

İNDİREKT SINIR ELEMAN YÖNTEMİYLE YIĞMA YAPILARDA HARÇ KALINLIĞI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

Bahattin KİMENÇE (ORCID:0000 0002 4710 7206)*

İnşaat Mühendisliği Bölümü, İnşaat Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

*Geliş / Received: 12.10.2019
Kabul / Accepted: 25.11.2019*

ÖZ

Bilindiği gibi yığma yapılar taş veya tuğla gibi esas taşıyıcı malzemelerle birlikte, bu malzemeler arasında yapıştırıcı görevi gören harç malzemesinden oluşmaktadır. Genel olarak tuğla, taş ve harç malzemelerinin mekanik özellikleri birbirinden farklıdır. Mekanik özellikleri farklı iki malzemenin heterojen olarak birleştirilmesi ile taşıyıcı duvarlar oluşmaktadır. Fakat oluşturulan bu heterojen yapı elemanları genel olarak hesap kolaylığı için homojen kabul edilmektedir. Bu çalışmada, yığma yapılarıdaki farklı derz kalınlıklarının tuğla boyutuna oranının, indirekt sınır eleman yöntemiyle yığma yapının davranışına etkileri incelenmiştir. Farklı tipik yığma duvarlarda farklı malzeme bilgileri kullanılarak yapı davranışındaki değişimler indirekt sınır eleman yöntemi kullanılarak araştırılmıştır. Bu farklılıklar incelenerek, izotrop veya anizotrop modellemenin ve harç kalınlığının, duvarlarda oluşan gerilmelere etkisi mukayese edilerek, sonuçlar yorumlanmıştır. Bu sonuçlara göre yatay derzdeki harç kalınlığının artması, anizotrop model ile çözümün etkisini artırmıştır.

Anahtar kelimeler: mikro model, yığma yapılar, harç kalınlığı değişimi, indirekt sınır eleman yöntemi,

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF MORTAR THICKNESS IN MASONRY STRUCTURES BY INDIRECT BOUNDARY ELEMENT METHOD

ABSTRACT

As is known, the masonry structures, together with the main structure materials such as stone or brick, consist of mortar material which serves as the adhesive between these materials. In general, the mechanical properties of brick, stone and mortar materials are different. The structure walls are formed by heterogeneous joining of two materials with different mechanical properties. However, these heterogeneous structural elements are generally considered homogeneous for ease of calculation. In this study, the effects of different joint thicknesses on the masonry structure were investigated. Variations on the structural behavior of different typical masonry walls have been investigated by using the indirect boundary element method. By examining these differences, the effect of isotropic or anisotropic modeling on the result, the effect of mortar thickness on the result was compared and the results were interpreted.

Keywords: micro model, masonry structure, mortar thickness change, indirect boundary element method

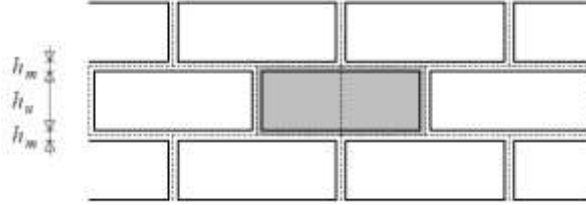
*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.:+90 212 285 65 85; e-mail / e-posta:kimence@itu.edu.tr

1. GİRİŞ

Yığma yapıların incelenmesi, diğer yapılardan farklı olarak, yapıyı oluşturan malzemelerin mekanik özellikleri ayrı ayrı göz önüne alınarak yapılmalıdır. Yığma yapılarda düşey yüklerden oluşan etkiler, genellikle taşıyıcı duvarın düşey taşıma kapasitesinden daha azdır. Dolayısıyla yığma yapılarda oluşan hasarlar genelde yatay yüklerden oluşmaktadır. Yığma yapılarda yatay yükler altında taşıyıcı duvarlarda oluşabilecek çatlaklar hakkında fikir yürütülebilmesine rağmen, çatlağın derzde mi yoksa tuğla veya taşa mı oluşacağı kesin olarak bilinemez. Bu belirsizliğin birçok değişik nedeni olabilir. Çatlağın oluşumunu kullandığı derz malzemesi, derz kalınlığı, derz işçiliğinin kalitesi, kullanılan tuğla/taş malzemesinin, ebatları, tuğla/taşın mekanik özellikleri gibi birçok değişken etkileyebilir.

Yığma yapıların modellenmesindeki asıl amaç, mümkün olduğunca gerçek yapıya yakın davranan bir modelin oluşturulmasıdır. Yığma yapı tuğla ve harçtan oluşan kompozit bir malzemedir. Bileşenlerini tek tek göz önünde bulundurarak mikro-modelleme daha gerçekçi olur, ancak büyük bir yapı için pratik değildir. Bu problemin üstesinden gelmek için, makro-model, bileşenlerinin malzeme özellikleri, mikro-modelde kompozit malzeme davranışı kullanılarak anizotropik bir süreklilik elde edilmektedir [1], [2], [3].

Şekil 1'de gösterilen duvar yapımında yatay ve dikey harç derzlerinin varlığı, duvarın anizotropik olmasına neden olmaktadır. Hem harç kalınlığının değişimi, hem de farklı tuğla duvar yapıları için, anizotropik model ile çözümün göz önünde bulundurulması gereğini arttırmaktadır.



Şekil 1. Tipik yığma duvar modeli

Burada h_m : harç kalınlığı h_u : tuğla kalınlığıdır. Laurenço [1] (2004) tarafından yapılan çalışmada, tuğlalar arasında oluşan düğüm noktalarında kullanılacak yay sabitleri

$$k_n = \frac{E_t \times E_h}{t_h \times (E_t - E_h)}, \quad k_s = \frac{G_t \times G_h}{t_h \times (G_t - G_h)} \quad (1)$$

denklemlerinden elde edilerek çözümler yapılmıştır. Ayrıca makro modele geçiş yapabilmek için yapılan bazı çalışmalarda ve deneylerde kullanılan elastisite modülü ise

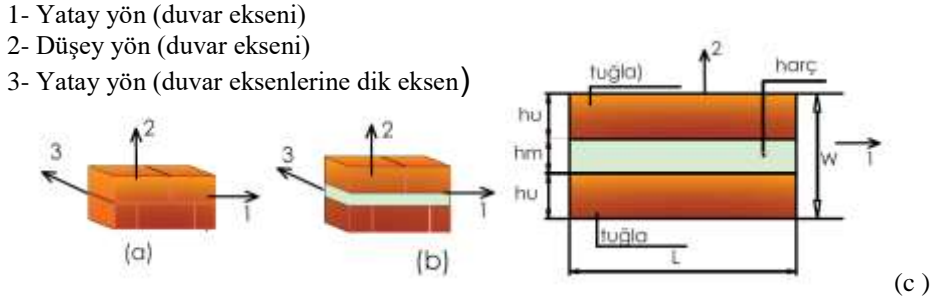
$$E_k = \frac{(t_h + t_t) \times \rho_k}{(t_h/E_h) + (t_t/E_t)} \quad (2)$$

denklemleri ile verilmiştir.

Bu denklemlerde E_k , kompozit malzeme için eşdeğer elastisite modülü, t_h , harç kalınlığı, t_t , tuğla kalınlığı, E_h , harç elastisite modülü, E_t , tuğla elastisite modülüdür. ρ_k ise tuğla ile harç arasındaki aderans için 0 -1 arasında değişen bir katsayıdır.

Bu çalışmada Şekil 2 de gösterildiği gibi harç kalınlığı değişimi incelenmiştir. Tuğla ve harçta lineer elastik kabüller yapılarak harç kalınlığı/tuğla kalınlığı oranlarına bağlı olarak elastisite sabitleri elde edilmiştir.

İNDİREKT SINIR ELEMAN YÖNTEMİYLE YIĞMA YAPILARDA HARÇ KALINLIĞI ETKİSİNİN İNCELENMESİ



Şekil 2. (a) yatay ve dikey harç kalınlığı sabit, (b) yatay harç kalınlığı artırılmış (c) mikro model

Tuğla ile örülmüş duvar yapısının örneği, harç/ tuğla kalınlık oranının 1'e yakın olduğu İstanbul'da bir minarenin restorasyonu sırasında çekilen fotoğrafta (Şekil 3'de) gösterilmiştir [4]. Bu nedenle derz kalınlığı etkisinin araştırılması gerektiği kanaatine varılmıştır. Şekil 3'te de görüldüğü gibi düşeyde derz kalınlığı artmış olup, yatay derz kalınlığı artmamıştır. Tuğla ve harç farklı iki malzeme olduğundan, gerilme- şekil değiştirme bağıntıları kullanılarak mikro model oluşturulmuştur. Mikro modelden makro modele geçerken harç kalınlığı / tuğla kalınlığı oranının etkisi araştırılmıştır. Makro modelde anizotrop malzeme özellikleri kullanılarak, indirekt sınır eleman yöntemiyle tipik duvarlarda gerilmeler hesaplanmıştır.



Şekil 3. Bir minarenin restorasyonu aşamasında çekilen fotoğrafı

2. KOMPOZİT MALZEMEDE MİKRO MODEL

Elastik malzemede gerilme şekil değiştirme bağıntılarında; genel olarak 36 adet bağımsız malzeme sabiti vardır. Bu malzeme sabitleri anizotrop malzemede 21 adete, monoclin malzemede 13 adete (z ekseni simetrik), ortotrop malzemede 9 adete, enine izotrop malzemedeta 5 adete ve izotrop malzemede 2 adete düşmektedir.

Düzlem gerilme durumu için, enine izotrop malzemede gerilme – şekil değiştirme bağıntılarının, 4 adet bağımsız malzeme sabiti vardır ($E_1, E_2, \nu_{12}, G_{12}$). Enine izotrop malzemede gerilme şekil değiştirme bağıntıları

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E_1} \sigma_1 - \frac{\nu_{12}}{E_1} \sigma_2, \quad \varepsilon_2 = \frac{1}{E_2} \sigma_2 - \frac{\nu_{12}}{E_1} \sigma_1, \quad \gamma_{12} = \frac{\tau_{12}}{G_{12}} \quad (3)$$

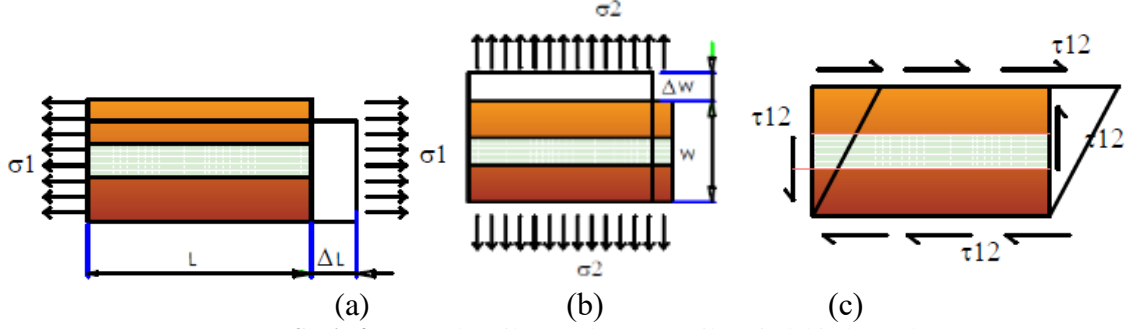
şeklinde dir. Bu malzeme sabitlerinin hesabı aşağıda kısaca özetlenmiştir.

2.1. E_1 Elastisite Modülünün Hesabı

E_1 elastisite modülü, 1 yönündeki σ_1 yüklemesinde (Şekil 4a) şekil değiştirmelerin (uzama oranları $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$) eşitlikleri $\varepsilon_1 = \varepsilon_m = \varepsilon_u$ koşulundan (geometrik uygunluk koşulu) elde edilmektedir. Yatay yöndeki denge denklemlerinde toplam kuvvet F_1, F_u tuğlanın taşıdığı kuvvet, F_m harcın taşıdığı kuvvet, A_1 toplam kesit alanı, A_u tuğlanın kesit alanı, A_m harcın kesit alanı, V_u tuğla alanının toplam alana oranı, V_m harç alanının toplam alana oranı ($V_u=A_u/A_1, V_m=A_m/A_1$), σ_1 , 1 eksenindeki gerilme, σ_u tuğladaki gerilme σ_m harçtaki gerilmedir. ΔL

B. KİMENÇE

elemanın uzama miktarı, ΔW elemanın genişleme miktarı, W elemanın toplam genişliği, L elemanın toplam uzunluğudur.



Şekil 4. Normal gerilme ve kayma gerilmesindeki elemanlar

Yatay yöndeki denge denklemi $F_1=F_m+F_u$, gerilme şekildeğiştirme bağıntıları $\sigma_i=E_i\varepsilon_i$ ve gerilme $F_i=\sigma_iA_i$ bağıntıları kullanılarak

$$E_1\varepsilon_1A_1 = E_u\varepsilon_uA_u + E_m\varepsilon_mA_m , \quad E_1 = E_uV_u + E_mV_m \quad (4)$$

şeklinde 1 yönündeki elastisite modülü hesaplanabilir.

2.2. E_2 Elastisite Modülünün Hesabı

E_2 malzeme sabitinin hesaplanması için, 2 yönünde birim yükleme σ_2 (Şekil 4b) yüklemesinde malzemelerdeki gerilmelerin süreklilik koşulu $\sigma_2 = \sigma_u = \sigma_m$ ve yer değiştirmelerin toplamı $\Delta_2 = \Delta_u + \Delta_m$ dikkate alınarak

$$\varepsilon_2W = \varepsilon_uWV_u + \varepsilon_mWV_m , \quad \frac{1}{E_2} = \frac{V_u}{E_u} + \frac{V_m}{E_m} \quad (5)$$

eşitlikleri yazılmıştır. Her malzemenin genişleme miktarlarına bağlı olarak, toplam genişleme miktarı ve gerilme-şekil değiştirme eşitliği kullanılarak 2 yönündeki E_2 elastisite modülü elde edilir.

2.3. ν_{12} Poisson Oranının Hesabı

1 yönündeki σ_1 yüklemesindeki (Şekil 4a) deformasyonların oranı koşulu $\nu_{12} = -\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$ ve düşeydeki yer değiştirmelerin toplamı $\Delta_w = \Delta_{uw} + \Delta_{mw}$ şeklinde göz önüne alınarak, Poisson oranı aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\varepsilon_1\nu_{12}W = \varepsilon_uWV_u\nu_u + \varepsilon_mWV_m\nu_m , \quad \nu_{12} = \nu_uV_u + \nu_mV_m \quad (6)$$

2.4. G_{12} Kayma Modülünün Hesabı

Kompozit malzemede kayma gerilmesinden dolayı (Şekil 4c) deformasyonların toplamı koşulu, toplam genişleme miktarı $\gamma = \frac{\Delta L}{W}$, $\Delta L = \Delta_u + \Delta_m$ göz önüne alınarak, G_{12} kayma modülü aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\gamma W = WV_u\gamma_u + WV_m\gamma_m \quad \frac{1}{G_{12}} = \frac{V_u}{G_u} + \frac{V_m}{G_m} \quad (7)$$

3. MİKRO MODELDEN MAKRO MODELE GEÇİŞ

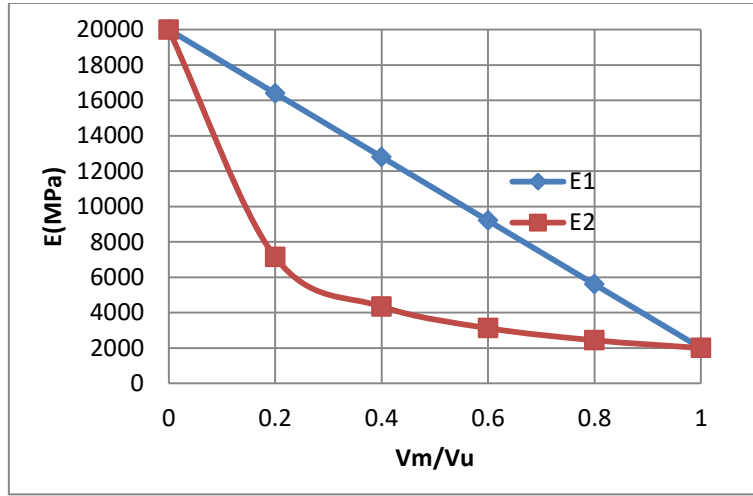
Mikro modelden makro-modele geçişte, yukarıda elde edilen malzeme sabitleri kullanılarak, gerçek yapıda anizotropik model ile hesaplar yapılabilir. Bu çalışmada mikro modellerden elde edilen (4), (5), (6), (7) eşitlikleri kullanılarak, harç elastisite modülü 2,000MPa, tuğla elastisite modülü 20,000MPa, harç Poisson oranı

İNDİREKT SINIR ELEMAN YÖNTEMİYLE YIĞMA YAPILARDA HARÇ KALINLIĞI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

0.25 ve tuğla Poisson oranı 0.15 alınarak hesaplar yapılmıştır. 6 farklı harç/tuğla kalınlık oranlarına göre anizotropik malzeme sabitleri elde edilmiştir. Makro modellerin malzeme verilerini içeren malzeme sabitleri, E_1 , E_2 , ν_{12} ve G_{12} değerleri Tablo 1 de verilmiştir [5].

Tablo 1. Harç kalınlığının toplam kalınlık oranına göre malzeme katsayıları

Sabit	1	2	3	4	5	6
V_u	1.0	0.8	0.6	0.4	0.2	0.0
V_m	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
E_1	20000	16400	12800	9200	5600	2000
E_2	20000	7143	4348	3125	2439	2000
ν_{12}	0.15	0.17	0.19	0.21	0.23	0.25
G_{12}	8696	2924	1757	1256	978	800



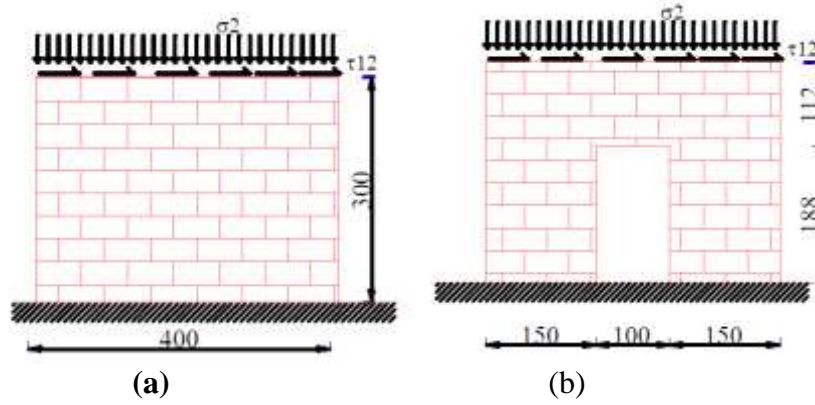
Şekil 5. Tuğla kalınlığı/harç kalınlığı değişimine göre elastisite modüllerinin değeri

Yatay elastisite modülü E_1 , düşey elastisite modülü E_2 ' ye eşit veya büyüktür. E_1 lineer olarak değişmekte olup E_2 ise parabol olarak değişmektedir.

İzotrop- anizotrop karşılaştırmaları için tipik duvarlar göz önünde bulundurulmuştur. Bunun için 4.0m genişliğinde ve 3.0m yüksekliğinde, 0.25m kalınlığında tipik duvarlar düşünülmüştür (Şekil 6). Duvardaki sınır koşullar olarak, duvarların tabanı ankastre, kenarları ve üst kısım ise serbest olarak modellenmiştir. İzotropik ve anizotropik çözümler indirekt sınır eleman yöntemiyle yapılmıştır. 1.0MPa normal gerilme, 1.0MPa kayma gerilmesi duvarın üst yüzeyine yükleme olarak uygulanmış olup, izotropik ve anizotropik çözümlerin sonuçları duvarın köşegeninde karşılaştırılmıştır.

İzotropik duvar modelleri, E_2 değeri göz önüne alınarak modellenmiş olup, anizotropik duvar modelleriyle karşılaştırmak için kullanılmıştır. Duvar boşluğu / toplam alan oranına göre iki farklı tip duvar göz önüne alınmış olup, duvar boşluk oranı değerleri sırasıyla (a) ve (b) tipi duvarlar için sıfır ve 0.185 tir. Anizotropik modelde malzeme değerleri olarak $E_1=9200$ MPa, $E_2=3125$ MPa, $\nu_{12}=0.21$, $G_{12}=1256$ MPa değerleri alınmıştır. İzotrop modelde ise $E_1= E_2= 3125$ MPa, $\nu_{12}= 0.16$ değerleri alınmıştır.

Duvar toplam alanı/boşluk alanı oranına göre, duvar köşegeninde oluşan kayma gerilme değerleri hesaplanmıştır. Tuğla kalınlığı/harç kalınlığı oranı olarak, $V_m / V_u = 0.6 / 0.4$ değerlerine göre hesaplar yapılmıştır.



Şekil 6. Tipik duvar modelleri

4. İNDİREKT SINIR ELEMAN YÖNTEMİ

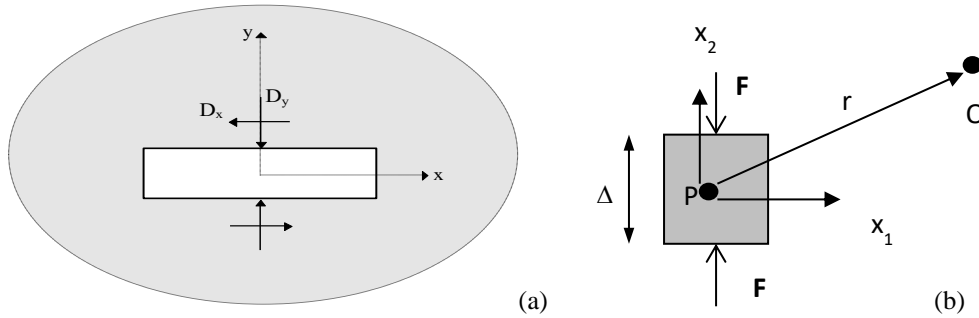
Bu çalışmada indirekt sınır eleman yönteminden, yer değiştirme süreksizliği yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemde, izotrop ve anizotrop ortamda yer değiştirme alan fonksiyonu elde edildikten sonra, yer değiştirme süreksizliği tesir fonksiyonları elde edilmiştir [6]. Bunun için herhangi bir elemanda karşılıklı iki yüzey gözönüne alınarak, bu yüzeylerde yer değiştirme süreksizlikleri hesaplanmıştır (Şekil 7 a, b). Bunlar her iki yüzeydeki yer değiştirme farkları olarak

$$D_i = u_i(x, 0_-) - u_i(x, 0_+) \quad (8)$$

şeklinde yazılabilir.

Yer değiştirme süreksizlikleri tesir fonksiyonları sonsuz veya yarı –sonsuz düzlemde eşit ve zıt yönlü kuvvetlerin süperpozisyonuyla bulunabilir. Bu nedenle F_j tekil kuvvet, U_{ij} temel çözümler olmak üzere yer değiştirme fonksiyonu

$$u_i(x) = F_j(\xi)U_{ij}(x, \xi) \quad (9)$$



Şekil 7. (a)Yer değiştirme süreksizliği, (b) tekil kuvvet yüklemesi

şeklinde yazılabilir. Bu bağıntı kullanılarak sonsuz bölgede kalınlığı Δ olan bir elemanda karşılıklı iki yönde tekil kuvvetler uygulandığında yer değiştirme alan fonksiyonu

$$u_i(x, y) = -\frac{\partial U_{ij}}{\partial y} F_j \Delta \quad (10)$$

şeklinde temel çözümlerin kuvvet yönündeki türevleri cinsinden elde edilir. Burada $F_j \Delta$ dipol gerilmesi olarak isimlendirilebilir.

Anizotrop ortamda elemanlar her zaman elastik katsayılarla paralel olmadığından, elemanın elastik sabitler doğrultusundaki eksenlere göre düzenlenmiş olup, türevler ve integraller bu doğrultuda alınmıştır. Buna göre, global eksenlerden farklı doğrultuda eleman alınarak, temel çözümlerin söz konusu doğrultudaki koordinatlar

İNDİREKT SINIR ELEMAN YÖNTEMİYLE YIĞMA YAPILARDA HARÇ KALINLIĞI ETKİSİNİN İNCELENMESİ

cinsinden yazılıp ve bu koordinatlar doğrultusundaki türevleri alınarak yer değiştirme süreksizliklerinden oluşan tekil çözümler elde edilmiştir. Her hangi bir elemanda bu çözümlerden elde edilen sonuçlar tüm sınır boyunca elemanlar dikkate alınarak tüm sisteme ait sınırlarda gerilmeler ve yer değiştirmeler aşağıdaki denklemlerden elde edilmişlerdir.

$$\sigma_{sD}^i = \sum_{j=1}^N (A_{ss}^{ij} D_s^j + A_{sn}^{ij} D_n^j) \quad \sigma_{nD}^i = \sum_{j=1}^N (A_{ns}^{ij} D_s^j + A_{nn}^{ij} D_n^j) \quad (11)$$

$$u_s^i = D_s^j B_{ss}^{ij} + D_n^j B_{sn}^{ij} \quad u_n^i = D_s^j B_{ns}^{ij} + D_n^j B_{nn}^{ij} \quad (12)$$

Burada A^{ij} ve B^{ij} katsayılar temel çözümlerin integrasyonundan elde edilmiştir. Bu denklemlerdeki D_i sınırdaki yer değiştirme süreksizlikleri hesaplandıktan sonra, sınırlarda ve iç bölgelerdeki yer değiştirmeler ve gerilmeler hesaplanmıştır.

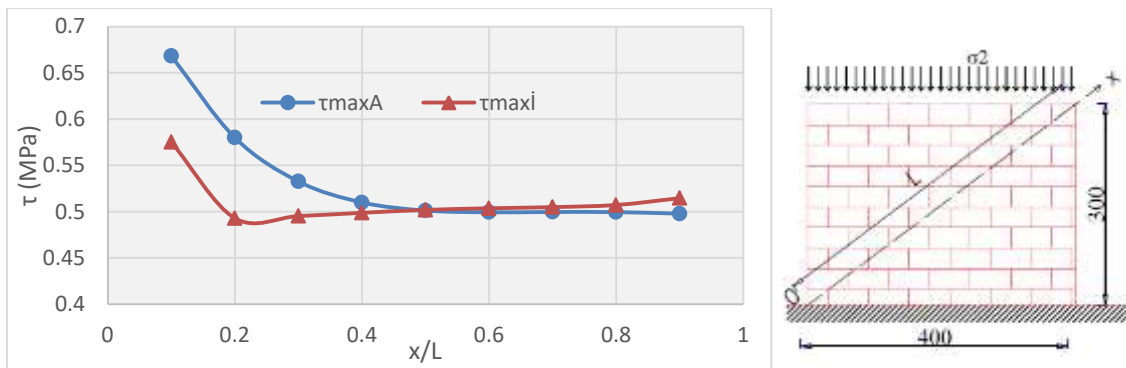
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu çalışmada mikro model duvarlar anizotropik sürekli duvar modellerine homojenize edilmiş ve malzeme özellikleri Tablo 1 ve Şekil 5'te verilmiştir. Tipik duvarların köşegenlerindeki kayma gerilmelerin değişimi Şekil 8, 9, 10'da verilmiştir. Bu şekillerde A indisi anizotrop duruma ait İ indisi izotrop duruma aittir. Yatay eksen köşegendeki uzunluğun toplam köşegen uzunluğuna oranıdır. Düşey eksen ise köşegendeki kayma gerilmesidir.

Harç/tuğla kalınlık oranının değişimi incelendiğinde, yatay yönde E_1 her zaman daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle, anizotropik modelin yatay yönde rijitliği, izotropik karşılığı ile karşılaştırıldığında her zaman daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır.

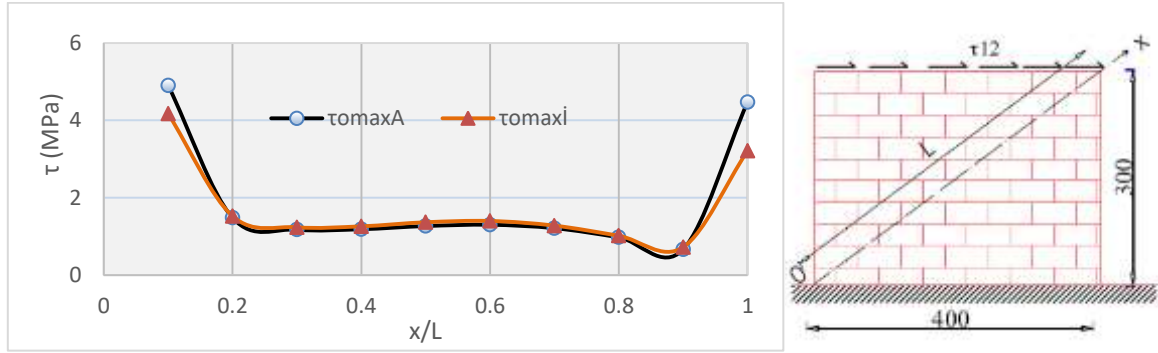
Yığma yapı hasarlarının çoğunun yanal yüklemeye nedeniyle meydana geldiğini hatırlatarak, yatay yöndeki rijitliğin araştırılması önemlidir. Şekil 5'te görüldüğü gibi harç kalınlığı/tuğla kalınlığı oranı, 0.2-0.8 arlığında yatay ve düşey yöndeki elastisite modülleri arasındaki fark ta artmıştır. Bu nedenle tipik duvarların anizotropik model ile çözülmesiyle harç kalınlığının etkisi görülmüştür.

Duvar yapıları, (a), (b) 'nin anizotropik ve izotropik duvar verileri kullanılarak köşegendeki kayma gerilmeler değerlendirilmiştir. İzotrop çözüm yöntemiyle yapıldığı taktirde kritik köşe noktalarında kayma gerilmelerinin, anizotrop yaklaşımına göre daha az olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 8, 9, 10' da görüldüğü gibi köşegen doğrultusunun başlangıç ve bitiş noktalarında, anizotrop ve izotrop model sonucuna göre kayma gerilmelerinin değiştiği görülmüştür. Genellikle yatay yük etkisindeki yığma duvarlarda çatlaklar, köşegen doğrultusunun başlangıç ve bitiş noktalarından başlamaktadır. Bu nedenle anizotrop kabulü ile çözümün önemli olduğu anlaşılmaktadır.

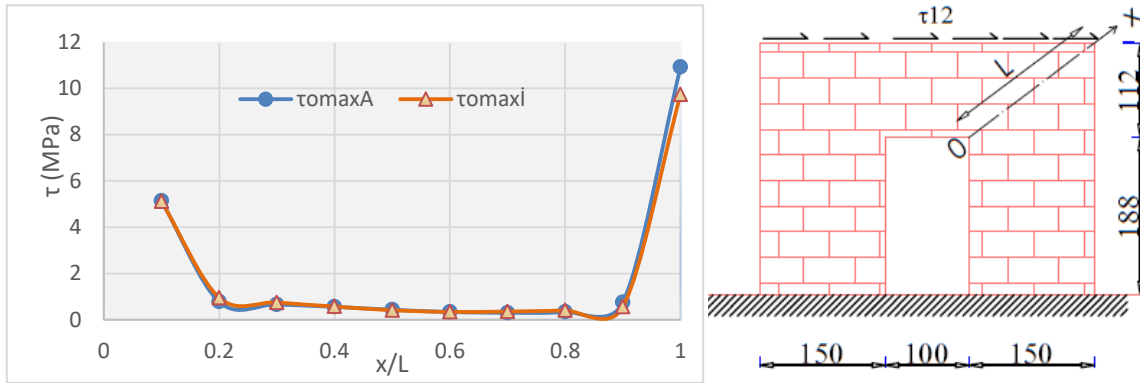


Şekil 8. a tipi duvarda düşey yük etkisi altında köşegendeki kayma gerilmeler

B. KİMENÇE



Şekil 9. a tipi duvarda yatay yük etkisi altında köşegendeki kayma gerilmeler



Şekil 10. b tipi duvarda yatay yük etkisi altında köşegendeki kayma gerilmeler

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada yığma yapılarda yatay harç kalınlığının etkisi, indirekt sınır eleman yöntemiyle incelenmiştir. Yatay harç kalınlığı ile tuğla kalınlığı eşit olduğu takdirde, yatay elastisite modülü/düsey elastisite modülü oranı maksimum değere ulaşmaktadır. Bu nedenle yığma duvar modelinde anizotrop kabulüyle modellenmesi önem kazanmaktadır.

Duvar köşegenlerinin başlangıç ve bitiş noktalarında kayma gerilmeleri maksimum değerlere ulaşmaktadır. Anizotrop model çözümündeki kayma gerilmeleri, izotropik model çözümündeki kayma gerilmelerine göre daha büyük olduklarından, anizotrop model kabulüyle çözüm yapmanın daha emniyetli olacağı sonucuna varılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] LOURENCO, P.B., Current Experimental and Numerical Issues in Masonry Research, In Proceedings of The International Workshop on Masonry Walls and Earthquakes, Universidade do Minho, Guimaraes, Portugal, 2004.
- [2] CASTORI, G., Strengthening of Masonry Elements, Lambert Academic Publishing, Saarbrüchgen, Germany, 2012.
- [3] CHAVLA, K. K., Composite Materials, Science and Engineering, Springer, New York, USA, 2012.
- [4] KİMENÇE, B., DEMİRKAN, S., ERGUN, H., "Analysis of The Effects of Mortar Thickness and Wall Building Technique in Masonry Structures Using An Anisotropic Model", Applied Mechanics and Materials, 847, 146-155, 2016.
- [5] KİMENÇE, B., "Stress Analysis of The Effects of Mortar Thickness in Masonry Structures Using an Anisotropic Model" 4th World Congress on Civil, Structural and Environmental Engineering (CSEE'19), ICSECT19.128, Rome, Italy, 2019.
- [6] KİMENÇE, B., ERGÜVEN, M. E., "Influence Functions of The Displacement Discontinuity Method for Anisotropic Bodies", Comput Mech, 36(6), 484-494, 2005.