

BANT PENCERELİ VE TAM DOLGU DUVARLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN YANAL MONOTONİK YÜKLEME ETKİSİ ALTINDA LİNEER ELASTİK HESABI

Fırat KAYMAK^a, Mehmet Emin TUNA^b

^aMimarlık Bölümü, Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi Maltepe 06570, Ankara

^bMimarlık Bölümü, Güzel Sanatlar ve Tasarım Fakültesi, Karabük Üniversitesi, Safranbolu 78600, Karabük
firatkaymak@ttmail.com, metuna@karabuk.edu.tr

(Geliş/Received: 17.05.2011; Kabul/Accepted: 11.08.2011)

ÖZET

Bu çalışmada, günümüzde çok yaygın kullanım alanına sahip, dolgu duvarların yanall yükler altında, çelik çerçeve sistem üzerindeki olumlu ve olumsuz etkileri lineer elastik yöntem ile araştırılmıştır. Yapısal uygulamalarda sıkça görülen modellere dikkat çekilip, çerçeve taşıyıcı elemanları çelik, dolgu malzemesi de gazbeton olarak seçilmiştir. Amaç, dolgu duvarların sadece sistemin göçme yükünde değil, normal işletme yüklerinde de olumlu ve olumsuz katkıları sağladığını göstermektir. İki katlı ve iki açıklıklı düzlem çerçevelerde, yatay yükler altında dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu modeli kullanılmış, çelik çerçevelerin dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencereleli kombinasyonları olmak üzere toplam 7 adet modelin elastik analizi yapılmıştır. Eşdeğer diyagonal basınç çubuğunun dayanım hesapları, gaz betonun mekanik ve geometrik özelliklerine bağlı olarak yapılmıştır. Yapılan kabuller doğrultusunda çerçevede simetrik ve asimetric yerleştirilen dolgu duvarların, çerçevenin yatay yer değiştirmesine, rijitliğine ve doğal titreşim periyoduna etkileri ile kısa kolon ve yumuşak kat oluşumundaki davranışları incelenmiştir. Analiz ve modellerin yapılmasında SAP2000 strüktürel analiz programı kullanılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Çelik çerçeve, Dolgu duvar etkisi, Eşdeğer basınç çubuğu, Doğrusal elastik analiz

LINEAR ELASTIC CALCULATION OF STEEL FRAMES WITH BAND WINDOWS AND FULL INFILL WALLS UNDER LATERAL MONOTONIC LOADING

ABSTRACT

In this study, infill walls, which are commonly used nowadays, were examined using linear elastic method to investigate the positive and negative effects on steel frame systems under lateral loads. The most common models in structural applications were reviewed, and structural steel and gas concrete were selected for the load resisting frame system and the infill material respectively. The purpose of this study is to show that infill walls have advantages and disadvantages not only under the collapse load, but also under service loading. An equivalent diagonal compression bar model was used for the elastic analysis of infill walls in two-story, two-bay planar frames under lateral loads; and a total number of seven models were analyzed for the combinations of steel frames with, without, and partial infill walls. The strength calculations of the equivalent diagonal compression bar were based on the mechanical and geometric properties of the gas concrete. Effects of symmetrically and asymmetrically placed infill walls on the lateral displacement, rigidity, and natural vibration period of the frame were investigated as well as short column and soft story behaviors. The structures were modeled and analyzed using the SAP2000 structural analysis program.

Keywords: Steel frame, Effects of infill wall, Equivalent compression bar, Linear Elastic Analysis

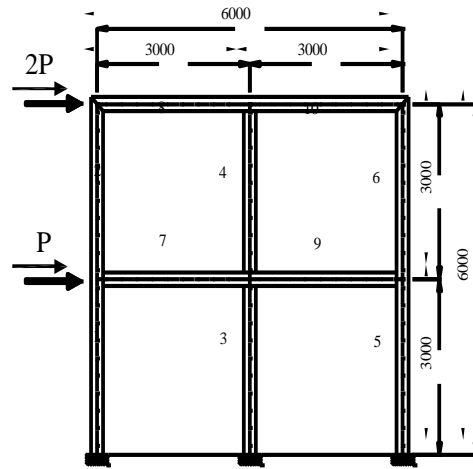
1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Yaşadığımız mekanların taşıyıcı elemanları genellikle çerçeve sistemli yapılardır. Yapıların tasarım aşamasında tüm statik ve dinamik analizleri, kolon ve kirişten oluşan çıplak çerçeve sistem üzerine kurulu iken, uygulamalarda yapının, fonksiyonunu yerine getirebilmesi için, çerçeve boşlukları uygun bir malzeme ile doldurulmakta ve birlikte çalışması sağlanmaktadır. Bunun sonucunda yatay etkiyen, rüzgâr ve işletme yükleri altında, çıplak çerçeveden oldukça farklı dayanım ve davranış gösteren dolgu duvarlı çerçeve sistemlerle karşı karşıya kalınır. Özellikle betonarme sistemlere göre daha hafif ve esnek olmaları nedeni ile tercih edilen yüksek çelik yapılarda bu farklılık daha da kendini göstermektedir. Mevcut analiz ve tasarım tekniklerinde çerçeve sistemli yapıların sadece kolon, kiriş ve döşeme plaklarının taşıyıcı eleman oldukları, dolgu duvarların yatay yükler altında taşıyıcı etkilerinin ihmal edildiği analizler yapılmaktadır. Dolgu duvarlar, çerçeve yapıların iç bölümlerinde ve dış boşluk kısımlarında kullanılmakta ve yapıyı dış ortamdan ayıran, mimari açıdan farklı mekânların oluşmasını sağlayan yapı elemanlarıdır. Taşıyıcı olmayan elemanlar olarak düşünülmesine karşın yatay yüklere maruz kaldığında çerçeve ile birlikte bir bütün olarak çalışmaktadır. Yapı mühendisliği alanında rüzgâr yükleri işletme yükleri gibi doğrusal elastik analiz yöntemi ile hesaba katılmaktadırlar. Kullanılan dolgu malzemesinin dayanımı ne kadar düşük olursa olsun, yatay yükler altında, dolgunsuz çerçeveden farklı bir davranışa sahip olan dolgu çerçevelerin, yanal rijitliği ve yer değiştirmeyi azımsanmayacak derecede etkilediği, analitik ve deneysel çalışmalarla kanıtlanmıştır. Periyod, rijitlik, yük taşıma kapasitesi gibi taşıyıcı sistem özelliklerine önemli derecede etkileri saptanmıştır. Dolgu çerçeve dayanımının daha büyük olabileceği ve boş çerçeve analizlerinin güvenli tarafta kalacağı varsayımları tasarım-uygulama-sonuç ilişkisi yönünden sorunlar oluştur-maktadır. Özellikle plan düzeyinde düzensiz uygulanan dolgu duvarlar, boş çerçevelere göre daha fazla risk oluşturmaktadır. Yanal rijitlik ve periyod açısından incelendiğinde, dolgu duvarların etkisi çarpıcı bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Örneğin, dolgu duvarların, çerçevenin yanal rijitliğine etkisi nedeniyle yatay ötelenmenin sınırlanması, rüzgâr kuvvetlerinin çerçevede oluşturdukları eylemsizlik kuvvetleri kritik değerlere ulaşabilmektedir. Ayrıca uygulamada sıkça gördüğümüz, dolgu duvarların çerçeve içerisinde rastgele ve bilinçsizce dağılımı, tasarım sırasında düşünülmemeyen birçok davranış karmaşıklığı meydana getirmekte, özellikle çok katlı çerçeve yapılarda, katlar arasında rijitlik ve kütle merkezi farkları oluşturmakta, statik dengeyi değiştirmekte, daha büyük kesme kuvvetleri oluşmasına neden olmaktadır. Hafif ve sünek olması nedeni ile çelik çerçeveli yüksek yapılarda artan rüzgâr yüklerinin yer değiştirme ve periyodlara etkisini daha rasyonel

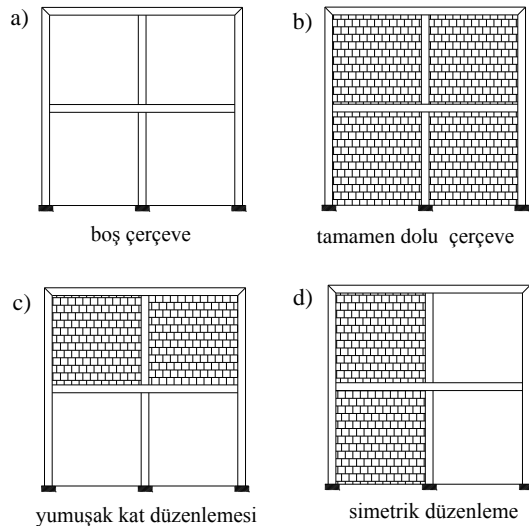
değerlendirebilmek için dolgu duvarların hesaba katılarak neden-sonuç ilişkilerinin araştırılması gereklidir .

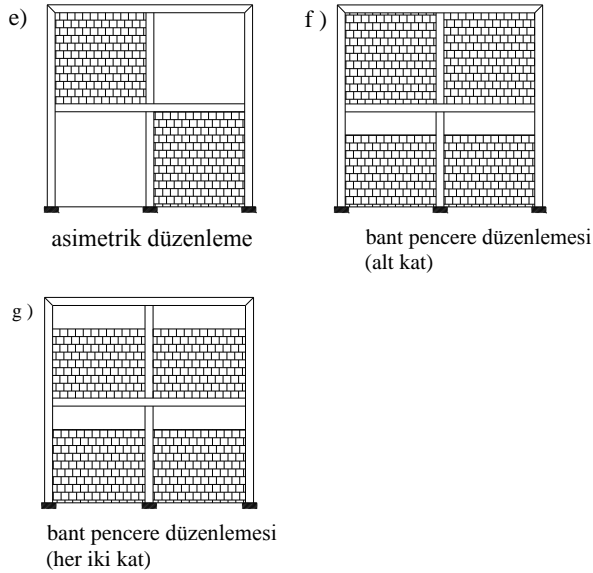
2.YÖNTEM VE ANALİZ (METHOD AND ANALYSIS)

Çalışmada SAP 2000 programı kullanılarak, rüzgâr ve yatay işletme yüklerinin temsil edildiği çerçeve bir sistemde, lineer elastik analizler yapılmıştır. Analizlerde, genişliği ve yüksekliği 6000mm olan, 2 katlı, 2 açıklıklı düzlem bir çerçeve üzerinde, değişik kombinasyonlarda dolgu duvarlar yerleştirilmiştir. 4 tip dolgu duvarlı çerçeve, 2 tip bant pencere ve 1 boş çerçeve olmak üzere toplamda 7 tip çelik çerçeveli model kullanılmıştır. Şekil 1.'de (tüm ölçüler mm'dir) çerçeve boyutları ve uygulanan yatay yük, Şekil 2' de ise incelenen çerçeve örnekleri vardır.



Şekil 1. Çerçeve boyutları ve uygulanan yatay yük
(Frame dimensions and applied horizontal loads)





Şekil 2. İncelenen 7 Farklı Çerçeve Örneği [2] (Seven different frame types analyzed in the study)

Tablo 1. Çelik malzemenin mekanik özellikleri (Mechanical properties of steel material) [1]

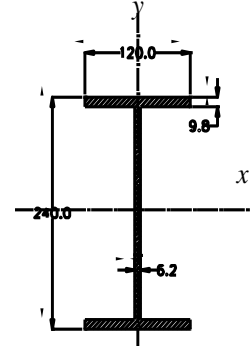
Çelik IPE-240 Kesitin Mekanik Özellikleri	
Kesit Alanı	37,18 cm ²
Elastisite Modülü	2100000 kg/cm ²
Kayma Modülü	810000 kg/cm ²
Poission Oranı	0,3
Akma Mukavemeti	2400 kg/cm ²
Kopma Mukavemeti	3700 kg/cm ²
X'e göre Atalet Momenti	3670 cm ⁴
Y'ye göre Atalet Momenti	282 cm ⁴
X'e göre Elastik Modül	305,91 cm ³
Y'ye göre Elastik Modül	47,11 cm ³

Tablo 2. Gazbeton dolgu duvarın mekanik özellikleri (Mechanical properties of gas concrete infill wall) [3]

G3 Sınıfı Gazbetonun Mekanik Özellikleri	
Blok ebatları	60cm*25cm*12,5cm
Duvar kalınlığı	12,5cm
Elastisite Modülü	22500 kg/cm ²
Poission Oranı	0,25
Basınç Dayanımı	35 kg/cm ²
Malzeme Mukavemet	G3
Sınıfı	
Birim Hacim Ağırlığı	600 kg/m ³

İncelenen çerçevelerin tümünde dolgu duvar malzemesi olarak, gazbeton kullanılmıştır. Gazbetonun mukavemet sınıfı G3'tür. Kolon ve kirişler IPE-240 , çelik kalitesi St-37'dir. Çerçevelerin kolon kiriş birleşim yerleri kaynaklı, mesnet yerleri ise ankastre kabul edilmiştir. IPE-240 SAP 2000 programında tanımlanırken flanş ile gövde birleşimindeki dairesel geçişler ihmal edilmiştir. Şekil 3.'de, kesit ölçüleri, Tablo 1.'de çelik malzemenin ve

gazbetonun mekanik özellikleri verilmiştir. Katlara etkiyen yatay yükler, artan rüzgâr yükleri nedeni ile P ve 2P olarak Şekil 1.'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Çelik kolon ve kiriş kesit ölçüleri (Cross-sections of steel frame columns and beams)[2]

3. LİNEER ELASTİK ANALİZİN TEORİK ALT YAPISI (THEORETICAL BACKGROUND OF LINEAR ELASTIC ANALYSIS)

Günümüzde, elastik analiz yönteminin, iki tür tasarım felsefesi vardır. Bunlardan birincisi güvenlik gerilmeleri (Allowable Stress Design- ASD), diğeri ise yük ve dayanım artımı (Load and Resistance Factor Design-LRFD) tasarımı olarak adlandırılır. Yapıların ve taşıyıcı sistem elemanlarının işlevlerini yerine getirebilmeleri için, işletmede kaldıkları sürede yeterli dayanım, rijitlik ve tokluğa (toughness) sahip olmaları ve aynı zamanda, bu süre zarfında tasarım yükünün üstüne çıkabilecek aşırı yük durumları için de bir güvenliklerinin bulunması gerekir. Aşırı yüklenme durumları, yüklerin doğru tahmin edilememesi veya yapım esnasındaki değişimlerden oluşabilir. Ayrıca, taşıyıcı eleman boyutlarında kabul edilebilir sınırların dışında oluşabilecek değişiklikler ve malzeme veya birleşim araçlarının dayanımındaki farklılıklar da elemanın gerçek dayanımının tasarım değerinden daha küçük olmasına neden olabilmektedir. Dolayısıyla, yapısal tasarımda hangi yöntem kullanılırsa kullanılsın, aşırı yüklenme veya dayanım azalması olasılığına karşı yeterli bir güvenliğin bulunması sağlanmış olmalıdır. Yapıya etki eden yükler ve yapının dayanımı göz önüne alınması gereken değişkenler olup genelde, sınır durum yaratacak tüm olasılıkların analizi pratik bir yol değildir. Bu nedenle de yapısal güvenlik için olasılıklara dayalı yaklaşımlar içeren basitleştirilmiş yöntemler tercih edilir. Bu tür yöntemlerde, yukarıda belirtildiği üzere yük (Q) ve dayanım (R) değişkenler olarak ele alınır ve genelde yapısal güvenlik, Eş. 1'deki gibi ifade edilir.

$$\phi \cdot R_n \geq \sum \gamma_i \cdot Q_i \quad (1)$$

Burada, denklemin sol tarafı sistemin veya elemanların dayanımını, sağ tarafı ise etki eden yüklerin oluşturduğu dayanımı, sol tarafında tasarım

dayanımını elde etmek için R_n dayanımı ϕ dayanım katsayısı ile çarpılmış; sağ tarafında ise, değişik yükler, ilgili γ_i yük artım faktörleri ile çarpılarak bunların toplamının oluşturduğu gerilme alınmıştır. Aşağıda, AISC yönetmeliklerinden yararlanılarak, “Güvenlik Gerilmeleriyle Tasarım” (ASD), “Yük ve Dayanım Katsayılarıyla Tasarım” (LRFD) ana hatlarıyla özetlenmiştir[4]. Güvenlik gerilmeleri yöntemi geleneksel bir boyutlama yöntemidir ve güvenlik koşullarını sağlayan işletme yükleri esasına dayanır. Güvenlik gerilmelerine göre tasarımda Eş. 1'deki ifade,

$$\frac{\phi.R_n}{\gamma} \geq \sum Q_i \quad (2)$$

olarak düzenlenir ve tüm yükler için aynı değişken katsayısı γ kullanılır. Örneğin kirişler incelenirken, denklemin sol tarafı M_n ortalama kiriş dayanımını FS güvenlik katsayısına bölerek elde edilecek, sağ taraf da faktörsüz etki eden yüklerden oluşan M işletme momentinin oluşturduğu gerilmeye karşı gelecektir. Dolayısıyla,

$$\frac{M_n}{FS} \geq M \quad (3)$$

yazılabilir. Güvenlik gerilmesi tasarımı elastik bölgede yapılan bir hesaptır, dolayısıyla, tarafsız eksene en uzak olan noktada "c" gerilme değerinin F_y akma gerilmesine ulaştığı düşünülmekte olduğundan,

$$\frac{F_y}{FS} \geq \left[f_b = \frac{M.c}{I} \right] \quad (4)$$

bağıntısı elde edilir. Denklemden, (F_y / FS) güvenlik gerilmesi F_b değerine, f_b ise işletme yükleri altında hesaplanan gerilme değerine karşı gelmektedirler. M_n ortalama dayanım değeri burkulmadan hesaplanmışsa F_{cr} gerilmesinin (burkulma altındaki basınç gerilmesi) değeri akma gerilmesinin değerinden daha küçük olacaktır. Bu durumda, güvenlik gerilmesi F_b , (F_{cr} / FS) 'ye eşit alınır[4]. Yani güvenlik kriteri,

$$f_b \leq \left[F_b = \frac{F_y}{FS} \text{ veya } F_b = \frac{F_{cr}}{FS} \right] \quad (5)$$

olur. Sistem işletme yükünün üzerinde yüklendiğinde, kesit sünek ise ve stabilite bozukluğu oluşmuyorsa, kesitte akma şekil değiştirmesine karşı gelen $\epsilon_y = F_y / E$ değerinden daha büyük şekil değiştirmeler de oluşabilir. Bu durum elastik tasarım kriterlerinin dışına çıkar[4]. Kirişteki maksimum kesme kuvveti ve moment değeri bulunduktan sonra Eş. 6-11 ile kontroller yapılır[5].

$$f_b = \frac{M_{max}}{W_e} \leq F_b \quad (6)$$

$$\tau = \frac{Q_{max}}{h_g.t_g} \leq \tau_{em} \quad (7)$$

$$\delta_{açıklık} = \frac{L}{300} \quad (8)$$

$$\delta_{konsol} = \frac{L}{250} \quad (9)$$

Kolonlara gelen moment, kesme kuvveti ve normal kuvvet değerleri bulunduktan sonra boyutlandırma girişlerdeki gibi yapılır. Elde edilen yüklere göre kesitler seçilir. Kolonlarda, giriş kontrollerine ilave olarak burkulma tahkiki yapılır. λ_x , λ_y narinlik değerleri bulunur.

$$\lambda_x = \frac{S_{kx}}{i_x}, \quad \lambda_y = \frac{S_{ky}}{i_y} \quad (10)$$

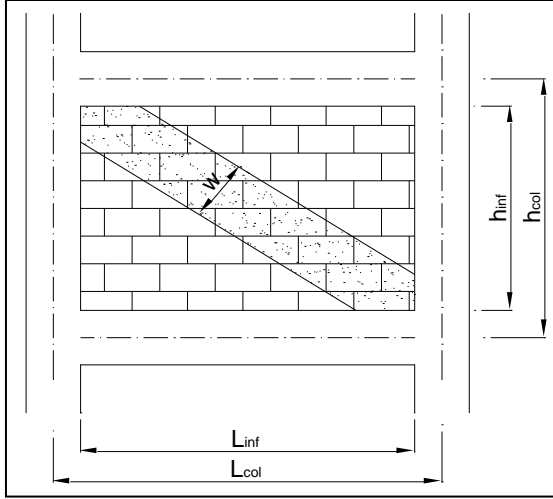
Bulunan değerlerden en büyük olanına göre yönetmelikten ω burkulma katsayısı bulunur. Bulunan ω burkulma katsayısına göre basınç gerilme kontrolü yapılır[5].

$$\sigma_b = \frac{\omega.N}{F_o} \leq \sigma_{bem} \quad (11)$$

Bu çalışmada emniyet gerilmesi yöntemi kullanılmış, çerçeve üzerine etkiyen yanal yükler sadece P ve 2P ile sınırlandırıldığından güvenlik faktörü “1,0” alınmıştır.

4. DOLGU DUVAR MODELİ (INFILL WALL MODELING)

Yapının üç boyutlu hesabında karışıklığa neden olmamak ve dolgu duvarların yanal kuvvet taşımadaki ikincil etkileri ihmal edildiğinden dolgu duvarlar yapısal analizlerde, çok nadiren göz önüne alınırlar. Dolgu duvarların modellenmesinde, sonlu elemanlar yöntemine dayanan mikro modelleme veya duvarın bir bütün yapı elemanı olarak hesaba katıldığı makro modelleme esas alınmaktadır. Bu çalışmada, dolgu duvar özelliklerini eşdeğer sanal çapraz çubukla idealleştirilen makro modelleme tekniği kullanılmıştır. Bu teknikte yer alan dolgu duvar parametreleri ve modelleme esasları aşağıda özetlenmiştir[6].



Şekil 4. Eşdeğer Basınç Çubuğu Modeli (Equivalent Compression Bar Model)

FEMA 356 ve Mainstone (1971) tarafından önerilen formüllere göre hesaplar yapılmıştır [7-8]. Eşdeğer basınç çubuğuna göre efektif duvar genişliği ; (w)

$$w = 0,175 \cdot (\lambda \cdot h_{col})^{-0,4} \cdot \sqrt{h_{col}^2 + L_{col}^2} \quad (12)$$

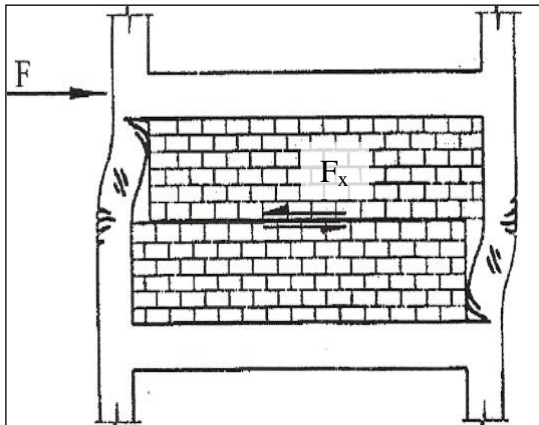
$$\lambda = \left[\frac{E_m \cdot t_{inf} \cdot \sin 2\theta}{4 \cdot E_s \cdot I_{col} \cdot h_{inf}} \right]^{1/4} \quad (13)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{h_{inf}}{L_{inf}} \right) \quad (14)$$

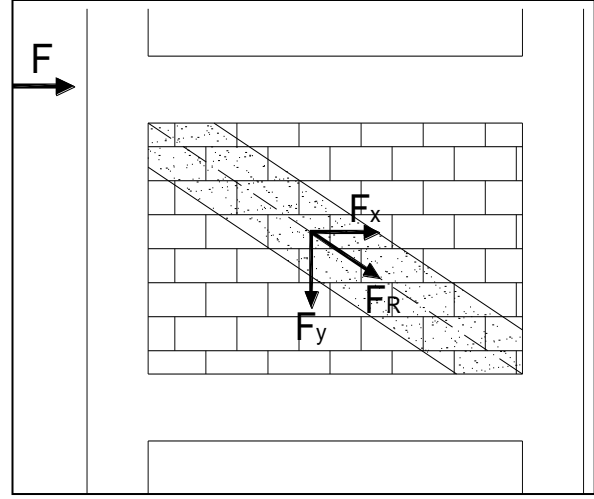
$$R_{cr} = t_{inf} \cdot f_m \cdot w \quad (15)$$

Duvarın kusursuz işçilikle örüldüğünü ve malzemenin kusursuzca imal edildiğini varsayıldığında kesme kuvveti Eş. 16'e göre hesaplanır.

$$R_s = A_n \cdot F_v \quad (16)$$



Şekil 5. Duvar üzerindeki kesme kuvveti (Shear Force on infill wall)



Şekil 6. Dolgu Duvarda Kesme Kuvvetinin Bulunması (Determination of Shear Forces in the Infill Walls)

Gazbetonun kayma dayanımı ile çekme dayanımı eşit kabul edilmiştir ($f_t = F_v$). Eğer $F_x < R_s$ ise dolgu duvar yatay kesme kuvvetine dayanıklıdır. Gazbeton için çekme dayanımı hesabı (f_t) Eş. 17 ile hesaplanır [9].

$$f_t = 0,5187 \cdot f_m \cdot \left(\frac{R_{cr}}{f_m \cdot L_{inf} \cdot t_{inf} - 1,683 \cdot R_{cr}} \right) \quad (17)$$

Duvarın elastik hesabında ilk çatladığı andaki yük elastik sınır yük kabul edilecektir. Bu yük, kesme veya basınç kuvveti olabilir. Büyük olan yük duvarda ilk çatlakları oluşturacaktır. Çerçeve örneğine göre dolgu duvarın efektif genişliğini hesaplırsak; üst kat için dolgu yüksekliği 276 cm, alt kat için 288 cm olduğundan dolayı farklı efektif genişlikler çıkacaktır.

$$\theta_{üst} = \tan^{-1} \left(\frac{276}{276} \right) = 45^\circ \quad \theta_{alt} = \tan^{-1} \left(\frac{288}{276} \right) = 46,23^\circ$$

$$\lambda_{üst} = \left[\frac{22500 \cdot 12,5 \cdot 1}{4 \cdot 2100000 \cdot 3670 \cdot 276} \right]^{1/4} = 0,0135$$

$$w_{üst} = 0,175 \cdot (0,0135 \cdot 300)^{-0,4} \cdot \sqrt{300^2 + 300^2}$$

$$w_{üst} = 424,7 \text{ mm}$$

$$\lambda_{alt} = \left[\frac{22500 \cdot 12,5 \cdot 0,99}{4 \cdot 2100000 \cdot 3670 \cdot 288} \right]^{1/4} = 0,0133$$

$$w_{alt} = 0,175 \cdot (0,0133 \cdot 300)^{-0,4} \cdot 424,26$$

$$w_{alt} = 426,2 \text{ mm}$$

Dolgu duvarın diyagonal basınç kapasitesi;

$$R_{cr} = f_m \cdot f_{inf} \cdot w = 35 \cdot 12,5 \cdot 42,62 = 18646,25 \text{ kg 'dır.}$$

Dolgu duvarın çekme mukavemeti;

$$f_t = 0,5187 \cdot 35 \cdot \left(\frac{18646,25}{35 \cdot 276 \cdot 12,5 - 1,683 \cdot 18646,25} \right)$$

$$f_t = 3,78 \text{ kg/cm}^2 \text{ 'dır.}$$

Dolgu duvarın çekme mukavemeti, kayma mukavemetine eşit kabul edildiğinden, duvarın karşı koyabileceği maksimum kesme kuvveti; Eş. 16'den

$$R_s = A_m \cdot F_v \text{ formülüne göre } R_s = 13041 \text{ kg bulunur.}$$

Bu kesme kuvvetini oluşturacak diyagonal basınç kuvveti ise; Şekil 6'e göre $F_R = F_x / \cos\theta$ dır. Buna göre $F_R = 18851,77 \text{ kg}$ dır. Fakat R_{cr} kuvveti F_R den küçük olduğundan duvarda öncelikle ezilme çatlakları görülecektir. Yükün biraz daha artmasıyla kesme kuvveti sınırına gelmesi ile duvar tamamen göçecektir. İlk çatlakların oluşması ile göçme arasında yaklaşık 206 kg'lık yük farkı vardır. Yani çatlakların oluşmasında hemen sonra duvar çökecektir. Fakat elastik sınır ilk çatlakların oluşmasına sebep olan 18646,25kg'lık eksenel basınç yükü kabul edilecektir.

5. DOĞAL TİTREŞİM VE PERİYOD (NATURAL VIBRATION PERIOD AND STIFFNESS)

Doğal titreşim periyodu yapı dinamiğinde kullanılan Rayleigh Yöntemi ile hesap edilmiştir. Her kata 1 kN'luk fiktif yükler uygulanarak fiktif deplasmanlar bulunmuş ve Eş. 18'de yerlerine konularak her çerçeve modeli için ayrı ayrı "X" yönünde doğal titreşim periyodu bulunmuştur[10]. Periyodun artması, spektral ivme katsayısının büyümesine, spektral ivme katsayısının büyümesi ise taban kesme kuvvetinin büyümesine sebep olur.

$$T_x = 2\pi \left(\frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} \cdot d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (18)$$

$$m_i = w_i / g \quad (19)$$

Örneğin: "a" boş çelik çerçeve modeli için aşağıdaki gibi bulunur. İşlem kolaylığı açısından tüm katlara 1 birimlik yatay yük (fiktif yükleme yerine) uygulayarak deplasmanlar SAP 2000 programı[1] ile elde edilmiştir. Her iki katın kütlesi sadece IPE-240'lardan meydana gelmiştir ve birbirine eşittir.

Tablo 3. Boş çerçevenin fiktif deplasmanları (Fictitious displacement of hollow frame)

kat no	kat kütlesi (m_i)	fiktif yük (F_{fi})	fiktif deplasman (d_{fi})
1.kat	438 kg	1 KN	0,323 mm
2.kat	438 kg	1 KN	0,593 mm

$$T_x = 2\pi \left(\frac{438 \cdot ((0,323 \cdot 10^{-3})^2 + (0,593 \cdot 10^{-3})^2)}{1000 \cdot (0,323 \cdot 10^{-3} + 0,593 \cdot 10^{-3})} \right)^{1/2}$$

$$T_x = 0,092 \text{ sn}$$

Uzama rijitliği, yapısal elemanın herhangi bir noktasına 1 birimlik yerdeğiştirme yaptırabilen kuvvettir. Elastik sınır yükünün, bu yük altındaki yatay yerdeğiştirmesine oranıdır. Elastik yatay uzama rijitliği Eş. 20 ile hesaplanır[11].

$$K_e = P_e / \delta_e \quad (20)$$

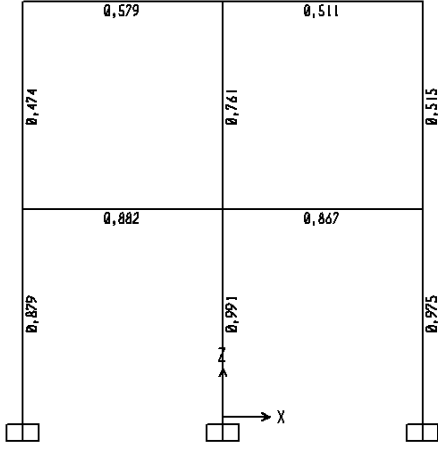
6. ANALİZ VARSAYIMLARI (ANALYSIS ASSUMPTIONS)

Lineer elastik analizin dayandığı varsayımlar şöyle sıralanabilir;

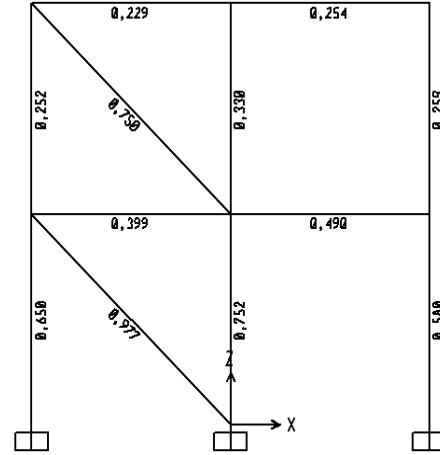
- 1) Yükler ve taşıyıcı sistem aynı düzlem içinde yer alır. Taşıyıcı sistemin her elemanı, bu düzlem içinde yer alan bir simetri eksenine sahiptir.
- 2) Deplasmanlar küçüktür. Bu nedenle denge denklemleri taşıyıcı sistemin deplasman yapmamış geometrisi göz önünde tutularak yazılır.(I. Mertebe lineer hesaba göre)
- 3) Dolgu duvara düzlem dışı bir kuvvet gelmediği için instabilite (burkulma) durumu olmayacağı kabul edilir.
- 4) Elastik sınır yükü, kalıcı lineer elastik deformasyon olmadığı son lifin akma mukavemetine erişmesi olarak kabul edilir.
- 5) Orantılı yükleme söz konusudur. Yani, sisteme etkileyen dış yük sistemine ait değişik yükler arasındaki oran yükleme sırasında sabit kalır.
- 6) Dolgu duvarın eksenel olarak kritik basınç veya kesme yüküne eriştikten sonra hiçbir yer değiştirme yapmadan, ilk çatlakların oluşması elastik sınır yükü kabul edilecektir.
- 7) Kısmi dolgulu duvar analizi, 600 mm yüksekliğinde bant pencere ile sınırlandırılmıştır.

7. ANALİTİK ÇALIŞMALARIN KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF ANALYTICAL STUDIES)

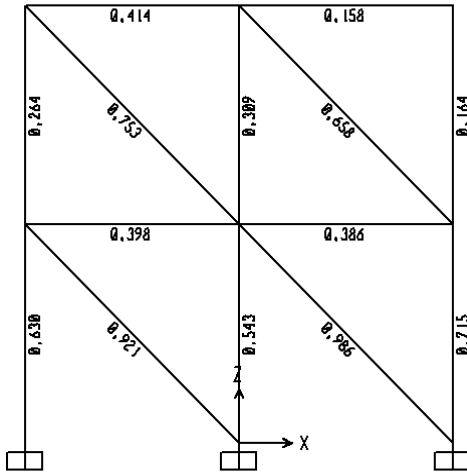
Çerçeve modelleri SAP2000 programı[1] ile yukarıdaki verilere göre lineer elastik analizleri yapılmıştır. Çerçeve grafiklerindeki oranlar, her bir çubuğa gelen yükün çubuk üzerinde oluşturduğu gerilimin, çubuğun kalıcı deformasyon olmadan taşıyabileceği akma gerilmesine oranıdır. Eşdeğer basınç çubuğunda ise eksenel kuvvetin oluşturduğu gerilimin, basınç mukavemetine oranıdır.



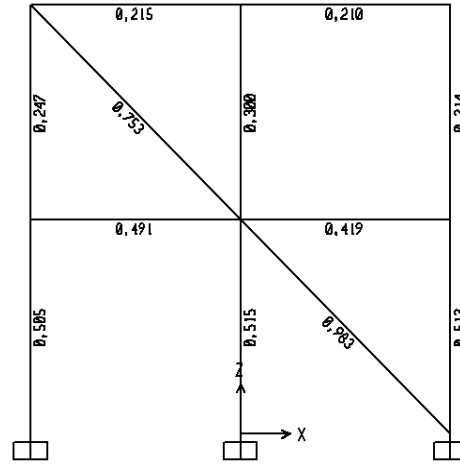
Şekil 7. "a" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "a" model)



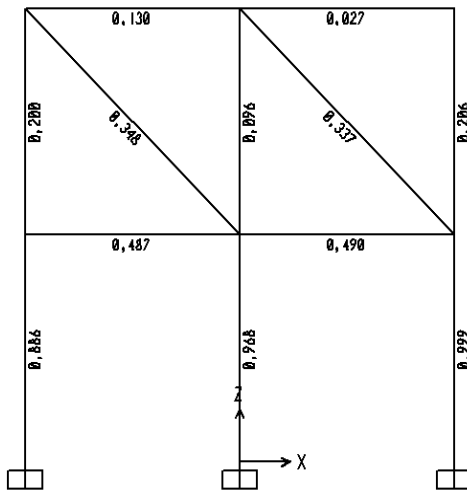
Şekil 10. "d" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "d" model)



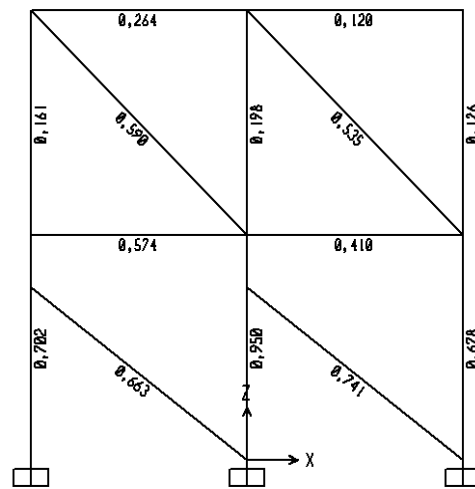
Şekil 8. "b" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "b" model)



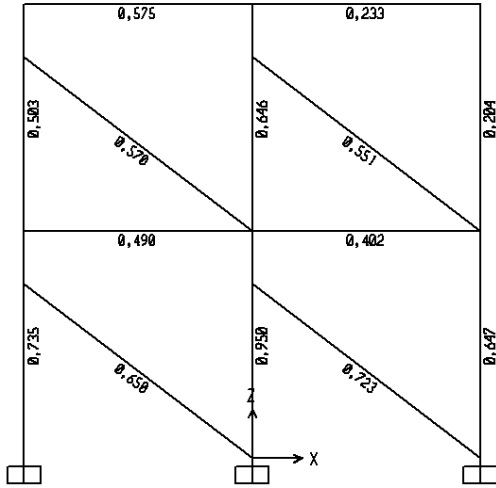
Şekil 11. "e" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "e" model)



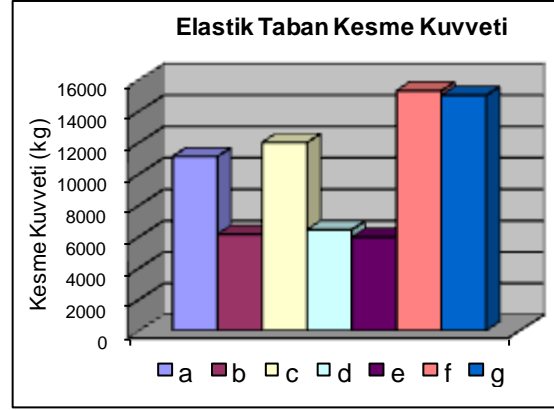
Şekil 9. "c" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "c" model)



Şekil 12. "f" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "f" model)



Şekil 13. "g" modeline ait çubukların gerilme oranları
(Stress ratios of frames of "g" model)

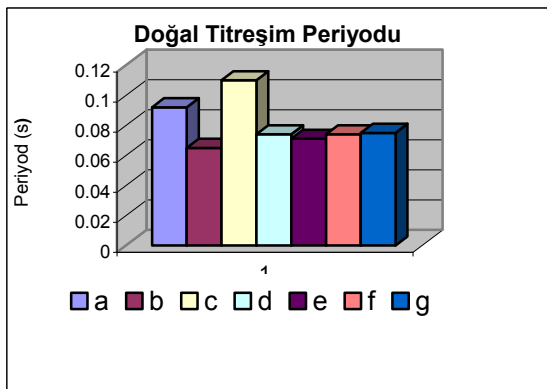


Şekil 15. Çerçeve modellerin taban kesme kuvveti
(Natural vibration period of the frame Models)

Tablo 4. Linear Elastik Analiz Sonuçları (Result of linear elastic analysis)

ELASTİK ANALİZ SONUÇLARI

Çerçeve Modeli	Elastik Deformasyon Yükü (P_e)	Max. Yatay Deplasman (δ_e)	Max. Taban Kesme Kuvveti (V_T)	Elastik Yatay Rijitlik (K_e)	X yönünde Doğal Titreşim Periyodu (T_x)
a	3700 kg	36,48 mm	11100 kg	101,42 kg/mm	0,092 s
b	10540 kg	17,33 mm	6146 kg	608,19 kg/mm	0,065 s
c	4000 kg	20,02 mm	12000 kg	199,80 kg/mm	0,110 s
d	6500 kg	19,15 mm	6442 kg	339,42 kg/mm	0,074 s
e	6350 kg	17,14 mm	5953 kg	370,47 kg/mm	0,071 s
f	5100 kg	10,10 mm	15300 kg	504,95 kg/mm	0,074 s
g	5000 kg	10,74 mm	15000 kg	465,55 kg/mm	0,075 s



Şekil 14. Çerçeve modellerin doğal titreşim periyodu
(Natural vibration period of the frame Models)

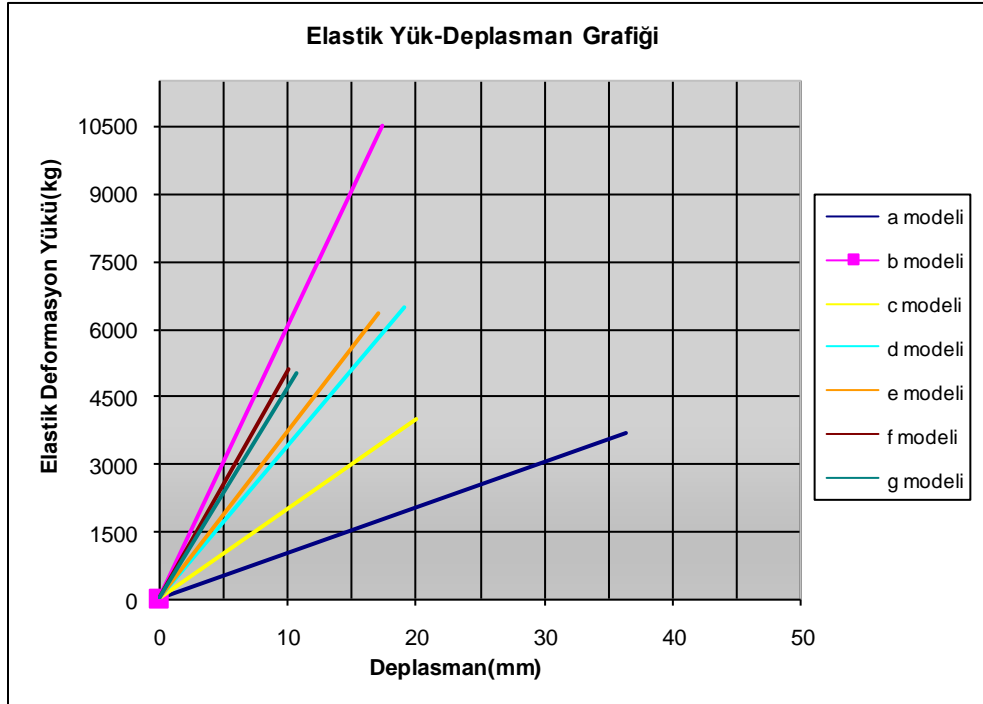
Boş çerçeve model ("a") ile kıyaslandığında, dolgu duvarlar elastik deformasyon yükünü, "b" modelinde 2,85 kat, "c" modelinde 1,08 kat (yumuşak kat) "d" modelinde 1,76 kat (simetrik düzenleme), "e" modelinde 1,71 kat (asimetrik düzenleme) "f" ve "g" modellerinde sırasıyla 1,38 ve 1,35 kat (kısmi dolgu) artırmıştır. Elastik deformasyon yükü en yüksek olan çerçeve "b" (Şekil 8) tam dolgulu modeldir. En düşük ise boş çerçeve olan "a" modelidir (Şekil 7). Yumuşak katı temsil eden "c" modelinin elastik deformasyon yükü boş çerçeve sistemden ("a") 300kg daha yüksektir. Bant pencere "f" ve "g" (Şekil 12-13) modelleri elastik yük kapasitesi olarak "c" (Şekil 9) yumuşak kat modelinin önüne geçmiştir. Dolgulu modeller arasında elastik sınır yükü en düşük olan "c" yumuşak katlı model aynı zamanda en yüksek doğal titreşim periyoduna sahiptir.

En düşük doğal titreşim periyoduna sahip çerçeve ise tam dolgulu "b" (Şekil 8) modelidir. En yüksek taban kesme kuvveti, bant pencere "f-g" modellerinde

(Şekil 12-13) görülmektedir. Bant pencere ve yumuşak katlı modellerin lineer elastik analizinde, diğerlerine göre farklı olarak görülen, ilk kalıcı deformasyon alt katın çelik kolonlarında oluşmakta iken diğer modellerde, ("b-d-e") ilk deformasyonun duvarlardaki çatlaklarla oluştuğu dikkat çekmektedir. Bunun sebebi de "c-f-g" (Şekil 9-12-13) modellerindeki dolgu düzenlemelerinin kolonlardaki kesme kuvvetlerini artırmasıdır. Yatay eksene göre simetrik kat düzenlemesi olan "d" modelinin, asimetrik dolgu düzenlemesi olan "e" modeline göre elastik sınır yükünde önde olduğu fakat doğal titreşim periyodunda geride kaldığını görülmektedir. (doğal titreşim periyodunun düşük çıkması deprem davranışları açısından bir avantajdır.) Elastik uzama rijitliği en yüksek çerçeve model 'b' iken en düşük rijitliğe sahip olan 'c' (yumuşak kat) modeli dolgu modeller arasında en fazla yatay deplasmana sahiptir (Tablo 4). Cephede yatay eksene göre simetrik düzenlemelerde rijitlik düşerken (d modeli) asimetrik düzenlemelerde (e modeli) rijitlik yükselmektedir.

bağlı olarak yatay rijitliğin de arttığı gözlemlenmiştir.

- Dolgu duvarlar çelik çerçevelerin doğal titreşim periyodunu düşürmüş, buna karşılık yumuşak katlı çerçevenin doğal titreşim periyodunu artırmıştır.
- Yumuşak katlı ve bant pencere kombinasyonları çelik çerçeve kolonların kesme kuvvetlerini artırmıştır.
- Dolgu duvarlar çerçevelerin yatay elastik yük kapasitesini artırmıştır.
- Dolgu duvarlar, yatay yer değiştirmeleri azaltmıştır.
- Cephede yatay eksene göre simetrik olan dolgu duvar düzenlemeleri (d modeli), çapraz eksene göre simetrik olan düzenlemelerden (e modeli) daha az rijitlik ve daha yüksek titreşim periyoduna sahiptir. (Çünkü "e" modelinde duvarlar yükün uygulandığı sol üst noktadan, yükün aktarıldığı sağ alt mesnete kadar 45°'ye



Şekil 16. Çerçeve modellerin yük deplasman grafikleri (Elastic load-displacement curves of the frame models)

8. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada iki katlı ve iki açıklıklı düzlem bir çelik çerçeve tasarlanarak, çerçevenin dolgu duvarlı, dolgu duvarsız ve bant pencere kombinasyonları için lineer elastik analiz yöntemi kullanılmıştır. Yatay yük etkisindeki düzlem çerçevede gaz beton dolgu duvarlar için eşdeğer basınç çubuğu modeli tercih edilmiştir. Çalışmadan çıkarılabilecek sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir;

- Yumuşak katlı model dışındaki tüm modeller için dolgu duvar kullanım yüzdesinin artışına

yakın kesintisiz diyagonal basınç elemanı gibi davranmaktadır.)

- Her iki katlı bant pencere model, bir katlı bant pencere modelden taban kesme kuvvetleri açısından daha güvenlidir. Katlar arasındaki dolgu duvar yerleşimlerinde aynı geometrik yapılaşmanın tekrar edilmesine özen gösterilmelidir.

Proje ve tasarım safhasında işletme yükleri için yapılan lineer elastik analizlerde dolgu duvarların sadece düşey ağırlıkları değil, yatay yüklere karşı olan dirençleri ve sistemin yük diagramlarındaki

değişimleri dikkate alınmalı, uygun bir modelleme tekniği ile analize dahil edilmelidir. Dolgu duvarların yapı içerisindeki fonksiyon ve yerleşimlerinin tasarım aşamasında dikkate alınması, kısa kolon, yumuşak kat ve düzensiz cephe kompozisyonlarının olumsuz etkilerinin değerlendirilmesi, yapının sadece projelendirme aşamasında değil kullanım aşamasında da öngörülen davranışı sergilemesinde fayda sağlayacaktır.

SEMBOLLER (NOMENCLATURE)

R_n	Tasarım dayanımı
\emptyset	Dayanım katsayısı
γ_i	i. yükün artım faktörü
Q_i	Yapı üzerindeki i. yük
F_b	Emniyet gerilmesi
f_b	Hesaplanan gerilme
FS	Güvenlik faktörü
F_y	Akma gerilmesi
M_n	Ortalama kiriş dayanımı
F_{cr}	Burkulma altındaki basınç gerilmesi
W_e	Elastik mukavemet momenti
M_{max}	Maxsimum moment
Q_{max}	Maxsimum kesme kuvveti
τ	Hesaplanan kayma gerilmesi
τ_e	Emniyetli kayma gerilmesi
$\delta_{açıklık}$	Açıklıktaki max. sehim
δ_{konsol}	Konsoldaki max. sehim
λ_x	Çubuğun X yönündeki narınlığı
λ_y	Çubuğun Y yönündeki narınlığı
S_{kx}	X yönündeki burkulma boyu
S_{ky}	Y yönündeki burkulma boyu
ω	Burkulma katsayısı
N	Eksenel basınç kuvveti
F_o	Çubuğun en kesit alanı
σ_{bem}	Basınç emniyet gerilmesi
σ_b	Çubuktaki en büyük basınç gerilmesi
h_g	Profilin gövde yüksekliği
t_g	Profilin gövde genişliği
i_x	X yönündeki atalet yarıçapı
i_y	Y yönündeki atalet yarıçapı
w	Efektif duvar genişliği
λ	Dolgu duvarın rijitlik katsayısı
I_{col}	Kolonun atalet momenti
R_{rc}	Dolgu duvarın basınç kapasitesi
E_m	Dolgu duvarın elastisite modülü
E_s	Kolonun elastisite modülü
E	Tasarım yapılan malzemenin elastisite modülü
t_{inf}	Dolgu duvarın net kalınlığı
R_s	Dolgu duvarın kesme kuvvet kapasitesi
F_x	Basınç çubuğunda oluşan yatay kesme kuvveti
F_R	Eşdeğer basınç çubuğunda oluşan basınç kuvveti
A_n	Dolgu duvarın yatay kesit alanı
F_v	Dolgu duvarın kayma mukavemeti
f_t	Dolgu duvarın çekme mukavemeti
f_m	Dolgu duvarın basınç mukavemeti
L_{inf}	Dolgu duvarın uzunluğu
h_{inf}	Dolgu duvarın yüksekliği

θ	Eşdeğer basınç çubuğunun yatayla yaptığı açı
h_{col}	Kolonun yüksekliği
L_{col}	Kirişin uzunluğu
T_x	X yönündeki doğal titreşim periyodu
m_i	Kat kütlesi
w_i	Kat ağırlığı
g	Yerçekimi ivmesi
d_{fi}	Fiktif deplasman
F_{fi}	Fiktif yük
P_e	Elastik deformasyon yükü
δ_e	Yatay deplasman
K_e	Yatay uzama rijitliği

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. SAP2000 "Structural Analysis Program, Nonlinear Version 9.0.9", **Computers and Structure, Inc. Berkeley**, California , 2000
2. Autocad 2008 , **Autodesk , Inc.** USA, 2007
3. AKG Gazbeton, "Ürün özellikleri: Teknik özellikler", <http://www.akg.gazbeton.com/default.asp?mid=250&L=TR>
4. Yardımcı N., "Çelik Yapıların Tasarımı ve Tasarım Yöntemleri", T.M.H., sayı:435 , **Türkiye Müh. Haberleri**, İstanbul , (2005)
5. TS 648 , "Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları" , **Türk Standartları Enstitüsü**, Ankara, (1980)
6. Kaltakçı M.Y., Köken A., Kamanlı M., Arslan H.M., "Çok Katlı ve Çok Açıklıklı dolgu duvarlı çelik çerçevelerin tersinir-tekrarlanı yatay yükler altındaki lineer olmayan hesabı", **2. Ulusal Çelik Yapılar Sempozyumu** , Eskişehir , 2007
7. FEMA 356, "Presentandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings", **Federal Emergency Management Agency**, Washington D.C., 2000
8. Mainstone R.J., "On the Stiffness and Strength of Infilled Frames" **Proc.Int.Civil Eng.**, 57-90, 1971
9. Alakoç A., **Gazbeton blokların ve Duvarların Yapısal Davranışının Deneysel Olarak incelenmesi**, Yüksek Lisans Tezi, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 1999
10. Doğançın A., "Betonarme Yapıların Hesap ve Tasarımı" , **Birsen Yayınevi** , İstanbul , (2009)
11. Çakıroğlu A., Özer E., "Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler", **İTÜ Yayınları**, 1168:14-15, İstanbul, 1980