgu duvarların hem düşey yük etkisi hem de eşdeğer basınç çubuğunun etkisi dikkate alınmıştır (Şekil 7c).



**Şekil 7:**

*Yapı analiz programlarında oluşturulan modeller;*  
**a. ideCAD DY (ideYAPI, 2018) b. Sap2000 DY c. Sap2000 DY+EBC Modelleri (Sap2000, 1999)**

Eşdeğer basınç çubuğu genişliği hesaplanmalarında kullanılan, duvarın mekanik ve fiziksel özellikleri Tablo 1’de gösterilmiştir. Dolgu duvarın elastisite modülü, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik’te (DBYBHY) yer aldığı şekliyle 1000 MPa olarak tercih edilmiştir (DBYBHY, 2007).

**Tablo 1. Eşdeğer basınç çubuğunun mekanik ve fiziksel özellikleri**

| Duvar Konumu | $H'$ (m) | $H$ (m) | $t$ (m) | $E_z$ (MPa)     | $E_b$ (MPa)       | $\lambda_h$ | $w$ (m) |
|--------------|----------|---------|---------|-----------------|-------------------|-------------|---------|
| D1           | 3.2      | 2.9     | 0.2     | $1 \times 10^3$ | $3.2 \times 10^3$ | 0.356       | 1.03    |
| D2           | 3.2      | 2.7     | 0.2     | $1 \times 10^3$ | $3.2 \times 10^3$ | 0.225       | 0.84    |
| D3           | 3.2      | 2.7     | 0.2     | $1 \times 10^3$ | $3.2 \times 10^3$ | 0.216       | 0.74    |
| D4           | 3.2      | 2.9     | 0.2     | $1 \times 10^3$ | $3.2 \times 10^3$ | 0.213       | 1.31    |
| D5           | 3.2      | 2.9     | 0.2     | $1 \times 10^3$ | $3.2 \times 10^3$ | 0.214       | 1.32    |

DY ve DY+EBC olarak oluşturulan modeller, öncelikle DBYBHY’de tanımlanan yapısal düzensizlikler bakımından karşılaştırılmıştır. Bu düzensizlikler; (A1) burulma, (B1) komşu katlar arası dayanım ve (B2) komşu katlar arası rijitlik düzensizliğidir. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi biri için,

$$\eta_{bi} = (\Delta_i)_{\max} / (\Delta_i)_{ort} > 1.2 \quad (3)$$

ifadesinin geçerli olması yapıda burulma düzensizliği oluşturmaktadır (DBYBHY, 2007). Burada;  $\eta_{bi}$ , i’inci katta tanımlanan burulma düzensizliği katsayısını,  $(\Delta_i)_{\max}$ , i’inci kattaki en

büyük görelî kat ötelemesini,  $(\Delta_i)_{ort}$ , i'inci kattaki aynı doğrultudaki ortalama görelî öteleme olarak tanımlanmaktadır. Görelî kat ötelemelerinin hesaplarında %5 ek dış merkezlik etkileri de göz önünde bulundurulmuştur. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde,

$$\eta_{ci} = (\sum A_e)_i / (\sum A_e)_{i+1} < 0.80 \quad (4)$$

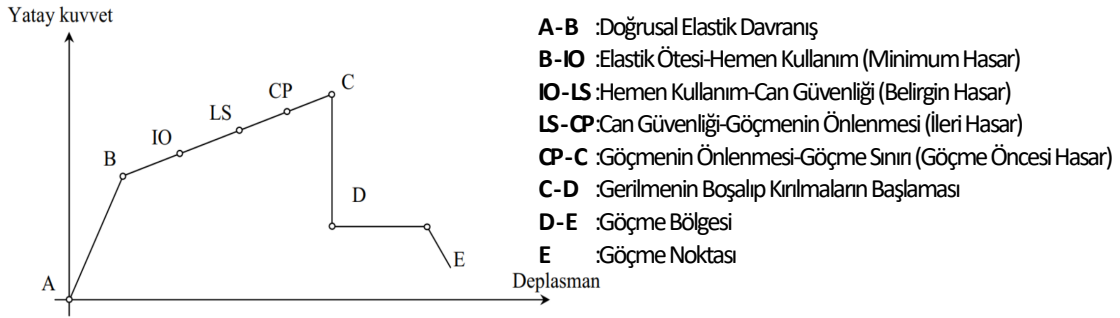
ifadesinin geçerli olması yapıda dayanım düzensizliğini oluşturmaktadır (DBYBHY, 2007). Burada;  $\eta_{ci}$ , i'inci katta tanımlanan dayanım düzensizliği katsayısını,  $(\sum A_e)_i$  ve  $(\sum A_e)_{i+1}$  sırasıyla herhangi bir katta ve bir üst kattaki gözönüne alınan deprem doğrultusunda etkili kesme alanı olarak tanımlanmaktadır. Birbirine dik iki deprem doğrultusunun herhangi birinde,

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i+1} / h_{i+1})_{ort} > 2.0 \quad (5)$$

$$\eta_{ki} = (\Delta_i / h_i)_{ort} / (\Delta_{i-1} / h_{i-1})_{ort} > 2.0 \quad (6)$$

ifadelerinin geçerli olması yapıda rijitlik düzensizliğini oluşturmaktadır (DBYBHY, 2007). Burada;  $\eta_{ki}$ , i'inci katta tanımlanan rijitlik düzensizliği katsayısını,  $h_i$ , i'inci katın kat yüksekliğini,  $\Delta_i$ , i'inci kattaki görelî kat ötelemesini ifade etmektedir.

Daha sonra, duvarların yapıya etkisinin daha iyi anlaşılması amacıyla Sap2000'de DY+EBÇ olarak oluşturulan model, x ve y doğrultularında doğrusal olmayan statik itme analizine tabi tutulmuştur. Bu analiz öncesinde, kolonlarda aksel yük ve iki yönlü eğilme (P-M2-M3), kirişlerde tek yönlü eğilme (M3) ve eşdeğer basınç çubuklarında aksel yük (P) olarak çalışan mafsallar tanımlanmıştır. Modellerde oluşabilecek mafsallar için tipik kuvvet-deplasman eğrisi Şekil 8'de görülmektedir (Teköz, 2009).



**Şekil 8:**  
 Tipik kuvvet-deplasman eğrisi (Teköz, 2009)

#### 4. BULGULAR

Dolgu duvarların sadece düşey yük olarak alındığı yapı modelinin, ideCAD ve Sap2000 programlarının modal analizlerinden elde edilen periyod ve yük sonuçları Tablo 2 ve 3'te sunulmuştur. Düşey yük ve deprem kuvvet sonuçları da aynı tabloda verilmiştir.

**Tablo 2. Modal analiz sonucu elde edilen mod-periyot değerleri**

| Değişkenler |     | DY Periyot |         | DY+EBÇ Periyot |
|-------------|-----|------------|---------|----------------|
| Mod         | Yön | ideCAD     | Sap2000 | Sap2000        |
| 1           | Z   | 1.08       | 1.08    | 1.05           |
| 2           | Y   | 0.77       | 0.77    | 0.77           |
| 3           | X   | 0.68       | 0.72    | 0.66           |

**Tablo 3. Modal analiz sonucu elde edilen mod-yük kapasiteleri değerleri**

| Değişkenler | DY Yük Kapasitesi |         | DY+EBÇ Yük Kapasitesi |
|-------------|-------------------|---------|-----------------------|
| Yük (kN)    | ideCAD            | Sap2000 | Sap2000               |
| G+0.3Q      | 115.35            | 116.28  | 116.28                |
| EX          | 49.10             | 45.20   | 55.10                 |
| EY          | 68.80             | 52.30   | 35.10                 |

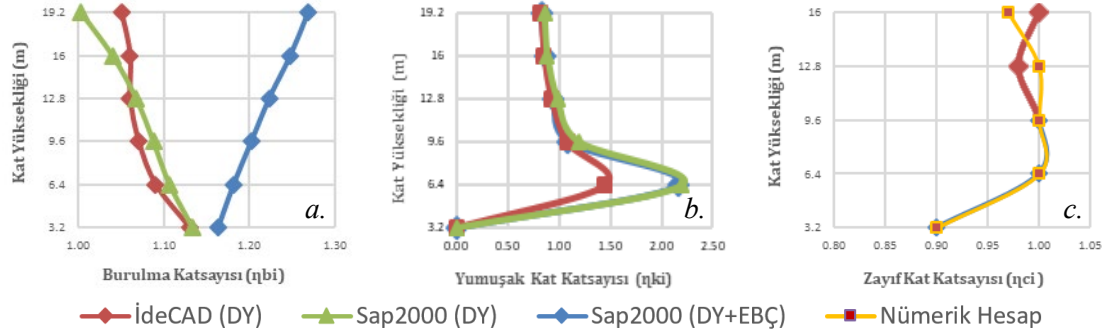
Modellere ait modal analizler sonucunda elde edilen modlara karşılık gelen periyot değerleri Tablo 2’de ve yük kapasiteleri Tablo 3’te sunulmuştur. Tablo 2 ve 3’ten görülebileceği üzere DY modellerinin ideCAD ve Sap2000 modal analizleri sonucunda elde edilen periyot ve yük kapasitesi değerleri birbirlerine çok yakındır, uyumlu sonuçlar sağlanmıştır.

Dolgu duvarlar, genellikle sadece düşey yük olarak alınarak analiz edilmelerinden dolayı, yapı düzensizliklerine olumlu/olumsuz etkileri de göz ardı edilebilmektedir. Seçilen yapıda bu durumun değerlendirilebilmesi için, modellerin analizi yapılarak düzensizlik şartları kontrol edilmiştir (Tablo 4 ile Şekil 9, 10).

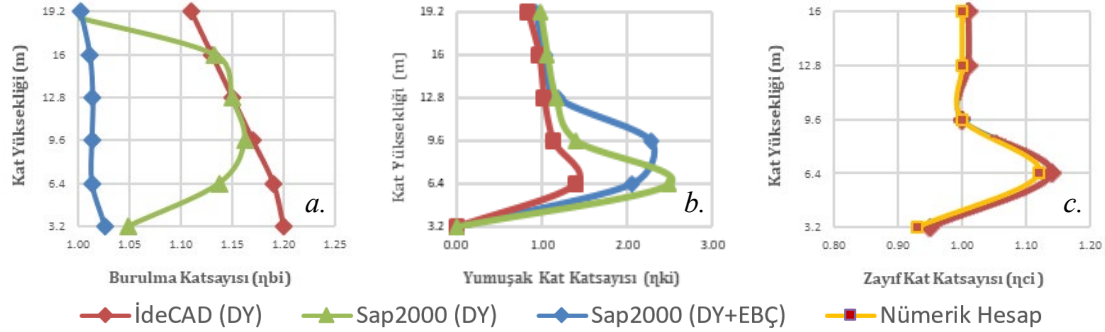
**Tablo 4. ideCAD ve Sap2000 DY / DY+EBÇ modelleri analiz sonuçlarının düzensizlik şartları yönünden karşılaştırılması**

| Yön    | KAT       | A1-Burulma Düzensizliği |         |         | B2-Komsu Katlar Arası Rijitlik Düzensizliği (Yumuşak Kat) |         |         |         |         |         | B1-Komsu Katlar Arası Dayanım Düzensizliği (Zayıf Kat) |               |
|--------|-----------|-------------------------|---------|---------|---|---------|---------|---------|---------|---------|--|---------------|
|        |           | DY                      |         | DY+EBÇ  | DY  |         |         |         | DY+EBÇ  |         | ideCAD   | Nümerik Hesap |
|        |           | ideCAD                  | Sap2000 | Sap2000 | ideCAD  |         | Sap2000 |         | Sap2000 |         |  |               |
|        |           | ηbi                     | ηbi     | ηbi     | ηki (+)   | ηki (-) | ηki (+) | ηki (-) | ηki (+) | ηki (-) | ηci  | ηci           |
| X yönü | Çatı Kat  | 1.05                    | 1.00    | 1.27    | -   | 0.83    | -       | 0.83    | -       | 0.86    | -  | -             |
|        | 4. KAT    | 1.06                    | 1.04    | 1.25    | 1.20  | 0.86    | 1.21    | 0.85    | 1.17    | 0.89    | 1.00   | 0.97          |
|        | 3. KAT    | 1.06                    | 1.07    | 1.22    | 1.17  | 0.94    | 1.17    | 0.93    | 1.13    | 0.98    | 0.98   | 1.00          |
|        | 2. KAT    | 1.07                    | 1.09    | 1.20    | 1.07  | 1.09    | 1.08    | 1.08    | 1.02    | 1.20    | 1.00   | 1.00          |
|        | 1. KAT    | 1.09                    | 1.11    | 1.18    | 0.92  | 2.17    | 0.93    | 1.45    | 0.84    | 2.20    | 1.00   | 1.00          |
|        | Zemin KAT | 1.13                    | 1.13    | 1.16    | 0.46  | -       | 0.69    | -       | 0.45    | -       | 0.90   | 0.90          |
| Y yönü | Çatı Kat  | 1.11                    | 0.98    | 1.00    | -   | 0.93    | -       | 0.84    | -       | 0.98    | -  | -             |
|        | 4. KAT    | 1.13                    | 1.13    | 1.01    | 1.08  | 1.03    | 1.19    | 0.97    | 1.02    | 1.06    | 1.01   | 1.00          |
|        | 3. KAT    | 1.15                    | 1.15    | 1.01    | 1.05  | 1.19    | 1.03    | 1.03    | 0.94    | 1.16    | 1.01   | 1.00          |
|        | 2. KAT    | 1.17                    | 1.16    | 1.01    | 0.97  | 2.28    | 0.97    | 1.14    | 0.86    | 1.40    | 1.00   | 1.00          |
|        | 1. KAT    | 1.19                    | 1.14    | 1.01    | 0.84  | 2.05    | 0.88    | 1.40    | 0.71    | 2.49    | 1.14   | 1.12          |
|        | Zemin KAT | 1.20                    | 1.05    | 1.03    | 0.44  | -       | 0.72    | -       | 0.40    | -       | 0.95   | 0.93          |





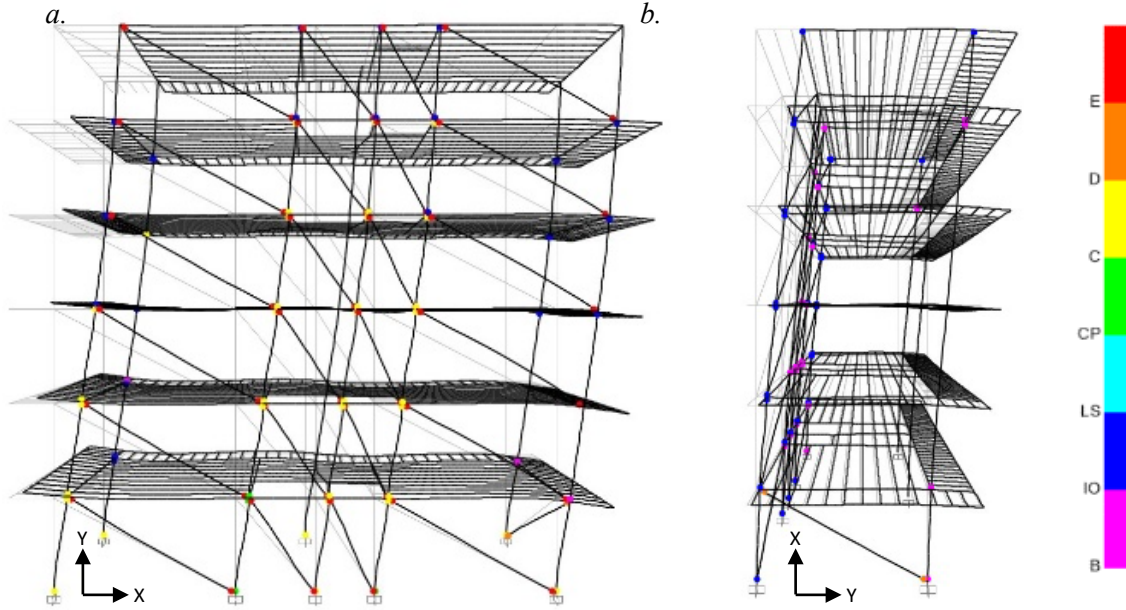
**Şekil 9:**  
*X Yönüne ait kat yükseklikleri ile model;*  
**a. Burulma katsayısı b. Yumuşak kat katsayısı c. Zayıf kat katsayısı değerleri**



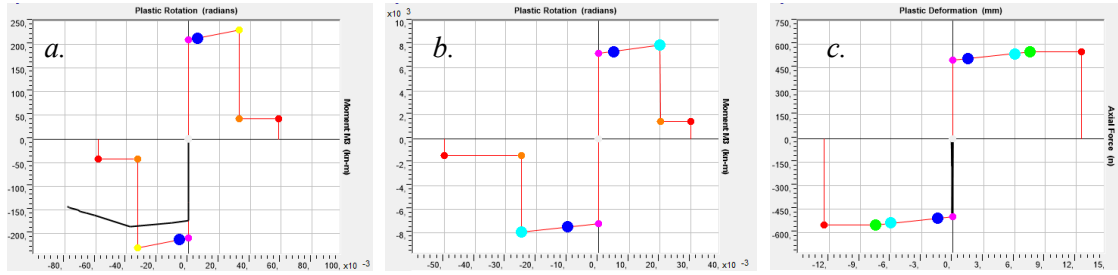
**Şekil 10:**  
*Y Yönüne ait kat yükseklikleri ile model;*  
**a. Burulma katsayısı b. Yumuşak kat katsayısı c. Zayıf kat katsayısı değerleri**

X doğrultusu için DY ideCAD ve Sap2000 modellerine ait burulma katsayıları, sınır değeri olan 1.2'yi aşmazken DY+EBÇ Sap2000 model burulma katsayıları sınır değeri aşmaktadır (Şekil 9a). Aynı doğrultuda, ideCAD DY modelinin diğer modellere kıyasla ikinci kat için yumuşak kat katsayısında azalma görülmektedir (Şekil 9b). Y doğrultusu için ideCAD DY modeli burulma düzensizliği sınır değerinde kalırken Sap2000 DY ve Sap2000 DY+EBÇ modelleri sınır değerlere ulaşmamaktadır (Şekil 10a). Bu doğrultuda tüm modellerin ikinci ve üçüncü katında yumuşak kat katsayısında farklılık gözlemlenmektedir (Şekil 10b). İki doğrultuda da zayıf kat katsayılarının birbirine yakın olduğu görülmüştür (Şekil 9c, Şekil 10c).

Sap2000 DY+EBÇ modelinde yapılan lineer elastik olmayan statik itme analizi sonucunda, yapının yer değiştirmesine bağlı x ve y doğrultusunda oluşan plastik mafsallar Şekil 11 a ve b'de gösterilmiştir. Aynı analizde elde edilen, zemin kattaki birer adet kolon, kiriş ve eşdeğer basınç çubuğu için plastik dönme ve deformasyon noktaları sırasıyla Şekil 12 a, b ve c'de örnek olarak sunulmuştur.

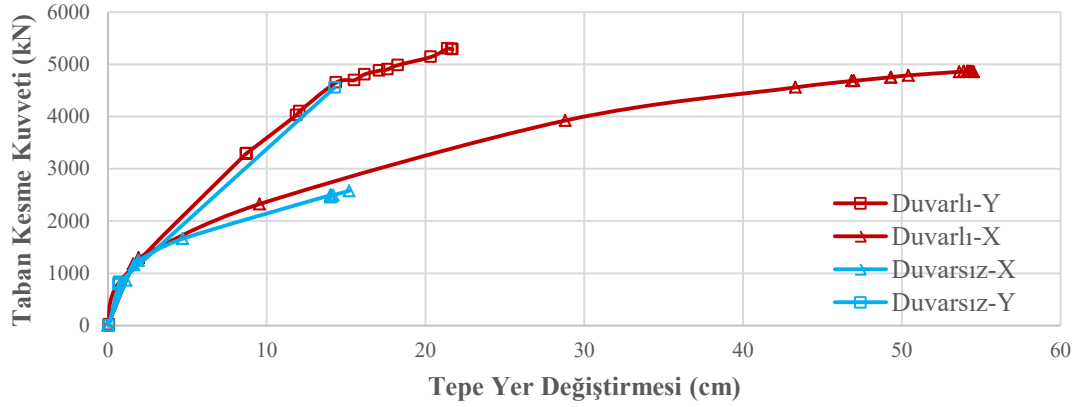


**Şekil 11:**  
*DY+EBÇ modeli Sap2000 statik itme analizi;*  
*a. X yönünde b. Y yönünde oluşan plastik mafsallar (Sap2000, 1999)*

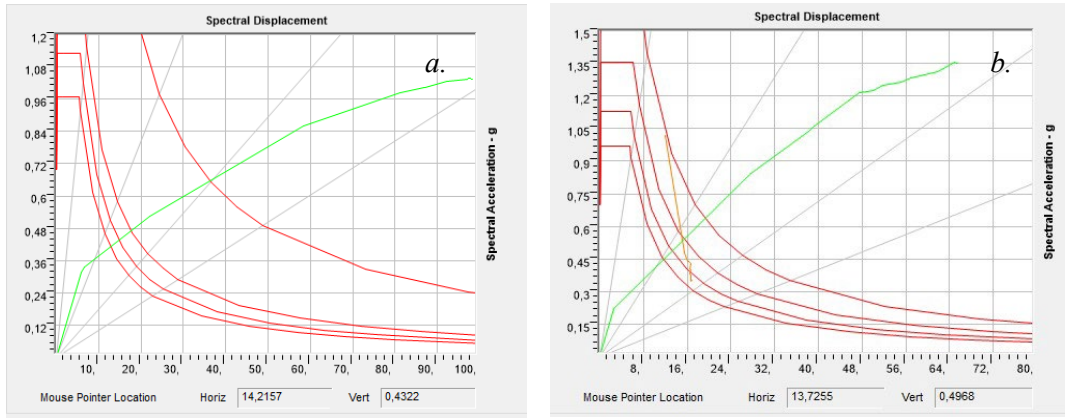


**Şekil 12:**  
*DY+EBÇ Modeli Sap2000 Statik İtme Analizi Sonucu Zemin Katta Oluşan Mafsallar;*  
*a. kolon (P.M2.M3) b. giriş (M3) c. Duvar eşdeğer basınç çubuğu (P) (Sap2000, 1999)*

Yapıların lineer ötesi davranışlarında dolgu duvarların dayanıma etkisinin daha iyi anlaşılması için gerçekleştirilen doğrusal olmayan statik itme analizinde DY ve DY+EBÇ Sap2000 modellerinin x ve y doğrultuları için elde edilen tepe yer değiştirmesi (cm)-taban kesme kuvveti (kN) grafiği Şekil 13'te verilmiştir. Ek olarak, Sap2000 DY+EBÇ'li durum için yapılan analizler sonucunda elde edilen performans noktaları Şekil 14 a,b'de gösterilmiştir.



**Şekil 13:**  
Sap2000 DY+EBÇ modelinin x ve y doğrultusu için itme eğrisi



**Şekil 14:**  
Spektral ivme-spektral deplasman grafikleri;  
a. x yönü b. y yönü (Sap2000, 1999)

X doğrultusunda bulunan duvarlar yapının taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme kapasitesini artırmaktadır. Y doğrultusunda, yapının simetrisinden ve dolgu duvarların yerleşiminden dolayı taban kesme kuvveti ve tepe yer değiştirme kapasitesindeki artış x doğrultusuna göre düşmektedir (Şekil 13). Tasarım spektrumu ve statik itme eğrisinin birleşim noktasından elde edilen performans noktası x doğrultusunda daha büyük çıkmaktadır (Şekil 14).

## 5. SONUÇLAR

Bu çalışmada DY ve DY+EBÇ olarak tanımlanan modellerin karşılaştırılması sonucunda aşağıdaki bulgular elde edilmiştir.

- Her iki modellemede modlar, düşey ve yatay yük değerleri uyumludur.
- Dolgu duvarların planda bir tarafta toplandığı ve/veya düşey doğrultuda süreksiz olduğu gibi durumlarda, dolgu duvarların yapısal düzensizliği etkileyip/etkilemediği hesapla kontrol edilmelidir.
- İncelenen DY+EBÇ modelinde, duvarların burulma ve yumuşak kat etkilerini artırdığı görülmüştür.
- Yapıda oluşturulan duvarların etkileri dikkate alındığında, yapının performans noktasını artığı ve ön görülemeyen deplasmanlar oluşturabileceği gözlemlenmiştir.

Bu tür nedenlerden dolayı, dolgu duvarların yapıya olumlu/olumsuz etkilerinin daha iyi anlaşılabilmesi bakımından, yapısal analizlerde dolgu duvarların modele dâhil edilmeleri tasarımcıların yapısal davranışı daha iyi gözleyebilmeleri açısından önemlidir.

## TEŞEKKÜR

Yazarlar, lisans desteklerinden dolayı yapı analiz program müelliflerine teşekkür eder.

## KAYNAKLAR

1. Asteris, P.G. (2003) Lateral stiffness of brick masonry infilled plane frames. *Journal of Structural Engineering*, 129:8, 1071-1079. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9445(2003)129:8(1071)
2. Baran, M. (2012) Dolgu Duvarların Betonarme Çerçevesi Yapıların Davranışı Üzerindeki Etkilerinin İncelenmesi, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 27(2), 275-284.
3. Bayülke, N., 2003. Betonarme Yapının Dolgu Duvarı. *Türkiye Mühendislik Haberleri*, 4(426), 85-98.
4. Beklen, C. (2009) Binalarda Dolgu Duvar Etkisinin İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü. Adana.
5. Beklen, C. ve Çağatay, İ.H. (2009) Çerçevelerde Dolgu Duvar Modellerinin İncelenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mimarlık Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 24(2), 1019-1011.
6. Çağatay, İ.H. (2007) Binalarda Kısa Kolona Etki Eden Parametrelerin İncelenmesi, 6. *Ulus. Deprem Mühendisliği Konferansı*, 16-20.
7. Doğan, O. ve Bakırcı Er Ş. (2011) Hareketli Yük ve Dolgu Duvar Dağılımının Burulma Düzensizliğine Etkisi, *International Journal of Engineering Research and Development*, 3(2), 2-5.
8. Dönmez, S. (2006). Deprem Etkisinde Betonarme Binalarda Hasarın Oluşmasında Dolgu Duvarların Modellenmesi ve Taşıyıcı Sisteme Katkısı, *Yüksek Lisans Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
9. Ersoy, U., Uzsoy, Ş. ve Aktan, E. (1971) Dolgulu Çerçevelerin Davranış ve Mukavemeti, TÜBİTAK.
10. Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report No. FEMA-356. Washington. DC.
11. Federal Emergency Management Agency (FEMA), (2000). Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings. Report No. FEMA-356. Washington.
12. Güney, D. ve Boduroğlu, M. H. (2011) Deprem Etkisi Altındaki Simetrik ve Asimetrik Yapıların Lineer Olmayan Tepkilerine Dolgu Duvarlarının Katkısı, *İtü Dergisi/d*, 5(3), 165-174.
13. Holmes, M. (1961) Steel Frames With Brickwork And Concrete Infilling, *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 19, 473-478. doi:10.1680/iicep.1961.11305
14. <http://www.sciencedirect.com/infill-wall>, Erişim Tarihi: 28.10.2018, Konu: *Infill Wall*.
15. IdeYAPI (2018) ideCAD Structural v.8.62 User's Manual, IdeYAPI, Türkiye.

16. Kaplan, S.A. (2008) Dolgu Duvarların Betonarme Taşıyıcı Sistem Performansına Etkisi, *İnşaat Mühendisleri Odası, TMH Bülten*, 452, 49-62.
17. Kızıloğlu, M.Y. (2006). Deprem Etkisi Altında Dolgu Duvarların Betonarme Çerçeve Yapılar Üzerindeki Etkisi, *Doktora Tezi*, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
18. Mainstone, R.J. (1974) On the Stiffness and strength of infilled frames, *Proc. Supplement, Trans. of Instn. Of Civil Engrs.*, State Univ. of New York.
19. Mutlu, M. (2007). Deprem Etkisindeki Betonarme Binalarda Kısa Kolon Etkisinin Doğrusal Olmayan Davranışının İncelenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*. Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
20. Öztürkoğlu, O., Uçar, T. ve Yeşilce, Y. (2015) Betonarme Yapılarda Dolgu Duvar-Çerçeve Etkileşiminin İncelenmesi, *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi*, 17(3), 109-121
21. P 100-1, (2006). Cod de proiectare seismică – Prevederi de proiectare pentru clădiri, Romania
22. Polyakov, S. V. (1950) Investigation of The Strength and of the Deformational Characteristics of Masonry Filler Walls and Facing on Framed Structures, *Construction Industry Institute*, 3.
23. Samoilă, D. (2013) Masonry Infill Panels Analytical Modeling and Seismic Behavior, *IOSR J. Eng.*, 3(8), 2250–3021.
24. Sap2000 (1999) Structural Analysis Programs. Computers and Structures. Inc. University Avenue. Berkeley. California. USA.
25. Sivri, M., Demir, F. ve Kuyucular, A. (2006) Dolgu Duvarlarının Çerçeve Yapının Deprem Davranışına ve Göçme Mekanizmasına Etkisi, *Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 10(1), 109-115. doi:10,19113/sdufbed.56263
26. Stafford, S.B. (1966) Behaviour of Square Infilled Frames, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. *Journal of Structural Division*, 92, 381-403
27. Teköz, K. (2009). Konut Tipi Çok Katlı Betonarme Yapıların Hasar Görebilirliğinin Pushover Analizine Göre Belirlenmesi, *Yüksek Lisans Tezi*, Mustafa Kemal Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Hatay.
28. Toker, A. (2007). Betonarme Bir Yapıda Dolgu Duvar Etkisinin Doğrusal Olmayan Dinamik Hesap Yöntemiyle İncelenmesi, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
29. Türkiye Deprem Yönetmeliği, (2007). Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik. TC Çevre ve Şehircilik Bakanlığı. Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, Ankara.
30. Yalçın, E. (1999). Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri, *Doktora Tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.