

## BETONARME ÇERÇEVELERDE DOLGU DUVAR ETKİSİNİN İNCELENMESİ

**Muhammed TEKİN<sup>1\*</sup>, Erhan ALSANCAK<sup>2</sup>, Murat AY<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE,

<sup>2</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE,

<sup>3</sup> Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 45140 Manisa, TÜRKİYE,

**Özet:** Yapı çözümlerinde dikkate alınmayan dolgu etkisi sistem dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu yüzden yapı elemanlarının doğrusal olmayan etkilerini dikkate alan gerçekçi bir çözüm yapılmalıdır. Dolgulu betonarme çerçevelerin yatay yük kapasitelerinin belirlenmesinde yapısal ve yapısal olmayan her iki elemanın doğrusal olmayan davranışlarını dikkate almak gerekmektedir. Bu çalışmada dolgulu betonarme çerçevelerin tüm eleman malzeme özelliklerinin gerçeğe daha yakın alındığı genel amaçlı Sap2000 Programı ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümü gerçekleştirilmiştir. Önerilen yöntem ile dolgulu ve dolgusuz dört katlı üç açıklıklı düzlemsel betonarme çerçevelerin çizilen kapasite eğrileriyle dayanımı araştırılmıştır. Dolgulu çerçevelerin yatay yük taşıma kapasitelerinin dolgusuz çerçevelere göre %40 daha fazla olduğu bulunmuştur.

**Anahtar Kelimeler:** Betonarme çerçeve, dolgu duvar, kapasite eğrisi

## INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MASONRY WALL ON THE REINFORCED CONCRETE FRAME

**Abstract:** The influence of infills on overall behavior of the structure is found to change with the direction in which the load is applied. This study gives guide-lines on evaluating the lateral load capacity of infilled panels for in-plane and out-of-plane loading. Further, guidelines are given that account for the effect of out-of-plane loading on in-plane capacity. In this study masonry infilled reinforced concrete frames are solved with Sap2000 computer program. The capacity curves are obtained for the frame having four stories and three bays. The lateral load capacities of the frame are investigated due to dead, live and earthquake loads. The lateral load capacities of brick infilled frames and without infilled frames are compared. It is found that the lateral load capacity of the frames with brick infill is 40 percent more than the frames without brick infill.

**Keywords:** Reinforced concrete frame, masonry wall, capacity curve

**MOS Classification:** Structure analysis

*Geliş Tarihi: 23.05.2006*

*Kabul Tarihi : 25.12.2006*

\* Sorumlu yazar

[md.tekin@bayar.edu.tr](mailto:md.tekin@bayar.edu.tr)

## 1. GİRİŞ

Betonarme binaların yatay deprem etkisinde taşıyıcı sistem hesapları yapılırken, bölme duvarlar taşıyıcı olmayan elemanlar olarak düşünülmektedir. Bölme duvarların bu hesaplarda sadece ağırlık ve kütle olarak gözönüne alınması, sistemin yatay rijitlik ve dayanım gibi mekanik özelliklerine katkılarının gözardı edilmesi genel bir yaklaşımdır. Homojen olmayan ve genellikle farklı malzemelerden üretilen bölme duvarlarının matematik modelleri kurulurken birçok faktörün etkili olmasının getirdiği zorluk nedeni ile yapılan bu kabul, sistem davranışının yeterince doğru olarak belirlenememesine yol açmaktadır. Ülkemizde meydana gelen önemli depremlerden sonra yapılan incelemeler ve farklı araştırmacılar tarafından yapılan deneysel çalışmalar, taşıyıcı olmayan bölme duvarların yatay rijitlikleri ve dayanımlarının, binanın serbest titreşim özellikleri ve yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde önemli ölçüde etkili olduğunu göstermektedir. 1998'de yürürlüğe girmiş olan "Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik"de bölme duvar etkisini almayan taşıyıcı sistem çözüm yöntemleri ile yapıların gerçek davranışı arasındaki bu belirsizliği, çeşitli kısıtlamalar ve kontroller ile düzenleme yoluna gidilmiştir. Buna göre; katlar arası dayanım düzensizliği (Zayıf kat) olan binalarda, dayanım düzensizliği katsayısı hesaplanırken deprem doğrultusundaki dolgu duvar alanlarının da hesaba alınmaktadır. Ayrıca kolonlara konulacak enine donatı düzenlemesi ve bölme duvarlar ile kolonlar arasında bırakılan boşluklar nedeniyle oluşabilecek kısa kolonlar ile ilgili düzenlemeler de mevcuttur, [1]. Bölme duvarların yatay yükler etkisindeki bina davranışına etkilerinin daha iyi ve güvenilir biçimde tanımlanabilmesi, hesaplarda gözönüne alınması amacıyla yatay rijitlik ve dayanımlarının ayrıntılı olarak incelenmesi

ve güvenilir biçimde saptanması gerekmektedir.

Tuğla ulaşabilirliği, fonksiyonelliği ve fiyatından dolayı bütün dünyada halen kullanılan en eski inşaat malzemesidir. Bu malzeme yüzyıllardan beri basit yapılardan kompleks binalara kadar her inşaatla kullanılmıştır. Tuğlalar, kullanım fonksiyonlarına göre binalarda yapısal veya yapısal olmayan elemanlar şeklinde düzenlenebilirler. Taşıyıcı özelliği olan, basınca dayanıklı, tuğlalar ülkemizde daha çok yığma yapılı binalarda kullanılmaktadır. Yapısal olmayan tuğlalar, yapı için çevresel etkilerden (yağmur, kar, rüzgar vb.) koruma yada kullanım fonksiyonlarına göre bina alanını bölümlere ayırma amacıyla kullanılmaktadır. Çelik ve betonarme yapılarda çerçeve için dolduran tuğlalar (dolgular) analiz ve tasarımlarda dikkate alınmamaktadır.

Geleneksel hesapların aksine yatay kuvvetlerin etkideği durumlarda, dolgu duvarların varlığı, yapıların bütün davranışlarını etkilemektedir. Dolgu duvarların dikkate alındığı çözümlerde yatay rijitliğin ve yatay yük taşıma kapasitesinin artış gösterdiği bilinmektedir. Boşluklu dolguların düzenlenmesiyle oluşan kısa kolon, yapı alt katlarında dolgulu duvarların kullanılmamasından kaynaklanan yumuşak kat problemleri dolgu etkisinin hesaplarda dikkate alınması gerektiğini göstermektedir.

### 1.2 Amaç Ve Kapsam

Yapı çözümlerinde dikkate alınmayan dolgu etkisi sistem dayanım ve rijitliğini önemli ölçüde değiştirmektedir. Bu yüzden yapı elemanlarının doğrusal olmayan etkilerini dikkate alan gerçekçi bir çözümü yapılmalıdır. Dolgulu betonarme çerçevelerin yatay yük kapasitelerinin belirlenmesinde yapısal ve yapısal olmayan her bir elemanın doğrusal olmayan davranışlarını dikkate almak gerekmektedir.

Bu araştırmada yatay kuvvetler etkisindeki betonarme çerçevelerde kullanılan dolgu duvar düzensizliklerinin yanal taşıma kapasitesi ve rijitlik üzerinde oluşturduğu değişimin araştırılması yapılmıştır. Dolgulu betonarme çerçevelerin tüm eleman malzeme özelliklerinin gerçeğe daha yakın alındığı genel amaçlı Sonlu Elemanlar programı ile dolgulu çerçevelerin doğrusal olmayan çözümü gerçekleştirilmiştir. Oluşturulan modellemede gerçeğe daha yakın çözüm için malzeme ve geometri değişimlerinin oluşturduğu doğrusal olmayan etkiler dikkate alınmaya çalışılmıştır. Taşıyıcı sistemi oluşturan betonarme elemanlar çubuklar ile dolgu elemanlar eşdeğer basınç diyagonalleri ile modellenmiştir. Eşdeğer basınç diyagonalleri genişlikleri kısmi dolgu duvarlı çerçeveleri de kapsayacak şekilde verilmiştir. Betonarme elemanların mafsallaşmalarında kirişlerde moment ve kesme etkileri, kolonlarda eksenel yük, moment ve kesme etkileri, dolgularda da sadece eksenel yük etkileri dikkate alınmıştır. Kirişlerin taşıma kapasiteleri ve kolonların karşılıklı etki diyagramları eleman geometrik ve malzeme özelliklerine göre belirlenmiştir.

Hesaplamalarda kullanılan genel amaçlı Sonlu elemanlar programıyla oluşan hasarların yerleri ve yük-deplasman değerlerinin belirlenmesine çalışılmıştır. Önerilen yöntem ile çeşitli dolgu düzensizlikleri içeren dört katlı-üç açıklıklı düzlemsel betonarme çerçevede çizilen kapasite eğrileriyle dayanım ve rijitlik değişimi araştırılmıştır.

## **2. DOLGULU DUVARLAR**

### **2.1 Malzeme Ve Geometrik Özellikler**

Dolgulu çerçeveli yapıların taşıma güçlerinin belirlenebilmesi için tüm eleman

geometrik ve mekanik malzeme özelliklerinin sunulması gerekmektedir. Bütün dolgu duvarların ölçüleri, yeri ve çerçeve elemanın sınırları yani bütün geometrik özellikleri belirlenmelidir. Dolgu ölçüleri yüksekliği (h), uzunluğu (l) ve kalınlığı (t) var olan bina planlardan veya yerindeki ölçülerinden elde edilmelidir. Çerçeve elemanında bütün konuyla ilgili ölçülerinin de elde edilmesi gerekir.

Dolgu duvarın mekanik malzeme özelliklerinin değerlendirmek için ihtiyaç duyulan dolgu dayanımı ( $f'_m$ ), basınç altındaki elastisite modülü ( $E_m$ ) ve kesme kuvveti ( $f'_v$ ) değerlerinin de bilinmesi gerekmektedir.

### **2.2 Dolgulu Duvarlar**

Genelde dolgular iki değişik kategoride gruplandırılabilirler: yalıtılmış dolgular ve normal dolgular (bazen kesme dolguları da denir)

Yalıtılmış dolgular tamamen sınırlandırılmış çerçevelerin üstünden ve her iki yanından tamamen izole edilmiş panellerdir. Dolgu ve çerçeve arasındaki izolasyon (boşluklar) mümkün olan her çerçeve deformasyonundan büyük olmalıdır ki bu şekilde herhangi dolgu-çerçeve etkileşimi engellenmiş olsun. Bu dolgularda dolgu çerçeve etkileşimi söz konusu değildir.

Bu çalışmada ikinci kategorideki normal dolguları incelemektedir. Yapının yanal kuvvet-dayanım sisteminin bir bölümü gibi hareket eder. Bu kategorideki dolgular sınırlandırılmış çerçevelerin her dört yanında sıkı sıkı etkileşimde olmalıdır yani aralarında hiç boşluk kalmamalıdır. Bütün boşluklar tam harç bağlantı ilişkisini garantilemek için tamamen doldurulmalıdır

Dolgu çerçevelerin düzlemsel olan davranışları dolgunun ve çerçevenin basit mekanik ve geometrik özellikleri dışında daha birçok sayıda faktöre bağlıdır. Bu ilave faktörler dolgu çerçevelerin orijinal rijitliğini ve dayanımını değiştirebilmektedir [2].

### 2.3 Dolgulu Çerçevelerin Taşıma Kapasitesi

Yanal kuvvetlerin dolgulu çerçeve uygulanmasıyla dolgu ve çerçeve elemanlarında değişken gerilim dağılımı oluşur. Yanal kuvvetler arttıkça gerilim dağılımı değişikliğe uğrar ta ki dolgularda bir bozulmaya sebep olana kadar. Kesme ya da basınç mukavemetine ulaşıldığında dolguda hasarlar oluşur.

Dolgu duvarları kuşatan çerçeve elemanlarının beklenen eğilme ve kesme mukavemetleri de değerlendirilmelidir. Kolon ve kirişlerdeki kesme ve eğilme mukavemeti dolgu hasarı için gerekli olan kuvvetin yatay ve düşey bileşenlerini aşmalıdır. Bu olay hasarın dolguyu kuşatan çerçeveden önce dolguda meydana gelmesini sağlar.

Çerçeve-dolgu sistemlerinin yanal yük taşıma kapasiteleri tüm malzemelerin doğrusal olmayan davranışlarını içeren doğrusal olmayan sonlu elemanlar programıyla bulunmuştur. Tuğla duvar, harçtan oluşan dolgu duvarın pratik olarak kolaylık sağlayan gerçeğe yakın bir modellemesinin yapılması gerekmektedir. Bu çalışmada önerilen tuğla duvar yerine eşdeğer basınç çubukları içeren çerçevenin yük artımı (pushover) analizidir. Bu metot tamamen dolgu duvarlarda uygulanabildiği gibi kısmen dolgu duvarlarda ve boşluklu duvar panellerinde de uygulanabilir.

Önerilen bu metodun güvenilirliği deneysel datalarla ispatlanmıştır.

**Dolgu duvarların kapasitesini Pushover Analizi kullanarak bulabilmek için izlenmesi gerekli işlemler dizisi şu şekilde sıralanabilir [3-4].**

1) Çerçeve elemanlarının geometri ve yapıdaki malzeme özellikleri verilmelidir. Genel olarak istenilen malzeme özellikleri çerçeve ve dolgu duvarın elastisite modülü, basınç dayanımlarıdır.

2) Dolgu panellerini temsil eden eşdeğer çubukları belirlenmelidir. Bu eşdeğer diyagonallerin kalınlığı ile dolgu malzemesinin net kalınlığı aynı olmalıdır. Eşdeğer çubuğun genişliği,  $a$  hesaplanır. Eğer dolgu paneli kısmi dolgu duvar veya boşluklu ise gerekli olan değişim katsayıları uygulanarak dolgu genişlikleri yeniden düzenlenmelidir. Ayrıca dolgulardaki hasar da hesaba katılmalıdır. Dolgu hasar oluşumunu gösteren  $R_{\text{çubuk}}$  kapasitesi hesaplanır.

3) Çerçevelerde oluşması beklenen plastikleşme durumlarının belirlenmesi gerekmektedir. Kirişlerde, plastik mafsallar eğilme ve kesme için belirlenen bir davranış sergiler. Kolonlarda ise plastik mafsallar aksenal kuvvetlerle eğilmenin oluşturduğu etkileşim diyagramı ve kesme için belirlenen davranış sergilerler. Kolonlardaki mafsallaşma yeri kiriş yüzlerinden en az  $l_{\text{kolon}}$  uzaklığında tayin edilmeli, bu arada kirişlerdeki plastikleşme yerleri ise kolon yüzlerinden en az  $l_{\text{kiriş}}$  uzaklığında yerleştirilmelidir.

4) Plastik mafsalları eşdeğer basınç çubuklarının ortalarına yerleştiriniz.

5) Dolguyu sınırlandıran çerçeve elemanlarının gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesi için rijitlik bölge (rijit offset) uzunlukları çerçevenin düğüm noktalarında belirtilmelidir. Rijit bölge uzunluğu düğüm noktasından başlayarak kolon ve kiriş boyunca devam etmelidir. Bu uzunluk plastik mafsallarla kesişinceye kadar devam etmelidir.

6) Beklenen deprem kuvvetleri yapıya eşdeğer deprem yükleri olarak kat hizalarında etkitilecektir. Bu uygulamada çerçeveye etkiyen yatay kuvvetler TDY98'e uygun olarak üçgen yükler şeklinde belirlenmektedir.

7) Sıfır değerinden başlayarak statik yük artımı (Pushover) yöntemi kullanılarak, plastik mafsallaşma yerleri ve yük deplasman değerleri belirlenmelidir.

Yukarıda verilen işlemler dizisi kullanılarak, dolgu çerçevelerin düzlemsel kapasiteleri belirlenebilir.

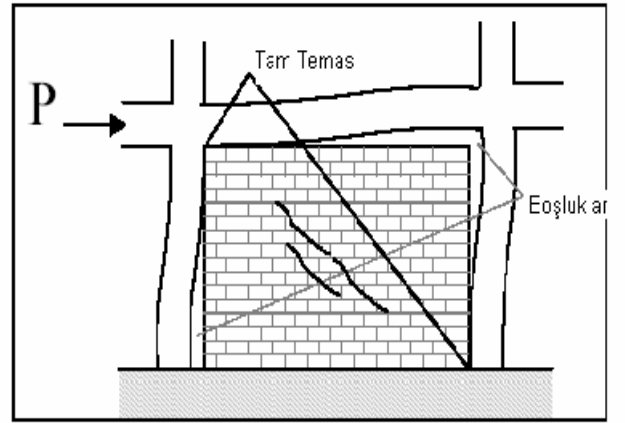
## 2.4 Eşdeğer Çubuk Kalınlığı

Dolgu çerçevelerin taşıma kapasitelerinin belirlenmesi kompleks ve statik olarak belirsiz bir problemdir. Bileşik dolgu çerçeve sistemlerinin dayanımı dolgu ve çerçevenin özelliklerinin basit bir toplamı değildir. Dolgu duvar çerçevelerinin bileşik davranışlarını daha iyi anlamak için hem analitik yönden hem de deneysel olarak büyük çabalar sarf edilmiştir. Dolgu duvarların doğrusal davranışlarını anlamak ve belirlemek üzere çalışanlardan birkaçı Polyakov (1960), Stafford-Smith (1962, 1966, 1969), Mainstone (1971), Klingner ve Bertero (1976, 1978)'dir. Bu kişilerin yaptıkları dolgu çerçevelerin yatay yükler altındaki deneysel testler Şekil 1'de gösterildiği gibidir.

Modelin test edilmesi sırasında, panelin merkezinde diyagonal çatlaklar gözlenir ve

modelin karşılıklı çapraz yüklenmemiş köşelerinde çerçeveye dolgu arasında boşluklar oluşur, bu arada da yüklenmiş iki çapraz köşede de tam bir temas gözlenir. Bu davranış ilk olarak Polyakov tarafından belirlenmiştir. Dolgu çerçevelerinin analizini kolaylaştırmak için dolgu duvarlara eşdeğer basınç çubukları Şekil 2'de gösterildiği gibi yerleştirilmiştir.

Eşdeğer duvar çubuklarının kalınlığı, a, dolgunun kendi net kalınlığı ve mekanik özellikleri (elastisite modülü gibi  $E_m$ ) aynıdır ve çerçeve tarafından kuşatılmış kabul edilir.

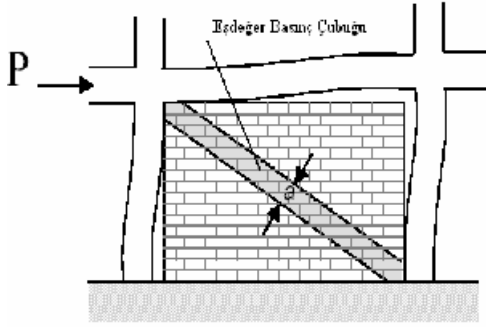


Şekil 1. Örnek Hasar Şekli

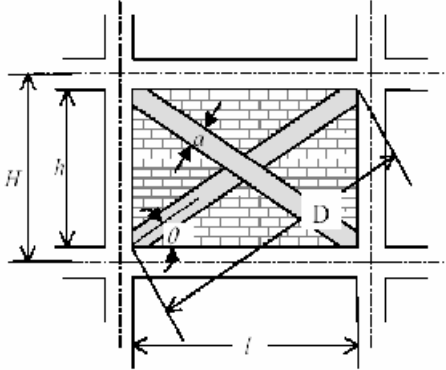
Eşdeğer kalınlığı  $a$ 'nın belirlenmesi araştırmacıların yaptıkları kabuller doğrultusunda değişim göstermektedir. En kolay yaklaşımlar Paulay ve Priestley (1992), Angel ve diğerleri. (1994) tarafından sunulan çubuk kalınlığı,  $a$ , sabit bir değer olarak (dolgunun ya da çerçevenin özelliklerini göz önüne almaksızın) dolgunun diyagonal boyutlarının %12.5 - %25'i arasında kabul edildiği yaklaşımdır. Stafford-Smith ve Carter (1969), Mainstone (1971) ve diğerleri eşdeğer çubuk kalınlığı,  $a$ , hakkında fikir vermek için daha kompleks bir ifade çıkarmışlardır. Kolon/kiriş arasındaki temas boyu gibi parametreleri ve dolgu ile çerçeve arasındaki nispi rijitliği göz önünde tutmuşlardır.

Mainstone (1971) ve Stafford-Smith ve Carter (1969)'ın dolgu çerçevenin doğrusal davranışı ile ilgili hesapları , Mainstone (1971); ve Al-Chaar (1998)'in deneysel sonuçları ile karşılaştırıldığında yaklaşık değerler gösterdiğinden, bu çalışmada kullanılan eşdeğer genişlik ifadeleridir.

Dolgu duvar paneli kalınlığı,  $t$ , ve net kalınlığı  $t_{eff}$  olan bir eşdeğer diyagonal çubuk ile temsil edilir.(Şekil 3)



Şekil 2. Eşdeğer Basınç Çubuğu



Şekil 3. Çubuğun Geometrisi

Stafford-Smith , Carter (1969) ve Mainstone (1971) tarafından tespit edilen, eşdeğer basınç çubuğu genişliği denklem 1 ve denklem 2 kullanılarak elde edilebilir .

$$\lambda_1 H = H * \left[ \frac{E_m * t * \sin 2\theta}{4 * E_c * I_{col} * h} \right]^{1/4} \quad (1)$$

$$a = 0,175 * D * (\lambda_1 H)^{-0,4} \quad (2)$$

$\lambda_1$ =Dolgu ile çerçevenin rijitlik parametresi  
H=Çerçevenin yüksekliği

$E_m$  =Basınç altındaki duvarın elastisite modülü

$E_c$  = Çerçevenin elastisite modülü

$I_{col}$  =Kolonun atalet momenti

h=Dolgu panelin yüksekliği

D=Dolgunun diyagonal uzunluğu

Eğer hala oluşan boşluklar varsa ve / veya dolgu bozuklukları varsa, eşdeğer çubuk kalınlıkları Denklem 3'e indirgenmelidir.

$$a_{azaltılan} = a * (R_1)_i * (R_2)_i \quad (3)$$

Bu denklemde,

$(R_1)_i$  = Boşluklu dolgu duvarlarda azaltma faktörünün tanımlanan boşluk durumuna göre değerlendirilmesi.

$(R_2)_i$  = Azaltma faktörünün varolan dolgu hasarlarına göre değerlendirilmesi

## 2.6 Eşdeğer Çubukların Yük-Deformasyon Davranışları

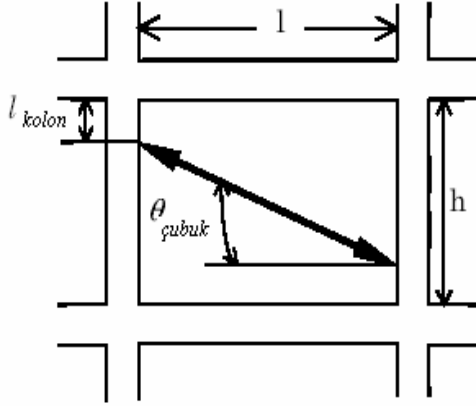
Dolgu duvarların modellendirilmesinde kullanılan eşdeğer çubuklar çerçeve elemanları düğüm noktalarına bağlanmıştır. Çubuk rijitliği, duvar materyalinin elastisite modülü ( $E_m$ ) ve kesit alanı ( $a * t_{eff}$ ) alınmaktadır. Dolgu duvarın ezilme dayanımına ( $R_{cr}$ ) (Denklem 7) ulaşması için gerekli olan yükün hesaplanması ve dolgu duvarın kesme mukavemetine ( $R_{kesme}$ ) (Denklem 8) ulaşması için gerekli yükün hesaplanmasıyla diyagonal kapasitesine ulaşıp ulaşmadığına karar verilir. Eşdeğer basınç çubuğu doğrultusunda kuvvetlerin bileşenleri çubuğun "basınç" dayanımını göstermektedir. Bu kapasite değeri  $R_{çubuk}$  (Denklem 4) olarak tanımlanır ve çubuktaki plastik mafsalı gösterir.

$$R_{çubuk} = \min \left[ \begin{array}{l} R_{cr} \\ R_{kesme} / \cos \theta_{çubuk} \end{array} \right] \quad (4)$$

$$\tan \theta_{çubuk} = \frac{h - 2l_{kolon}}{l} \quad (5)$$

Burada ;

$\theta_{\text{çubuk}}$ =Denklem 5’de verilen ve Şekil 4 de gösterilen yatayla, eşdeğer basınç çubuk arasındaki açı



Şekil 4.  $\theta_{\text{çubuk}}$  Geometrisi

## 2.7 Dolgu Duvarın Ezilme Dayanımı

Dolgu duvarı ezilme dayanımı, eşdeğer basınç çubuğunun duvar ezilmeden taşıyabileceği basınç yükü kadardır. ( $R_{cr}$ ) Dolgunun ezilme dayanımı Denklem 6 ’dan bulunabilir.

$$R_{cr} = a_{\text{indirgeme}} * t_{\text{eff}} * f'_m \quad (6)$$

$f'_m$  = duvarın basınç dayanımı  
 $t_{\text{eff}}$  = panelin net kalınlığı

## 2.8 Dolgu Duvarın Kesme Dayanımı

Duvarın kesme kuvvetlerine karşı kapasitesi iki ayrı mekanizmanın kombinasyonu ile karşılanır: kayma dayanımı ve duvarın harçla arasındaki sürtünme. Basamaklı kesme çatlağı, basit bir kesme çatlağına derz boyunca yaklaşmaktadır. Basamaklı çatlağın düşey bileşeni gerilim altındadır ve bunun kesme dayanımına olan katkısı ihmal edilir. Dolgu kesme dayanımı için gerekli olan yatay yük Denklem 7’den hesaplanabilir.

$$R_{\text{kesme}} = A_n * f'_v * (R_1)_i * (R_2)_i \quad (7)$$

$A_n$  = Dolgu duvarın uzunluğu boyunca dolgu harcının net kesit alanı  
 $f'_v$  = Dolgu duvarın kesme dayanımı

## 2.9 Plastik Mafsalların Yeri

Kolonlardaki plastik mafsal, aksenal kuvvet-moment etkileşim kapasitesini karşılamalıdır. Bu mesnetler kiriş yüzünden en az  $l_{\text{kolon}}$  uzaklığında yerleştirilmelidir. Bu uzaklık denklem 8 ve denklem 9’da tanımlanmıştır ve diyagonal genişliği,  $a$ , kullanılarak azaltma çarpanları kullanılmadan hesaplanır.

$$l_{\text{kolon}} = \frac{a}{\cos \theta_{\text{kolon}}} \quad (8)$$

$$\tan \theta_{\text{kolon}} = \frac{h - \frac{a}{\cos \theta_{\text{kolon}}}}{l} \quad (9)$$

Kirişlerdeki mafsallar elemanın eğilme davranışını karşılayacak şekilde belirlenir. Bu mafsallar da kolon yüzünden en az  $l_{\text{kiriş}}$  uzaklığında yerleştirilmelidir. Bu uzaklık Denklem 10 ve Denklem 11’den hesaplanabilir. Şekil 4 de anlatıldığı gibi  $\theta_{\text{kiriş}}$  açısı dolguda oluşan basınç kuvvetlerinin kirişle yaptığı açıdır.

$$l_{\text{kiriş}} = \frac{a}{\sin \theta_{\text{kiriş}}} \quad (10)$$

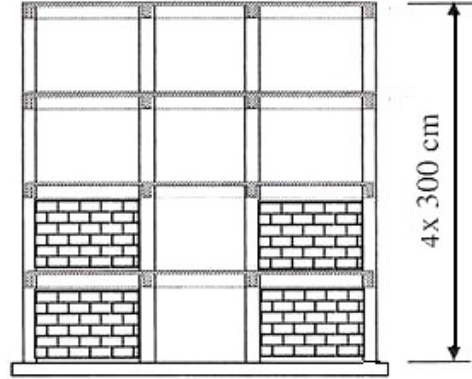
$$\tan \theta_{\text{kiriş}} = \frac{h}{l - \frac{a}{\sin \theta_{\text{kiriş}}}} \quad (11)$$

Hem kolonlarda hem de kirişlerde kesme etkisinde mafsallaşma olmalıdır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğu da yalnızca aksenal kuvveti karşılayacak mafsalla temsil edilir. Bu mafsal eşdeğer basınç çubuğu elemanın ortasına yerleştirilmelidir.

## 3. SAYISAL ANALİZLER

Performans değerlendirmelerini yapmak üzere, 4 katlı betonarme yapı sistemi seçilmiştir (Şekil 5-6-7). Yapısal düzensizliği bulunmayan bu yapı öncelikle TS-500 [TSE, 2000] ve ABYYHY-1998’e göre boyutlandırılmıştır.

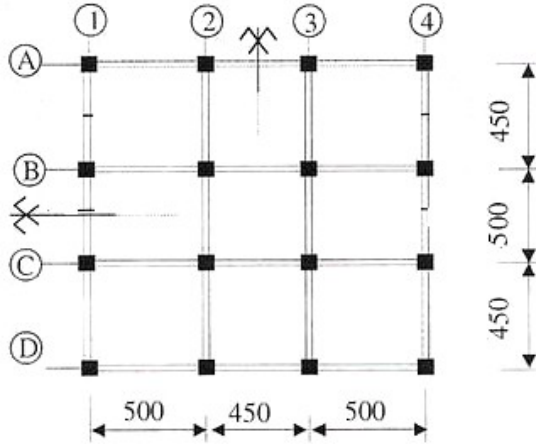
Yapının boyutlandırılmasında, deprem bölgesi 1 ( $A_0=0.40$ ),  $I=1$ , Z2 ( $T_A=0.15$  sn,  $T_B=0.40$  sn) ve  $R=8$  olarak alınmıştır. Dolgu duvarların, bina taşıyıcı sisteminin performansı üzerindeki etkisini belirlemek amacıyla 4 katlı binanın (4KB)'nın dolgunsuz ve dolgu duvarının taşıma kapasitesinin göz önüne alındığı 4 katlı dolgulu bina (A-D-1-4 aksları dolgulu 4KDB)'nin analizleri yapılarak performans düzeyleri belirlenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Dolgunsuz ve dolgulu yapının çatlamış kesitli (1). doğal titreşim periyotları ( $T_1$ ) sırası ile 0.458 sn ve 0.127 sn olarak hesaplanmıştır [5].



Şekil 7. 4KDB (A-D-1-4 Aksları) Görünüşü

Çizelge 1. Kolon ve Kiriş Boyutları

Akslar	Kolon Boyutları	Akslar	Kiriş Boyutları
A1, A2	50*50	A	25*40
A3, A4	50*50	B	25*50
B1, B2	50*50	C	25*50
B3, B4	50*50	D	25*40
C1, C2	50*50	1	25*40
C3, C4	50*50	2	25*50
D1, D2	50*50	3	25*50
D3, D4	50*50	4	25*40



Şekil 5. İncelenen Yapının Planı

#### 4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

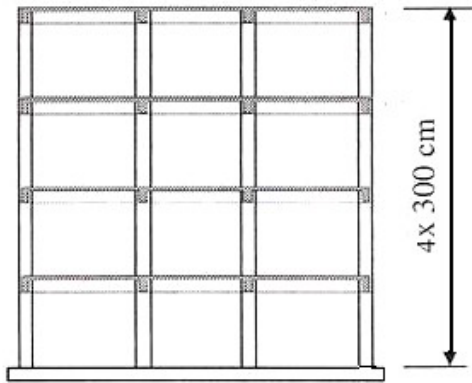
4 katlı dolgulu ve dolgunsuz betonarme binanın pushover analizinden elde edilen sonuçları daha iyi değerlendirmek için aşağıdaki çizelge yardımcı olmaktadır.

Çizelge 2. 4KÇ için kapasite kuvveti (IP) ve kapasite ötelemesi (Uu) değerleri

4KÇ	IP (ton)	Uu (m)
Push G+Q+Ex	93.61	0.10
PushG+Q+Ex-0.5	93.60	0.10
Push 0.9G+Ex	90.62	0.10
Push0.9G+Ex-0.5	90.62	0.10

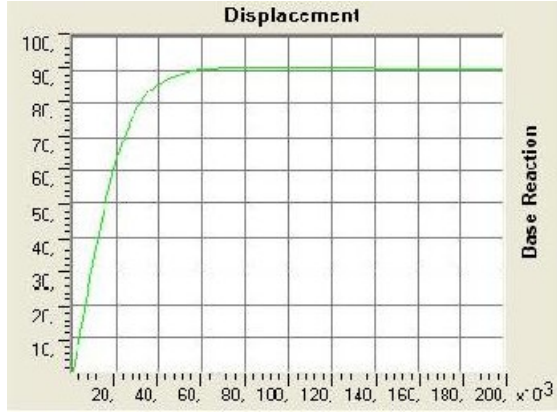
Çizelge 3. 4KDÇ için kapasite kuvveti (IP) ve kapasite ötelemesi (Uu) değerleri

4KDB	IP (ton)	Uu (m)
Push G+Q+Ex	131.82	0.10
PushG+Q+Ex-0.5	132.70	0.10
Push 0.9G+Ex	105.46	0.10
Push0.9G+Ex-0.5	127.98	0.10

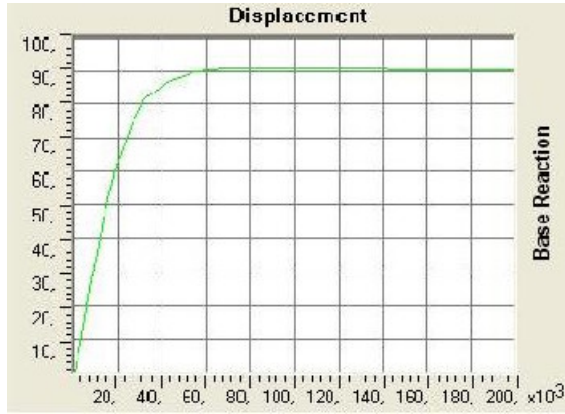


Şekil 6. 4KB Görünüşü

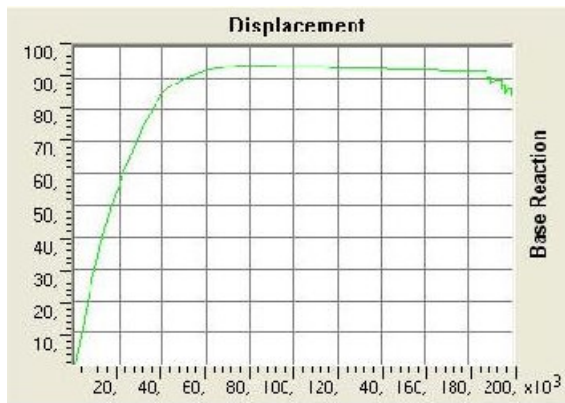




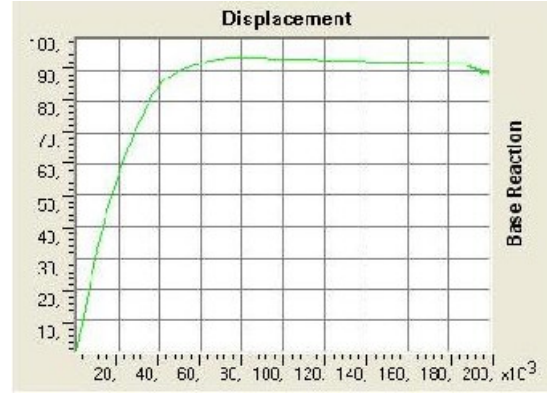
Şekil 8. 4KB'nın 0.9G+Ex Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



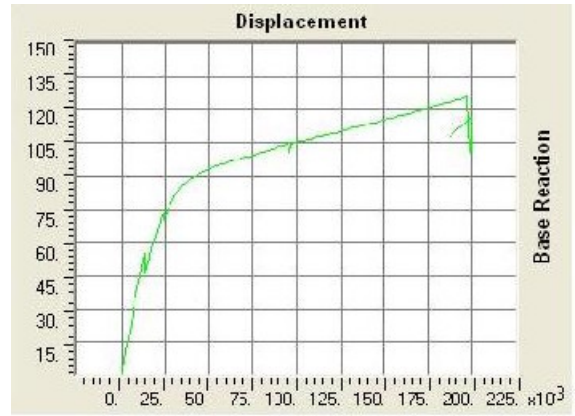
Şekil 9. 4KB'nın 0.9G+Ex Yüklemesi için Statik Pushover (Ton-m)



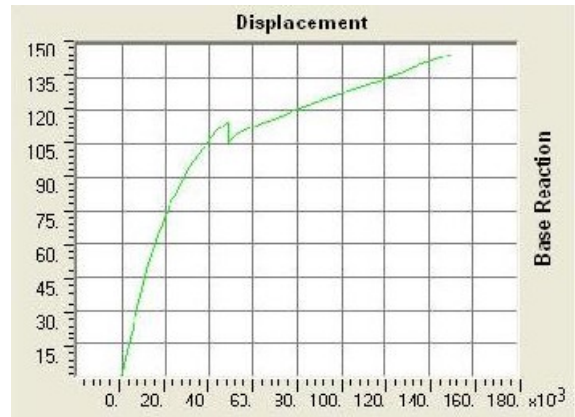
Şekil 10. 4KB'nın G+Q+Ex Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



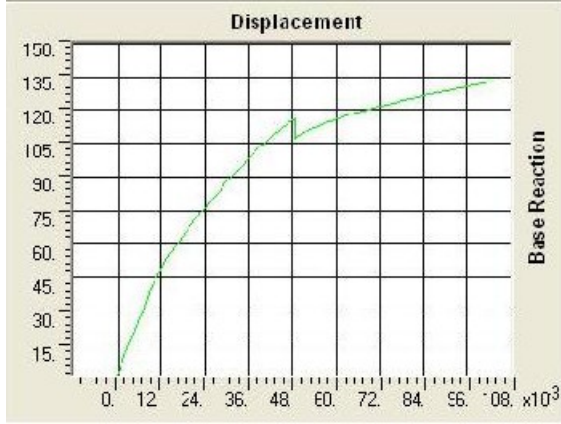
Şekil 11. 4KB'nın G+Q+Ex-0.5 Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



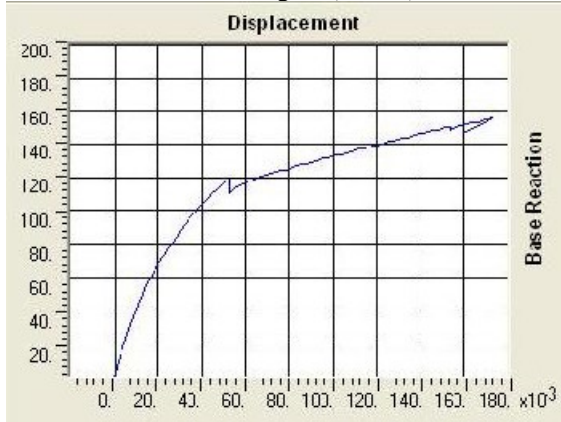
Şekil 12. 4KDB'nın 0.9G+Ex Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



Şekil 13. 4KDB'nın 0.9G+Ex-0.5 Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



Şekil 14. 4KDB'nın G+Q+Ex Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)



Şekil 15. 4KDB'nın G+Q+Ex-0.5 Yüklemesi için Statik Pushover Eğrisi (Ton-m)

SAP 2000 programının pushover analizi kullanılarak elde edilen pushover eğrilerinde de görülebileceği gibi dolgu duvar etkisi hesaba katılmadan önceki kapasite kuvveti sonuçlarıyla hesaba katıldığı durum arasında %40 değerinde bir artış olduğu bulunmaktadır. Bu yaklaşımla, dolgu duvarların rijitlik ve mukavemet katkısını ihmal eden hesap metotları ile yapılacak yapı hesapları güvenilir fakat daha ekonomik bir tasarım için tuğla duvarların katkısı dikkate alınmalıdır.

Ülkemizde olduğu gibi, deprem kuşağı üzerinde bulunan ülkelerin, depremle ilgili her türlü konuyu araştırmaları ve imkânlar ölçüsünde bu araştırmaların sonuçlarını uygulamaya geçirmeleri gerekmektedir. Dolgu duvarlar hakkında gerek bugüne kadar yapılan araştırmalar[6-7] , gerekse bu çalışma dolgu

duvar katkısının ihmal edilmeyecek seviyede olduğunu göstermektedir.

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara dayanarak, dolgu duvarlı çerçeve sistemlerinin tasarımı için, ortaya güvenilir bir standart konuluncaya kadar, yapıların en azından bir kez duvarların katkıları ihmal edilerek, bir kez de dolgu duvarların katkıları gözetilerek hesaplanıp, her iki hesabın belirlediği en elverişsiz kesit tesirleri altında elemanların boyutlandırılması ve donatı seçimi yerinde bir yaklaşım olur. Dolgu duvarların etkileri, çalışmada anlatıldığı gibi, eşdeğer basınç diyagonalleri olarak yapı modeline konulmak suretiyle dikkate alınabilir. Diğer taraftan bu tür bir çözüm gerçekleştirilse dahi, ülkemizde çok sık karşılaşılan, yapının mimarisini değiştirmek amacıyla, bilinçsizce, mevcut dolgu duvarların yıkılmasına ve mimari plandan farklı yerlere duvar örülmesine izin verilmemesi yerinde olur.

#### KAYNAKLAR

- [1] Afet bölgelerinde yapılacak yapılar hakkında yönetmelik, 1998. T.C Bayındırlık ve İskan Bakanlığı
- [2] İbrahim Erçetin, Düzensiz Betonarme Yapılarda Dolgu Etkisinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2004
- [3] Ghassan Al-Chaar, Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures, Construction Engineering Research Laboratory, January 2002
- [4] Ghassan Al-Chaar, Evaluating Strength and Stiffness of Unreinforced Masonry Infill Structures, Construction Engineering Research Laboratory, January 2002
- [5] E.İrtem, K.Türker, U.Hasgül, Türk Deprem Yönetmeliğine Göre Tasarlanmış Betonarme Yapıların Performansının Değerlendirilmesi, Altıncı Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 6-8 Ekim 2004, Boğaziçi Üniversitesi, İstanbul, Türkiye
- [6] F., Karadoğan; E., Yüksel; "Bölme Duvarlı Betonarme Çerçeveler Üzerinde Gerçekleştirilen Bazı Deneysel Çalışmalar", İmo İstanbul Bülten Eylül-Ekim 2001 Sayı 56
- [7] Long T. Phan, Geraldine S. Cheek, Diana R. Todd, "Strengtening methodology for lightly reinforced concrete frames: Recommended design guidelines for strengtening with infill walls" Building m-d Fire Research Laboratory National Institute of Standards and Technology Gaithersburg, MD 20899, July 1995