

Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığma Prizmaların Sonlu Eleman Analizi

Ercüment KÖKSAL*

H. Orhun KÖKSAL**

Hakkı YILDIRIM***

ÖZ

Yığma yapıların tasarımında yığmanın basınç mukavemeti esas parametredir. Yığmanın basınç mukavemeti ise; yığmada kullanılan blok mukavemeti ve blok geometrisi, harç özellikleri ile örülme biçimi gibi bir çok faktöre bağlıdır. Bu nedenle, yığma prizmaların basınç deneyleri, basınç mukavemetini ve basınç mukavemetine bağlı diğer kriterleri elde etmek için yapılır. Üzerinde anlaşılmış standart bir deney yöntemi bulunmamaktadır. Araştırmalar h/t oranı 2 ila 5 arasında olan deney numunelerinin denenmesinin gerçeğe uygun sonuçlar verdiğini göstermektedir. Prizmaların davranışlarını ayrıntılı incelemek için deneylerin doğrusal elastik sonlu eleman analizleri de yapılmıştır. Bu çalışmada; daha önceki çalışmalarda beton için geçerliliği gösterilen Drucker-Prager akma kriteri seçilmiş ve LUSAS programı kullanılarak beton briketlerin doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri başarı ile gerçekleştirilmiştir. Drucker-Prager kriterinin parametrelerinden olan kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri, literatürde yer alan bazı deneylerin üç boyutlu sonlu eleman analizleri gerçekleştirilerek belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar; eksenel basınç altında yığma prizmaların davranışının, gerçekleştirilen sonlu eleman analizleri ile başarılı bir şekilde tahmin edilebildiğini göstermektedir.

ABSTRACT

Finite Element Analysis of Concrete Hollow-Block Masonry Prisms Under Axial Compression

The design of masonry structures is based on the compressive strength of the masonry. Compressive strength of masonry depends on several factors such as block strength, geometry of the hollow blocks, mortar properties, mortar bedding. Therefore, tests of masonry blocks under compression are performed to obtain the strength and other design criteria related to the compressive strength. There is no unique experimental method for testing prisms. Researches demonstrate that tests on prisms laid in stack bond with face

Not: Bu yazı

- Yayın Kurulu'na 18.07.2002 günü ulaşmıştır.
- 30 Eylül 2004 gününe kadar tartışmaya açıktır.

* Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul – koksal@yildiz.edu.tr

** Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul

*** Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul - hyildir@yildiz.edu.tr

shell bedding with h/t ratio in the range of 2-5 give results that are acceptably realistic. The linear elastic finite element analyses of these tests were performed to study the prisms' behavior in detail. In this study, the nonlinear-finite element analyses of 3-course block masonry prisms by using LUSAS program and the Drucker-Prager yield criterion which was shown to be appropriate for modeling of concrete behavior in previous studies, have been carried out successively. Cohesion which is one of parameters of the Drucker-Prager yield criterion, has been obtained from three dimensional finite element analyses of several experiments for hollow blocks in the literature. Results show that the performed finite element analysis can predict the behavior of masonry prisms under axial loading with reasonable accuracy.

1. GİRİŞ

Yığma yapı tasarımında yığmanın basınç mukavemeti temel parametredir. Basınç mukavemeti ise; yığmada kullanılan blok mukavemeti ve geometrisi, harcın özellikleri ile harcın derze konulma biçimi ve yığmanın örülme şekli gibi birçok faktöre bağlıdır [1]. Bu nedenle yığma prizmaların basınç deneyleri, çoğunlukla gerekli mukavemetleri ve mukavemet kriterlerini elde etmek için yapılır. Yığmanın basınç mukavemetini belirlemek için çeşitli yönetmelikler tarafından aşağıdaki yöntemler önerilmektedir:

1. Yığma birimlerinin ve harcın basınç mukavemetine bağlı olarak yığmanın basınç mukavemetini veren önceden hazırlanmış çizelgeler kullanılması [2,3] (Çizelge 1 ve Çizelge 2' ye bakınız).
2. Yığma yapının boşluklu beton bloklarla (briketlerle) ve harcın sadece beton bloğun dış yüz kabuğu boyunca konulması halinde, bloğun net alanının harç alanına oranını içeren önceden hazırlanmış çizelgeler kullanılması [2].
3. Kullanılan malzemenin gerçek yapıdaki ile aynı ve yüksekliğin kalınlığa oranı 2 ile 5 arasında olması halinde, bindirmesiz olarak örülmüş yığma prizmaların denenmesi [1].
4. Yüksekliğin kalınlığa oranının 2 ile 5 arasında bulunduğu durumlarda, yapıdaki gibi bindirmeli olarak örülmüş ve aynı şartlar altında benzer malzemelerden inşa edilmiş prizma numunelerin denenmesi [2].
5. Yöntem 4'e ek olarak, farklı bloklar ve harçlar ya da her ikisinin birden bulunması halinde, verileri karşılaştırmak için, yine yükseklik ile kalınlık arasındaki oranın 2 ile 5 arasında kalması koşulu ile, harcın bloğun uzunluğu boyunca olan dış yüz kabuğu üzerine konulması halinde bindirmeli olarak örülmüş prizmaların denenmesi [1,4].
6. Uzunluğu 1.20–1.80 m, yüksekliği 2.40-2.70 m ve minimum kesit alanı 0.125 m² olan, en az birbirinin aynısı iki adet duvarın denenmesi [3].

Yöntem 1 ve 2'deki çizelgeler çok sayıda duvar panel ve prizma numunenin denenmesinden elde edilen veriler yardımıyla oluşturulmuştur. Genel olarak, yönetmelikler tarafından deney yapılmasına alternatif olarak önerilmektedir. Yöntem 6'daki gerçek boyutlu duvarların deneylerde kullanımı pratik ve ekonomik olmamaktadır. Bu kadar çok değişik önerinin olması, üzerinde anlaşılmış tek bir standart deney yönteminin bulunmamasındandır. Yapılan araştırmalar, uygulama kolaylığı sağlayacak deneylerle yığmanın basınç mukavemetini belirlemeye yöneliktir.

Çizelge 1. En küçük yatay boyutun yüksekliğe oranı 0.6 olan bloklarla belirlenen yığma f_k karakteristik basınç mukavemetleri [3]

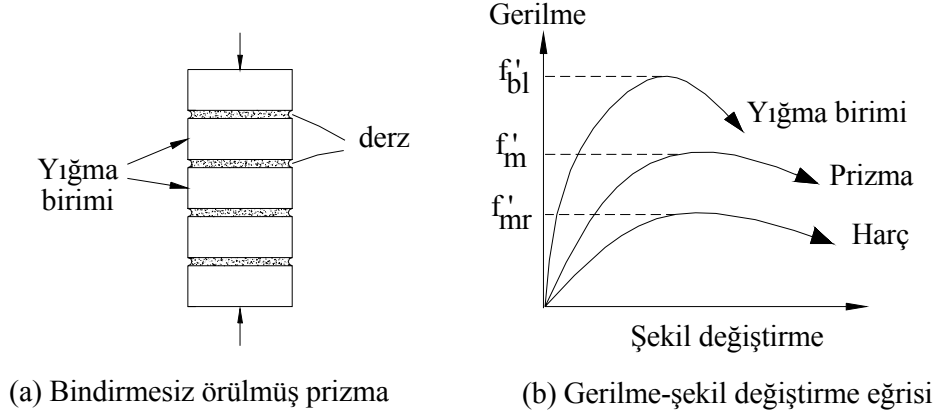
Harç adı	Birim basınç mukavemeti (MPa)							
	2.8	3.5	5.0	7.0	10	15	20	35 ve daha büyük
(i)	1.4	1.7	2.5	3.4	4.4	6.0	7.4	11.4
(ii)	1.4	1.7	2.5	3.2	4.2	5.3	6.4	9.4
(iii)	1.4	1.7	2.5	3.2	4.1	5.0	5.8	8.5
(iv)	1.4	1.7	2.2	2.8	3.5	4.4	5.2	7.3

Çizelge 2. En küçük yatay boyutun yüksekliğe oranı 2 ila 4 arasında olan boşluklu bloklarla yapılmış yığmanın f_k karakteristik basınç mukavemetleri [3]

Harç adı	Birim basınç mukavemeti (MPa)							
	2.8	3.5	5.0	7.0	10	15	20	35 ve daha büyük
(i)	2.8	3.5	5.0	5.7	6.1	6.8	7.5	11.4
(ii)	2.8	3.5	5.0	5.5	5.7	6.1	6.5	9.4
(iii)	2.8	3.5	5.0	5.4	5.5	5.7	5.9	8.5
(iv)	2.8	3.5	4.4	4.8	4.9	5.1	5.3	7.3

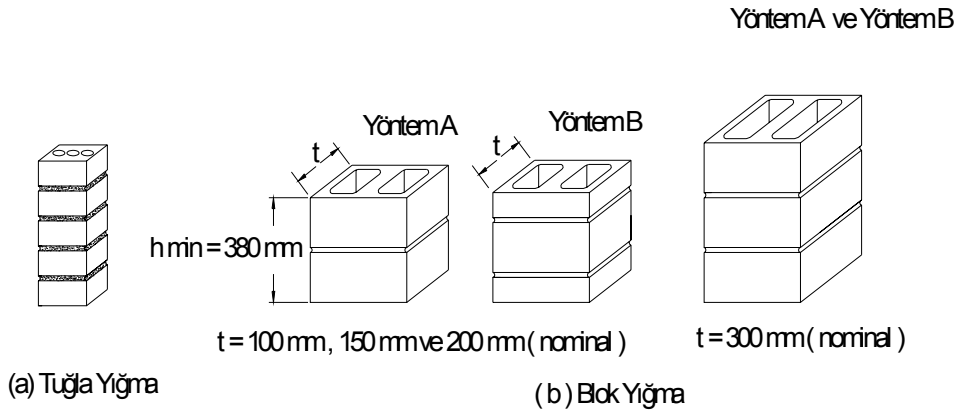
Hesap yöntemlerinin ihtiyaç duyduğu başlıca parametreler; başlangıç elastisite modülü E_m ve basınç mukavemeti f'_m değerleri olduğundan, basınç deneylerinin çoğunluğu bu değerleri ölçmek için tasarlanmıştır. Şekil 1'de yığma birimi, harç ve prizmanın aksel basınç altındaki davranışları gösterilmiştir. Şekil 2'de bir blok genişliğinde ve birim kalınlıklı ve değişik yüksekliklerdeki farklı sayıda blok ve derz içeren standart prizmalar gösterilmektedir. Yöntem A'da h/t oranı 2 olan iki bloklu ve 10 mm harç kalınlığına sahip tek derzli bir prizmanın denenmesi söz konusudur. Bu tek derzli prizmanın gerçek gerçek boyutlardaki duvarların davranışını tam yansıtmayacağı nedeniyle alternatif olarak Yöntem B'de görülen yüksekliği Yöntem A'daki ile aynı olan fakat altta ve üstte standart blok yüksekliğinin yarısı yüksekliğine sahip ortada ise tam blok olan iki harç derzine sahip prizmanın denenmesi ile gerçek yapıdaki davranışa yaklaşılmaktadır. Bu nedenle yönetmelikler minimum h/t oranının 2 olarak alınmasına izin vermesine karşılık araştırmacılar daha çok h/t oranı 3 ve daha fazla olan prizmaları kullanmaktadırlar.

Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yiğma Prizmalarının Sonlu Eleman Analizi

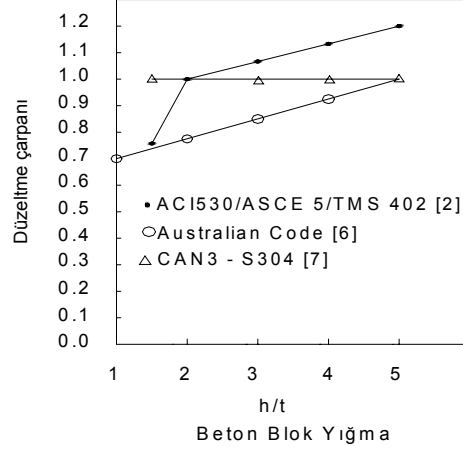


f'_{bl} : blok mukavemeti, f'_m : yiğma prizma mukavemeti, f'_{mr} : harç mukavemeti

Şekil 1. Yiğma prizmanın gerilme-şekil değiştirme eğrisi [5]

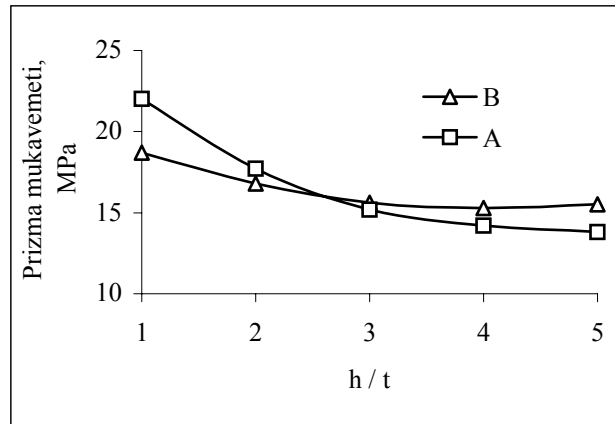


Şekil 2. Yiğmanın aksenal basınç mukavemetini tayin etmek için kullanılan prizmalar [5].



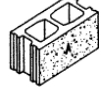
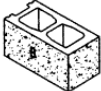
Şekil 3. Prizma basınç mukavemeti için düzeltme çarpanları [5].

Genellikle iki ila yedi bloklu değişik yüksekliklerdeki prizmalar basınç deneylerinde kullanılmaktadır. Yüksekliğin, dolayısıyla derz sayısının, ölçülen mukavemete önemli oranda etkisi olduğundan, deney sonuçlarına çeşitli h/t oranları için düzeltme katsayıları uygulanmaktadır (Şekil 3). Boul, prizmaların minimum yüksekliğinin üç blok olması gerektiğini belirtmektedir [8]. Deneylerde ölçülen basınç mukavemeti değerinin üç ila beş blok yüksekliğindeki prizmalar için yaklaşık sabit kaldığı, beşten fazla blok kullanılmasının ise prizma mukavemetini etkilemediği gözlemlenmiştir (Şekil 4 ve Çizelge 3). Deneyler, blok boşlukları dolgu malzemesi ile doldurulduktan yedi gün sonra yapılmıştır.



Şekil 4. Değişik yığma birimleri için yükseklik-genişlik oranına karşılık prizma mukavemeti [8].

Çizelge 3. Şekil 4'deki deneylerde kullanılan yığma birimlerinin boyutları [8]

Kodu	Tipi	Nominal boyutlar (mm)	Kuru ağırlık (N)	Basınç mukavemeti (MPa)
A		400x200x200	174	24.5
B		400x200x200	116	21.0

2. ELASTİSİTE MODÜLÜ

Beton harç ve yığmanın tasarımında, Çizelge 4'de verilen elastisite modülü değerleri kullanılabilir [2].

Çizelge 4. Yığma elastisite modülü değerleri [2]		
Yığma biriminin net kesiti için basınç mukavemeti, MPa	Elastisite modülleri* E_m , (GPa)	
	N tipi harç	M ya da S tipi harç
41.5 ve daha büyük		24.0
34.5	19.5	22.0
27.5	18.0	20.0
20.5	16.0	17.0
17.0	15.0	16.5
14.0	12.5	15.0
10.5	10.5	11.0

*Ara değerler için lineer enterpolasyona izin verilir.

Kaynaklarda yığmanın f'_m basınç mukavemeti ve E_m elastisite modülü arasındaki ilişki için değişik bağıntılar önerilmektedir. Bu, kısmen malzeme özelliklerinin istatistiksel dağılımının çok geniş olmasından kaynaklanmaktadır. Aynı zamanda, basınç deneylerinde şekil değiştirmeleri ölçmek için benimsenen yöntemlerin değişik olmasıyla da ilgilidir [9]. Bir çok araştırmacı beton bloklar için aşağıdaki bağıntıları önermektedir [10,11]:

$$\text{Beton yığma halinde: } E_m = 500 f'_{bl} \text{ ila } 1500 f'_{bl} \quad (1)$$

$$\text{Kil tuğla yığma halinde: } E_m = 750 f'_{br} \quad (2)$$

Burada f'_{bl} ve f'_{br} , sırasıyla, blok ve kil tuğlanın basınç mukavemetlerini göstermektedir. Bağntı (1) ile verilen değerlerden, sonlu eleman analizlerinde, beton malzeme için gerçekçi sonuçlar verdiği belirtilen aşağıdaki değer kullanılacaktır [12,13,14]

$$E_m = 1000 f'_{bl} \quad (3)$$

Farklı tipteki harçlar için elastisite modülü değerlerinin $500f'_{mr}$ ve $1000f'_{mr}$ arasında değişmekte olduğu belirtilmektedir [15,16]. Uygulamada, bağntı (1) ve (2) yaygın olarak kullanılır. Poisson oranı, göçmeye yakın büyük artışlar gösterse de, davranışın genelinde 0.2 alınabilir.

3. HARÇ ÖZELLİKLERİ

Harç karışımı ve kullanımı için BS 5628 de verilen tavsiyelere uyulmalıdır. Harç içerisindeki malzemelerinin oranları ve gerekli ortalama basınç mukavemetleri Çizelge 5'de verilmiştir. Boşluklu bloklarla yapılan briket yığmanın f_k karakteristik basınç mukavemetleri Çizelge 1 ve Çizelge 2'de verilmişti. Yığma yüzeyleri ve temiz beton arasındaki sürtünme katsayısı 0.6 alınabilir [3].

Çizelge 5. Harç özellikleri [3]					
Harç adı	Harç malzemesi hacimsel oranları			28 Günlük ortalama basınç mukavemeti	
	Çimento: Kireç: Kum	Yığma Çimentosu:Kum	Çimento: Kum (Plastikliği artırıcı katkı ile)	İlk laboratuvar deneyleri, MPa	Şantiye deneyleri, MPa
(i)	1: 0 ila ¼: 3	-	-	16.0	11.0
(ii)	1: 1/2: 4 ila 4 1/2	1: 2 1/2 ila 3 1/2	1: 3 ila 4	6.5	6.5
(ii)	1: 1: 5 ila 6	1: 4 ila 5	1: 5 ila 6	3.6	2.5
(iv)	1: 2: 8 ila 9	1: 5 1/2 ila 6 1/2	1: 7 ila 8	1.5	1.0

4. BETON VE DRUCKER-PRAGER MALZEME MODELİ

Lineer teoride malzemenin akma gerilmesi aşılmadıkça, gerilme-birim deformasyon ilişkisi doğrusal kabul edilir ve hesaplar doğrusal elastisite teorisine göre yapılır. Akma gerilmesi üzerindeki gerilmeler (pekleşme) dikkate alınmaz. Bu bağlamda, yapıların elastik olarak incelenmesinin, gerilme dağılımının her zaman düzgün olmadığı ve yüksek gerilmeli yerel bölgelerin plastikleşebileceğinin düşünülmesi durumunda, gerçeği tam olarak yansıtmayacağı açıktır. Plastik hesap, süneklikten faydalanarak beton içerisinde üniform dağılmayan gerilmeleri daha gerçekçi bir şekilde hesaplamaya imkan verir.

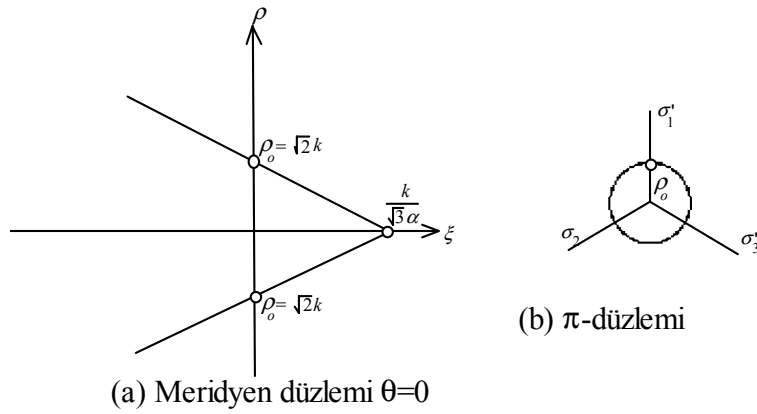
Son yıllarda, malzemelerin bünye bağntılarının belirlenmesinde kullanılan pek çok matematik model geliştirilmiştir. Söz konusu modeller betonun mekanik davranışını, plastik ve visko-plastik teoriler yardımıyla ifade edebilmektedir. Yapıların plastik analizinde kullanılmak üzere hazırlanmış, sonlu eleman yöntemi ile çalışan paket

Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığılma Prizmaların Sonlu Eleman Analizi

programlarda yer alan ve en çok kullanılan, en temel malzeme modeli Drucker-Prager malzeme modelidir. Söz konusu modelde akma kriterinin, Von-Mises kriterinin genelleştirilmiş formu olduğu söylenebilir. Drucker-Prager, akma kriteri Von-Mises kriterinde hidrostatik gerilme etkisini ek bir terim ile dikkate alarak,

$$f(I_1, J_2) = \alpha I_1 + \sqrt{J_2} - k = 0 \quad (4)$$

şeklinde ifade etmektedir. Bu bağıntıda, α ve k malzeme sabitleri, I_1 gerilme tansörünün birinci invariantını, J_2 ise deviatorik gerilme tansörünün ikinci invariantını göstermektedir. $\alpha = 0$ olması durumunda kriter, Von-Mises kriteri ile aynı olacaktır [17,18,19]. Bağıntı (4)'ün gösterdiği akma yüzeyi, asal gerilme uzayında bir dairesel koni olacaktır, meridyenleri ve π - düzlemindeki kesiti Şekil 5'de görülmektedir.

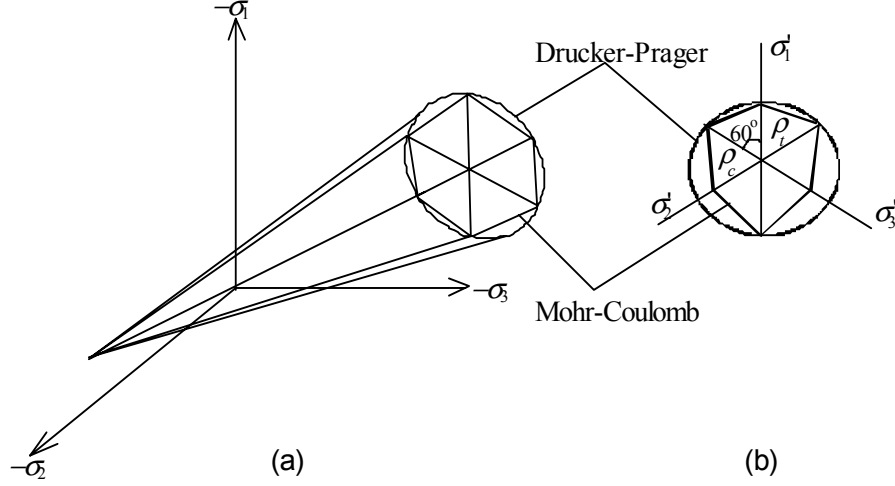


Şekil 5. Drucker-Prager kriteri [17].

Şekil 6b'de görüldüğü gibi Drucker-Prager kriteri, Mohr-Coulomb kriterine oldukça yakındır. Drucker-Prager dairesi, Mohr-Coulomb altgenine dıştan çizilen bir sınır daire olarak düşünülürse, iki yüzey $\theta = 60^\circ$, α , k ile belirlenecek basınç meridyenine uygun düşer. Burada α ve k değerleri, ϕ ve c değerlerine bağlı olarak,

$$\alpha = \frac{2 \sin \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)}, \quad k = \frac{6 c \cos \phi}{\sqrt{3}(3 - \sin \phi)} \quad (5)$$

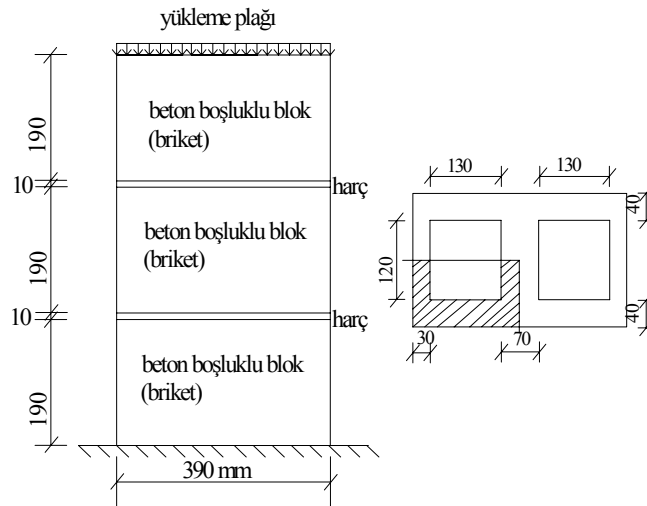
şeklinde belirlenebilir. Burada ϕ ve c , sırası ile malzemenin içsel sürtünme açısını ve kohezyonunu ifade eden parametrelerdir. LUSAS programı, plastik analiz safhasında bu değerleri dikkate almaktadır. Bağıntı (5)'deki sabitlerle belirlenen koni, Mohr-Coulomb akma yüzeyindeki altgen piramidi çevreleyen bir dış sınır görünümündedir (Şekil 6a).



Şekil 6 . Drucker-Prager ve Mohr-Coulomb kriterlerinin karşılaştırılması, (a) asal gerilme uzayında, (b) deviatorik düzlemde [18].

5. SONLU ELEMEN MODELİ

Ramamurthy^[20] ve Khalaf^[21] bindirmeli örülmüş yığmanın basınç mukavemetini belirlemek için deneyler yapmışlardır. Bu deneyler, iki yığma birimi ve üç yığma birimi üst üste konularak, değişik mukavemetteki harç ve boşluklu briket ile yapılmıştır. Deneylerde kullanılan numuneler sonlu eleman yöntemiyle LUSAS^[22] programında simetriden de yararlanılarak dörtte birlik kısım için üç boyutlu olarak modellenmiştir (Şekil 7)[23].



Şekil 7. Eksenel basınç altında üç bloktan oluşan prizma.

Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığılma Prizmaların Sonlu Eleman Analizi

Sonlu eleman modelinde deneylerde kullanılan, yükü düzgün dağıtan ve numunenin üstten yatay olarak hareketini engelleyen yükleme plağı, numunenin üstten yanal hareketi tutularak temsil edilmiştir. ASTM E 447'ye göre 400x200 mm boyutlarındaki bloklardan yapılmış prizma için yükleme plağının minimum kalınlığı 51 mm olmalıdır[24].

Deney sonuçları literatürde yer alan ve yukarıda sözü edildiği gibi üç boyutlu modeli yapılan deney numunelerinin LUSAS programında Drucker-Prager akma kriterine göre, plastik analizinin yapılabilmesi için, malzeme parametreleri olan kohezyon c , ve içsel sürtünme açısı ϕ , değerlerinin veri olarak sağlanması gerekmektedir. Bu değerler başlangıçta net olarak bilinmediğinden tahmini olarak girilmiş ve modelin plastik analizi yapılmıştır. Yapılan plastik analiz sonucunun, modele ait deney sonucuna yeterince yaklaştığı durumdaki c ve ϕ değerleri tespit edilmiştir. Bu işlem, deney sonuçları literatürde yer alan değişik blok ve harç mukavemetine sahip deney numuneleri için tekrarlanmış ve her defasında deney sonucuna yaklaşılan durumdaki c ve ϕ değerleri tespit edilmiştir. Yapılan bu plastik analizlerin sonucu olarak, belirlenen c ve ϕ değerleri ile blok ve harç mukavemetleri arasındaki ilişki araştırılarak aşağıdaki bağıntılar türetilmiştir[23]:

$$c_{bl} = 0.248 f'_{bl} \quad (7)$$

$$c_{mr} = 0.129 f'_{mr} + 1.85 \quad (8)$$

$$\phi_{mr} = 1.519 f'_{mr} \quad (9)$$

Beton blok için ϕ içsel sürtünme açısı 33.5° olarak alınmıştır. Çizelge 6'da gösterilen parametreler kullanılarak elde edilen sonuçlar, deneysel veriler ile karşılaştırılmıştır. Deneysel veriler ile analiz sonuçları arasındaki sapmalar, blok ve harç mukavemetleri arasındaki farkın artması ile orantılı bir şekilde büyümektedir. (Ram.3) ve (Ram.4) numaralı numunelerin analizleri dışarıda tutulursa, deney ve analiz sonuçları arasındaki sapma miktarı %10'luk sınır içerisinde kalmaktadır. Sonlu eleman sonuçlarını kullanarak prizmaların basınç dayanımları için aşağıdaki bağıntı türetilmiştir:

$$f'_m = 1.57 \ln(f'_{mr}) + 0.75 f'_{bl} \quad (10)$$

Şekil 8'de değişik yük seviyeleri altında deforme olmuş prizmalar gösterilmektedir.

Araştırmacılar, basınç deneyinde erken kırılmayı önlemek için numunelerin üst kısmına yeterli rijitlikteki çelik plaka yerleştirilerek yanal hareketin önlenmesini önermektedirler [5,24]. Şekil 9'da yanal hareketin önlenmediği durumda prizmanın deforme şekilleri aşamalı olarak gösterilmiştir. Burada deformasyonun en üst blok ve harç arasında yoğunlaştığı görülmektedir.

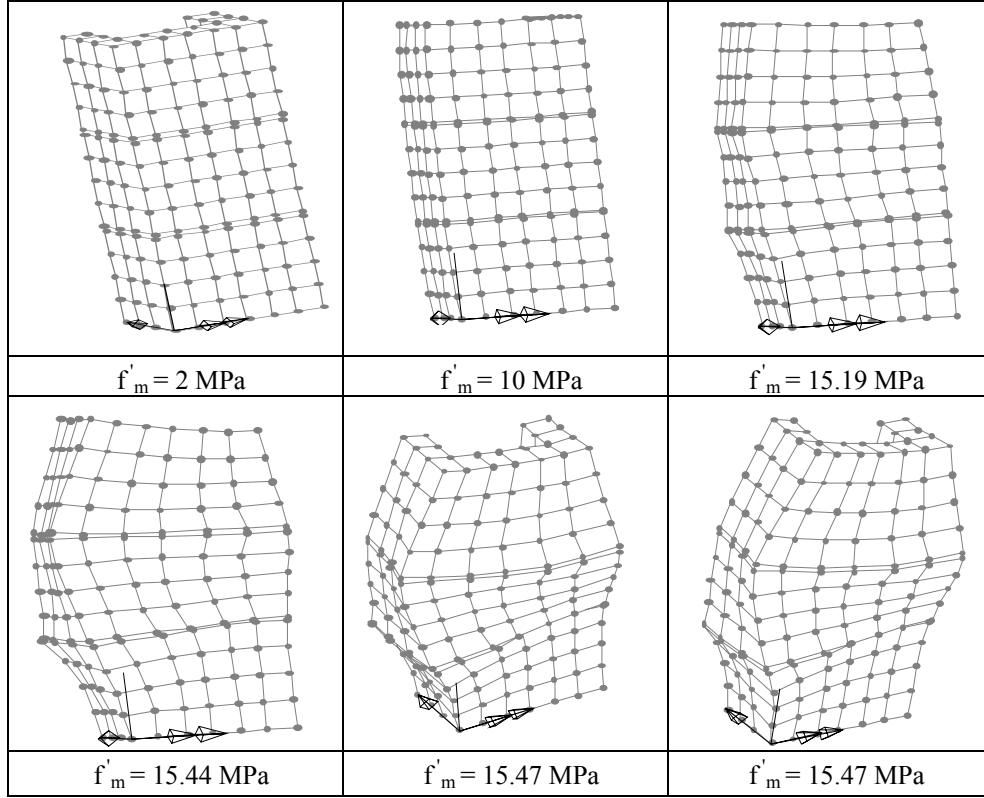
Şekil 10, Şekil 11 ve Şekil 12'de LUSAS programında yapılan sonlu eleman analizi sonucunda değişik yük durumlarında elde edilen gerilme ve şekil değiştirme grafikleri verilmiştir.

Çizelge 6. Deneyleeri Ramamurthy vd., (2000) ve Khalaf vd., (1994) tarafından yapılmış prizmaların deney sonuçları ile sonlu eleman sonuçlarının karşılaştırılması

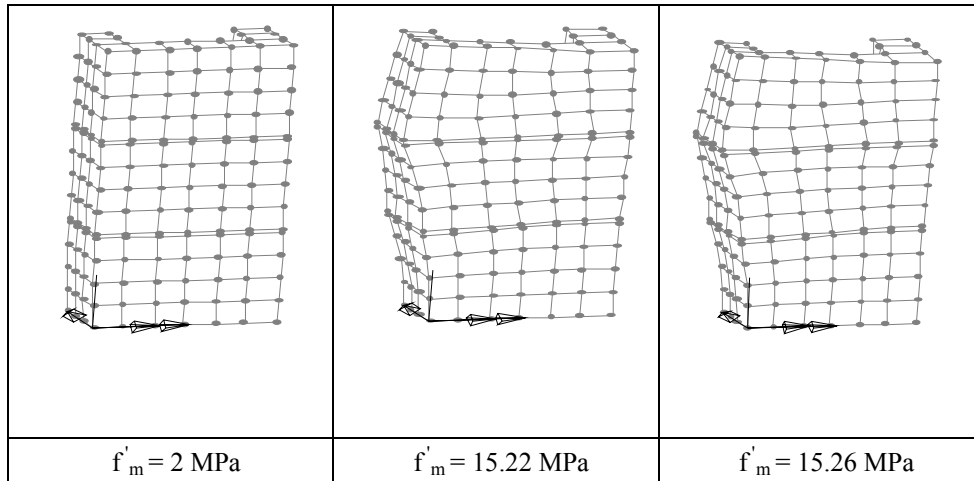
Numune No	f'_{mr}	c_{mr}	ϕ_{mr}	E_{mr}	Deneyle sonuçları* (1)	Sonlu eleman sonuçları* (2)	Oran (1)/(2)	Önerilen Bağıntı (10)
	MPa	MPa		MPa	MPa	MPa		MPa
$f'_{bl}=19.75$ MPa; $E_{bl}=19750$ MPa ; $c_{bl}=4.90$ MPa ; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Ram.1	15.60	3.86	23.70	15600	19.49	19.05	1.023	19.12
Ram.2	12.15	3.42	18.45	12150	18.41	18.67	0.986	18.73
Ram.3	5.00	2.50	7.60	5000	14.42	17.51	0.824	17.34
Ram.4	4.27	2.40	6.49	4270	14.11	17.44	0.809	17.09
$f'_{bl}=17.56$ MPa; $E_{bl}=17560$ MPa ; $c_{bl}=4.35$ MPa ; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Ram.5	15.60	3.86	23.70	15600	17.36	17.01	1.021	17.48
Ram.6	12.15	3.42	18.45	12150	16.90	16.71	1.011	17.09
Ram.7	5.00	2.50	7.60	5000	14.39	15.64	0.920	15.70
Ram.8	f'_{bl}	2.40	6.49	4270	13.31	15.51	0.858	15.45
$f'_{bl}=13.48$ MPa; $E_{bl}=13480$ MPa ; $c_{bl}=3.34$ MPa ; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Ram.9	12.15	3.42	18.45	12150	13.48	12.97	1.039	14.03
Ram.10	5.00	2.50	7.60	5000	11.21	12.26	0.914	12.64
Ram.11	4.27	2.40	6.49	4270	11.00	12.12	0.908	12.39
$f'_{bl}=10.93$ MPa; $E_{bl}=10930$ MPa ; $c_{bl}=2.71$ MPa ; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Ram.12	5.00	2.50	7.60	5000	11.14	10.08	1.105	10.73
Ram.13	4.27	2.40	6.49	4270	10.86	9.99	1.087	10.48
$f'_{bl}=6.74$ MPa; $E_{bl}=6740$ MPa ; $c_{bl}=1.67$ MPa ; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Ram.14	4.27	2.40	6.49	4270	6.43	6.49	0.991	7.33
$f'_{bl}=19.44$ MPa; $E_0=19440$ MPa; $c_{bl}=4.82$ MPa; $\phi_{bl}=33.50^\circ$								
Kha.1	7.36	2.80	11.18	7360	17.80	17.92	0.993	17.71
Kha.2	12.32	3.44	18.71	12320	17.40	18.80	0.926	18.52
Kha.3	21.20	4.58	32.20	21200	21.40	19.58	1.093	19.37

*Blokaların net kesit alanları üzerinden hesaplanan ortalama basınç mukavemetleri.

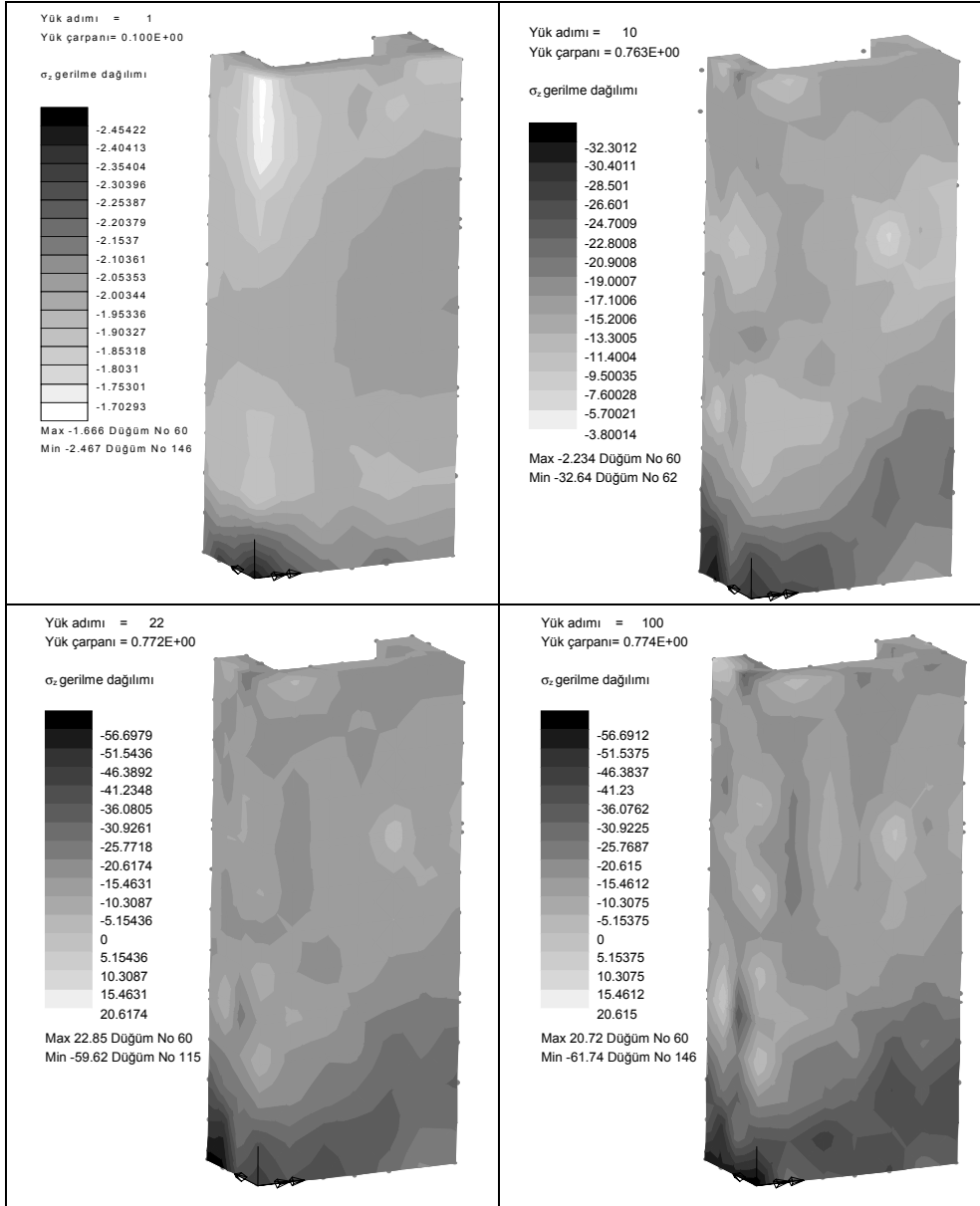
Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yığma Prizmalarının Sonlu Eleman Analizi



Şekil 8. Artan yük adımlarında prizmanın deforme şekilleri.

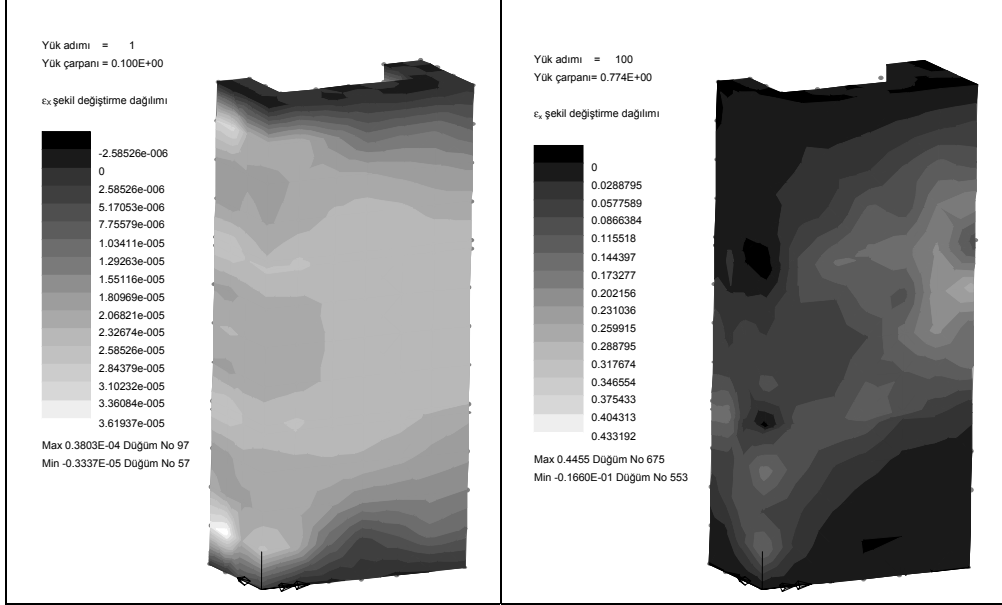


Şekil 9. Yükleme plağının bulunmadığı durumda değişik yük adımlarında prizmanın deforme şekilleri.

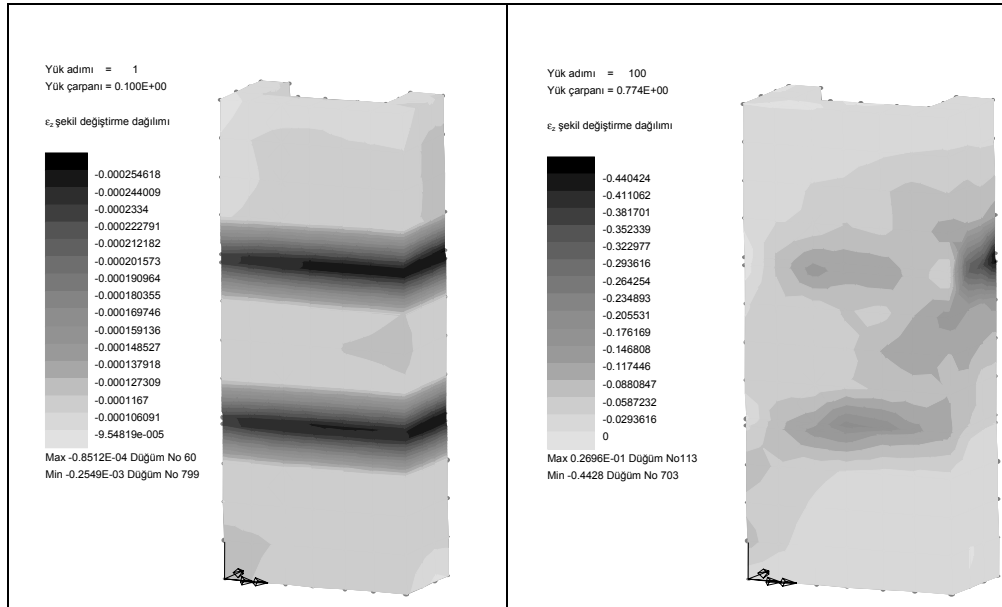


Şekil 10. Artan yükler altında σ_z gerilme dağılımı.

Eksenel Basınç Altında Beton Briket Yiğma Prizmalarının Sonlu Eleman Analizi

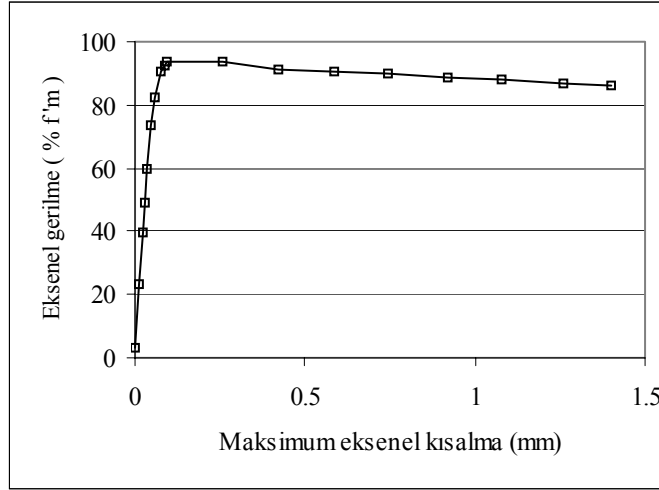


Şekil 11. Artan yükler altında ϵ_x şekil değiştirmesi dağılımı.

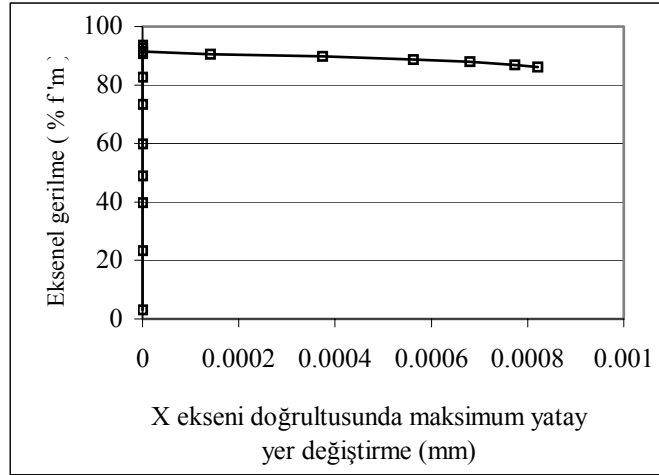


Şekil 12. Artan yükler altında ϵ_z şekil değiştirmesi dağılımı.

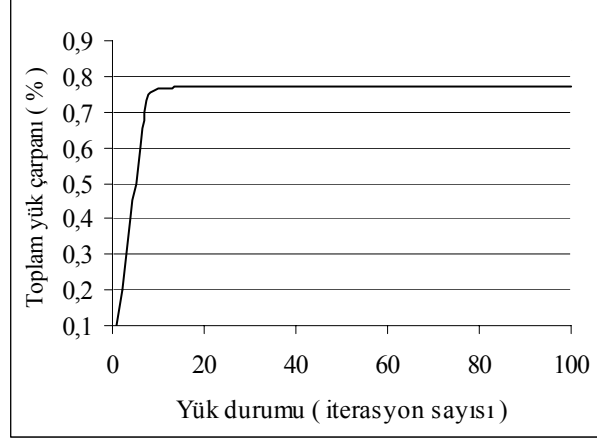
Şekil 13 ve Şekil 14 ise, aksenal kısalma ve yatay yer değiştirmelerin aksenal gerilme ile değişimini göstermektedir. Bu şekillerden davranışın maksimum yükün %80'ine kadar doğrusala yakın, bu yükten sonra ise hızla gelişen bir plastikleşme ve zayıflama olduğu gözlenmektedir. Şekil 15'de de bu plastikleşmeye paralel olarak giderek artan her yük artırımına ait iterasyon sayıları gösterilmiştir.



Şekil 13. Aksenal gerilme-maksimum aksenal kısalma eğrisi.



Şekil 14. X ekseninde maksimum yatay yer değiştirme ile aksenal gerilme eğrisi.



Şekil 15. Yükün yüzdesi ile iterasyon sayısı ilişkisi.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Drucker-Prager akma kriteri kullanılarak bindirmesiz örülmüş prizmaların lineer olmayan sonlu eleman analizleri gerçekleştirilmiştir. Beton blok ve harca ait kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri için bağıntılar önerilmiş ve bu bağıntılar, doğrusal olmayan sonlu eleman analizlerinde kullanılarak prizmaların kırılmaya yakın gerçek davranışları başarıyla incelenmiştir. Elde edilen sonlu eleman sonuçları temel alınarak değişik mukavemete sahip olan blok ve harçtan örülecek prizmaların basınç mukavemetleri için bir bağıntı önerilmiştir. Prizmaların taşıma güçleri için türetilen bağıntı (10) kullanılarak yığma duvarların eksenel yük taşıma gücü kapasiteleri pratik ve elastik yöntemlere göre daha gerçekçi bir şekilde hesaplanabilir.

Kaynaklar

- [1] Ganesan, T. P. ve Ramamurthy, K, "Behavior of Concrete Hollow-Block Masonry Prisms Under Axial Compression", Journal of Structural Engineering, ASCE, 118(7), 1751-1769, 1992.
- [2] Building Code Requirements for Masonry Structures, ACI 530-92/ASCE 5-92/TMT 402-92, 1992.
- [3] British Standard 5628: Part 1: "Code of Practice for Use of Masonry", 1992.
- [4] American Society of Testing and Materials: "Compressive Strength of Masonry Assemblages", E 447, 1992.
- [5] Drysdale, R. G., Hamid, A. A. ve Beker, L. R., "Masonry Structures: Behavior and Design" Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hill, 1994.
- [6] Masonry in Building, Australian Standard 3700-1988, Standards Association in Australia, SAA, North Sydney, N. S. W., 1988.
- [7] Masonry Design for Buildings, Canadian Standards Association, CSA Standard CAN3-s304-M84, CSA, Rexdale, Ontario, 1984.

- [8] Boult, B. F., "Concrete Masonry Prism Testing" ACI Journal, 76, 513-535, April 1979.
- [9] Paulay, T., Priestley, M.J.N., "Earthquake Resistant Design Reinforced Concrete Construction Building, Reinforced Concrete-Earthquake Effects", New York-Wiley, 1992.
- [10] Sahlin, S. , " Structural Masonry", Practice-Hill Inc.,1971.
- [11] Reese, R. C., Martin, I. ve Thürlimann, B., "Structural Design of Tall Concrete and Masonry Buildings", American Society of Civil Engineers, 1978.
- [12] Sturgeon, G. R., Longworth, J. and Warwaruk, J., "An Investigation of Reinforced Concrete Block Masonry Columns", Department of Civil Engineering Edmonton, The University of Alberta, 1980.
- [13] Richart, F. E., Woodworth, P. M., and Moorman, R. B., "Strength and Stability of Concrete Masonry Walls", Engineering Experiment Station Bulletin No.251, University of Illinois, Urbana, 1932.
- [14] Köksal, H. O., and Karakoç, C., "An Isotropic Damage Model for Concrete", Materials and Structures, 32, 611-617, 1999.
- [15] Maher, A. ve Darwin, D., "Mortar Constituent of Concrete in Compression", ACI Journal, 79, 100-109, 1982.
- [16] Cheema, T. S. and Klinger, R. E., "Compressive Strength of Masonry Prisms", ACI Journal, 33(1), 88-97, 1986.
- [17] Chen, W. F. and Saleeb, A. T., "Constitutive Equations for Engineering Materials", Vol.1, Elasticity and Modeling, New York, N. Y. Wiley, 1982.
- [18] Chen, W. F., "Plasticity in Reinforced Concrete", New York, N. Y. McGraw-Hill Company, 1982.
- [19] Chen, W. F. and Han, D. J., "Plasticity for Structural Engineers", New York, N. Y. Springer-Verlag, 1987.
- [20] Ramamurthy, K., Sathish, V. ve Ambalavan, R., "Compressive Strength Prediction of Hollow Concrete Block Masonry Prisms", ACI Structural Journal, 97(1), 61- 67, 2000.
- [21] Khalaf, F. M., Hendry, A. W., and Fairbairn, D. R., "Study of the Compressive Strength of Blockwork Masonry", ACI Structural Journal, 91, 367-375, 1994.
- [22] FEA Ltd, LUSAS Finite Element System, UK, 2001.
- [23] Yıldırım, H., "Yığma Yapı Elemanları İçin İzotropik Hasar Modeli Geliştirilmesi ve Sonlu Eleman Uygulamaları" Doktora Tezi Denetleme Raporu 2, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2002.
- [24] Hamid, A. A. ve Chukwunenye, O., "Compression Behavior of Concrete Masonry Prism", Journal of Structural Engineering, ASCE, 112(3), 605-613, 1986.