

BOŞLUKLU PANEL DUVARIN GERİLME ANALİZİ

Pınar ÖZDEMİR ÇAĞLAYAN (ORCID:0000-0002-7969-7706)¹
Hale ERGÜN (ORCID:0000-0002-6851-5356)^{1,*}

¹İTÜ İnşaat Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., Mekanik Birimi, Ayazağa Kampüsü, 34469 Maslak, İstanbul, Türkiye

Geliş / Received: 20.09.2019
Kabul / Accepted: 22.11.2019

ÖZ

Bu çalışmada, yüksek kiriş gibi çalışan bir duvar panelde boşluk ve oyuk açılması durumunda gerilme dağılımındaki değişiklikleri gözlemek amaçlanmıştır. Araldit levhadan kesilen 1/14 ölçekli panel duvar modelinin düzgün yayılı yük altında Polariskop cihazı ile izokromat resimleri elde edilmiştir. Önce dolu gövdeli numune, sonra numunenin ortasına daire boşluk açılarak ve daha sonra daire boşluğun her iki yanına oyuklar eklenerek üç adet deney gerçekleştirilmiştir. Sonlu eleman model sonuçları, deneyler ile karşılaştırılarak doğrulanmıştır. Panel duvarın tam ortasına açılan daire boşluğun, duvarın genel davranışını etkilemediği fakat lokal olarak daire sınırında gerilme yığılma katsayısının 2.1 olduğu gözlenmiştir. Oyukların açılması durumunda ise panelin genel gerilme dağılımı önemli ölçüde değişmiş ve oyukun alt bölgesinde yatay gerilmeler çekmeden basınca işaret değiştirmiştir.

Anahtar kelimeler: panel duvar, boşluk, fotoelastisite, deney, gerilme yığılması

STRESS ANALYSIS OF A PANEL WALL WITH OPENING

ABSTRACT

The stress redistribution of a panel wall due to openings was investigated in this study. Isochromatic pictures of 1/14 scaled specimen, that was cut out from an araldite sheet, were recorded under uniformly distributed load in a Polariscope device. First experiment was conducted on the solid specimen, then repeated for the one with circle opening, finally for the one with additional horizontal cavities at the opposite sides of the circle opening. Finite element model results were post processed in order to compare with the experiments and resulted in good agreement. Presence of a circle opening at the middle of the panel wall did not change the whole wall behavior but locally the stress concentration factor was 2.1 around the hole. Opening additional cavities has changed the panel stress distribution extensively, e.g. the horizontal stress has changed from tension to compression at the bottom panel region.

Keywords: panel wall, opening, photoelasticity, experiment, stress concentration

1. GİRİŞ

Kolonlar üzerine inşa edilmiş betonarme duvar panel uygulamaları, alt katı otopark, depo, dükkan, vs olarak sonradan değiştirilen perde kalıp yapılarında ve sanayi yapılarında karşımıza çıkmaktadır. Ayrıca, deprem tehlikesi az olan Doğu Bloku ülkelerinde sıklıkla rastlanan bir uygulamadır. Deprem bölgesi olan Türkiye’de Bina

*Corresponding author / Sorumlu yazar. Tel.:0 212 285 65 71 ; e-mail / e-posta: ergunh@itu.edu.tr

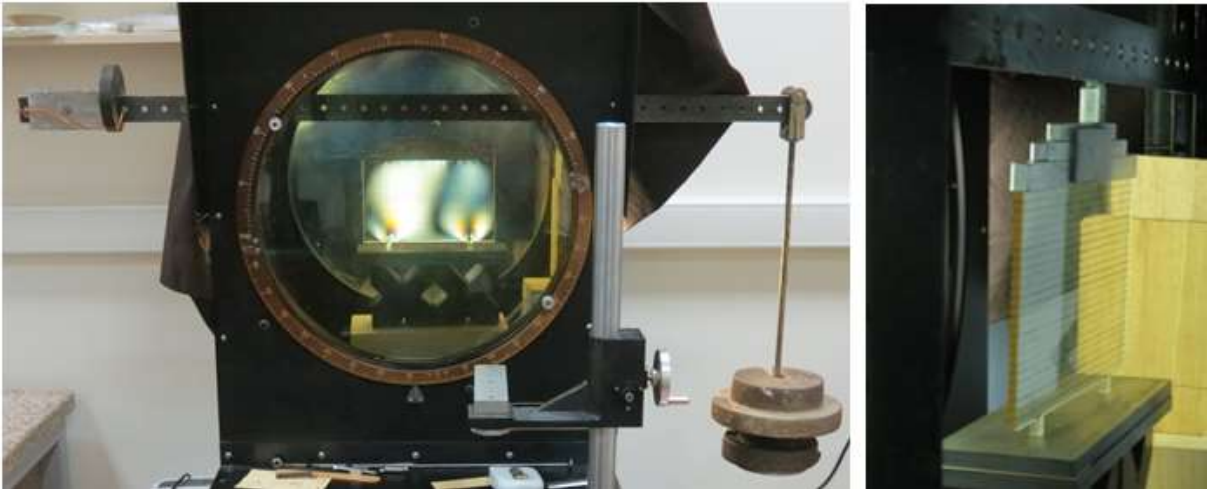
Deprem Yönetmeliğine göre, B3 türü düzensizlik olarak tanımlanmış bu sistemlerde üst taraftaki perdenin altta kolonlara oturtulmasına hiçbir zaman izin verilmez [1]. Bu şekilde tasarlanmış veya değiştirilmiş bir taşıyıcı sistemde, panel duvarın bir perde görevi görmesi artık beklenemez ve bir yüksek kiriş gibi davrandığı düşünülür. Kiriş açıklığının yüksekliğine oranı kiriş narinliği olarak tanımlanır ise, homojen elastik malzemeli düşeyde düzgün yayılı yük altında basit mesnetli bir kiriş, narinliği 2 den az olması durumunda, kiriş yüksekliği boyunca şekil değiştirme ve gerilme dağılımı artık doğrusal olmamakta ve klasik kiriş yerine yüksek kiriş davranışı göstermektedir [2]. Kolonların üzerine kurulmuş yüksek tank veya silo gövdesinin ve uygun geometrisi olması durumunda viyadük ayakları üzerine konulan kirişin davranışı buna örnek olarak sayılabilir. Çeşitli nedenlerle, yüksek kirişlerde bir boşluk ve oyuk olması durumunda, kirişteki davranış değişikliğinin anlaşılması donatı düzeni açısından önemlidir. Betonarme yüksek kirişlerle ilgili yapılan çalışmalar Kong (2002)' un kitabında kapsamlı bir şekilde özetlenmiştir [3]. Bu konuya olan ilgi ve çalışmalar günümüzde hala devam etmektedir [4].

Betonarme elemanların tasarımında kullanılan çubuk model yönteminde (STM, strut-tie model), önce elastik gerilme alanları yardımıyla çubuklar yerleştirilerek çubuk model kurulur ve daha sonra plastisite teorisi kullanılarak tasarlanır [5]. Bu anlamda bir ön tasarım aşaması olarak elastik çözümü görmek bir mühendis için kıymetlidir. Özellikle Bernoulli-Navier hipotezinin geçerli olmadığı ani kesit değişikliği, tekil yükleme, delik, oyuk bulunan bölgelerde ve hatta yüksek kiriş örneğindeki gibi elemanın tamamında artık kesit tesiri anlamını yitirir ve gerilme dağılımına bakmak gerekir. Bunun için deneylerle uyumlu olması beklenen elastisite teorisi veya sonlu elemanlar çözümleri kullanılır.

Bu çalışmada, düzgün yayılı düşey yük altında, yüksek kiriş gibi çalışacak monoblok bir panel duvarın davranışının, boşluk ve ilave oyukların bulunması durumunda, dolu gövdeli duvara göre karşılaştırılarak, incelenmesi hedeflenmiştir. Bu sebeple, optik özellikli malzeme ile 1/14 ölçeğinde hazırlanan modelin, Polariskop cihazı altında izokromat resimleri elde edilmiştir. Aynı zamanda Ansys 18.0 sonlu elemanlar programı ile elde edilen aynı resimler karşılaştırılarak sayısal sonuçlar doğrulanmıştır. Modelin serbest sınırları boyunca bulunan gerilmeler sunularak, daire delik ve oyuk olması durumları, dolu gövdeli duvara göre karşılaştırılıp, tartışılmıştır.

2. FOTOELASTİK DENEYLER

Deneyler, İTÜ Deneysel Mekanik Laboratuvarı'nda bulunan Şekil 1 de solda görülen Polariskop cihazında yapılarak izokromat görüntüleri alınmıştır. Deney numunesi olarak, iki kolon üzerine oturan bir duvar panelin 1/14 oranında küçültülmüş modeli düşünülmüş ve optik özellikli Araldit bir levhadan kesilmiştir. Numune simetrik olduğu için, Şekil 2 de sadece yarısı çizilmiştir. İlk deney numune dolu gövdeli iken, ikinci deney ortasına daire delik açılarak ve sonuncu deney ise deliğin karşılıklı her iki yanına oyuklar açılarak gerçekleştirilmiştir. Dolu gövdeli numuneye daha sonra açılan daire delik ve oyukların konum ve boyutları Şekil 2 de gösterilmiştir. Numunenin köşe ve oyuk uçları kesilirken şeklini veren kesici aletin uç yarıçapı 1mm dir. Panel duvarın üst kenarına basınç yükünün düzgün dağılımını sağlamak amacıyla Şekil 1 de sağda görülen özel bir düzenek hazırlanarak yükleme yapılmıştır. Uygulanan yük değerleri Tablo 1 de listelenmiştir.



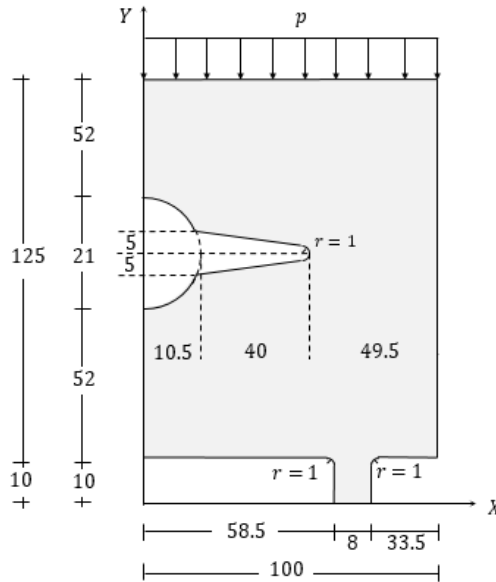
Şekil 1. Plariskop cihazı ve yükleme düzeneği

BOŞLUKLU PANEL DUVARIN GERİLME ANALİZİ

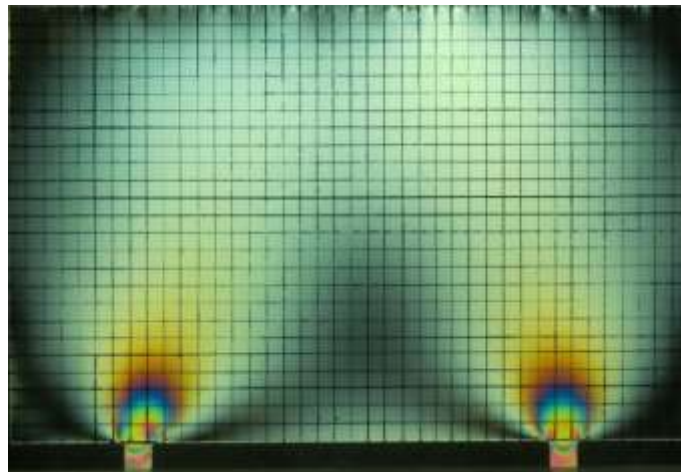
Optik-gerilme kanununa göre, izokromat fotoğraflarında görülen her renge karşı gelen asal gerilme farkı $\sigma_1 - \sigma_2 = N \cdot f/t$ ilişkisi ile mevcuttur, burada σ_1, σ_2 levha düzlemi içindeki asal gerilmeler, N saçak (eş-renk) sayısı, f malzeme optik-gerilme katsayısı, t levha kalınlığıdır [6]. Aynı laboratuvarında yapılan başka çalışmalardan bilinen numunenin kesildiği Araldit levhanın optik-gerilme katsayısı $f=10$ N/mm/saçak sayısı, Elastisite modülü $E=2500$ MPa, Poisson oranı $\nu=0.38$ ve kalınlığı $t=5$ mm dir [7]. Bu malzeme verilerine göre, izokromat resimlerdeki her bir saçak sayısı artışına karşı gelen düzlemdeki asal gerilme farkı 2MPa olmaktadır. Dolu gövdeli, daire delikli ve oyuklu numunelerin karanlık Polariskopta çekilen izokromat resimleri sırasıyla Şekil 3, 4 ve 5 te görülmektedir. İzokromat resimlerde, siyah renkten başlayıp gökkuşağının renk sırası takip edilerek, her mor renkte bir N saçak sayısı arttırılarak asal gerilme farkı takip edilebilir [6]. Şekil 3-4 te, panellerin sağ ve sol alt serbest köşelerinin siyah renkte ($N=0$) olduğu ve kolonlar ile panel birleşim bölgesinde, daire delik ve oyuk uç sınırlarında gerilme yığılması olduğu yani N saçak sayısının arttığı görülmektedir.

Tablo 1. Numune tipi ve yükleme değerleri

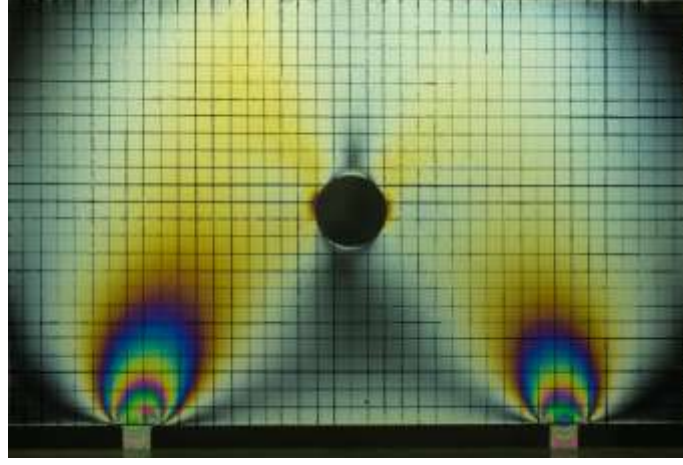
Numune Tipi	Yükleme p(MPa)
Dolu gövdeli	0.485
Daire delikli	0.726
Oyuklu	0.518



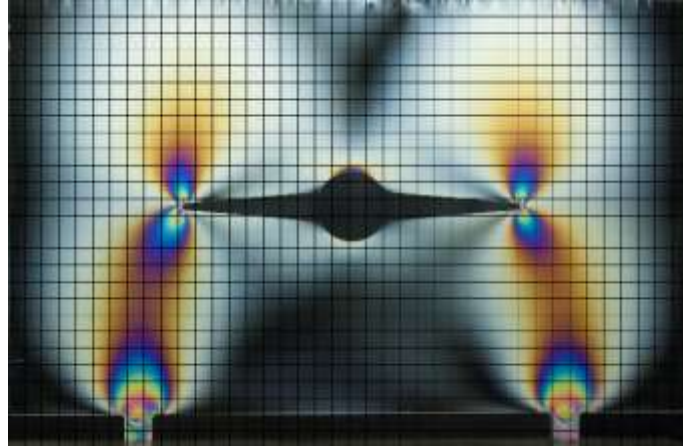
Şekil 2. Yarı numunenin geometrisi (uzunluklar mm cinsinden verilmiştir)



Şekil 3. Dolu gövdeli numunenin $p=0.485$ MPa yük altında izokromat resmi



Şekil 4. Daire delikli numunenin $p=0.726$ MPa yük altında izokromat resmi



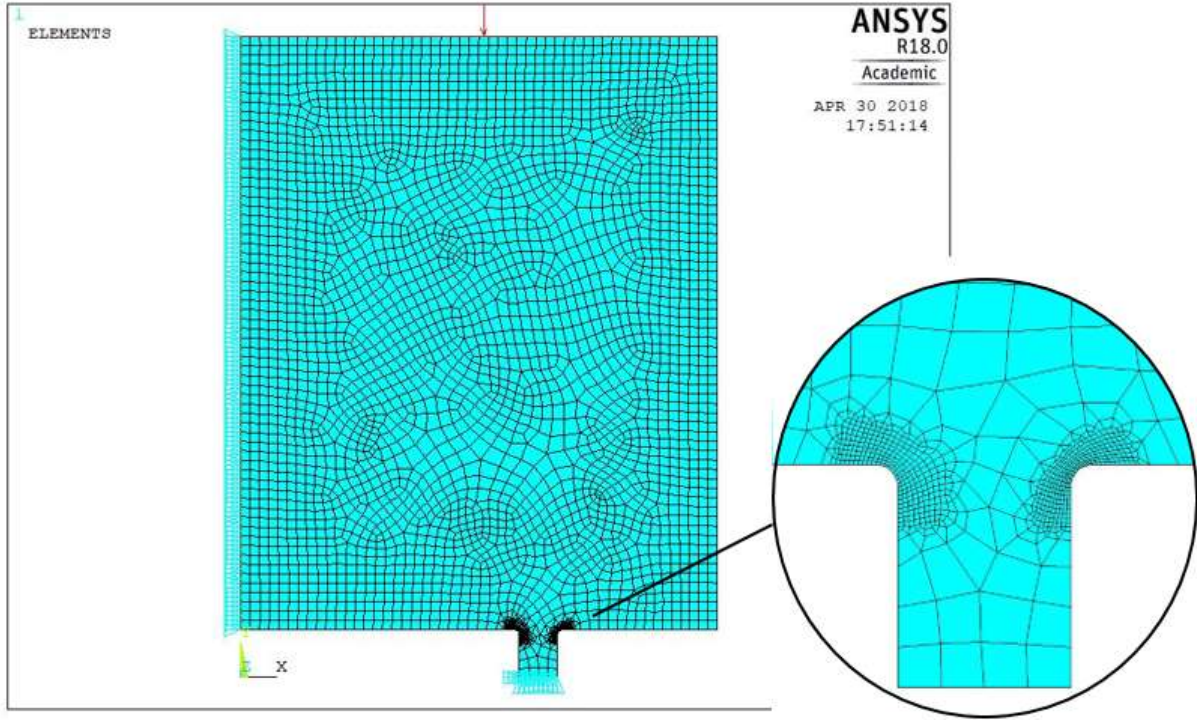
Şekil 5. Oyuklu numunenin $p=0.518$ MPa yük altında izokromat resmi

3. SONLU ELEMEN MODELLERİ

Fotoelastisite deneyleri yapılan numunelerin, Ansys 18.0 sonlu elemanlar programı ile sayısal çözümleri yapılmıştır. Kurulan modelde, 8 düğüm noktası olan, her düğüm noktasında 2 yer değiştirme serbestliğine sahip PLANE183 isimli sonlu eleman kullanılmış ve düzlem gerilme özelliği seçilerek kalınlığı $t=5$ mm olarak tanımlanmıştır [8].

Şekil 6 da dolu gövdeli modelin sonlu eleman ağı görülmektedir. Panel duvar gövdesi ile kolonların birleştiği köşelerde aşamalı olarak ağ sıkılaştırması çalışması yapılmış ve yeterli hassasiyete ulaştığı şekli ile daha sonraki modellerde kullanılmıştır. Şekil 6 daki modelde 3675 eleman ve 11318 düğüm noktası bulunmaktadır. Tabanda $Y=0$ konumundaki düğüm noktalarının tüm serbestlikleri, $X=0$ konumundaki simetri eksenini boyunca düğüm noktalarının sadece yatay yer değiştirmeleri tutulmuştur. Panel duvarın üst sınırına düşey yönde düzgün yayılı yük etkilmiştir. Diğer modellerde de aynı şekilde delik ve oyuk kenarlarında ağ sıkılaştırması yapılmıştır.

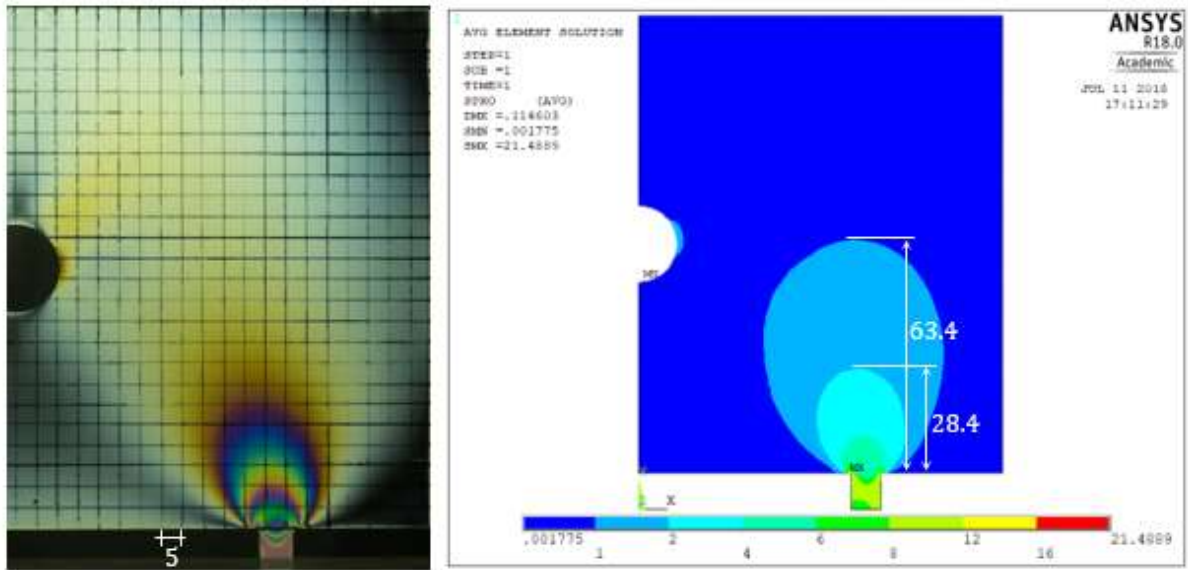
BOŞLUKLU PANEL DUVARIN GERİLME ANALİZİ



Şekil 6. Dolu gövdeli modelin mesnet koşulları, yüklemesi, sonlu elemanlar ağı ve ağ sıkılaştırması

4. SAYISAL ÇÖZÜMLER İLE DENEYLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

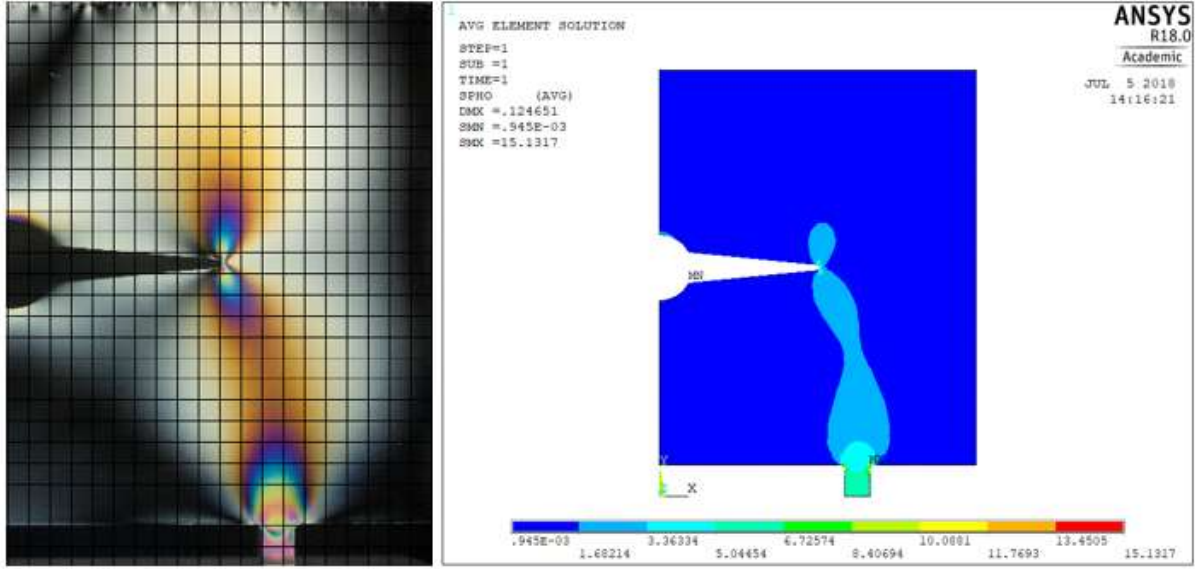
Sayısal modeller çözüldükten sonra, ETABLE komutu ile veriler işlenerek düzlem içi asal gerilme farklarını gösteren izokromat resimler elde edilmiş ve fotoelastisite deney resimleri ile karşılaştırılarak sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 7. Daire delikli numune de izokromat resim ve sayısal çözüm karşılaştırması

P. ÖZDEMİR ÇAĞLAYAN, H. ERGÜN

Daire delikli numunenin deneyden elde edilmiş izokromat resmi ve sayısal çözümü Şekil 7 de yanyana görülmektedir. Daire delikli numunede, Şekil 7 de soldaki izokromat fotoğrafında N=1 mor eş-renk çizgisinin duvar panelin alt sınırından 25-30mm yukarıda yer aldığı görülmektedir. Şekil 7 de sağdaki sayısal çözümde ilk eş-renk çizgisine karşı gelen 2MPa asal gerilme farkının 28.4mm de olduğu hesaplanmıştır. Bu değer beklenen aralıkta kaldığı için sonuçların uyumlu olduğunu söyleyebiliriz.



Şekil 8. Oyuk ilaveli numunede izokromat resim ve sayısal çözüm karşılaştırması

Şekil 8 de oyuk ilaveli numunenin deneyden elde edilen izokromat resmi ve hesaplanan sayısal çözümü yanyana görülmektedir. Panel duvarın geneli itibarı ile uyumlu oldukları görülmektedir. Sayısal çözüme göre en büyük gerilme farkı, oyuk sınırında yatayla 8.44° yapacak şekilde 11.97 MPa değerini almaktadır ve buna göre izokromat resminde yaklaşık 6 adet eş-renk çizgisi görülmesi gerekir. Yine sayısal çözüme göre, kolonun sağ oyuk kısmında en büyük asal gerilme farkı 15.13MPa olarak hesaplanmıştır ve fotoelastisite resminde 7 adet eş-renk çizgisi sayılması gerektiği anlaşılmakla beraber, bu durumun gözlenebilmesi için ayrıca yük altında numunenin dondurulması ve mikroskop altında tesbit edilmesi gerekir.

5. PANEL DUVARLARIN GERİLME ANALİZİ

Yapı elemanlarındaki gerilme dağılımı, boşluk bulunması durumunda değişerek yerel gerilmelerin artışına sebep olur ve ne oranda değiştiği gerilme yığılma katsayısı ile ifade edilir [9]. Gerilme yığılma katsayısı, delik bulunması durumundaki gerilme değerinin, bir referans gerilmeye bölünmesi ile hesaplanır. Bu anlamda, bu çalışmada, referans gerilme olarak ilgili duvar panelin üst sınırına yüklenmiş olan p gerilmesi alınmış ve Şekil 9-13 ile verilen bütün grafiklerde, ilgili noktalarda gerilme değerinin, referans gerilmesine bölünmesi ile elde edilen oranlar sunulmuştur. Grafiklerdeki negatif işaretli değerler, ilgili noktada basınç olduğu durumu ifade etmektedir.

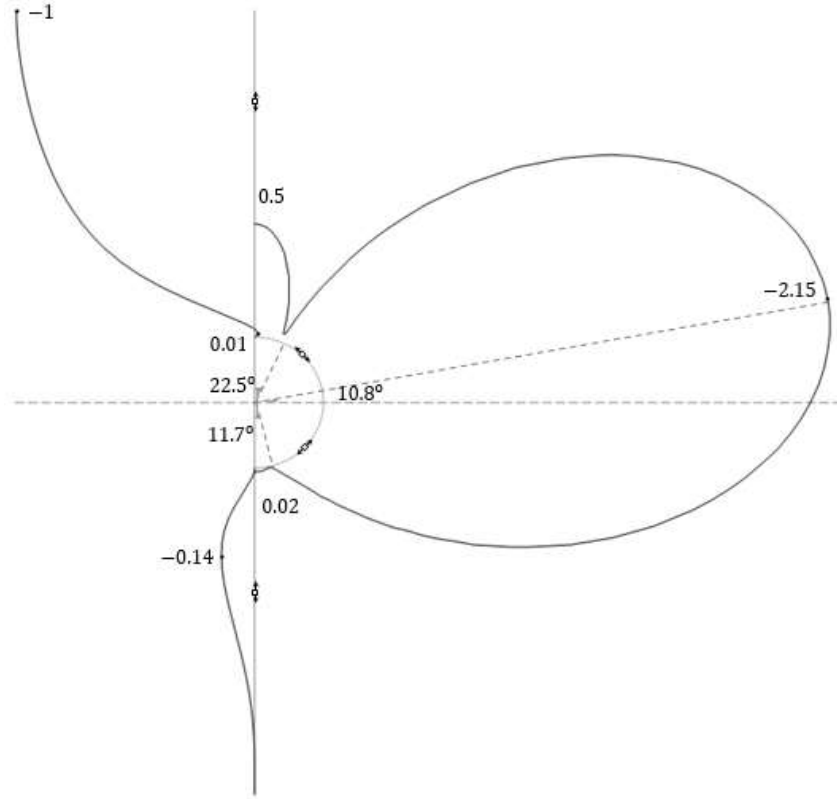
Şekil 9 da, daire delikli numunenin sayısal çözümü ile elde edilen, daire delik sınırı boyunca ve simetri eksenine doğrultusunda teğet gerilme dağılımı verilmiştir. Bütün şekillerde, grafikleri çizilen gerilmelerin doğrultuları sınırlar üzerinde bir eleman ile gösterilmiştir. Daire delik etrafında oluşan en büyük gerilmenin konum açısının 10.8° olduğu noktada basınç olarak meydana geldiği, deliğin üst ve alt sınırlarında ise çekme gerilmesi olduğu görülmektedir.

Daire delikli numuneye benzer yol izlenerek, Şekil 10 da oyuklu numunenin sayısal çözümü sunulmuştur. Oyuğun ucunda oluşan en büyük gerilmenin konum açısının 8.44° olduğu noktada basınç olarak meydana geldiği ve üst sınırdaki uygulanan yükün 25.95 katı olduğu görülmektedir.

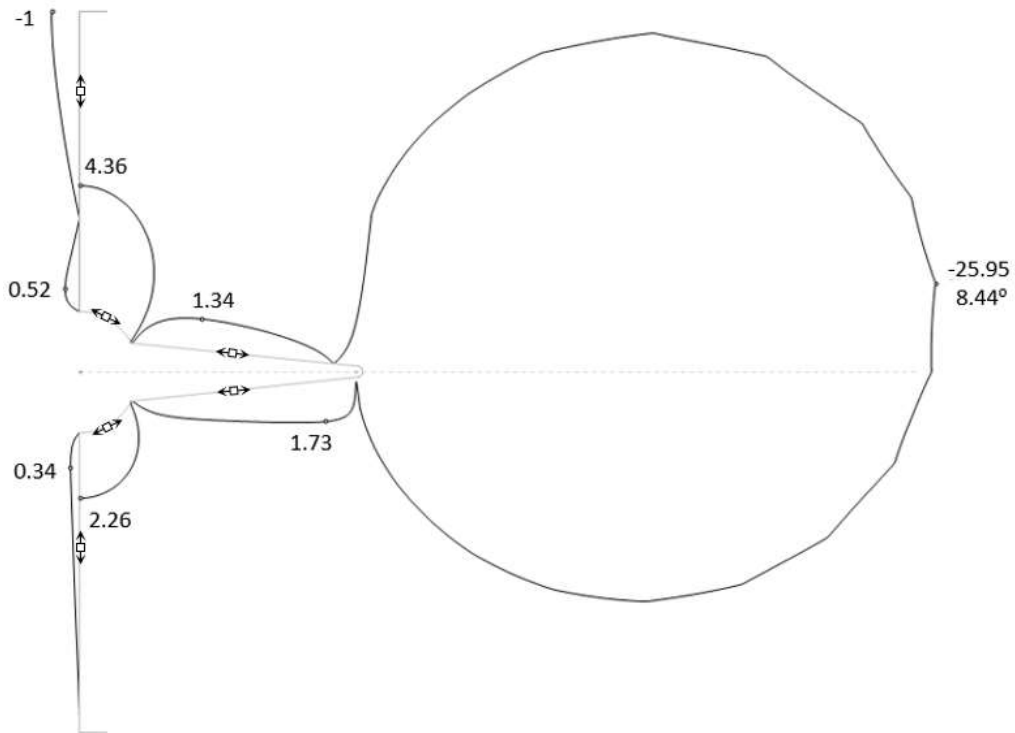
Kolon ve panel duvarın birleşim bölgesinde serbest yüzeye teğet doğrultuda gerilme değerlerinin her bir numuneye verilen yüklemeye oranına bölünerek hesaplanmış ve her üç deney için Şekil 11 de karşılaştırma

BOŞLUKLU PANEL DUVARIN GERİLME ANALİZİ

amacı ile çizilmiştir. Daire deliğin varlığının bu bölgede önemli ölçüde bir değişime sebep olmadığı, fakat oyuğun varlığının iç köşede basınç gerilmesini azalttığı, dış köşede ise arttırdığı görülmektedir.



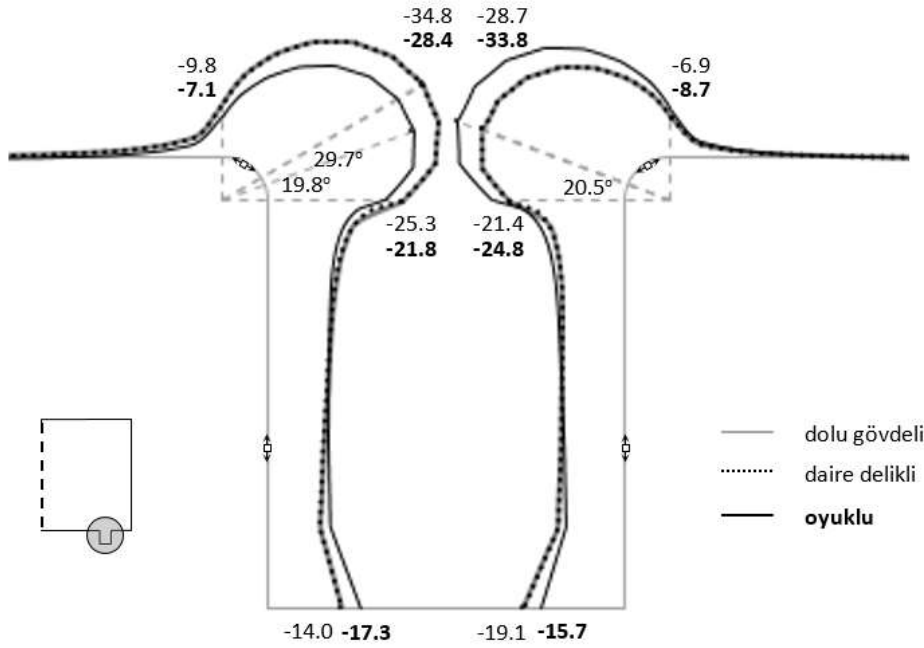
Şekil 9. Daire delik sınırı ve simetri eksenini boyunca teğet gerilme/yük oranı ($p=0.726$ MPa)



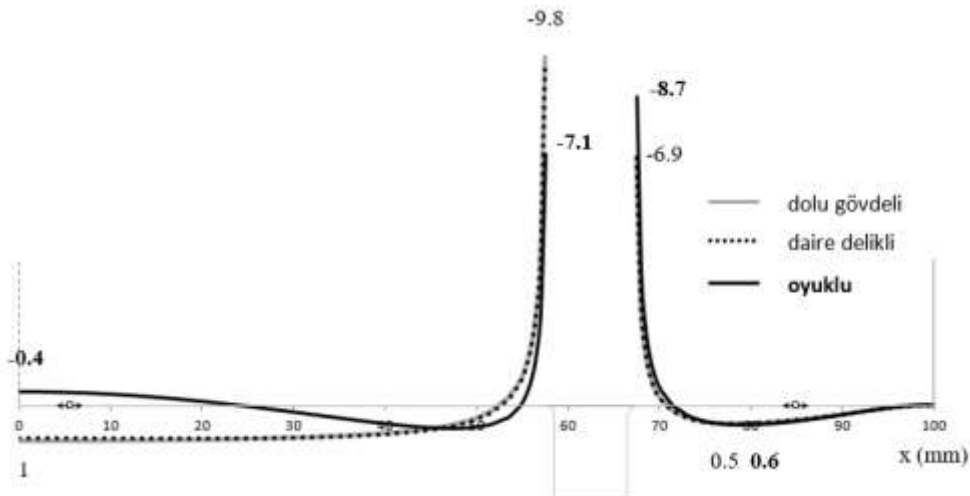
Şekil 10. Oyuksuz, daire delik sınırı ve simetri eksenini boyunca teğet gerilme/yük oranı ($p=0.518$ MPa)

Her üç deney için panel duvarının serbest alt yüzeyi boyunca gerilme oranları Şekil 12 de beraber çizilmiştir. Kolonun sağ tarafında önemli bir değişiklik olmazken, iki kolon arasındaki çekme gerilmesinin, oyuk açıldığı zaman basınç gerilmesi olarak işaret değiştirdiği görülmektedir. Her bir numune için duvarın simetri ekseninde yatay gerilmenin yük değerlerine oranlarını σ_x/p gösteren Şekil 13 teki grafikte de aynı durum görülmektedir.

Şekil 13 te dolu gövdeli numunede tipik doğrusal olmayan yüksek kırış davranışı görülmektedir. Deliğin varlığının duvar panelin davranışını genel olarak etkilemediği, sadece delik etrafında gerilme yığılmalarına sebep olduğu gözlenmektedir. Fakat oyuk olması durumunda, oyuğun alt kısmında gerilmelerin işaret değiştirdiği görülmektedir.

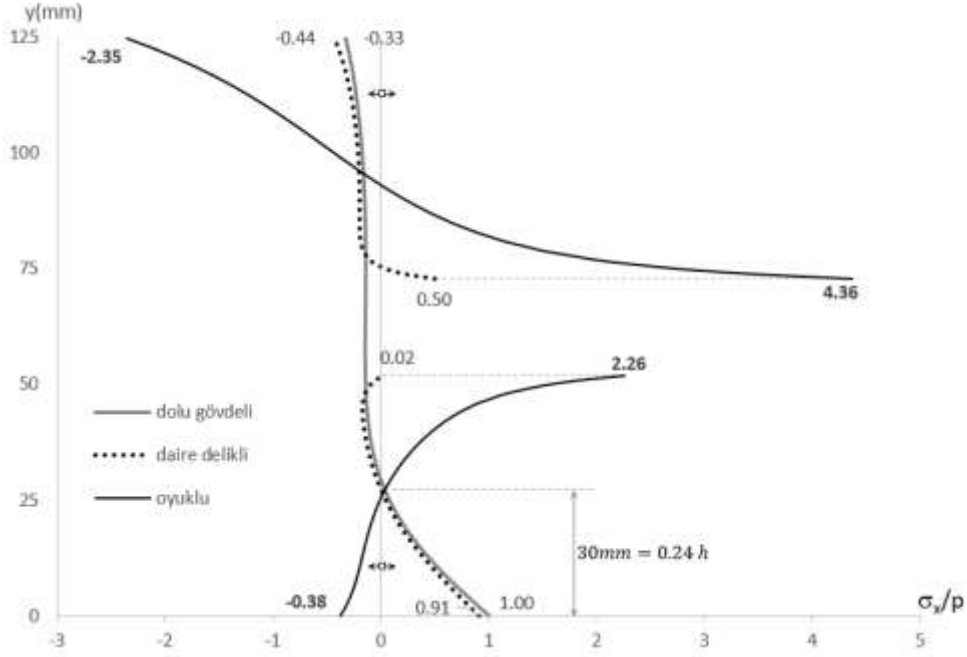


Şekil 11. Kolon ve panel duvar birleşim bölgesinde serbest sınırlar boyunca teğet gerilme/ ilgili yük oranı



Şekil 12. Panel duvarının alt serbest sınırı boyunca teğet gerilme/ ilgili yük oranı

BOŞLUKLU PANEL DUVARIN GERİLME ANALİZİ



Şekil 13. Panel duvarların simetri eksenini boyunca yatay gerilme/ilgili yük oranı

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada, yüksek kiriş gibi çalışan düşeyde yüklü bir duvar panelde boşluk ve oyuk açılması durumunda gerilme dağılımındaki değişiklikler gözlenmiştir. Fotoelastik deneyler ile sayısal sonuçlar doğrulanmış ve boşluklu panelde oluşan gerilme yığılmaları grafiklerle sunulmuştur.

Panel duvarın tam ortasına açılan daire boşluğun, duvarın genel davranışını etkilemediği fakat lokal olarak daire sınırında gerilme yığılma katsayısının 2.1 olduğu gözlenmiştir. İlave oyukların açılması durumunda ise panelin genel gerilme dağılımını önemli ölçüde değiştirdiği ve panelin alt kısmında yatay gerilmelerin çekmeden basınca değiştiği gözlenmiştir. Oyuğun ucunda serbest sınırı boyunca yatayla 8.44° açı yapan konumda gerilme yığılması katsayısının 25.95 olduğu hesaplanmıştır.

Kolonlar ile panelin birleşim bölgesinde, daire deliğin varlığının önemli ölçüde bir değişime sebep olmadığı, fakat oyukun varlığının iç köşede oluşan basınç gerilmelerini azalttığı, dış köşede ise arttırdığı gözlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] TBDY, Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, 2018.
- [2] CELEP, Z., KUMBASAR, N., Betonarme Yapılar, Sema Matbaacılık (ikinci baskı), İstanbul, Türkiye, 1998.
- [3] KONG, F.K., Reinforced Concrete Deep Beams, Taylor and Francis, London, UK, 2002.
- [4] ÖZKAL, F.M., "Betonarme Yüksek Kirişlerde Boşluk Konumu ve Şeklinin Yapısal Davranış Üzerindeki Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi", Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi, 22, 2, 149-160, 2017.
- [5] SCHLAICH, J., SCHAFER, K., JENNEWEIN, M., Toward a Consistent Design of Structural Concrete, Special Report, PCI Journal, 1987.
- [6] FROCHT, M.M., Photoelasticity (2nd ed.), Wiley, New York, 1946.
- [7] DÖNMEZ, A., Öngerilmeli İnşaat Elemanlarında Gerilme Analizi, Doktora tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 2015.
- [8] ANSYS Reference Manual, Ansys Inc., 2013.
- [9] PILKEY, W.D., PILKEY, D.F., Peterson's Stress Concentration Factors (3rd ed.), Wiley, 2008.