

# İNCE LEVHALI ÇELİK PERDEDE LEVHANIN DÜZLEM DIŞI HAREKETLERİNİN FOTOGRAMETRİ İLE BELİRLENMESİ

Cüneyt Vatansver<sup>1</sup>, Nesrin Yardımcı<sup>1</sup>, Özgür Avşar<sup>1</sup>, Umut Aydar<sup>1</sup>, Dursun Z. Şeker<sup>1</sup>

<sup>1</sup>İTÜ İnşaat Fakültesi 30469 Maslak İstanbul – (cuneyt.vatansver, nyardimci, avsarem, aydaru)@itu.edu.tr, dzseker@ins.itu.edu.tr

**ANAHTAR KELİMELER:** İnce çelik levha, deformasyon, sayısal yüzey modeli

## ÖZET:

Bu çalışmada, tekrarlı yükler altında ince levhalı (panel) çelik perdelerin doğrusal olmayan davranışlarının incelendiği deneysel çalışma kapsamında panelin düzlem dışı şekil değiştirme hareketleri fotogrametrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde ölçümler iki adet birbirinden farklı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Kullanılan çelik levhalar 1500×910 mm boyutlarında ve 0.50 mm kalınlığında olup özel olarak tasarlanmıştır. Deney sırasında sisteme 0-180 kN arasında değişen yatay yükler uygulanmış ve her bir çevrim sonrasında çelik panel yüzeyinde ortaya çıkan düzlem dışı şekil değiştirmeler fotogrametrik yöntem kullanılarak ölçülmüştür. Elde edilen yer değiştirmeler nümerik modelden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmış ve bu yöntemin uygunluğu tartışılmıştır. Bu çalışmada deneylerde kullanılan numunelerden birine ait sonuçlar verilmiştir.

## 1. GİRİŞ

Çelik levhalı çerçeveler, 1970'ten bu yana Japonya ve ABD'de pek çok modern ve önemli yapıda ana yatay yük taşıyıcı elemanlar olarak kullanılmaktadır. 1970'in başlarında, Japonya'daki yeni yapılarda, ABD'de mevcut yapıların deprem yüklerine karşı güçlendirilmesinde ve yeni yapılarda rijitleştirilmiş çelik levhalı çerçeveler kullanılmış, 1980 ve 1990'larda, ABD ve Kanada'da rijitleştirilmemiş çelik levhalı çerçevelerin (ince levhalı çelik perdeler) kullanımı başlamıştır.

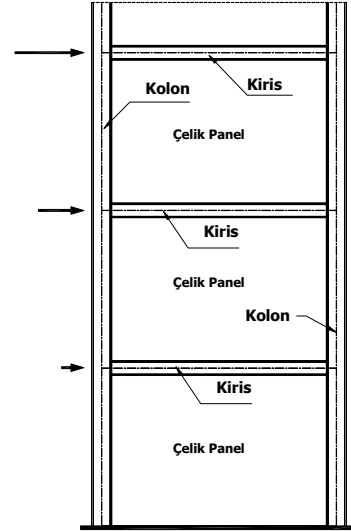
İnce levhalı çelik perdeler, büyük başlangıç rijitliğine ve yüksek süneklikle birlikte büyük enerji sönümlenme kapasitesine sahip olmaları nedeniyle oldukça etkili yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Çok katlı ince levhalı bir çelik perde (Şekil 1), çelik kiriş-kolon çerçeve sistemi ile bu çerçevelerin içine kolon ve kirişlerin başlıklarına kaynak veya bulonlar (cıvata) vasıtasıyla birleşen çelik panellerden oluşmaktadır. Panellerin kiriş ve kolonlara bağlantısı, birleşim levhaları aracılığıyla, kaynak veya bulon kullanılarak gerçekleştirilebildiği gibi birleşim levhalarının kullanılmadığı, panellerin doğrudan kiriş ve kolon başlıklarına bağlandığı örnekler de mevcuttur.

Bu çalışmada, tekrarlı yükler altında ince levhalı (panel) çelik perdelerin doğrusal olmayan davranışları fotogrametrik yöntem kullanılarak belirlenmiştir. Fotogrametrik yöntemin, klasik olarak yapılacak ölçme yöntemine göre avantajı, deneyler sırasında sadece resim çekme işlemi için gereken kısa süreye gereksinim duyması ve şekil değiştirmiş panelin bu durumunun daha hassas olarak belirlenebilmesini sağlamasıdır.

Bu çalışmada deneylerde kullanılan numunelerden birine ait çevrimlerden başlangıç durumu, dördüncü, yedinci ve onuncu çevrim sonuçları tartışılmıştır.

## 2. ÇALIŞMANIN KAPSAMI

İnce levhalı çelik perdelerin tekrarlı yükler altında testleri sırasında panelin düzlem dışı şekil değiştirme miktarlarının belirlenmesi işlemi, sistemin test süresi boyunca hareketli olması nedeniyle ancak daha önce belirlenen yer değiştirme adımlarında yüklemenin durdurulmasından sonra klasik yöntemlerle gerçekleştirilebilir.



Şekil 1. İnce Levhalı Çelik Perde

Başka bir yöntem olarak da mevcut deney sistemine ek olarak bir ölçme düzeneği kurmaktır. Ancak bu iki metodun zaman ve yer kaybı nedeniyle etkin olarak kullanılabilmesi oldukça zor olmaktadır. Dolayısıyla, yürütülen deneysel çalışma kapsamında, ince panellerin düzlem dışı şekil değiştirme miktarlarının tespiti, büyük zaman kayıplarına yol açmadan kolay uygulanabilir olması nedeniyle fotogrametrik yöntem kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında ince panellerin montajı sırasında meydana gelebilecek kusurlar nedeniyle oluşan düzlem şekil değiştirme miktarları, yine bu yöntem yardımıyla tespit edilebilmektedir. Özellikle bu tür sistemlere ait analitik modellerin doğrusal olmayan analizlerinin gerçekleştirilmesinde, panelin başlangıç şekil değiştirmiş geometrisinin tespiti önem kazanmaktadır.

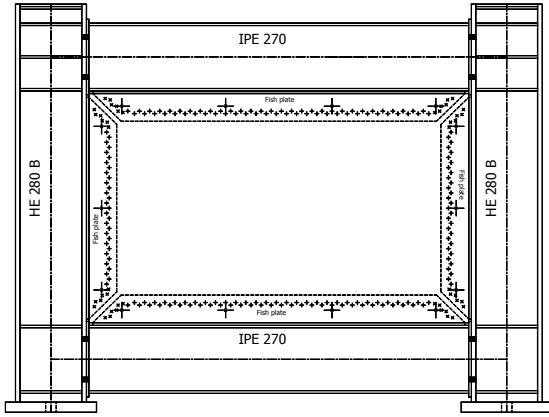
İTÜ İnşaat Fakültesi Yapı ve Deprem Laboratuvarı'nda yapılan deneylerde ölçümler iki adet birbirinden farklı numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Ancak bu çalışmada bunlardan birine ilişkin

değerlendirmeler sunulmuştur. Kullanılan çelik levha 1500×910 mm boyutlarında ve 0.50 mm kalınlığında olup özel olarak tasarlanmıştır.

### 3. UYGULAMA

Bu çalışmada esas alınan ince levhalı çelik panel Şekil 2’de verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada, panelin düzlem dışı şekil değiştirme miktarları sadece tepe noktasından etkileyen tekrarlı yük altında incelenmiştir.

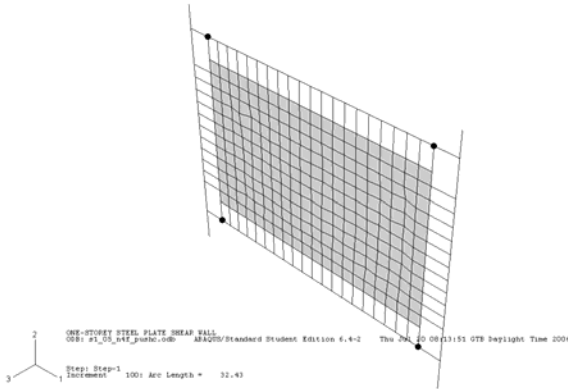
Çubuk (kiriş ve kolonlar) ve plak (çelik panel) elemanlardan oluşan sonlu eleman modeli ABAQUS bilgisayar yazılımı ile oluşturulmuştur.



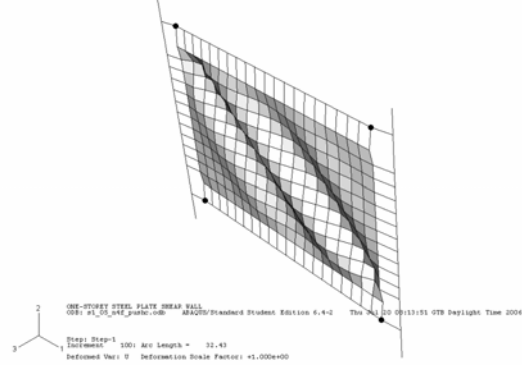
Şekil 2. Örnek İnce Levhalı Çelik Perde

#### 3.1 Sonlu Eleman Modeli

Çelik levhalı çerçevenin sonlu eleman modeli (Şekil 3) ABAQUS bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Tüm paneller için 12 (düşey doğrultuda) × 20 (yatay doğrultuda) adet parçadan oluşan sonlu eleman ağı kullanılmıştır. Kolonlar ve kirişler, eleman uçlarında altı adet serbestliğin tamamını dikkate alan üç düğüm noktalı B32 elemanı ile çelik panel, sekiz düğüm noktası içeren S4 elemanı kullanılarak modellenmiştir. S4 elemanı ile düğüm noktalarının panel düzlemi dışına doğru yer değiştirmeleri de dikkate alınmaktadır.



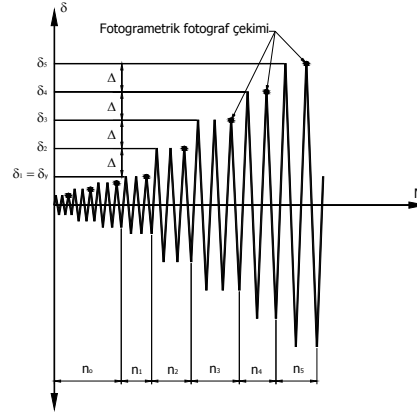
Şekil 3. İnce Levhalı Çelik Perdenin Sonlu Eleman Modeli



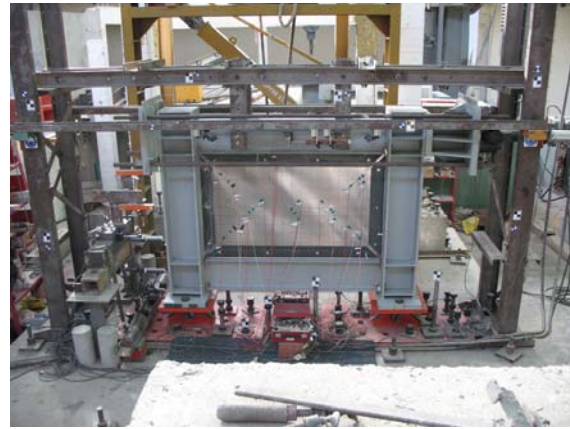
Şekil 4. İnce Levhalı Çelik Perdenin Şekil Değiştirmiş Durumu

#### 3.2 Fotogrametrik Değerlendirme

Deney sırasında Şekil 5’de verilen yer değiştirme çevrim düzeni izlenmiştir. Her bir yer değiştirme değerinin son çevriminde ince çelik panel yüzeyinde meydana gelen düzlem dışı şekil değiştirmeler fotogrametrik yöntemle ölçülmüştür.



Şekil 5. Yer Değiştirme Düzeni ve Fotogrametrik Tespit Adımları



Şekil 6. Deney Düzeneği

Deneyler sırasında sistem üzerinde değişmeyen yerlerde ve uygun dağılımda olacak şekilde 19 adet kontrol noktası tesis edilmiştir (Şekil 6). Kontrol noktalarının koordinatları,

oluşturulan poligon noktalarından ölçülerek, ilerden kestirme yöntemi ile lokal olarak hesaplanmıştır (Tablo 1). Hesaplanan kontrol noktaları koordinatları yapılan bütün değerlendirmelerde kullanılmıştır.

NN	X (m)	Y (m)	Z (m)
10010	101.6542	103.2923	102.0831
10011	102.6752	103.3309	102.0794
10012	100.6512	101.1457	102.2169
10013	102.5309	101.8981	102.2842
10014	102.6842	100.7748	102.3035
10015	101.0978	102.7304	102.2000
10016	101.4519	99.5586	102.1213
10017	101.0433	101.7356	102.2021
10018	100.8724	101.3438	102.2111
10026	102.3597	102.3993	101.9618
10027	102.5192	99.5800	102.1177
10101	101.5323	103.2799	102.0841
10111	102.7545	103.3279	102.0800
10131	102.5392	101.9688	102.2823
10141	102.7024	100.8299	102.3029
10161	101.3581	99.5552	102.1220
10261	102.3528	102.3378	101.9642
10271	102.5963	99.5457	102.1178
10272	102.3500	100.5523	101.9775

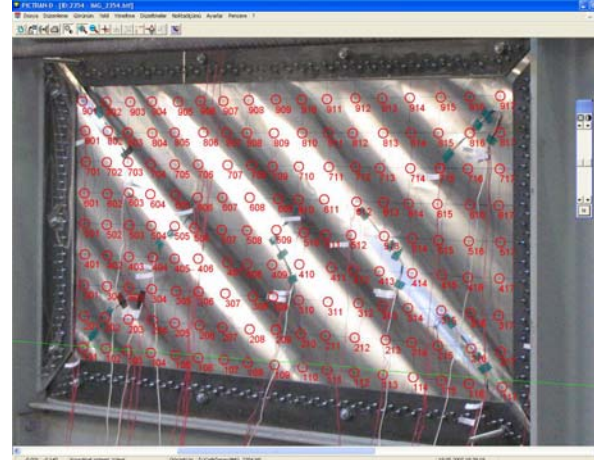
Tablo 1. Kontrol Noktalarının Koordinatları

Deney öncesinde panel üzerinde bulunan kareler ağının keşişim noktalarına, bu noktaları gören lokal olarak belirlenmiş iki ayrı poligon noktasından doğrultu okumaları yapılmış ve bu noktaların koordinatları da ilerden kestirme yöntemi ile hesaplanmıştır.

Şekil 7. Kalibrasyon Raporu

Şekil 5'te görülen her bir çevrim sonrasında sistemin farklı konumlarından Canon PowerShot A640 Digital Resim Çekme Makinesi (10.00 Mpiksel, 3648\*2736) ile resimleri çekilmiştir. Kullanılan resim çekme makinesi deney öncesinde İTÜ Fotogrametri Anabilim Dalı Laboratuvarı'nda bulunan test alanı kullanılarak kalibre edilmiştir. Kalibrasyon sonucu elde edilen değerler Şekil 7'de gösterilmiştir.

Her bir çevrim sonrasında çekilen resimler; Pictran Digital Fotogrametri yazılımında değerlendirilmiş ve kareler ağının keşişim noktalarının koordinatları belirlenmiştir (Şekil 8).



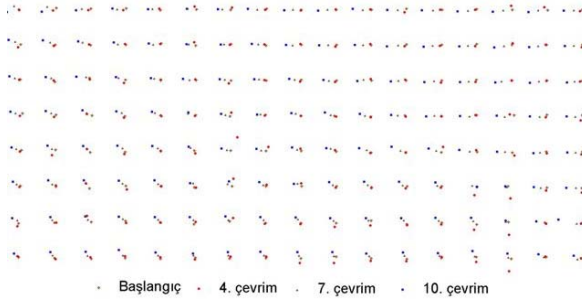
Şekil 8. Fotogrametrik Değerlendirme

Her bir çevrim sonucunda elde edilen nokta koordinatları; her bir nokta için X, Y, Z düzlemlerinde ve XYZ nokta konum değişimi olarak incelenmiş ve ilk satır elde edilen nokta konum değişim sonuçları Tablo 2'de örnek olması amacıyla verilmiştir.

NN	4-0	7-0	10-0	7-4	10-4	10-7
	XYZ	XYZ	XYZ	XYZ	XYZ	XYZ
101	0.0045	0.0082	0.0234	0.0108	0.0256	0.0153
102	0.0057	0.0110	0.0283	0.0100	0.0258	0.0174
103	0.0063	0.0104	0.0208	0.0095	0.0191	0.0108
104	0.0063	0.0099	0.0228	0.0108	0.0192	0.0160
105	0.0061	0.0100	0.0186	0.0105	0.0175	0.0088
106	0.0091	0.0088	0.0232	0.0101	0.0184	0.0157
107	0.0066	0.0101	0.0176	0.0115	0.0167	0.0082
108	0.0103	0.0076	0.0196	0.0115	0.0205	0.0120
109	0.0175	0.0086	0.0164	0.0188	0.0271	0.0089
110	0.0313	0.0194	0.0165	0.0174	0.0312	0.0142
111	0.0111	0.0075	0.0221	0.0132	0.0196	0.0158
112	0.0139	0.0094	0.0217	0.0211	0.0198	0.0203
113	0.0039	0.0082	0.0141	0.0060	0.0119	0.0066
114	0.0237	0.0202	0.0224	0.0123	0.0261	0.0139
115	0.0553	0.0135	0.0246	0.0469	0.0481	0.0124
116	0.0105	0.0102	0.0346	0.0038	0.0248	0.0246
117	0.0068	0.0210	0.0303	0.0144	0.0240	0.0126

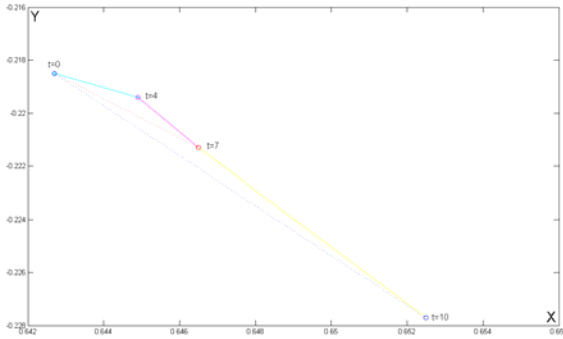
Tablo 2. Birinci Satıra Ait Nokta Konum Değişimleri

Ayrıca plaka üzerinde bulunan her bir noktaya ait başlangıç durumu, dördüncü, yedinci ve onuncu çevrim sonucu düzlemde meydana gelen konum değişimleri Şekil 8’de gösterilmiştir.



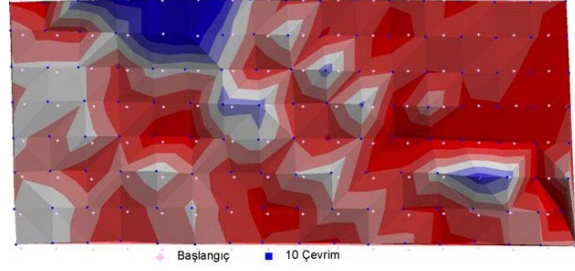
Şekil 8. Plaka Üzerinde Düzlemde Meydana Gelen Nokta Konum Değişimleri

Mevcut verilerden her bir nokta için, her bir çevrim sonrası konum değişim analizi yapmak da mümkündür. Şekil 9’de 101 numaralı noktaya ait düzlemdeki konum değişikliği örnek olarak sunulmaktadır.



Şekil 9. 101 Numaralı Nokta İçin Düzlemde Meydana Gelen Konum Değişimleri

Ayrıca değerlendirme sonrasında elde edilen noktalar yardımıyla levha yüzeyinin sayısal yüzey modeli ArcView yazılımında oluşturularak farklı kuvvetlerdeki yüzey üzerinde meydana gelen değişimler incelenmiş ve farkları ortaya konmuştur. Şekil 10’da onuncu çevrim sonucu oluşan yüzey modeli, levha üzerinde bulunan kareler ağının kesişim noktalarının başlangıç ve onuncu çevrim sonucu ortaya çıkan konum değişimlerinin ortaya konması amacıyla birlikte sunulmuştur.



Şekil 10. 10’uncu Çevrim Sonucu Oluşan Sayısal Yüzey Modeli

#### 4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Fotogrametrik değerlendirme sonrasında kareler ağının kesişim noktalarının X, Y ve Z koordinat değerleri hesaplanmıştır. Klasik yöntemlerle ölçülmesi ve değerlendirilmesi zaman alıcı ve zor olan ince levhalı çelik perdede levhanın düzlem dışı hareketleri kolaylıkla belirlenmiştir.

Her ne kadar Yersel Dijital Fotogrametri ile ölçme için gerekli süre kısalmış da olsa; kontrol noktası ölçmelerinin doğruluğu yapılan çalışmanın doğruluğu açısından önemli bir paya sahiptir. Çünkü oluşturulacak modelin doğruluğu yapılan kontrol noktası ölçmelerinin doğruluğuna bağlıdır.

Fotogrametri, disiplinler arası çalışmalarda gerek doğruluk gerekse ölçme ve değerlendirme süresinin klasik yöntemlere göre çok daha kısa olması bakımından tercih edilmektedir. Bu çalışmada da sadece resimler çekimi için yüklemeler arasında kısa bir süre ayrılmış, böylece deneyin akışı engellenmemiştir.

Yapılan değerlendirmeler sonucunda fotogrametrik yöntemin istenilen doğrulukta nokta konum değişimlerini verdiği görülmüştür.

Ayrıca görüntü işleme teknikleri kullanılarak elde edilen verilen görsel olarak sunumları da zenginleştirilmiştir.

#### KAYNAKLAR

**Caccese, V. and Elgaaly, M.,** 1993. Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load, *Journal of Structural. Engeering*, ASCE, (2), 573-587.

**Vatansever C., Yardımcı N.,** 2005. İnce Çelik Levhalı Çerçevelerin Analitik Olarak İncelenmesi, *Bildiriler Kitabı*, Çelik Yapılar Sempozyumu, 21-22 Nisan 2005, Ankara.

**Vatansever C., Yardımcı N.,** 2007. İnce Levhalı Bir Çelik Perdenin Artan Yatay Yük Altında Analitik Olarak İncelenmesi, *Bildiriler Kitabı*, 2. Çelik Yapılar Ulusal Sempozyumu, 10-11 Mayıs 2007, Eskişehir.

**ABAQUS 6.4 Student Version,** 2004. Hibbit, Karlsson, and Sorenson, Inc., Pawtucket, R.I.