

1. OTURUM

KİSMİ DOLGU DUVARLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN TERSİNİR TEKRARLANIR YATAY YÜKLER ALTINDAKİ DAVRANIŞININ DENEYSEL ve ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

M. Yaşar Kaltakçı^a, Hasan Hüsnu Korkmaz^a, Ali Köken^a, M. Hakan Arslan^a

^a Selçuk Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Konya, Türkiye
e-mail: mykal@selcuk.edu.tr, hkh73@selcuk.edu.tr, akoken@selcuk.edu.tr, mharslan@selcuk.edu.tr

Özet

Çerçeve sistemlerin analizinde ve boyutlandırmasında, genellikle sadece kolon ve kirişlerden oluşan yalın çerçeve sistemi esas alınır. Ancak, yapıda farklı mekanlar oluşturmak için çerçeve boşluklarının dolgu duvarla doldurulması ile elde edilen sistem, çıplak çerçeveden farklı bir dayanım ve davranış gösterir. Yapının davranışı üzerinde önemli etkileri olan dolgu duvarlar, pratik ve genel kabul görmüş bir hesap metodunun geliştirilememiş olması nedeniyle genellikle ihmal edilmekte ve sadece düşey yük olarak dikkate alınmaktadır. Yapılarda bazı durumlarda, aydınlatma veya başka amaçlarla kolondan kolona uzanan bant pencereler oluşturulması da söz konusu olmaktadır. Bu duruma, özellikle sanayi yapıları ile okul, kışla ve hastane gibi yapılarda koridorun aydınlatılması amacıyla rastlanmaktadır.

Bu çalışmada; Selçuk Üniversitesi'nde çelik çerçeveler ve dolgu duvarlarla ilgili olarak gerçekleştirilen deneysel çalışmaların sonuçlarına dayanarak yapılan analitik çalışmalarla, tam ve kısmi dolgu duvarlar için çerçevelerin çözüm modellerinde temsil edebilecek metotlar geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Bant pencereli dolgu duvar, çelik çerçeve, çerçevelerin davranışına dolgu duvar etkisi, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi, ANSYS.

1. Giriş

Dolgu duvarlar, genellikle mühendisler tarafından statik ve dinamik analizlerde ihmal edilirler ve yapıda sadece düşey yük olarak ele alınırlar. Dolgu duvarlar, deprem gibi yatay yükler altında yapının davranışını olumlu ya da olumsuz yönde değiştirebilirler. Dolgu duvarların taşıyıcı sistem davranış özelliklerini (periyot, rijitlik, yük taşıma kapasitesi, süneklik, göçme mekanizması, enerji tüketme kapasitesi vb.) büyük ölçüde değiştirebildiği ispatlanmıştır [1]. Yatay yükler altında dolgu duvar ve onu çevreleyen çerçevenin birlikte hareket etmesi nedeni ile dayanım ve yanal rijitlikte bir artış, dolayısıyla deformasyonlarda azalma olacaktır. Boş çerçevelerin ve dolgu duvarların ayrı ayrı taşıma güçlerinin ve rijitliklerinin süperpozitesi, birleşik sisteme oranla daha düşük olmaktadır [2]. Kolon ve kirişten oluşan basit çerçeve, yatay kuvvetler altında daha esnek bir davranış göstermekte, düğüm noktalarında büyük dönme ve yer değiştirmeler görülmektedir. Benzer şekilde, dolu duvarlar kendi başlarına çok küçük yatay yükler altında bile kesme etkisinden dolayı fonksiyonlarını kaybetmektedir [3].

Boş çerçeve kabulünü içeren sistemlerdeki kritik gerilme yığılmalarının bulunduğu noktalar ile dolgulu çerçeve kabulünü içeren sistemlerdeki kritik gerilme yığılmalarının bulunduğu noktalar aynı olmamaktadır [3]. Bu sebeple, taşıyıcı sistemin tasarımında dikkate alınmamış zayıf noktalar kalabilmektedir. Dolgu duvarlar, bilinçsizce düzenlenmeleri halinde yapının eksantrisitesinin artmasına ve burulma etkilerinin oluşmasına sebep olabildikleri gibi, kısmi bir dolgu duvar çevresindeki kolonların daha büyük kesme kuvvetlerine maruz kalmasına (kısa kolon) ya da yumuşak kat oluşmasına sebep olabilir. Yatay yükler altında dolgu duvarlar, kesit etkilerinin yerlerini ve değerlerini değiştirir. Dolgu duvarların davranışları da dikkate alınarak doğru düzenlenmeleri halinde, deprem yüklerinin karşılanmasında kullanılabilir ve ekonomik açıdan kazanç sağlanabilir.

Dolgu duvarlar, özellikle yapının elastikiyetini fazla zorlamayan küçük hareketlerinde, çerçevelerin rijitliğini büyük ölçüde artırır. Diğer taraftan, salt ölü yük açısından bakılırsa, yapı kütlesini de artırır. Yapı kütlesinin artması, yapı doğal titreşim periyotlarının büyümesine; yapı rijitliğinin artması ise, tam tersi, yapı doğal periyotlarının küçülmesine neden olur. Dolgu duvarların rijitlik katkısı kütle katkısına oranla çok daha baskındır [4-5]. Sonuçta yapı periyotları salt çerçeve durumlarına göre %50-60 oranında küçülür. Yapı doğal frekansının büyüme eğilimi, malzemenin elastik davranış safhasında yapıda oluşacak atalet kuvvetlerinin de büyümesine neden olur. Ayrıca, dolgu duvarların varlığı yatay yükler altında yapının tabanında meydana gelen kesme kuvvetlerini de önemli ölçüde etkilemektedir [6].

Dolgu duvar, çerçeve içinde diyagonal olarak uzanan ve duvarla aynı kalınlıkta ve genişliği çeşitli faktörlere bağlı olan ve çeşitli çalışmalarda verilen ampirik eşitliklerle tespit edilen bir çubukla modellenebilir. Basınç çubuğunun genişliği, genellikle diyagonal uzunluğun çarpımının belli bir oranı olarak ifade edilmektedir.

2. Amaç ve Kapsam

Yapıların özellikle yatay yükler altındaki davranışına önemli etkileri olan dolgu duvarların bu etkilerini analizlerde göz önüne almak için, henüz tam güvenilir ve genel kabul gören bir model geliştirilmemiş olması, bu konuyu halen devam eden bir araştırma konusu yapmaktadır. Yapılan bu çalışma ile bu konudaki araştırmalara katkı sağlamak amaçlanmıştır. Deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin ve duvar panellerinin mekanik özelliklerini belirlemek, bulunan malzeme özelliklerini kullanarak mevcut bazı analitik çözüm yöntemleri ile deneysel sonuçları karşılaştırıp irdelemek, dolgu duvarları doğrusal olmayan analitik metotla analiz etmek, deney sonuçlarını ve davranışları birbirleri ile karşılaştırmak şeklinde özetlenebilir.

Bu çalışmada, Selçuk Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde gerçekleştirilen 24 adet deneysel çalışmaların sonuçlarından yararlanılmıştır. Deney numunelerinin belirlenmesinde dikkate alınan değişkenler şunlardır:

- I) Dolgu duvarın çerçeve içindeki yükseklik oranı; dolgu oranı 4/4, 3/4, 2/4 olan sistemler,
- II) Çelik çerçeve sistemlerinin dolgu özellikleri; boş, tuğla duvar dolgulu, tuğla duvar+sıva dolgulu ve gaz beton dolgulu çelik çerçeve sistemleri (Sadece L/H oranı 1 olan numuneler denenmiştir),

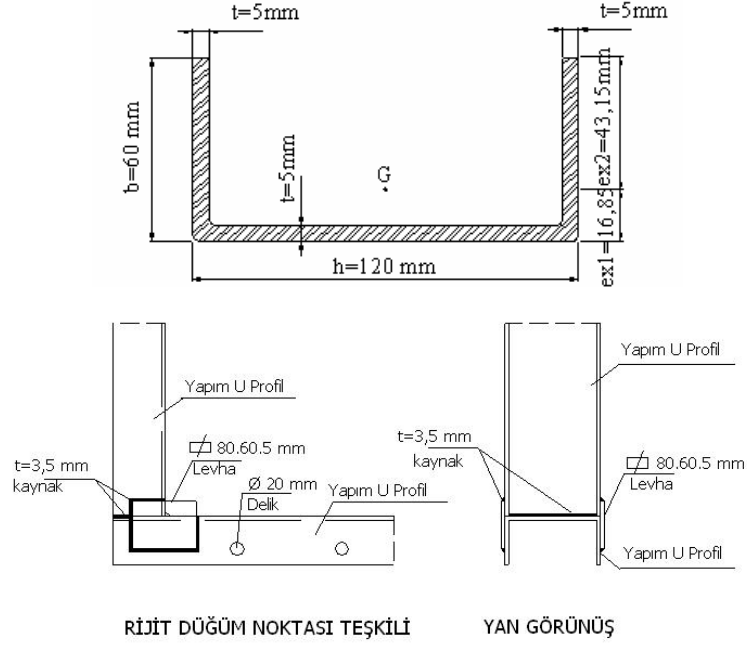
- III) Çelik çerçeve sistemlerinin açıklığının (L) yüksekliğine (H) oranı; $L/H=1$, $L/H=1/2$ ve $L/H=2$ olan sistemler. Tablo 1’de denenen numunelere ait fiziksel ve geometrik özellikler özetlenmiştir. Denenen numuneler yaklaşık olarak 1/3 ölçeklidir [7-10].

Tablo 1. Deney numunelerinin fiziksel ve geometrik özellikleri

Numune Adı	Dolgu Duvar Tipi	Çerçeve Açıklığı (L) (mm)	Çerçeve Yük. (H) (mm)	Dolgu Oranı	Dol. Paneli Boyu (L_p) (mm)
Boş Çerçeve	Dolgusuz	843,7	823,7	-	810
Sıvasız- $L/H=1-4/4$	Tuğla Dolgu	843,7	823,7	4/4	810
Sıvalı- $L/H=1-4/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	823,7	4/4	810
Sıvasız- $L/H=1-3/4$	Tuğla Dolgu	843,7	823,7	3/4	810
Sıvalı- $L/H=1-3/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	823,7	3/4	810
Sıvasız- $L/H=1-2/4$	Tuğla Dolgu	843,7	823,7	2/4	810
Sıvalı- $L/H=1-2/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	823,7	2/4	810
Gazbeton- $L/H=1-4/4$	Gaz beton	843,7	823,7	4/4	810
Gazbeton- $L/H=1-3/4$	Gaz beton	843,7	823,7	3/4	810
Gazbeton- $L/H=1-2/4$	Gaz beton	843,7	823,7	2/4	810
Boş Çerçeve	Dolgusuz	1643,7	823,7	-	1610
Sıvasız- $L/H=2-4/4$	Tuğla Dolgu	1643,7	823,7	4/4	1610
Sıvalı- $L/H=2-4/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	1643,7	823,7	4/4	1610
Sıvasız- $L/H=2-3/4$	Tuğla Dolgu	1643,7	823,7	3/4	1610
Sıvalı- $L/H=2-3/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	1643,7	823,7	3/4	1610
Sıvasız- $L/H=2-2/4$	Tuğla Dolgu	1643,7	823,7	2/4	1610
Sıvalı- $L/H=2-2/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	1643,7	823,7	2/4	1610
Boş Çerçeve	Dolgusuz	843,7	1603,7	-	810
Sıvasız- $L/H=1/2-4/4$	Tuğla Dolgu	843,7	1603,7	4/4	810
Sıvalı- $L/H=1/2-4/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	1603,7	4/4	810
Sıvasız- $L/H=1/2-3/4$	Tuğla Dolgu	843,7	1603,7	3/4	810
Sıvalı- $L/H=1/2-3/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	1603,7	3/4	810
Sıvasız- $L/H=1/2-2/4$	Tuğla Dolgu	843,7	1603,7	2/4	810
Sıvalı- $L/H=1/2-2/4$	Tuğla+Sıva Dolgu	843,7	1603,7	2/4	810

3. Deneysel Çalışma

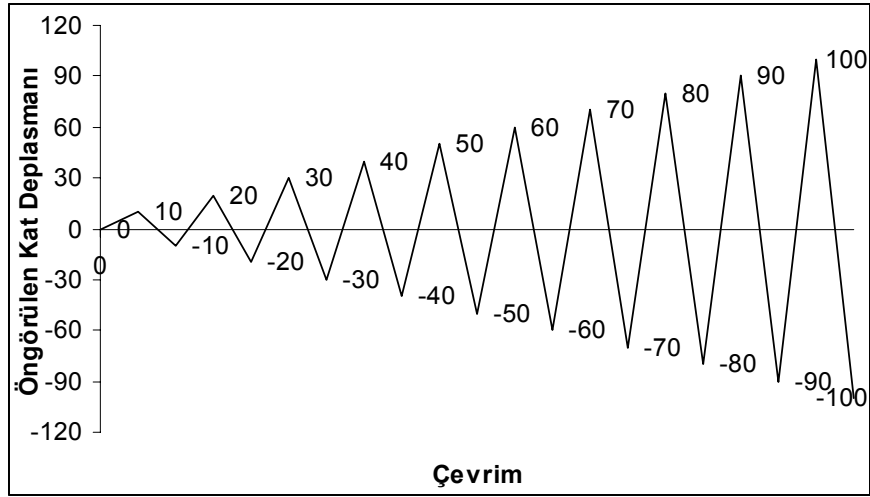
Çelik çerçevelerin imalinde, U şeklindeki yapım profiller kullanılmıştır. Yatay yük altında çelik çerçevelerin düğüm noktalarında göçmenin olmasının engellenmesi için, rijit düğüm noktaları oluşturulmuştur. Deneylerde kullanılan ve çelik levhanın soğuk bükülmesi ile yapılan U profillerin geometrik özellikleri ve düğüm noktalarında uygulanan kaynak uygulaması Şekil 1’de verilmiştir.



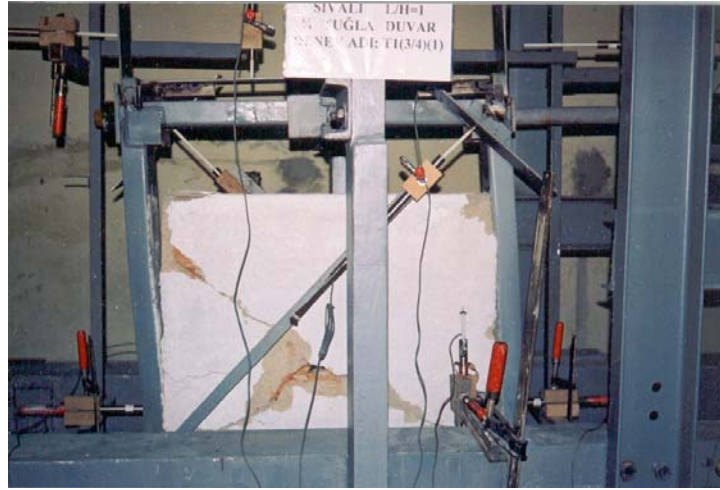
Şekil 1. Deneylerde kullanılan yapım U profillerin geometrik özellikleri ve çerçevelerde rijit düğüm noktası teşkili

Deney numuneleri 3000x30000 mm boyutunda dolgulu çelik çerçeve sisteminin yaklaşık olarak 1/3 oranında modellenmesi şeklinde tasarlanmış ve kullanılan tuğlaların boyutları da dikkate alınarak L/H=1 olan çerçeve sisteminin boyutu 843.7x823.7 mm olarak öngörülmüştür. Kullanılan tuğla kalınlığı, yine 250-300 mm duvar kalınlığı ve piyasada bulunan ve kullanılan tuğla türleri göz önüne alınarak 85 mm olarak öngörülmüştür. Kullanılan sıva kalınlığının uygulamada 30-40 mm olduğu düşünülerek, yaklaşık olarak 1/2 oranında modellenmiş ve 17.5 mm olarak öngörülmüştür. Bunun nedeni, daha ince kalınlıktaki sıvanın istenilen yapısal özellikleri yansıtmayacağı düşüncesi ve sıva uygulamasında olabilecek boyut hatalarının davranışa olumsuz etkisini en aza indirmektir.

Deneyler deplasman kontrollü olarak gerçekleştirilmiştir. Tersinir-tekrarlanır yatay yükleme uygulanan numuneler, ilk önce ileri yönde 1 cm lik çevrime maruz bırakılıp yük boşaltılmış, daha sonra tersi (geri) yönde 1 cm lik deplasman uygulanıp çevrim tamamlanmıştır. Daha sonraki çevrimlerde ise, 1 cm lik artırımlar takip edilmiştir. Sonuç olarak, numuneler en fazla 10 cm lik deplasman çevrimine maruz bırakılmıştır (Şekil 2). Sonuçları kullanılan çerçevelerin L/H oranı 1 olup, tuğla duvar dolgulu, tuğla duvar dolgulu+sıvalı ve boş çerçeve olmak üzere üç çeşittir. Deney numunelerine ait bir fotoğraf ise, Şekil 3’de verilmiştir.



Şekil 2. Deneylerde uygulanan yükleme programı



Şekil 3. Deney numunesi örneği

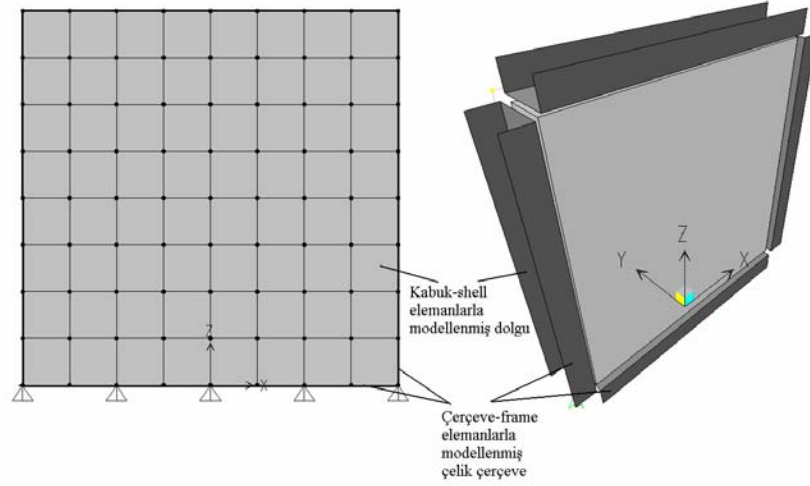
4. Analitik Çalışma

Analitik çalışma kapsamında, incelenen deney elemanlarının sonlu elemanlar modeli oluşturularak, doğrusal olmayan sonlu eleman analizi yapılmıştır. Çalışmada yeni bir program geliştirilmemiş olup, ticari ve genel amaçlı sonlu elemanlar programı olan ANSYS [9] kullanılmıştır. Programı temin edilebilen bir program olmasının, bu çalışmada geliştirilen çözüm yönteminin pratikte de kullanılmasını sağlayacağı ve başka araştırmacılara da çalışma imkanı sunacağı umulmaktadır.

4.1. Doğrusal Olmayan Analizin Adımları

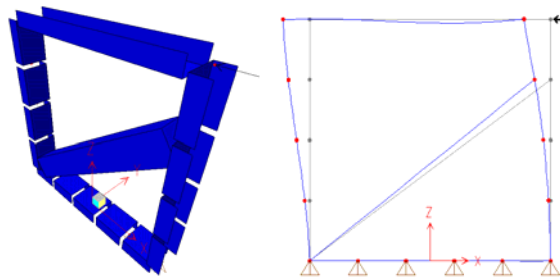
Dolgu+çerçeve için üç model mevcuttur. İlk modelde dolgu kabuk-shell elemanlarla modellenip, dolgu ve çerçeve arasında ayrışma ve teması da göz önüne alabilen “contact” elemanlar kullanılmıştır (Şekil 4). Bu elemanlar basınç durumunda yükü aynen aktarırken, çekme durumunda çerçeve ve dolgu arasındaki bağı koparmaktadır. İkinci modelde dolgu fiktif - diyagonal basınç çubuğu şeklinde modellenmiştir. Boş çerçeve modelinde ise çerçeve eğilme alabilen frame-çerçeve

elemanlarla, diyagonal basınç çubukları ise eğilme etkisi alamayan elemanlar olarak modellenmiştir (Şekil 5). Çerçeve boşluğunun duvar ile tam dolu olmadığı (bant pencerenin mevcut olduğu) durumlarda diyagonal eleman, yüklemenin yapıldığı köşede, duvarın üst tarafta bittiği seviyeden, karşı kenarda duvarın alt köşesine uzanan bir eleman gibi düşünülmüştür. Son modelde ise çelik çerçeve “frame” elemanlarla modellenmiş, dolgu duvar için de doğrusal olmayan yaylar kullanılmıştır. Doğrusal olmayan yaylar için ANSYS eleman kütüphanesinde bulunan “combin 39” elemanları kullanılmıştır. Bu eleman tipinde basınç ve çekme durumları için ayrı ayrı deplasman-kuvvet ilişkisi tanımlanabilmektedir.



Şekil 4. Dolgu duvarın shell-kabuk, çerçevenin frame-çerçeve ile modellenmesi

Doğrusal olmayan sonlu eleman analizi için çelik çerçevenin, dolgu duvarın ve sıvalı dolgu duvarın malzeme özelliklerinin (basınç dayanımı, kırılma anındaki birim kısalma vs.) ve gerilme-birim deformasyon ilişkisinin bilinmesi gereklidir. Bu amaçla, dolgulu çelik çerçeve sonuçlarından da sadece dolgu duvar ve dolgu duvar+sıva ‘nın (kompozit malzeme) gerilme birim deformasyon ilişkisini elde etmek için, dolgu duvarlı çelik çerçeve deneylerinin yük-deplasman sonuçlarına dayanan bir yöntem geliştirilmiştir.



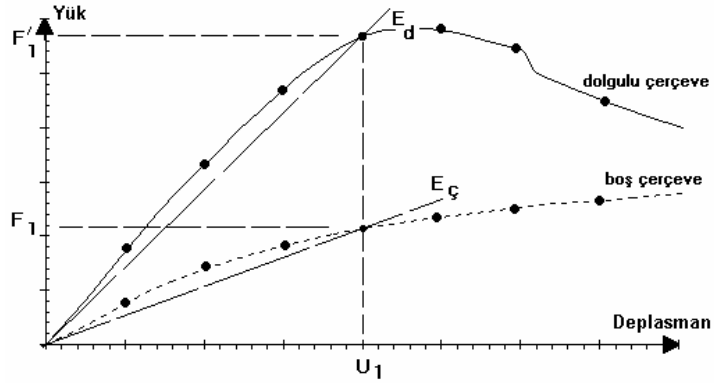
Şekil 5. Çelik çerçeve ve eşdeğer basınç çubuğunun modellenmesi ve deformasyonu

4.2. Malzeme modelinin belirlenmesi ve analiz

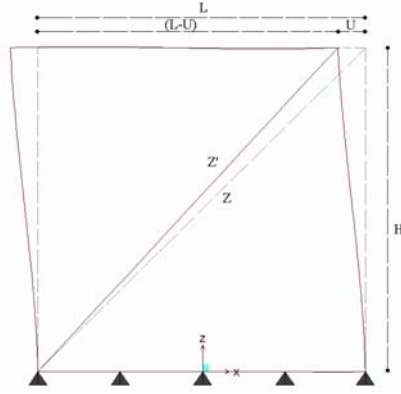
Daha önce yapılan analitik çalışmalarda dolgu duvarlar için çeşitli matematiksel modeller önerilmiş olmakla beraber, araştırmacılar tarafından öne sürülen modeller birbirlerinden çok farklılık gösterebilmektedir [10-12].

Modellemede sadece ileri çevrimlerin zarf eğrileri göz önüne alınmıştır. Her bir çevrim için ilk önce boş çerçeveye o çevrimdeki deplasman uygulanmıştır. Şekil 6'da görüldüğü gibi 4. çevrimde boş çerçeveye uygulanan yük F_1 ve buna karşılık gelen üst nokta deplasmanı U_1 olsun. Model üzerinde F_1 yükü uygulandıktan sonra U_1 deplasmanını elde edinceye kadar çeliğin (çerçeve malzemesi) elastisite modülü değiştirilerek, deneme-yanılma yöntemiyle, E_c tespit edilmiştir. Daha sonra çerçeve+dolgu modeli (kabul-shell elemanlarla modellenmiş) aynı deplasman için F'_1 ($F'_1 > F_1$) yüklemesi altında en üst yükleme noktasında U_1 deplasmanı elde edilinceye kadar dolgu malzemesinin elastisite modülü değiştirilerek E_d elde edilmiştir. Bu adımda çerçevenin malzemesi için elastisite modülü olarak bir önceki adımda elde edilen boş çerçevenin (bu çevrim için bulunan) elastisite modülü E_c kullanılmıştır. Daha sonra dolgunun diyagonal basınç çubuğuyla temsil edildiği modelde, diyagonal çubuk için elastisite modülü olarak E_d (dolgu için bulunan), çerçeve çeliğinin elastisite modülü olarak da E_c (boş çerçeve için bulunan) kabul edilerek çerçevede yine F'_1 yüklemesi altında en üst yükleme noktasında U_1 deplasmanı elde edilinceye kadar basınç diyagonalinin genişliği değiştirilmiştir. Basınç diyagonalinin derinliği dolgu derinliğine eşit kabul edilmiştir. İstenen deplasman elde edildikten sonra bu adımda diyagonalde meydana gelen eksenel kuvvet de kaydedilmiştir. Burada kısaca özetlenen adımlar, her bir çevrim için sırasıyla gerçekleştirilmiştir. Sonuçta, elde edilen basınç diyagonal genişliğinin her adımda sabit olduğu görülmüştür.

Bir sonraki adımda malzemenin gerilme-birim deformasyon bağıntısını elde etmek için aşağıdaki formülasyonlar kullanılmıştır. Dolgunun diyagonal basınç çubuğuyla temsil edildiği modelde, her çevrim için diyagonalin üst noktasının deplasmanı, dolayısıyla diyagonalde meydana gelen birim deformasyon şu şekilde bulunabilir (Şekil 7).



Şekil 6. Dolgulu çerçeve ve boş çerçeve yük-deplasman eğrileri



Şekil 7. Dolgu duvarın diyagonal basınç çubuğuyla modellenmesi

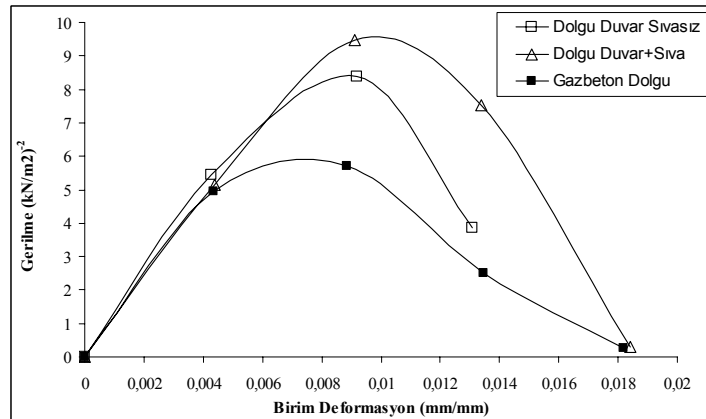
$$Z = \sqrt{(L^2 + H^2)}, \quad Z' = \sqrt{((L - U)^2 + H^2)}, \quad \varepsilon = \frac{Z - Z'}{Z} \quad (1)$$

Burada; Z: Diyagonal basınç çubuğunun ilk boyu, Z': Diyagonal basınç çubuğunun çerçeveye yük uygulandıktan sonraki boyu, L: Çerçevenin uzunluğu, H: Çerçevenin yüksekliğidir.

Yukarıda özetlenen şekilde, her bir çevrim için diyagonal çubukta meydana gelen birim deformasyon ve gerilme (eksenel yükün çubuğun alanına bölünmesiyle elde edilen) değerleri tespit edilmiştir. Aynı işlem, tuğla duvar dolgulu+sıvalı çerçeve için de gerçekleştirilerek, dolgu+sıva malzemesi için de gerilme-birim deformasyon bağıntısı elde edilmiştir (Şekil 8).

4.3. Kabuk-Shell Modeli ile Çözüm

Elde edilen bağıntılar, genel amaçlı ve doğrusal olmayan malzeme özelliklerine göre de çözüm yapabilen ANSYS programına girdi olarak verilmiştir. Bu programda, dolgulu çerçeve, diyagonal basınç çubuğu, kabuk-shell eleman (çerçeve frame-çerçeve eleman) olarak modellenmiştir.

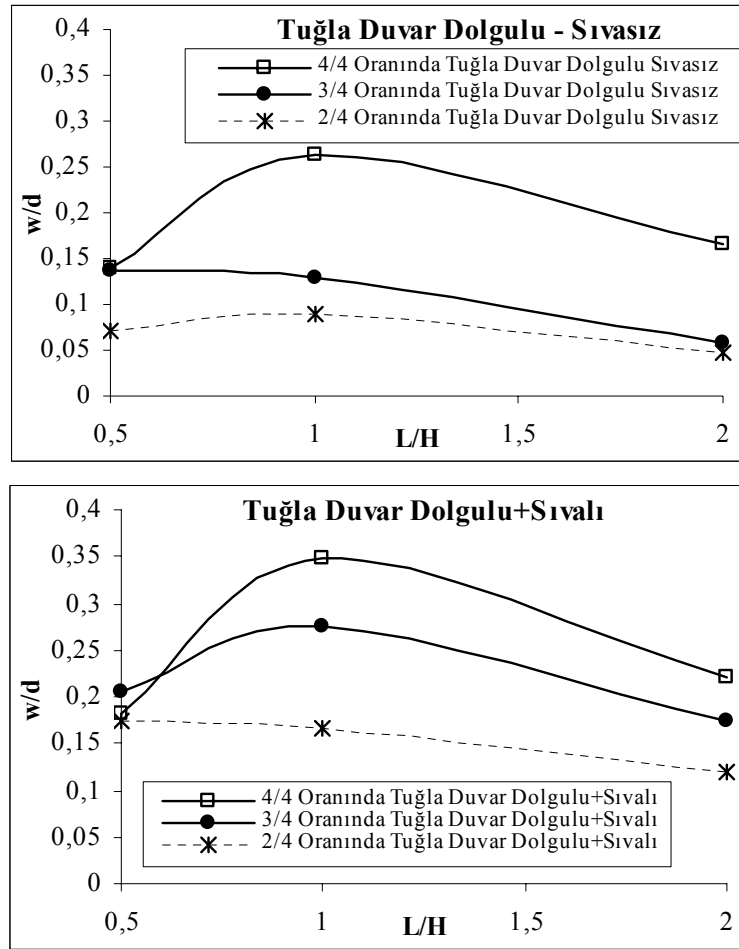


Şekil 8. Tuğla duvar ve tuğla duvar+sıva dolgu için kullanılan gerilme – birim deformasyon eğrileri

4.4. Basınç Çubuğu Modeli ile Çözüm

Dolgu duvarın daha basit şekilde modellenebildiği ‘diyagonal basınç çubuğu’ yaklaşımı için, kabuk-shell elemanlar kaldırılarak yerine sol alt köşeden sağ tarafta üstte dolgunun çerçeve ile temas ettiği yer arasında diyagonal çerçeve-frame eleman yerleştirilmiştir. Bu elemanın malzeme özelliği, kabuk-shell eleman için kullanılan malzemenin özelliği ile aynıdır. Genişliği ise, deneysel yük-deplasman eğrisine yaklaşacak şekilde deneme yanılma- kalibrasyon yöntemiyle bulunmuştur.

Analitik çözümlerden elde edilen teorik etkin basınç çubuğunun genişliğinin (w) diyagonal boya oranının (w/D), L/H değerlerine göre değişimi Şekil 9’da sunulmuştur.



Şekil 9. Teorik etkin basınç çubuğunun genişliğinin (w) diyagonal boya oranının (w/D), L/H değerlerine göre değişimi

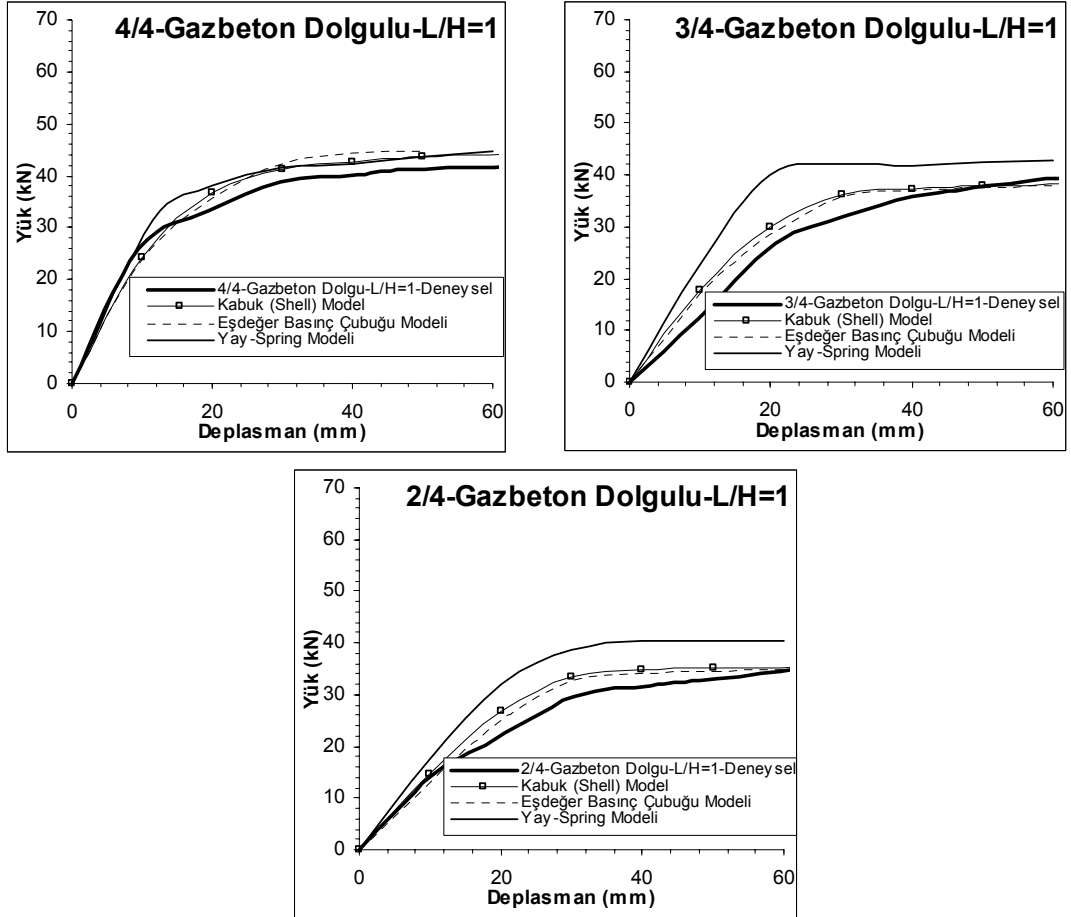
4.5. Dolgu Duvarın Yaylarla Modellenmesi

Dolgu duvar, üst kısımda temas uzunluğu boyunca yaylarla modellenmiş ve bu yaylar ortadaki rijit elemana bağlanmıştır. Ortadaki rijit çubuk, yüklemenin yapılmadığı karşı alt köşeden de çerçeveye bağlanmıştır. Böylece, sol üst kısımdan dolguya etkiyen kuvvet, sağ alt köşeden çerçeveye aktarılmış olacaktır (Şekil 10).

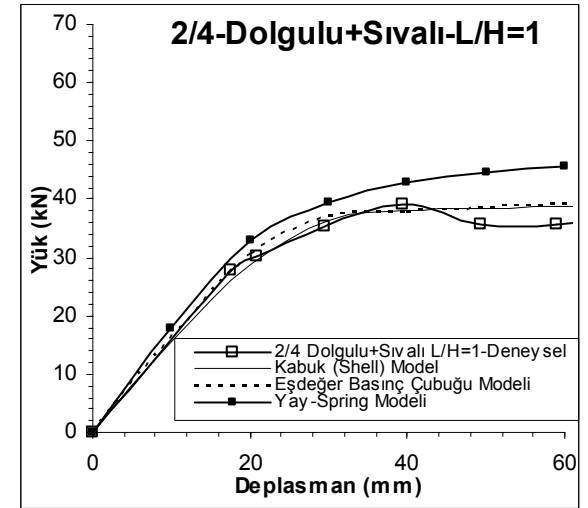
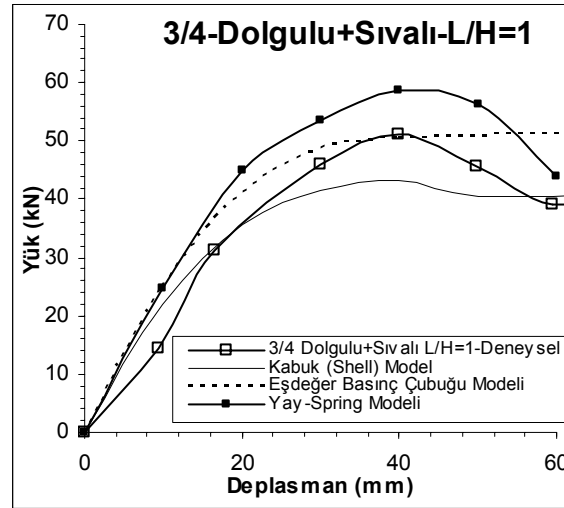
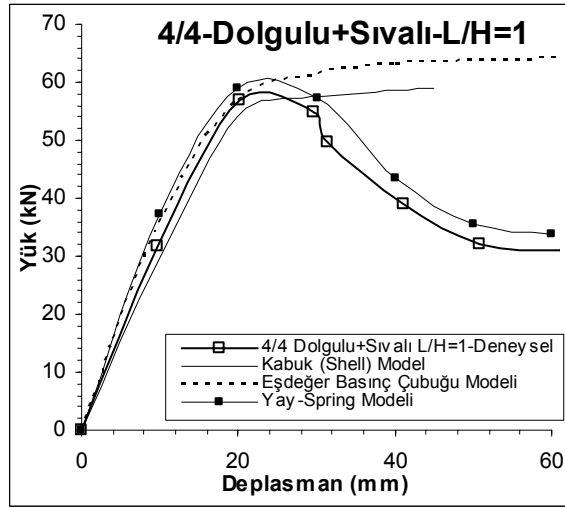
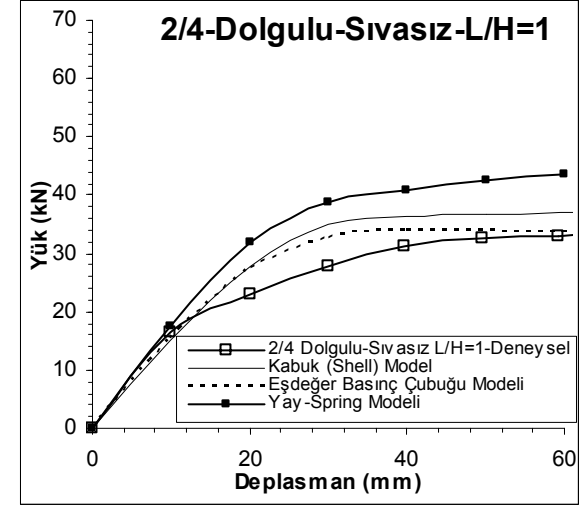
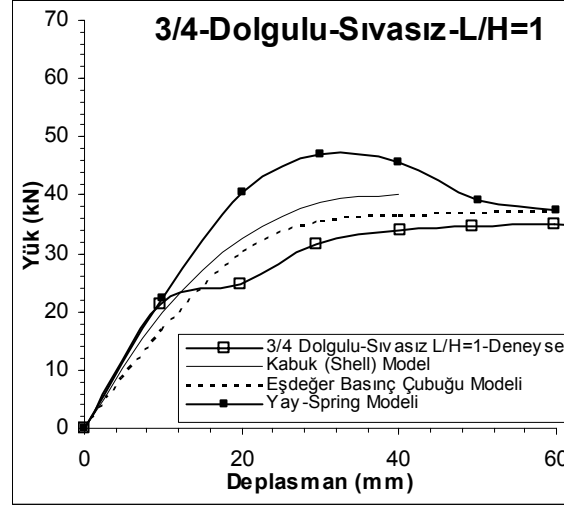
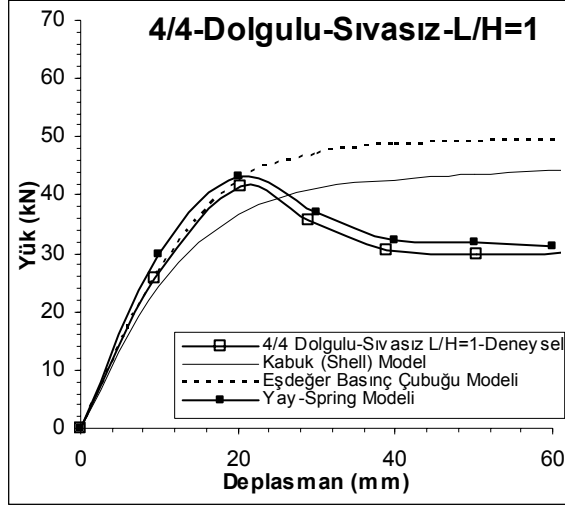
Deplasman (mm)	Dolgu Duvar+Sıva (kN)	Dolgu Duvar Sıvasız (kN)	Gazbeton Dolgu (kN)
0	0.0	0.0	0.0
10	8.5	6.0	6.2
20	14.5	8.0	4.8
30	9.0	2.5	2.8
40	1.8	1.0	1.0

10

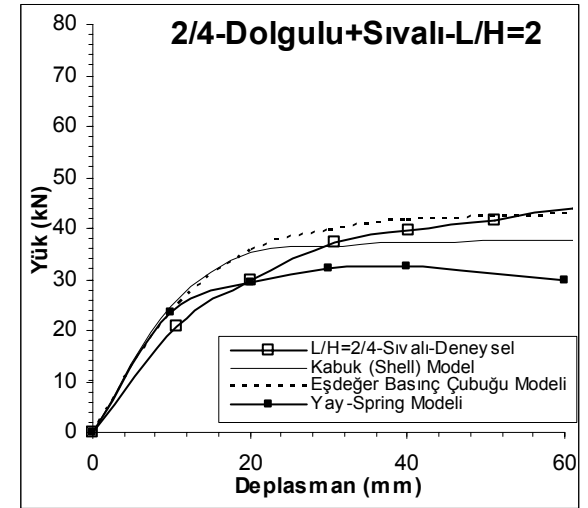
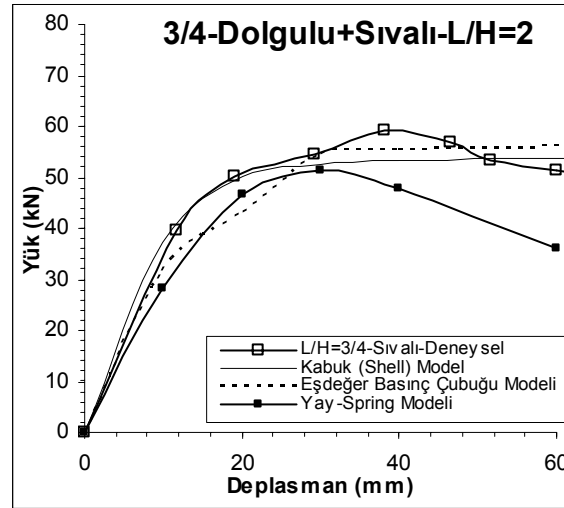
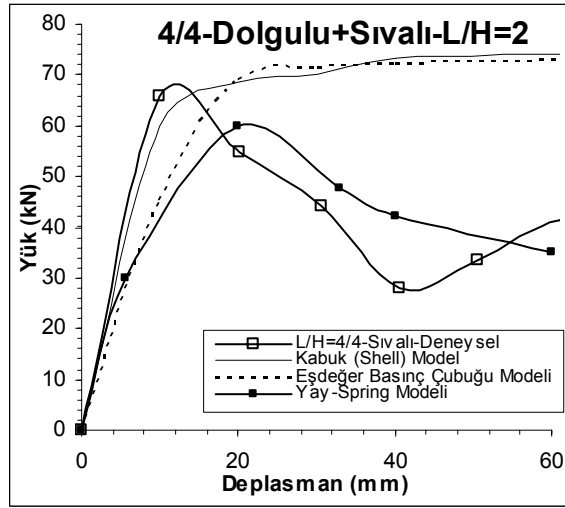
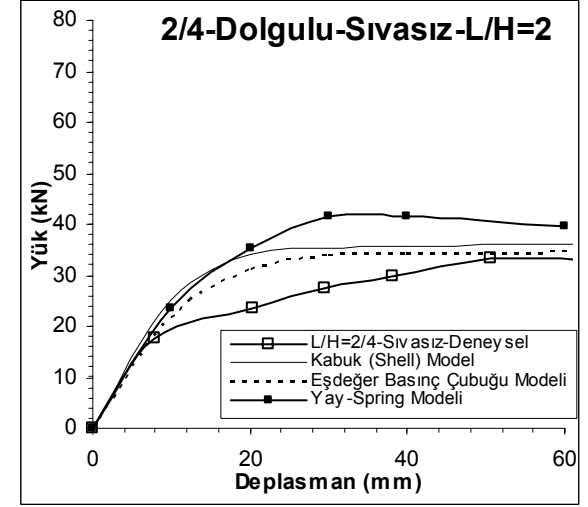
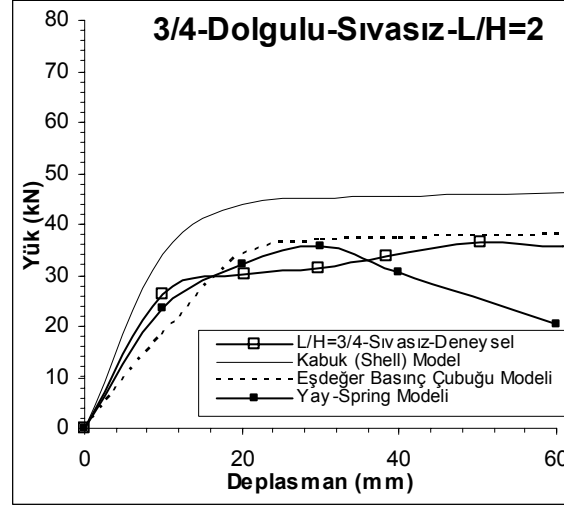
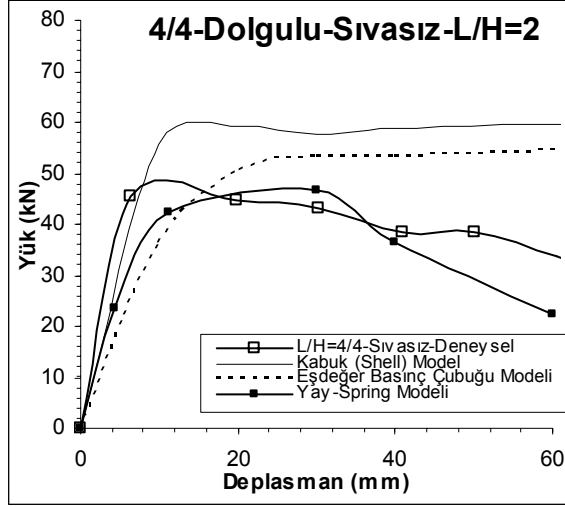
Şekil 12’de gazbeton dolgulu numeler için, Şekil 13, 14, 15’de ise L/H oranı 1, 2, 1/2 olan çelik çerçeve sistemlerinde dolgu oranı 4/4, 3/4 ve 2/4 olan tuğla dolgu duvarlı+sıvalı ve tuğla dolgu duvarlı-sıvasız dolgulu numuneler için yapılan kabuk-shell çözüm, eşdeğer basınç çubuğu çözümü, yay-spring modeli çözümünün deneysel yük-deplasman zarf eğrisi sonuçlarıyla karşılaştırması verilmiştir



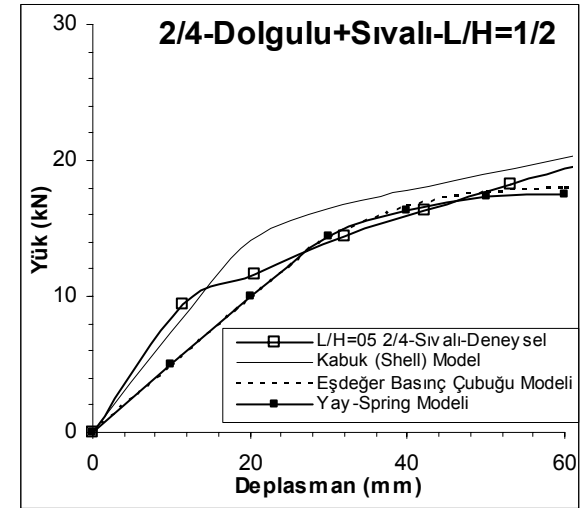
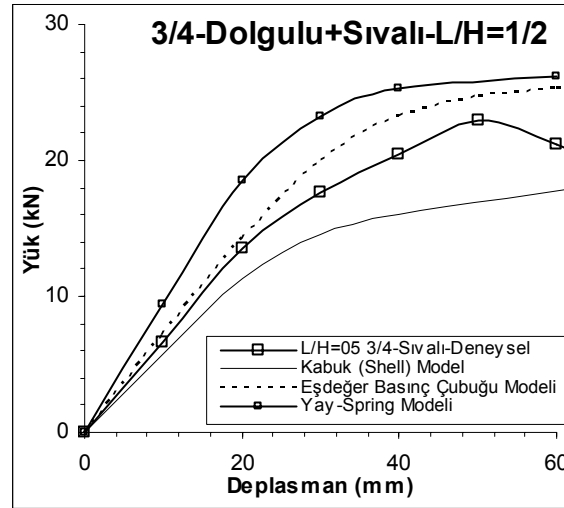
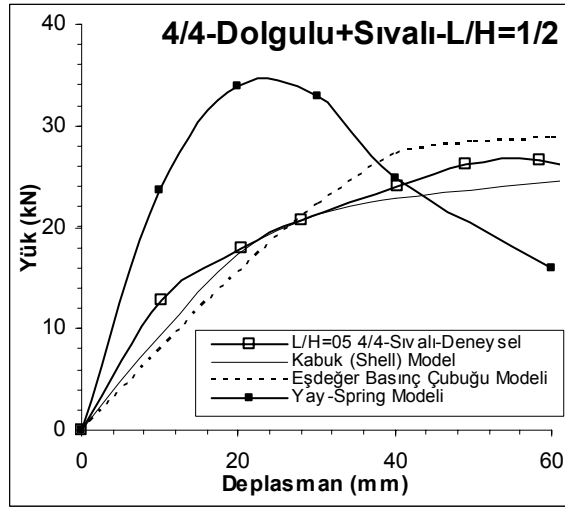
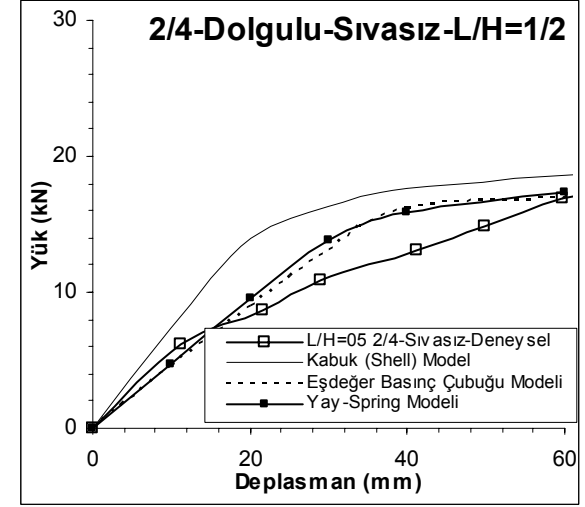
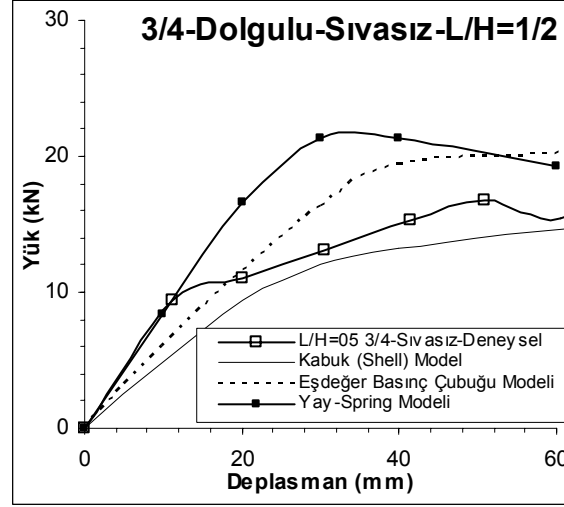
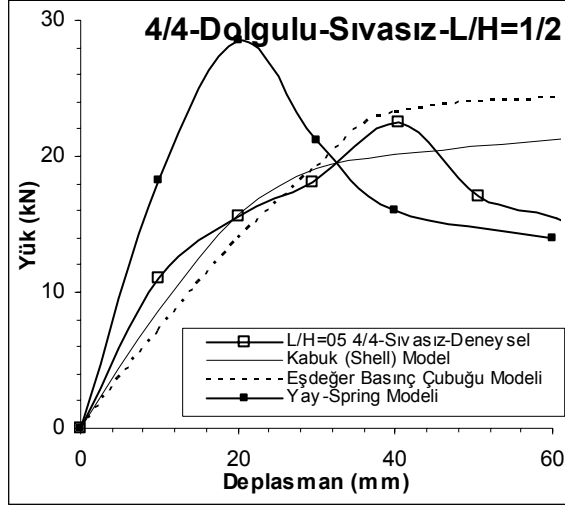
Şekil 12. Gaz beton dolgulu numuneler için deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması



Şekil 13. L/H oranı 1 olan sıvalı ve sıvasız numuneler için deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması



Şekil 14. L/H oranı 2 olan sıvalı ve sıvasız numuneler için deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması



Şekil 15. L/H oranı 1/2 olan sıvalı ve sıvasız numuneler için deneysel ve analitik sonuçların karşılaştırılması

5. Sonuçlar ve Değerlendirme

Dolgu duvarların analizinde karşılaşılan en önemli sorunlardan birisi, birleşik çerçevenin davranışının, kullanılan malzemenin kalitesi, işçiliği ve duvarla çerçeve arasında bırakılan mesafe ve birleşimin şekli gibi son derece esnek parametrelere bağlı olmasıdır. Ancak, çerçevelerin yatay yük altındaki davranışında dolgu duvarların önemli oranda etkili olduğu da bilinmektedir. Bu alanda ülkemizde ve yurt dışında çok sayıda deneysel ve analitik çalışma yapılmasına rağmen, konu, hala üzerinde çalışma yapılması gereken bir alan sunmaktadır. 2001 yılında Ankara’da yapılan ve TÜBİTAK ’ın düzenlediği I. Yapı Mekaniği Laboratuvarları Toplantısında da sonuç bölümünde katılımcılarla yapılan bir ankette, dolgu duvarların davranışı ve yapıya olan etkileri ile ilgili çalışmalar, üzerinde durulması gereken konular arasında yer almıştır.

Bu çalışmada gerçekleştirilen sınırlı sayıda ki deney sonucu ile bu konuda kesin yargılara varmak doğru değildir. Ayrıca, deneysel çalışmada gözlenen davranış özellikleri ile gerçek yapı davranışı da farklılıklar gösterebilmektedir. Ayrıca, dolgu duvarlar ile ilgili çalışmalar pek çok değişkene bağlıdır. Bu değişkenler, işçilik ve yöresel malzemelerin özellikleri gibi subjektif değişkenlerden de etkilenmektedir. Bu değişkenlerin tamamının deney numunelerinin hazırlanmasında göz önüne alınması mümkün değildir. Ancak, ulaşılan sonuçlar, gerçek durumu da belli ölçüde yansıtacak ve uygulamaya ışık tutacaktır.

Boş elik çerçeve sistemlerinin plastik analiz sonucu elde edilen göçme yükleri, deneysel göçme yükü değerleri ile oldukça iyi bir uyum göstermektedir.

Dolgu duvarın, elik çerçevelerde eşdeğer diyagonal basınç çubuğu şeklinde temsil edildiği çözümlerde, basınç çubuğunun genişliği için; dolgu oranının 4/4 ve 3/4 arasında olduğu durumlarda L/H oranı 1/2 için w/D değeri 0.15 olarak alınabilir. 2/4 oranında tuğla duvar dolgulu-sıvasız numunede ise w/D oranı 0.10 un altında bulunmuştur. L/H oranının 1 olması durumunda ise tam dolu çerçevelerde sıvasız dolgular için w/D değeri 0.25, sıvalı dolgular için w/D değeri 0.35 alınabilir. L/H oranının 2 olduğu çerçevelerde, w/D değeri 4/4 oranında tuğla duvar dolgulu-sıvasız ve 3/4 oranında tuğla duvar dolgulu+sıvalı numunler için 0.16, 4/4 oranında tuğla duvar dolgulu+sıvalı için 0.22, 2/4 oranında tuğla duvar dolgulu+sıvalı için 0.12, 3/4 ve 2/4 oranında tuğla duvar dolgulu-sıvasız için 0.06 olarak bulunmuştur. Verilen oranlar ve sonuçlar, bu çalışmadaki deneysel ve analitik çalışmanın sonuçlarına göre çıkarılmıştır. Daha kesin yargıya varmak için, bu konuda daha çok deneysel dataya ihtiyaç vardır.

Dolgu duvarlar, boş elik çerçevelerin hem yatay yük dayanımını, hem de yatay rijitliğini önemli ölçüde artırmaktadır. Ayrıca, sıva kullanımı, dolgulu çerçeve sisteminin yatay göçme yükünü, rijitliğini ve enerji tüketme kapasitesini önemli ölçüde artırmaktadır. Bu nedenle, tasarım aşamasında dolgu duvarlarının sağlayacağı dayanım ve rijitlik artışlarının olumlu ve olumsuz etkilerinin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

6. Kaynaklar

- [1] Yalçın, E., 1999, “Dolgu Duvarların ve Konumlarının Çok Katlı Betonarme Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Davranışına Etkileri”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enst., İstanbul.
- [2] Erdem C., 1998. “Tuğla Dolgu Duvarlı Çerçevelerin Yanal Yükler Altına Nümerik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [3] Bağcı M., 1996, “Yatay yüklere maruz dolgulu çerçevelerin sonlu elemanlar yöntemiyle analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Manisa.
- [4] Ersoy U., Tankut T., 1992, “Hysteretic Response of RC Infilled Frames”, ASCE Journal of Structural Eng., Vol:118 No:8.
- [5] Erkaya A., 1996, “Betonarme Çerçeve Yapılarda Dolgu Duvarların Deprem Davranışına Etkisi”, Yüksek Lisans Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [6] Tüzün, C., 1999, “Dolgu Duvarlı Betonarme Çerçeve Sistemlerin Dinamik Analizi”, Yüksek Lisans Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- [7] Köken A., 2003, “Tersinir-Tekrarlanır Yatay Yükleme Altındaki Çok Katlı Ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik Ve Deneysel Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [8] Kaltakçı M.Y., Köken A. 2003, “Tersinir Yükleme Altındaki Çok Katlı ve Çok Açıklıklı Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışının Teorik ve Deneysel Olarak İncelenmesi” isimli araştırma projesi, Selçuk Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Konya.
- [9] Kaltakçı M.Y., Köken A. 2003, “Tuğla Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir-Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranışı”, Tübitak Proje No: İtag569, Ankara.
- [10] Korkmaz H. H., 2004, “Bant Pencereci Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Davranışının İncelenmesi”, Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [11] Kaltakçı M.Y., Korkmaz H.H., Köken A. “Tam ve Kısmi Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Tersinir Tekrarlanır Yükler Altındaki Mekanik Davranışının İncelenmesi” 501-511, XIV. Ulusal Mekanik Kongresi, 12-16 Eylül 2005, Hatay.
- [12] Kaltakçı M.Y., Köken A., Korkmaz H.H., “Deprem Etkisindeki Dolgu Duvarlı Çelik Çerçevelerin Davranışı Üzerine Deneysel ve Analitik Bir Çalışma” 477-487, XIII. Ulusal Mekanik Kongresi, 8-12 Eylül 2003, Gaziantep.

İNCE LEVHALI BİR ÇELİK PERDENİN ARTAN YATAY YÜK ALTINDA ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

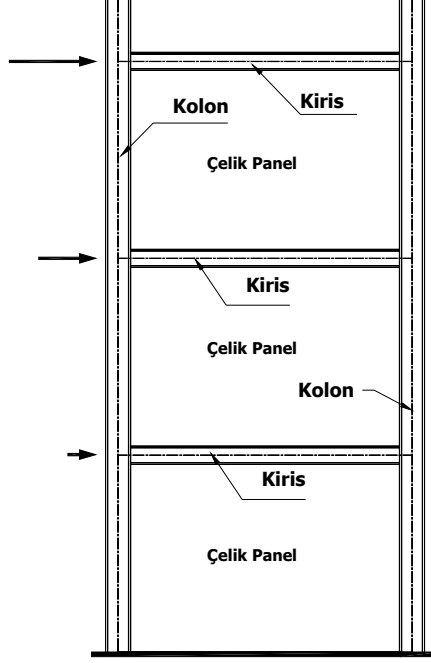
Cüneyt VATANSEVER, Nesrin YARDIMCI
İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İstanbul, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, ince levhali (panel) tek katlı ve açıklıklı bir çelik perde tek doğrultuda artan yatay yük altında analitik olarak incelenmektedir. İnce çelik levhali perdenin, panelin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği analitik modeli (paralel çubuk modeli) SAP2000, malzeme ve geometri bakımında doğrusal olmayan sonlu eleman modeli ABAQUS bilgisayar yazılımı kullanılarak geliştirilmiştir. Kiriş-kolon birleşimi etkisinin de dikkate alındığı bu modellerin davranışları, artan yatay yük altında yük-yer değiştirme eğrileri elde edilerek karşılaştırılmaktadır. Ayrıca, örnek sistemin deneysel [1] olarak sergilediği davranış ile analitik inceleme sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

GİRİŞ

Japonya ve ABD’de 1970’li yıllardan itibaren yatay yük taşıyıcı sistemler olarak kullanılmakta olan çelik levhali çerçeveler için bugüne kadar gerek kuramsal gerekse deneysel pek çok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bu araştırmaların sonunda deneysel çalışmalarla desteklenen çeşitli analitik modeller de geliştirilmiştir. Bu çalışmada, J. Berman tarafından UB (University at Buffalo, State University of New York)’de test edilen tek katlı ve açıklıklı bir çelik levhali perde sisteminin [1] farklı bilgisayar yazılımları (ABAQUS ve SAP2000) kullanılarak analitik modellerinin geliştirilmesi, her iki modelin de artan yatay yük altında doğrusal olmayan statik itme analizlerinin gerçekleştirilerek elde edilen yük-yer değiştirme eğrilerinin deneysel sonuçlarla karşılaştırılması amaçlanmaktadır. Böylece, yapıların analizi için yaygın olarak kullanılan bilgisayar yazılımları ile çelik levhali perdelerin analitik modellerinin hazırlanması konusunda bilgi akışının da sağlanacağı düşünülmektedir.



Şekil 1 Tipik çok katlı çelik levhalı perde

ÇALIŞMANIN KAPSAMI

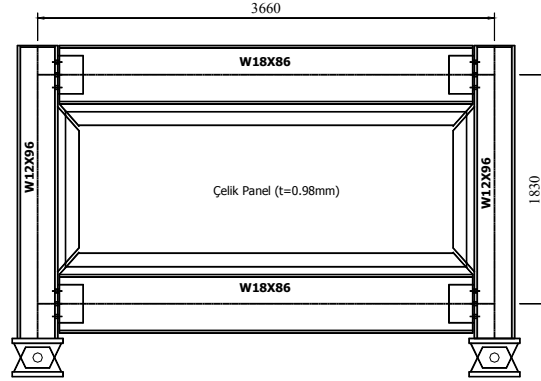
İnce çelik levhalı perdeler, büyük başlangıç rijitliğine ve yüksek süneklikle birlikte büyük enerji sönümleme kapasitesine sahip olmaları nedeniyle oldukça etkili yatay yük taşıyıcı sistemlerdir. Çok katlı ince levhalı bir çelik perde (Şekil 1), çelik kiriş-kolon çerçeve sistemi ile bu çerçevelerin içine kolon ve kirişlerin başlıklarına kaynak veya bulonlar 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 [2]. Kiriş-kolon birleşimleri, rijit (moment aktaran) olabileceği gibi yarı-rijit (kısmen moment aktaran) veya mafsallı olarak da teşkil edilebilmektedir.

İnce levhalı çelik perdeler yapılarda yatay yük aktarmak amacıyla kullanılmaya başlanmasından bu yana gerek rijitleştirici elemanlarla güçlendirilmiş paneller içeren gerekse güçlendirilmemiş panellerin kullanıldığı pek çok deneysel ve kuramsal çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, yapılan deneysel çalışmalarla desteklenen ve çelik panelin bir seri çekme çubuğu ile temsil edildiği analitik modeller de geliştirilmiştir.

Bu çalışmada oluşturulacak analitik model için esas alınan ince levhalı tek katlı örnek çelik perde [1] Şekil 2’de verilmiştir. Yaklaşık ½ ölçekli olarak hazırlanan sistemde kolon eksenleri arasındaki uzaklık 3660mm, kiriş eksenleri arasındaki yükseklik 1830mm’dir. Kirişler, W18×86, kolonlar ise W12×96 profilleri kullanılarak boyutlandırılmıştır. Çelik panelin ölçülen kalınlığı 0.98mm olarak verilmektedir. Deneysel çalışmada [1] örnek perdenin davranışı sadece tepe noktasından etkiyen tekrarlı yük altında incelenmiştir. Bu çalışma kapsamında

gerçekleştirilen gerek çubuk eleman gerekse sonlu eleman model analizlerinde yük, tepe noktasından tek doğrultuda artan nitelikte uygulanmıştır.

Çubuk elemanların malzeme akma gerilmesi, kullanılan panele ait deney parçalarının çekme testi sonucunda belirlenen akma gerilmesine eşit ve 214 MPa olarak dikkate alınmaktadır. Çelik perdede, malzeme akma gerilmesi 345 MPa olan kiriş ve kolonların elastik sınırlar içinde davranacağı öngörülmektedir.



Şekil 2 Analitik modeli oluşturulacak çelik levhali perde[1]

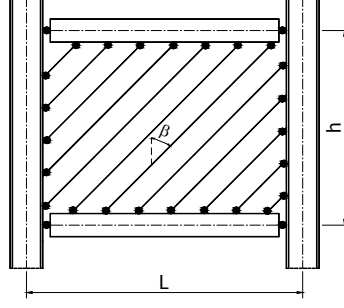
Çelik levhali perdede kiriş-kolon bağlantıları, iki adet korniyerin (2L 203×102×12.7) kiriş gövdesine kaynaklandığı ve bu korniyerlerin kolon başlığına bulonlar vasıtasıyla birleştirildiği çift gövde köşebentli birleşimlerdir. Kolonlar, tabanda, temele $\phi 76\text{mm}$ çapında tek bulonla bağlanan mafsallı ayaklara 6M38 bulonlar yardımıyla bağlanmaktadır.

ÇELİK LEVHALI PERDE İÇİN ANALİTİK MODELLER

Çelik levhali perdelerin artan yatay yükler altında davranışlarını tahmin etmek amacıyla deneysel çalışmalarla desteklenen çeşitli analitik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde çelik panel, en büyük asal çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilen iki ucu mafsallı çekme elemanları ile temsil edilebilmektedir. Bu çalışmada esas alınan modeller, panelin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği paralel çubuk modeli[3] ve panelin, birbirinden farklı açılarla yerleştirilen beş adet çekme elemanı kullanılarak temsil edilebildiği farklı açılı çubuk modelidir[4]. Geliştirilen çubuk modellerin analizlerinde SAP2000 bilgisayar yazılımından yararlanılmıştır.

Paralel Çubuk Modeli [3]

Paralel çubuk modelinde, çelik paneli temsil edebilmek amacıyla, birbirine paralel iki ucu mafsallı eşdeğer çubuk elemanlar kullanılmaktadır (Şekil 4).



- Mafsallı birleşim

Şekil 4 Paralel çubuk modeli (şematik)

Çekme çubuklarının boyuna doğrultudaki eksenleri ile düşey eksen arasındaki açının (β) hesabında, Denk.(1) esas alınmaktadır [3]. Bu denklemde temel parametre çekme çubuklarının düşey eksenle yaptığı açıdır. Denk.(1)'in elde edilmesinde izlenen yöntem, temel olarak minimum iş prensibine dayanmaktadır. Ayrıntılı bilgi için [5]'e bakılabilir.

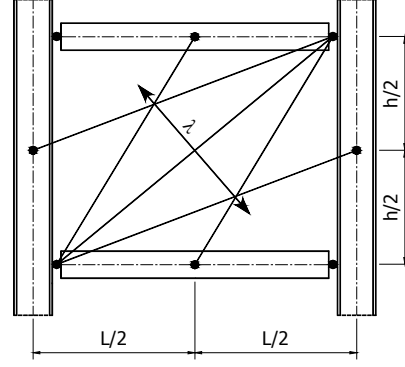
$$\tan^4 \beta = \frac{1 + \frac{wL}{2A_c}}{1 + wh \left(\frac{1}{A_b} + \frac{h^3}{360I_c L} \right)} \quad (1)$$

Burada, L , w , h , A_c , I_c , ve A_b sırasıyla, kolon eksenleri arasındaki mesafeyi, panel kalınlığını, kat yüksekliğini, kolon alanı ve atalet momenti ile kiriş alanını göstermektedir.

Denk.(1) elde edilirken kiriş-kolon birleşimlerinin mafsallı olduğu diğer bir deyişle, moment aktarmadığı varsayılmaktadır. Ayrıca denklemde kolonların hem eksenel hem de eğilme rijitliklerinin davranışa katkısı gözönüne alınırken kirişlerin sadece eksenel rijitliği dikkate alınmaktadır.

Farklı Açılı Çubuk Modeli [4]

Bu modelde çelik panel, farklı açılarda yerleştirilen beş adet iki ucu mafsallı çekme elemanı kullanılarak temsil edilmektedir. Modelde eksenel çekme kuvveti aktaran çubuklardan biri köşegen doğrultusunda konumlandırılarak karşılıklı çerçeve köşelerini, diğer dört adet çubuk ise çerçeve köşelerini kolon ve kirişlerin orta noktalarına bağlamaktadır (Şekil 5). Bu modelde esas alınan temel parametre, λ ile gösterilen etkili panel genişliğidir.



- Mafsallı birleşim
- λ Etkili panel genişliği

Şekil 5 Farklı açılı çubuk modeli (şematik)

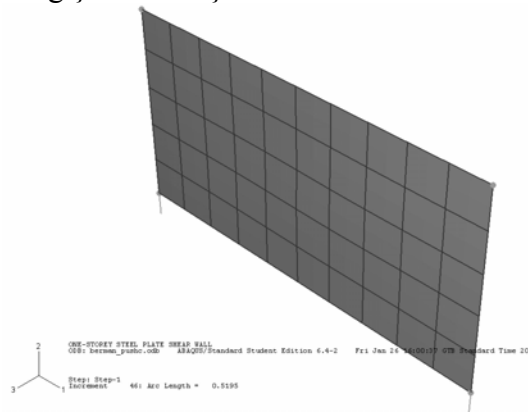
Etkili panel genişliği, λ , Denk.(2) [4] kullanılarak hesaplanabilmektedir. Denk.(2) ile tanımlanan etkili panel genişliğiyle ilgili ayrıntılı bilgi için [4-6] incelenebilir.

$$\lambda = \frac{\frac{L}{wh \sin^3 \phi}}{\frac{3}{wL} + \frac{1}{2A_c} + \frac{0.001h^4}{I_c L^2}} \quad \phi = \tan^{-1}(L/h) \quad (2)$$

Burada, L , w , h , A_c , ve I_c sırasıyla, kolon eksenleri arasındaki mesafeyi, panel kalınlığını, kat yüksekliğini, kolon alanı ve atalet momentini göstermektedir. Kiriş eksenel ve eğilme rijitliğinin sistemin davranışına etkisi ihmal edilmektedir. Çelik paneli temsil etmek üzere tanımlanan beş adet iki ucu mafsallı çekme elemanının her birinin alanı, etkili panel genişliği çubuk sayısına bölünerek elde edilen etkili kesit yüksekliğinin panel kalınlığı ile çarpılması sonucunda bulunmaktadır.

SONLU ELEMAN MODELİ

Çelik levhali perdenin sonlu eleman modeli (Şekil 6) ABAQUS bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Panel için 5 (düşey doğrultuda) $\times$ 10 (yatay doğrultuda) adet parçadan oluşan sonlu eleman ağı kullanılmaktadır. Kolonlar ve kirişler, eleman uçlarında altı adet serbestliğin tamamını dikkate alan üç düğüm noktalı B32 elemanı ile çelik panel, sekiz düğüm noktası içeren S8R5 elemanı kullanılarak modellenmiştir. S8R5 elemanı ile düğüm noktalarının panel düzlemine dik doğrultudaki şekil değiştirme bileşenleri de dikkate alınmaktadır.



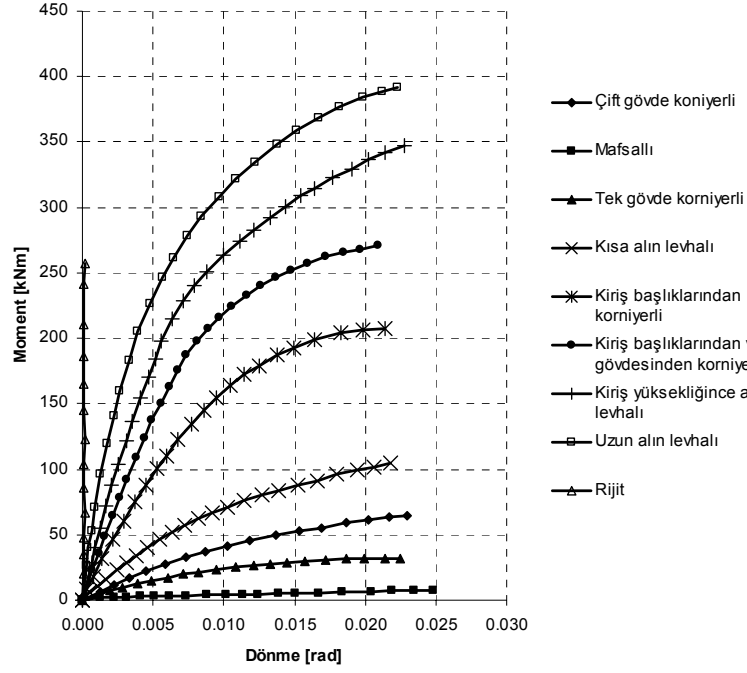
Şekil 6 Çelik levhali perdenin sonlu eleman modeli

Kiriş-kolon birleşiminin doğrusal olmayan davranışının etkisini gözönüne alabilmek amacıyla, birleşim bölgelerinde dönmeye karşı doğrusal davranmayan yaylar tanımlanmaktadır.

İnce levhalı çelik perdelerin imalatı sırasında panellerin düzlemine dik doğrultudaki şekil değiştirmesi kaçınılmaz bir olaydır. Bu şekil değiştirme bileşenlerinin durumu yapının yatay yükler altındaki davranışının elde edilmesinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla, yapılan analizlerde bu durumun dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için de çelik panellerin başlangıçtaki düzlemine dik şekil değiştirme bileşenlerinin tespit edilmesi veya tahmin edilmesi gerekir. ABAQUS'te, böyle bir analizin gerçekleştirilmesi sırasında, başlangıçtaki şekil değiştirmiş durum, panelin herhangi bir burkulma moduna ait şekil değiştirmiş hali belirli katsayılar oranında ölçeklendirilerek tanımlanabilmektedir. Bu nedenle, doğrusal olmayan analize başlamadan önce sistemin burkulma modları elde edilmiştir. Panelin başlangıçtaki şekil değiştirmiş durumu, sistemde en küçük burkulma yükünün elde edildiği ikinci burkulma modu panel kalınlığının 10 katı (9.8 mm) olarak belirlenen katsayı ile ölçeklendirilerek dikkate alınmıştır.

KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİM MODELİ

Kiriş-kolon birleşimlerinin tasarımı, rijit (moment aktaran) ve mafsallı (moment aktarmayan) olmak üzere genellikle iki temel grup dikkate alınarak gerçekleştirilmektedir. Ancak hemen hemen her mafsallı çelik birleşim tipinin bir miktar moment aktarabilme özelliğine sahip olduğu bilinmektedir. Genellikle bir birleşim, moment taşıma kapasitesi, birleştirdiği kirişin en büyük moment taşıma kapasitesinin (plastik moment) %20'sini aşmıyorsa mafsallı bir bağlantı olarak tanımlanabilir. Bununla birlikte birleşimin moment taşıma kapasitesi, birleştirdiği kirişin plastik moment kapasitesinin %20'si ile %70'i arasında ise yarı-rijit, %70'inden büyük olduğu durumlarda da rijit birleşim olarak dikkate alınabilmektedir [7]. Birleşim tiplerine göre moment-dönme eğrileri Şekil 7'de verilmiştir.



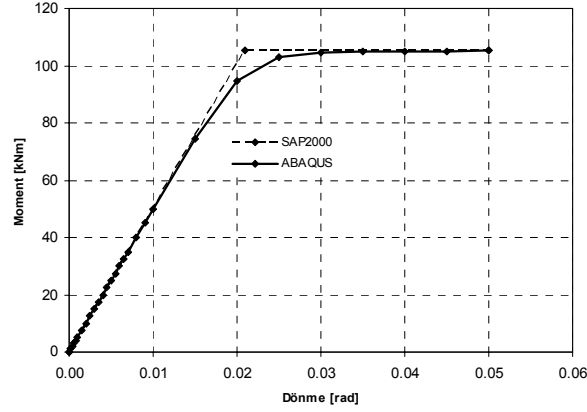
Şekil 7 Birleşim tipleri için tipik moment-dönme eğrileri [7]

Örnek tek katlı çelik perdede kiriş-kolon birleşim tipi iki adet korniyer yardımıyla kiriş gövdesinin kolona bağlandığı mafsallı bir birleşimdir. Ancak bu tip birleşimlerin moment taşıma kapasiteleri, bağladığı kirişin plastik moment kapasitesinin %5'i ile %15'i arasında değişen değerler alabilmektedir[8].

Kiriş-kolon birleşim tipi, belirtilen sınır şartlar dikkate alındığında mafsallı bir bağlantı olmasına rağmen, doğrusal olmayan davranışının etkisini anlayabilmek amacıyla, örnek çelik perdede esas alınan birleşim için dört değişkene bağlı olarak moment-dönme eğrisinin temsil edildiği Denk.(3) ile tanımlanan model [9] gözönüne alınmıştır. Bu modele göre birleşimin moment-dönme eğrisi Şekil 8'de verildiği gibi elde edilebilmektedir. Bu modelde birleşimin moment taşıma kapasitesi, birleştirdiği kirişin en büyük moment taşıma kapasitesinin %10'u, başlangıç rijitliği, $K_{\varphi} = 5000$ kNm/rad olarak alınmıştır.

$$M = \frac{(K_{\varphi} - K_{\varphi,p})\varphi}{\left(1 + \left|\frac{(K_{\varphi} - K_{\varphi,p})\varphi}{M_o}\right|^n\right)^{1/n}} + K_{\varphi,p}\varphi \quad (3)$$

Denk.(3)'te, $K_{\varphi,p}$, φ , M_o ve n sırasıyla, plastik rijitliği, dönmeyi, esas alınacak moment değerini ve şekil katsayısını göstermektedir. Geliştirilen analitik modellerde birleşimin doğrusal olmayan davranışı için esas alınacak moment değerinin, M_o birleşimin moment taşıma kapasitesine eşit, şekil katsayısının, $n = 9$ ve birleşimin plastik rijitliğinin, $K_{\varphi,p}=0$ olduğu varsayılmaktadır. Böylece, moment-dönme eğrisinin, birleşimdeki moment değerinin, $M=M_o$ olması durumundan sonra yataylaştığı ve artan dönme değerlerine sabit momentin (M_o) karşı geldiği bir moment-dönme eğrisi elde edilmektedir.

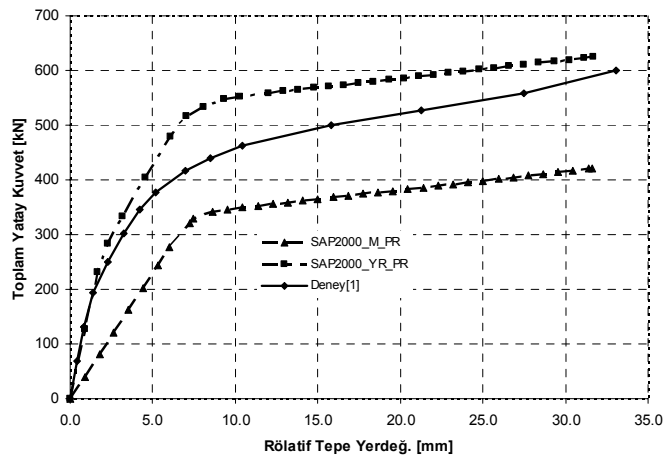


Şekil 8 Birleşim modeli

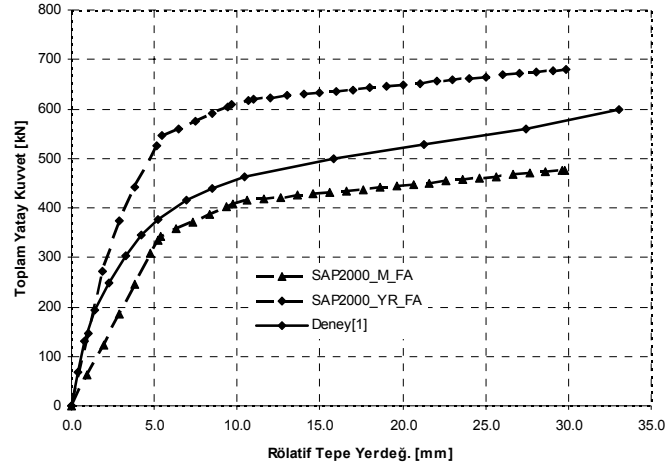
ANALİZLER VE SONUÇLARI

Çelik panelin paralel ve farklı açılı çekme çubukları kullanılarak geliştirilen analitik modellerinde eşdeğer çekme elemanlarının aksel doğrultudaki davranışında malzeme, gerilme-şekil değiştirme eğrisi, %3 eğimli pekleşmeyi de esas alan iki doğru parçası halinde tanımlanmaktadır. Analitik modellerde, kiriş-kolon birleşimleri mafsallı ve yarı-rijit olmak üzere birbirinden bağımsız olarak iki şekilde dikkate alınmaktadır. Yarı-rijit kiriş-kolon birleşimlerinin doğrusal olmayan davranışı, kirişlerin kolonlara birleştiği kesitlerde, birleşimin moment-dönme ilişkisini esas alan eşdeğer plastik mafsallı kullanılarak tanımlanmıştır. SAP2000 modellerinde, birleşime ait moment-dönme eğrisi başlangıç rijitliği esas alınarak iki doğru parçası halinde idealleştirilmektedir (Şekil 8). Paralel çubuk modelinde, çelik panel, toplam 20 adet iki ucu mafsallı çekme çubuğu ile farklı açılı çubuk modelinde ise toplam 5 adet çekme çubuğu kullanılarak temsil edilmektedir.

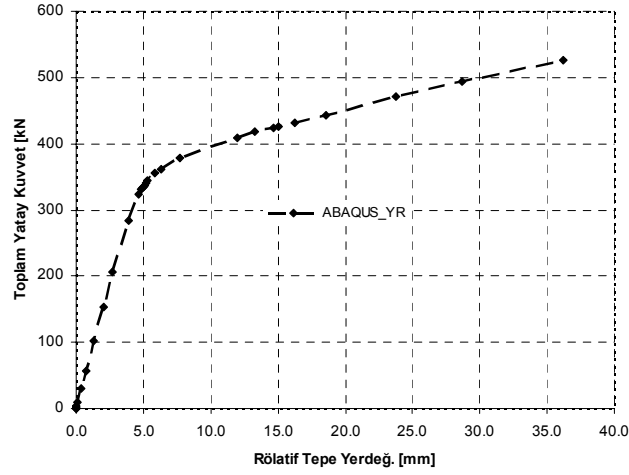
İnce levhali tek katlı çelik perdeye ait analitik ve sonlu eleman modellerinin doğrusal olmayan statik itme analizleri sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri (Şekil 9-11)'de verilmektedir.



Şekil 9 Paralel çubuk modeline ait yük-yer değiştirme eğrisi



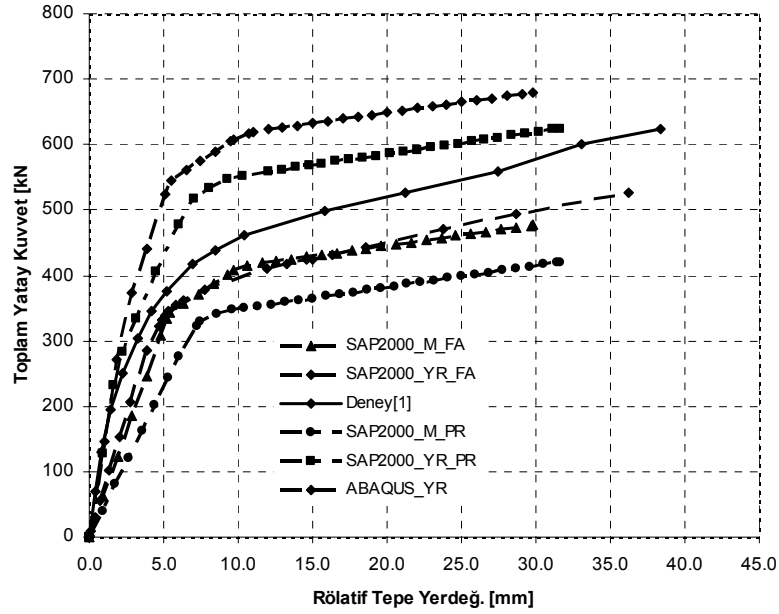
Şekil 10 Farklı açılı çubuk modeline ait yük-yer değiştirme eğrisi



Şekil 11 Sonlu eleman modeline ait yük-yer değiştirme eğrisi

SONUÇ

Bu çalışma kapsamında J. Berman tarafından UB (University at Buffalo, State University of New York)'de test edilen ince levhalı tek katlı ve açıklıklı bir çelik perdeye[1] ait analitik ve sonlu eleman modellerinin tek doğrultuda artan yatay yük altında SAP2000 ve ABAQUS bilgisayar yazılımları kullanılarak doğrusal olmayan statik itme analizleri gerçekleştirilmiştir. Analizler sonunda ve deney sonucunda elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 12'de verilmektedir.



Şekil 12 Yük-yer değiştirme eğrileri

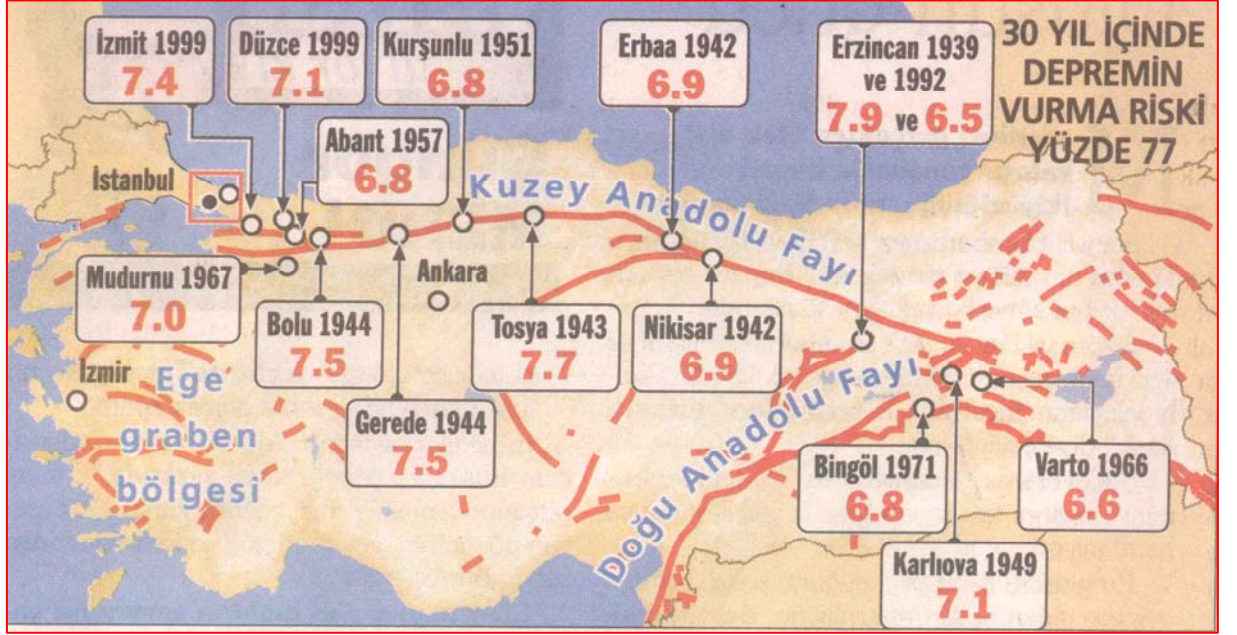
Şekil 12’de yük-yer değiştirme eğrileri verilen sistemlerden, birleşimin doğrusal olmayan davranışının dikkate alındığı paralel çubuk modeli (SAP2000_YR_PR) ile farklı açılı çubuk modellerine ait başlangıç rijitliklerinin deneysel sonuçla uyumlu olduğu görülmektedir. Buna karşın akma dayanımının %30 ~ %45 arasında değişen oranlarla daha büyük tahmin edildiği gözlenmektedir. Akma dayanımına karşı gelen yer değiştirme değerlerinin tahmininde, gerek analitik ve sonlu eleman modellerinin kendi aralarında gerekse deneysel akma yer değiştirme değeri arasında bir uyum olduğu söylenebilir. Kiriş-kolon birleşiminin mafsallı olarak dikkate alındığı paralel çubuk modelinde (SAP2000_M_PR), akma dayanımı ile göçmeye karşı gelen toplam yatay kuvvet deneysel olarak elde edilen değerlere göre yaklaşık %30 oranında daha küçük tahmin edilmiştir. Sonlu eleman modeli (ABAQUS_YR) ile kiriş-kolon birleşiminin mafsallı olarak gözönüne alındığı farklı açılı çubuk modeli (SAP2000_M_FA) arasında belirgin bir uyum olduğu görülmektedir.

Çelik perde sisteminin artan yatay yük altında davranışının tahmin edilmesi için geliştirilen modellere ait yük-yer değiştirme eğrileri arasındaki farkların, kiriş-kolon birleşiminin doğrusal olmayan davranışının tahmini, farklı çubuk modelinde esas alınan etkili panel genişliği ile paralel çubuk modelinde çubuk açısının tespiti için verilen ifadelerin elde edilmesi sırasında yapılan varsayımlar, sonlu eleman modelinde esas alınan başlangıç şekil değiştirmiş durum geometrisi ve sonlu eleman ağının sıklığının azlığından kaynaklandığı söylenebilir.

KAYNAKLAR

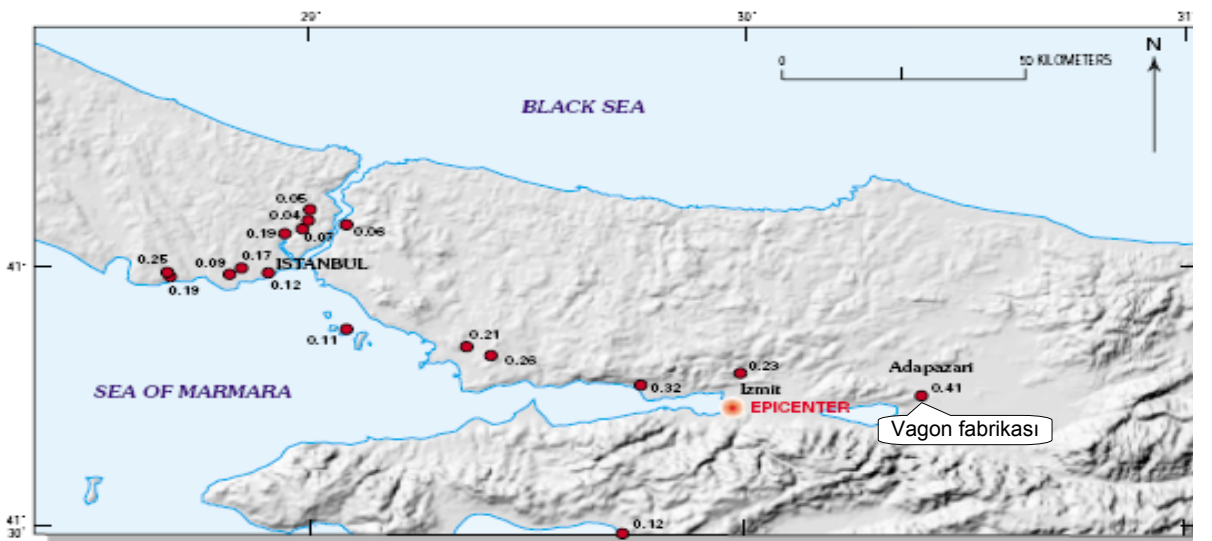
- [1] **J. W., Berman, M., Bruneau,** 2005. Experimental Investigation of Ligh-Gauge Steel Plate Shear Walls, *Journal of Structural Engineering, ASCE*, (2), 259-267.
- [2] **Caccese, V. and Elgaaly, M.,** 1993. Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load, *Journal of Structural. Engeering, ASCE*, (2), 573-587.
- [3] **Canadian Standard Association,** 1994. CAN/CSA-S16.1-94, Limit States Design of Steel Structures, Sixth Edition, Willowdale, ON..
- [4] **Rezai, M.,** 1999. Seismic behaviour of steel plate shear walls by shake table testing, *Ph.D. Dissertation*, University of British Columbia, Vancouver, Canada.
- [5] **Timler, P. A. and Kulak, G. L.,** 1983. Experimental study of steel plate shear walls, *Structural Engineering Report*, 114, University of Alberta, Edmonton, Alta, Canada.
- [6] **Thorburn, L. J. and Kulak, G. L.,** 1983. Analysis of steel plate shear walls, *Structural Engineering Report*, 107, University of Alberta, Edmonton, Alta, Canada.
- [7] **Chen W. F., Toma S.,** 1994. Advanced Analysis of Steel Frames Theory, Software and Application.
- [8] **Lorenz R. F., Kato B., Chen W. F.,** 1992. Semi-Rigid Connections in Steel Frames
- [9] **Faella C., Piluso V., Rizzano G.,** 2000. Structural Steel Semirigid Connections.
- [10] **Vatansever C., Yardımcı N.,** 2005. İnce Çelik Levhalı Çerçevelerin Analitik Olarak İncelenmesi, *Bildiriler Kitabı*, Çelik Yapılar Sempozyumu, 21-22 Nisan 2005.
- [11] **ABAQUS 6.4 Student Version,** 2004. Hibbit, Karlsson, and Sorenson, Inc., Pawtucket, R.I.
- [12] **SAP2000 V9,** Computers and Structures, Inc., 1995 University Ave. Berkeley, CA.

Önemli deprem kuşaklarından biri üzerinde bulunan Türkiye’de belli aralıklarla büyük depremler meydana gelmektedir (Şekil 2).



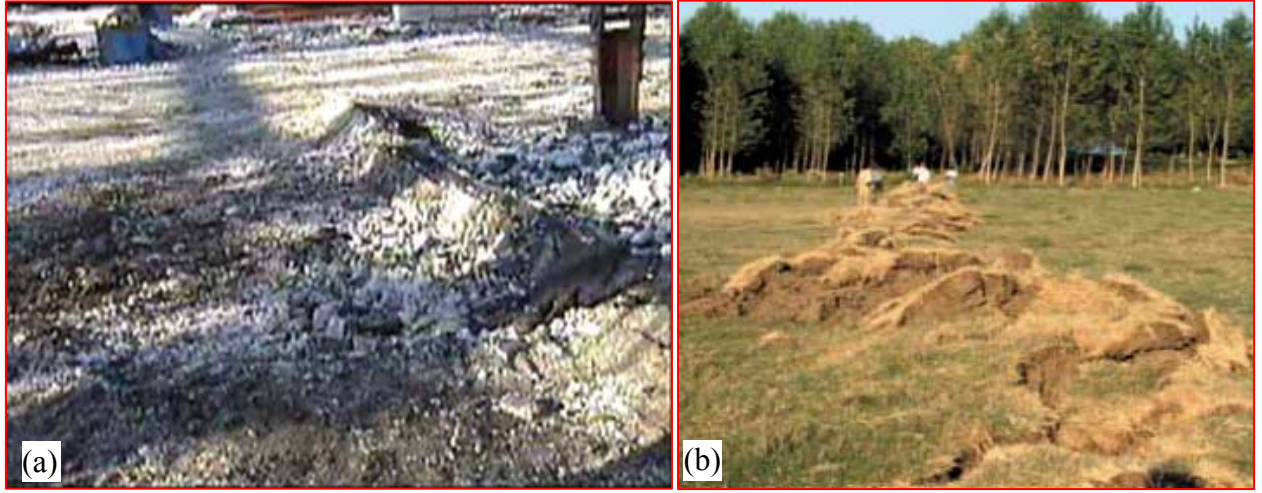
Şekil 2. Türkiye’de olmuş büyük depremler

Bunlardan önemli iki tanesi 1999 yılında Kocaeli (M=7.4) ve Düzce (M=7.2) depremleridir. Bu iki depremin yeri birbirine yakın olup Kuzey Anadolu Fay hattı üzerinde bulunmaktadır. Bu depremde hasarın büyük olmasının nedeni bölgenin nüfusunun ve sanayi yapılarının yoğun olmasıdır. İnceleme konusu olan Adapazarı Vagon Fabrikası ise Kocaeli depreminin merkezine 50 km uzaklıkta bulunmaktadır. Fabrikanın bulunduğu bölgede depremin ivmesinin büyük olmasının etkisi çok fazladır (Şekil 3).



Şekil 3. Depremin ivme değerleri [2]

Fabrikanın içinde yüksekliği 35-40 cm yüksekliğinde bir faylanma olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu faylanma fabrikanın birçok yerinde birbirine yaklaşık paralel olarak görülmüştür.



Şekil 4. Fabrika içi ve dışında faylanma izleri

Demiryollarının yük ve yolcu vagonlarını tamir amacıyla 1948 yılında inşaatına başlanan ve 1951'de işletmeye açılan Adapazarı Cer Atölyesi, o tarihlerde 1200 adet yük ve 600 adet yolcu vagonunun bakım ve tamiratını gerçekleştiriyordu. Onarım Atölyesi hüviyeti 10 yıl devam etti. Adapazarı Demiryolu Fabrikasına dönüştürülen kuruluş, 1961 yılından itibaren yolcu vagonlarının yerli olarak imalatına başladı. 1975 yılında Adapazarı Vagon Sanayi Müessesesi "ADVAS" olan kuruluşta uluslararası standartlarda (UIC-RIC) tipi yolcu vagonlarının üretimine geçildi. 1986 yılında A.Ş. haline getirilerek bugünkü statüsüne kavuştu ve TÜVASAŞ "TÜRKİYE VAGON SANAYİİ ANONİM ŞİRKETİ" adını aldı. TCDD Genel Müdürlüğü'nün "Bağlı Ortaklığı" olarak faaliyet gösteren ve sermayesinin tamamı devlete ait olan TÜVASAŞ, Yönetim Kurulu ve Genel Müdür tarafından yönetilmektedir. Muhtelif teknik ve idari birimlerden oluşan şirket; 750,000 metrekare alan üzerinde ve 76.500 metrekare'lik kapalı tesise sahiptir. TÜVASAŞ'ta halen 938 işçi ile 343 yönetici ve memur personel istihdam edilmektedir. Halen demiryollarının 1706 civarındaki yolcu vagonunun üreticisi olarak tamamının bakım ve onarımını yapmaktadır. Fabrika depremden sonra tamamen yenilenerek üretime tekrar başladı (Şekil 5). Fabrikanın yenilenmesi oldukça büyük mali yük getirmiştir.



Şekil 5. Depremden sonra yeniden yapılan vagon fabrikası (<http://www.tuvasas.com.tr>)

Bu depremde hasar gören çelik yapıların en büyük olanı bu söz konusu vagon fabrikasıdır. Alan olarak bakıldığında hasar gören çelik yapıların %90'ını bu fabrika oluşturmaktadır. Ayrıca bu yapı büyük bir kuruluş olduğu için de ön plana çıkmıştır. Hasar gören diğer çelik yapılar da bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. Çelik yapı hasarlarından bir kaç

Bu depremde Adapazarı'nda diğer yapılar da büyük ölçüde hasar görmüştür (Şekil 7). Bu hasarların genellikle Adapazarı merkezde sıvılaşmadan dolayı olduğu görülmektedir.



Şekil 7. Yapı hasarları (Adapazarı)

Fabrikanın genel yapısı incelendiğinde kolonların ve kirişlerin profil, yapay kafes ve kutu kesitten rasgele yapıldığı görülmektedir. Ayrıca kolonların narin, buna karşın kirişlerin kolonlara göre çok rijit ve iki kademeli olarak düzenlendiği ve kreyn kirişleri ve taşıdıkları yüklerin büyük olduğu görülmüştür (Şekil 8).



Şekil 8. Çelik yapı hasarlarından bir kaç

Fabrika değişik dönemlerde artan ihtiyaçları karşılamak için kendi imkanları ile yönetmelik şartlarına uyulmadan ilaveler yapılarak 1950 yılında yapılan alanın yaklaşık 10 katı kadar bir alanda büyütülmüştür. Bu genişleme sürecinde yapıda genellikle dilatasyon derzi yapılmadığından yapının depremde bir bütün olarak çalışması hasar nedenlerinin başında gelmektedir. Ayrıca kolonlar 4-5 m yüksekliğinde kreyn kirişlerinin bulunması ve 1 m sonra da çelik kafes sistemlerin bulunması kolonların deprem yükleri altında davranışını olumsuz yönde etkilemiştir.

Türkiye Cumhuriyeti Devlet Demiryollarının (TCDD) bağlı ortaklığı olan TÜVASAŞ'ın fabrikasının bu depremdeki hasarı çok büyüktür (Şekil 9). Maddi hasarının 36 milyon YTL olduğu tahmin edilmektedir. TÜVASAŞ'da bulunan 3 adet ray otobüsü, 5 adet furgon bölmeli jeneratör vagonu, 5 adet TVS 2000 tipi yeni imal vagon ve 30 adet yolcu vagonu enkaz altında kalmış ve ağır hasar görmüştür. TÜVASAŞ tesislerinin hasar görmesi nedeniyle yolcu vagon üretim ve onarım faaliyetlerindeki aksamalarda arz yönünden bazı kısıtlamalara gidilmiştir.



Şekil 9. Fabrika hasarından görünüş

Bu çalışmada söz konusu yapının kolon ve kiriş gibi ana taşıyıcı elemanlarının ayrı ayrı deprem hasarları yönünden TS-648 “Çelik yapıların yapım ve hesap kuralları” yönetmelik esasları ile incelenmiştir [4]. Ayrıca bir model oluşturularak düğüm noktalarındaki şekil değiştirmeler incelenerek yorum getirilmiştir.

2. Yapı ve Yönetmelikler Üzerinde Yapılan İncelemeler

Türkiye’deki çelik yapılar genellikle TS648 “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları-1980” e göre yapılmaktadır. 1980 yılında uygulamaya konan TS648, AISC (Specification for the Design Fabrication and Erection of Structural for Building) ve DIN4114 deki bazı bölümlerden yararlanılarak oluşturulmuştur. TS648 ile bağlantılı başka Türk standartları da proje sırasında kullanılmaktadır. 1980 yılından önce yapılan çelik yapılar bu konuda gelişmiş diğer ülke yönetmeliklerine veya diğer yönetmelik kriterlerine atıflar yapılarak yapılmıştır. Çeşitli sebeplerden dolayı fabrikanın detaylı proje ve bilgilerine ulaşamamıştır.

2.1. Hasar İncelemesi

Deprem sonrası fabrika alanında ve fabrika enkazına ait video görüntüleri ve fotoğraflar üzerinde yapılan incelemeler sonucunda Depremde fabrikanın meydana gelen hasarlarını 4 grupta değerlendirebiliriz.

1. Temel levhasına bağlı çelik kolonların deprem etkisi sonucunda perçin ve bulonları kesilerek yerlerinden çıkmıştır (Şekil 10). Kolonlar üst kısmındaki kafes sistemlerin hareketi ile yuvalarından çıkarak 25-50 cm yer değiştirmiştir. Kolonların yuvalarında bulunan perçinlerin veya bulonların bazılarının deprem esnasında kesildiği, bazılarının da baştan hiç olmadığı yapılan incelemelerden görülmektedir (Şekil 10). Yapının orta kısmında bulunan kolonların temele iyi bağlandığı söylenemez.



Şekil 10. Kolon mesnet hasarları

2. Kreyn kirişleri ve kafes kirişler kolonlara birleştirildikleri noktalarda kuşatılmış düğüm noktası oluşturmadığı için deprem esnasında oluşan yatay yükleri karşılamayarak kolonun büyük bir bölgesinde akma oluşturmuştur (Şekil 11). Ayrıca bu tür birleşim kolonun üst kısmında kısa kolon oluşumuna ve bu kısa kolonun en üst seviyesinde rijitliği oldukça büyük olan kirişlerin de bulunmasıyla yapının üst kısmının rijit çalışmasına sebep olmuştur. Yapının 4-5 m kolon boyunda hiçbir yatay bağlantı yok iken üstten 2 m'lik kısmında kreyn, kafes, havalandırma ve aydınlatma bağlantıları ile rijit bir bölge elde edilmiştir. Bu durum deprem yönetmeliğinden de yapıya verdiği olumsuz davranışı bilinen yumuşak kat oluşturmuştur. Kolonlarda bu hasarların meydana gelmesinin en önemli sebeplerinden birinin de söz konusu yerde kolonda berkitmelerin yapılmamış olması düşünülebilir. Çünkü yük aktarılması sırasında kolon ve kiriş kesitlerinin berkitmelerle güçlendirilmesi gerekirdi.



Şekil 11. Düğüm noktası hasarları

3. Fabrikanın çatısı kafes sistemlerden oluşmaktadır. Deprem esnasında bu kafes sistemlerde açıklığın büyük, kolonların narin ve kafes kiriş yüksekliğinin büyük olması kafes sistemlerin hasar görmesini kaçınılmaz kılmıştır (Şekil 12). Ayrıca kafes sistemler her iki yönde kolonlar arasında bulunmasından dolayı iç gerilme oluşturarak şekil değiştirmeye uğramıştır. Dış kenara gelen mesnetler ona göre düzenlenerek deplasman yapmasına müsaade edilebilirdi.



Şekil 12. Kafes kiriş hasarları

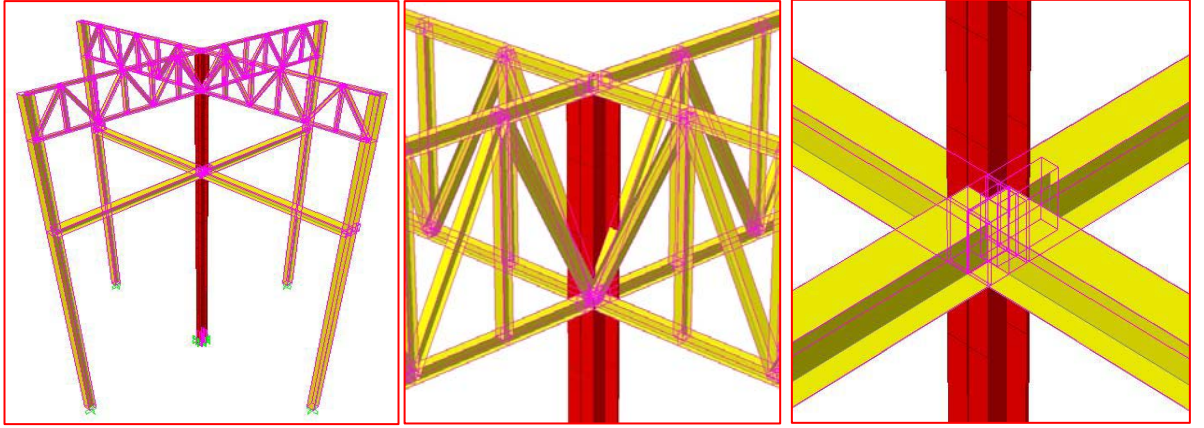
4. Çelik bir yapıda rüzgar ve deprem kuvvetlerine karşı yapının rijitliğini sağlayan rüzgar ve rijitlik bağlamaları büyük hasar görmüştür. Bu yapıdaki rüzgar ve rijitlik bağlamaları gerçekten görevlerini yapmışlardır (Şekil 13). Söz konusu bağlantılar olmasaydı çok daha büyük hasarlar olabilirdi.



Şekil 13. Rüzgar bağlantıları hasarları

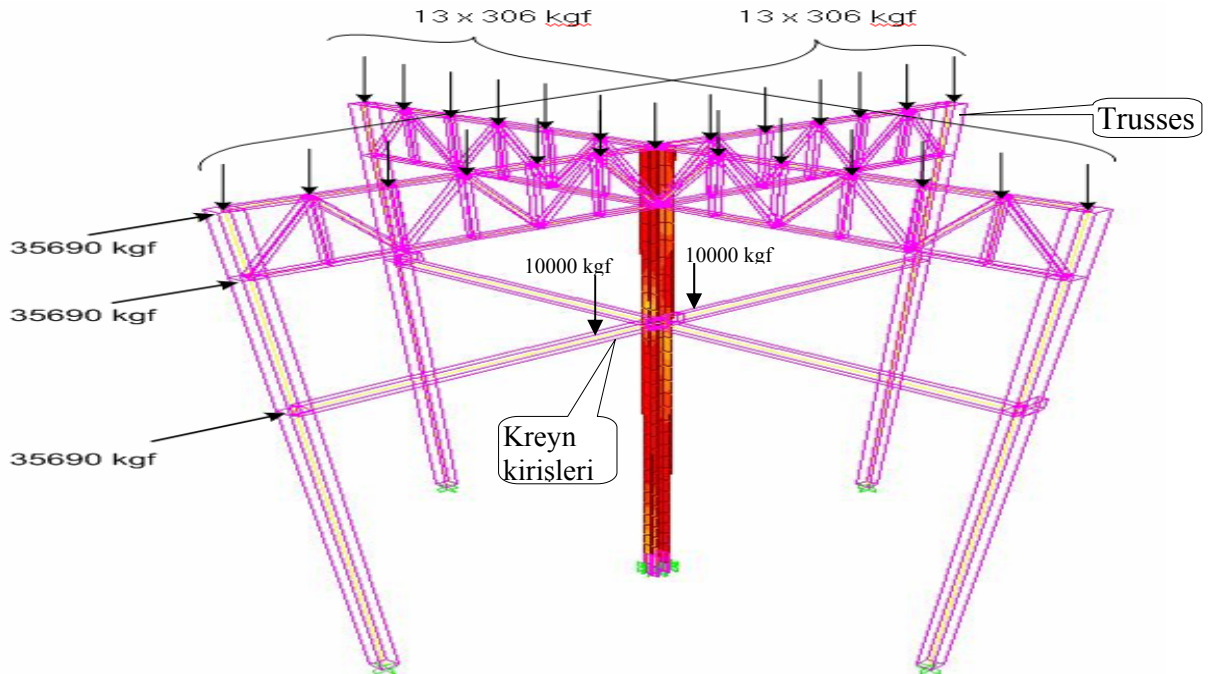
3. Hasarlardan Birinin Benzer Bir Modelle İncelenmesi

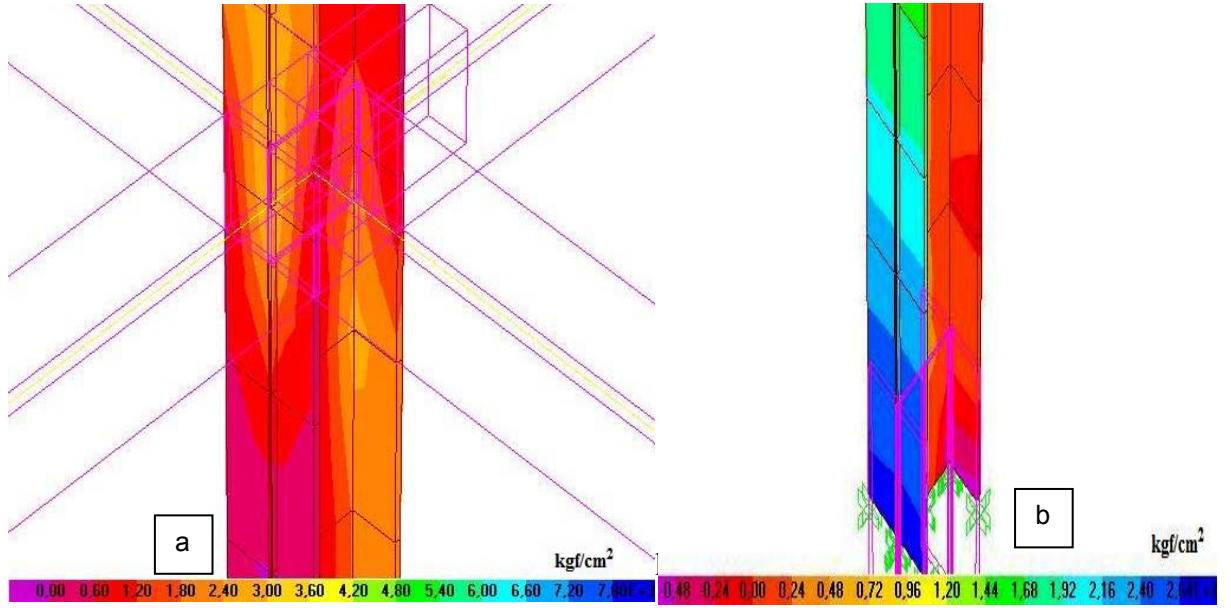
Önceki bölümde de bahsedildiği gibi yapının göçmesine sebep olabilecek en önemli hasar kolonlarda oluşanlardır. Deprem sırasında bir yapının göçmeden ayakta kalabilmesi için en önemli taşıyıcı elemanlar bilindiği gibi kolonlardır. Özellikle de büyük kreyn yüklerine maruz, bu tür sanayi yapılarında kolonların boyutlandırılması ön plana çıkmaktadır. Bunun için de Adapazarı vagon fabrikasında bulunan kolon şartlarına benzer bir model Şekil 14’de gösterildiği gibi oluşturulmuştur.



Şekil 14. Düğüm noktası detayları

Yapı çok büyük ve karmaşık olmasından dolayı modellemesi oldukça güç olmaktadır. Yapının projesinin temin edilememesi ve yapıda birleşimlerin düzensiz olması ve bunların tamamına yakınının hasar görmesi, bunu daha da karmaşık hale getirmektedir. Yapıda en çok bulunan aşağıdaki birleşim şekli modellenmiştir (Şekil 15).





Şekil 15. Kreyn kirişleri (a) ve kolon ucu (b) bağlantı noktası gerilme dağılımları

Şekilde gösterilen bir çerçevede geniş başlıklı IPB₃₀₀ kesitli içteki kolon incelendi. Kolonun şekli modellenerek (SAP2000) [8] kabul edilen düşey, kreyn ve deprem yükleri altında çözümler yapıldı. Çözümler sırasında deprem yükleri artırılarak kolonun kritik kesiti olan en büyük gerilmelerin olduğu bölgelerde kreyn kirişlerinin bağlandığı 5 m deki ve kolonun temele bağlandığı taban bölgesindeki gerilme değişimleri incelendi. Bu inceleme sırasında kolonun bahsedilen bölgelerinde söz konusu hasarlarının oluşması için gerilmeleri akma değerlerine ulaştıracak yatay kuvvetler araştırıldı. Bu yatay yüklemenin artırılması sonucunda akma gerilmelerine kreyn kirişinin bağlandığı ve kolon temel bağlantısının olduğu yerlerde ulaşıldı (Şekil 11). Bu da söz konusu fabrikanın çelik yapısında büyük akma deformasyonlarının bulunduğu bölgelerle aynı yere rastlamaktadır. Hem yapılan hesaplarda, hem de deprem sırasında aynı yerde oluşan bu etkiler bu bölgelerin projelendirilmesinde ve imalatında özenle üzerinde durulması gerektiğini bir kez daha ortaya koymuştur.

4. Sonuç ve Öneriler

Yapının deprem sonrası hasarının incelenmesinden ve yapılan model sonuçlarından, yapının hasar görmesinin nedenleri,

- Yapıda dilatasyon derzlerinin kullanılmaması
- Yapının çelik yapı yönetmelikleri dikkate alınmadan sürekli değişik elemanlarla büyütülmesi

- Kolonların kendi içinde çok farklı olması (bir kolon profil diğer kolon kafes gibi)
- Kirişlerin kendi içinde çok farklı olması (bir kiriş profil diğer kiriş kafes gibi)
- Kolon temel bağlantılarının iyi düzenlenmemiş olması
- Yapı alanın geniş olmasından yapı ortasında yatay yüklere karşı rijitliği sağlayıcı elemanların olmaması
- Yapı üst kısmının çok rijit ve ağır olması
- Yapının deprem riski yüksek bir bölgede bulunması

olarak sayılabilir. Yapı çok büyük bir hasar gördüğü için sebepleri net olarak belirlemekte çelişkiler oluşturmaktadır.

Çelik yapılar da, diğer yapılar gibi proje, yapım ve kullanım aşamalarında deprem dikkate alınarak boyutlandırılmalıdır. Mart 2007’de yürürlüğe giren Deprem Yönetmeliği’nde bu durum çözüme kavuşturulmaya çalışılmıştır.

Kaynaklar

- [1] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Deprem Araştırma Dairesi, 1999
- [2] USGS. Implications for earthquake Risk Reduction in the United States from the Kocaeli, Turkey, Earthquake of August 17, 1999 U.S. Department of the Interior U.S. Geological Survey U.S. Geological Survey Circular 1193.
- [3] Scawthorn C, Johnson G.S, Preliminary report Kocaeli (Izmit) earthquake of 17 August 1999. Engineering Structures 22 (2000) 727–745
- [4] TS-648, Türk Standardları Enstitüsü, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, 1980
- [5] ABYYHY, (1998), “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”
- [6] Moncarz PD, McDonald MB, Caligiuri DR. Earthquake failure of welded building connections. International Journal of Solids and Structures 38 (2001) 2025-2032
- [7] Yalçın HT., Vural M., Akkuş A., The FEM analysis of the behavior of a welded column - joist joint under seismic loading. Journal of Materials processing 164-165 (2005) 1269-1276
- [8] SAP2000. Structural Analysis Program, Nonlinear Version 7.12, Computer and structures, Inc. Berkeley, CA,USA; 2000.

YÜKSEK SÖNÜMLÜ KAÜÇUK YATAK KULLANILARAK TEMELİ YALITILMIŞ ÇELİK YAPILARIN DEPREM DAVRANIŞI

Turan Karabörk
Aksaray Üniversitesi, İnşaat Müh. Bölümü, Aksaray, Türkiye

Özet

Çok katlı çelik yapıların dinamik etkiler karşısında dayanımını arttırmak için birçok temel yalıtım sistemi geliştirilmiştir. Yalıtım sistemleri temel ile üstyapı arasına yerleştirilerek yapıya etki eden yatay kuvvetlerin üstyapıya etkisini azaltmaktadır. Yalıtım sistemleri içinde yaygın olarak kullanılan yüksek sönümlü kauçuk yataklar; yatay kauçuk tabakalar ile güçlendirici çelik levhaların üst üste konularak vulkanize edilmesiyle elde edilmektedir. Bu kompozit malzeme, yüksek düşey ve düşük yatay rijitliğe sahip olduğu için yapının doğal periyodunu artırmakta ve rezonansı engellemektedir.

Bu çalışmada; 2, 6 ve 10 katlı ve 3 açıklıklı iki boyutlu çelik çerçeve modelleri farklı rijitliklerdeki yüksek sönümlü kauçuk yataklar kullanılarak dinamik etkiler altında Sap 2000 programı kullanılarak analiz edilmiştir. Modeller, yalıtım kullanılmayan klasik yapı modelleri ile karşılaştırılmıştır. 0,33g büyüklüğündeki 1999 Marmara Deprem verileri çözümlemede kullanılmıştır. Oluşturulan çelik yapı modellerinin zaman-tanım aralığı yöntemi ile doğrusal olmayan dinamik analizleri yapılarak elde edilen iç kuvvetler, ivmeler, deplasmanlar ve yapı periyotları karşılaştırılmıştır. Böylece deprem etkisi altındaki temeli yalıtılmış çelik yapıların klasik tasarımla yapılmış modellere göre avantajları ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çelik Çerçeve Modelleri, Titreşim Kontrol sistemleri, Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak, Doğrusal Olmayan Dinamik Analiz.

1. Giriş

Depreme etkisindeki çelik yapılar; kesit tesirleri, gerilme, şekil değiştirmeler, yer değiştirmeler ve enerji kayıpları ile depreme pasif olarak direnç gösterirler. Yapıya en çok zarar veren zemin hareketinin yatay bileşenidir. Yapıların rüzgar ve deprem gibi beklenmeyen dış etkilere karşı korunmasında klasik yapı tekniğinin aksine, esnek yapı kavramı önem kazanmaktadır. Depreme dayanıklı yapı tasarımında amaç, yapının rijitliğini arttırarak görelî yer değiştirmeleri minimuma indirmektir. Çelik yapıların enerji tüketme kapasitesinin arttırılması ve depremden dolayı oluşan yatay kuvvetlerin üstyapıya iletiminin engellenebilmesi için titreşim kontrol sistemleri geliştirilmiştir [1].

Çelik yapılarda binanın temeli ile üstyapısı arasına yerleştirilen, yatay rijitlikleri oldukça düşük olan yapısal elemanlar ile binayı deprem etkilerinden koruma amaçlanmıştır. Bu elemanlar yapıya belirli bir frekans vermektedir. Bu frekans, zemin hareketinin hakim frekansından ve binanın temel frekansından çok küçüktür [2]. Titreşim kontrol sistemlerinin etkili olabilmesi ve periyodun uzaması için esnekliğin arttırılmasına çalışılır. Böylece periyodun artması ile yapının doğal

frekansı azalacağından rijitlik de azalacak ve yapı esnekleşecektir. Bu durumda ise yapıya etki eden ivme ve taban kesme kuvveti de azalacaktır. Yapıdaki yer değiştirmelerin pratik olarak tasarlanan seviyeye indirilmesi için yapının enerji tüketme kapasitesi arttırılmaya çalışılır. Böylece yapıdaki büyük görelî yer değiştirmeler kontrol altına alınabilmektedir [3].

Titreşim kontrol istemlerinin birçok uygulama şekli vardır. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanı yüksek sönümlü kauçuk yataklar bu çalışmanın esas konusunu oluşturmaktadır.

2. Yüksek Sönümlü Kauçuk Yataklar

Yüksek sönümlü kauçuk yataklar, doğal kauçuk yatakların sönüm özelliğini geliştirmek için rafine edilmiş karbon bloklar ve reçine eklenmesi ile elde edilir. Yüksek sönümlü kauçuk yatakların sönüm oranı, %100 şekil değiştirme için %10-20 arasında olmaktadır. %20'den daha az kesme şekil değiştirmesi için malzeme doğrusal olmayan davranış göstermektedir. Böylece düşük şiddetli deprem etkileri veya rüzgar etkilerine karşı yüksek rijitlik ve sönüm özelliği sağlamaktadır. Büyük şekil değiştirmelerde ise, kauçuk kristalleşme özelliği gösterdiğinden enerji yutma kapasitesi artmaktadır. Yüksek sönümlü kauçuk yataklardaki sönüm, viskoz sönüm ve histerik sönüm arasında bir davranış göstermektedir. Yüksek sönümlü kauçuk yataklar katmanlı kauçuk yataklarda olduğu gibi düşük yatay rijitlik özelliği sayesinde yatay hareket yaparak yapının periyodunu uzatır. Aynı zamanda sahip oldukları sönüm özelliği ile de bir sönümleyici gibi çalışarak deprem enerjisini yutarlar [4].

Yüksek sönümlü kauçuk yataklar doğrusal olmayan davranış gösterirler, üstyapı davranışı ise doğrusal olarak kabul edilmiştir. Hareket bağıntılarının çözümünde B-Spline karşılaştırma yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntem farklı integral bağıntıları kullanarak bir çözüm algoritması sunmaktadır. Temeli yalıtılmış (N) katlı bir yapının temel hareket bağıntıları aşağıdaki şekilde ifade edilebilir [5].

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = -Mr(\ddot{u}_b + \ddot{u}_g) \quad (5)$$

$$r^T M\ddot{u} + (r^T Mr + M_b)\ddot{u}_b + C_b\dot{u}_b + K_b u_b = -(r^T Mr + M_b)\ddot{u}_g \quad (6)$$

$$\ddot{u}_g = [\ddot{u}_{gx}, \ddot{u}_{gy}, 0]^T \quad (7)$$

Burada; M: Üstyapı kütlesi, C: Üstyapı sönümü, K: Üstyapı rijitlik matrisi, M_b : Temel yalıtım sisteminin kütlesi, C_b : Temel yalıtım sisteminin sönümü, K_b : Temel yalıtım sisteminin rijitlik matrisi, r: Etki matrisi ve $\ddot{u}_g$: x ve y eksenlerinde yatay zemin ve ivme vektörüdür.

Üç boyutlu yapı sistemi basitleştirilerek katlar rijit diyafram ve yapı kütleleri kat seviyelerinde yoğunlaştırılmış kütle olarak kabul edilebilir. Bu kabullere göre N katlı üstyapının kütle ve rijitlik matrisleri şu şekilde ifade edilebilir:

$$M = \text{diag}[M_k] \quad k = 1, 2, 3, \dots, N \quad (8)$$

$$K = \begin{bmatrix} K_1 + K_2 & -K_2 & & & \\ -K_2 & K_2 + K_3 & -K_3 & & \\ & \dots & \dots & \dots & \\ & & -K_{N-1} & K_{N-1} + K_N & -K_N \\ & & & -K_N & K_N \end{bmatrix} \quad (9)$$

Burada k'ıncı kat için (M_k) kütle matrisi ve (K_k) rijitlik matrisi :

$$M_k = \begin{bmatrix} m_k & 0 & -y_{kc}m_k \\ 0 & m_k & x_{kc}m_k \\ -y_{kc}m_k & x_{kc}m_k & j_{kc} + (x_{kc}^2 + y_{kc}^2)m_k \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$K_k = \sum_i T_{ki}^T \begin{bmatrix} k_{kix} & 0 \\ 0 & k_{kiy} \end{bmatrix} T_{ki} \quad (11)$$

olup, burada; M_k : kat kütlesi, x_{kc} ve y_{kc} : kütle merkezinin x ve y koordinatları, j_{kc} : kütle merkezinin düşey eksen etrafındaki dönme atalet momenti, k_{kix} ve k_{kiy} : k-1 ve k'ıncı katlar arasındaki i'inci kolonun x ve y eksenlerindeki yatay rijitliği ve T_{ki} : dönüşüm matrisidir.

Aynı şekilde temel yalıtım sistemi için kütle, rijitlik ve sönüm matrisleri yazılabilir:

$$M_b = \begin{bmatrix} m_b & 0 & -y_{bc}m_b \\ 0 & m_b & x_{bc}m_b \\ -y_{bc}m_b & x_{bc}m_b & j_{bc} + (x_{bc}^2 + y_{bc}^2)m_b \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$K_b = \sum_i T_{bi}^T \begin{bmatrix} K(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) & 0 \\ 0 & K(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) \end{bmatrix} T_{bi} \quad (13)$$

$$C_b = \sum_i T_{bi}^T \begin{bmatrix} C(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) & 0 \\ 0 & C(u_{bi}, \dot{u}_{bi}) \end{bmatrix} T_{bi} \quad (14)$$

Yüksek sönümlü kauçuk yatakların kuvvet-yer değiştirme özelliklerini ifade edebilmek amacıyla Pan ve Yang [6] tarafından geliştirilen bir makro model kullanılmıştır. Bu model deneysel olarak elde edilen sonuçlar ile oluşturulmuştur.

3. Sayısal Çözümleme

Çalışmada, çelik yapı sistemlerinde yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılarak temeli yalıtılmış modeller ile klasik yapılar karşılaştırılmıştır. Kauçuk yatakların mekanik özellikleri Tablo 1’de ve kullanılan modeller Tablo 2’de verilmiştir.

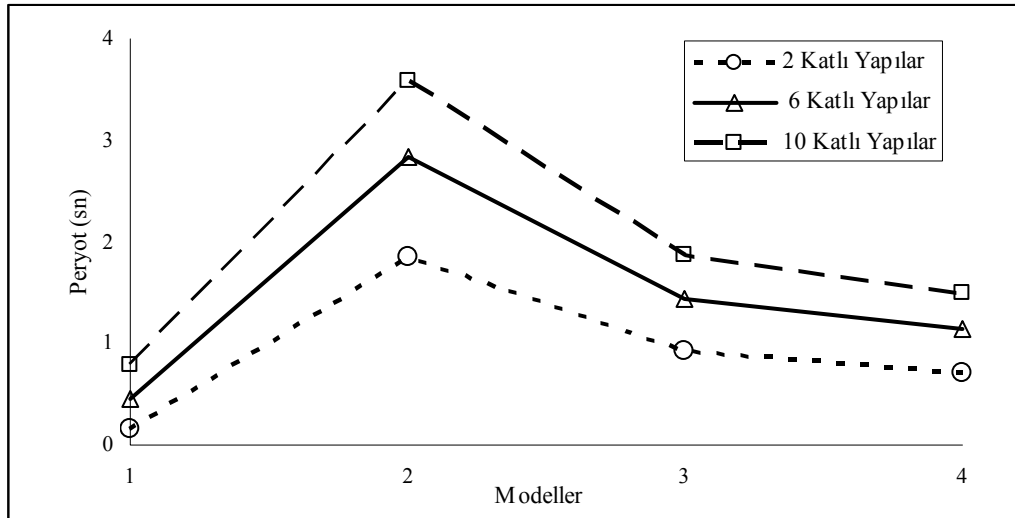
Tablo 1 Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatakların Karakteristik Özellikleri

Malzeme Sertliği	Düşey Rijitlik (N/m)	Başlangıç Rijitliği (N/m)	Etkili Rijitlik (N/m)	Akma Kuvveti (N)	Son Rijitlik/İlk Rijitlik Oranı	Kütle (kg)
Yumuşak	$1751 \cdot 10^6$	1.751.269	262.691	22.241.	0,2	175,5
Orta Sert	$1373 \cdot 10^6$	7.786.481	1.078.732	77.865	0,043	175,5
Sert	$2746 \cdot 10^6$	12.454.446	1.863.264	124.544	0,055	175,5

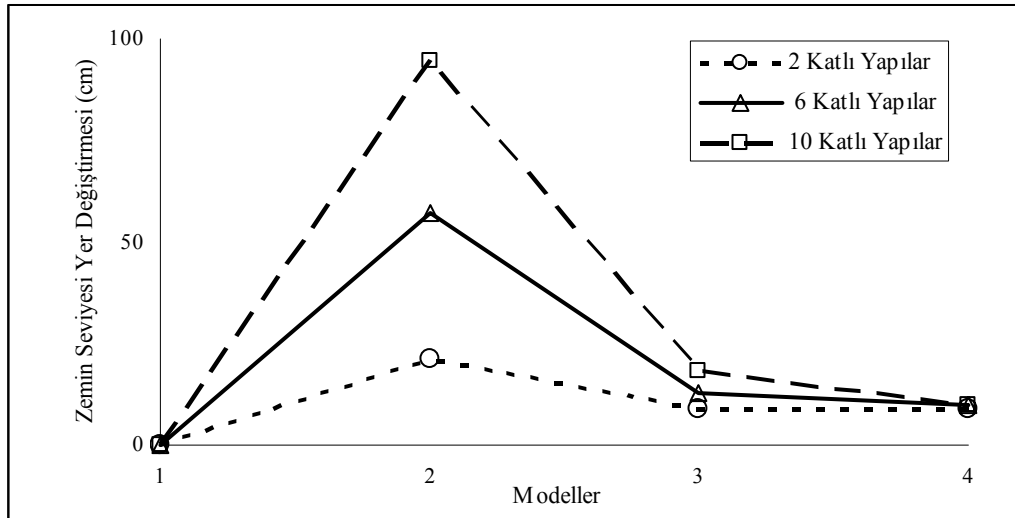
Tablo 2 Kullanılan Yapı Sistemi Modelleri

Model No	Kullanılan Yapı Sistemi
1	Klasik Tasarıma Göre Yapılmış Model
2	Düşük Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Model
3	Orta Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Model
4	Yüksek Rijitlikli Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Model

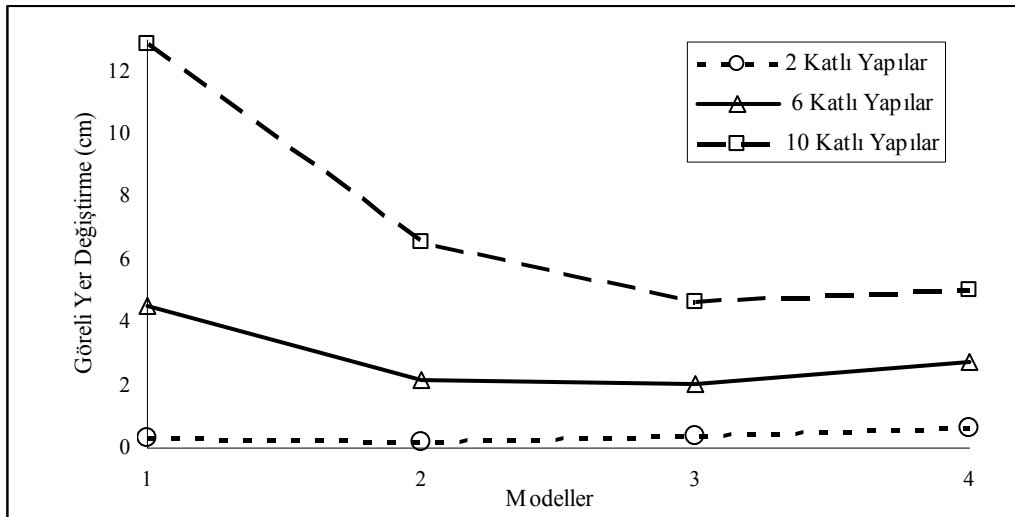
Farklı yüksekliklerdeki çelik yapıların davranışlarını ortaya koymak amacı ile 2, 6 ve 10 katlı modeller oluşturulmuştur. Bu modeller 3 açıklıklı çerçeve sistem şeklinde düzenlenmiştir. Modeller arasında karşılaştırma yapabilmek için tüm kirişlerde W24x68 ve tüm kolonlarda W14x211 kesitleri kullanılmıştır. Yapı sistemlerinin zaman-tanım aralığında doğrusal olmayan dinamik çözümlemesi SAP2000 bilgisayar paket programında yapılarak, elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Yapı sistemlerine Yarımca-Petkim tesislerinde kaydedilen maksimum 0,33g büyüklüğündeki Marmara depreminin doğu-batı bileşeni uygulanmıştır. Yapı sistemleri 0,1 sn aralıklarla 13500 adımda zaman-tanım aralığında çözülmüştür. 2, 6 ve 10 katlı yapılar için yapılan çözümlemelerde elde edilen yapı periyotları, yapı temel seviyesindeki yer değiştirmeler, göreceli yer değiştirmeler, en üst kat maksimum ivmeleri, taban kesme kuvvetleri, taban eğilme momentleri ve karşılaştırılmalı olarak Şekil 1- Şekil 6’da gösterilmiştir.



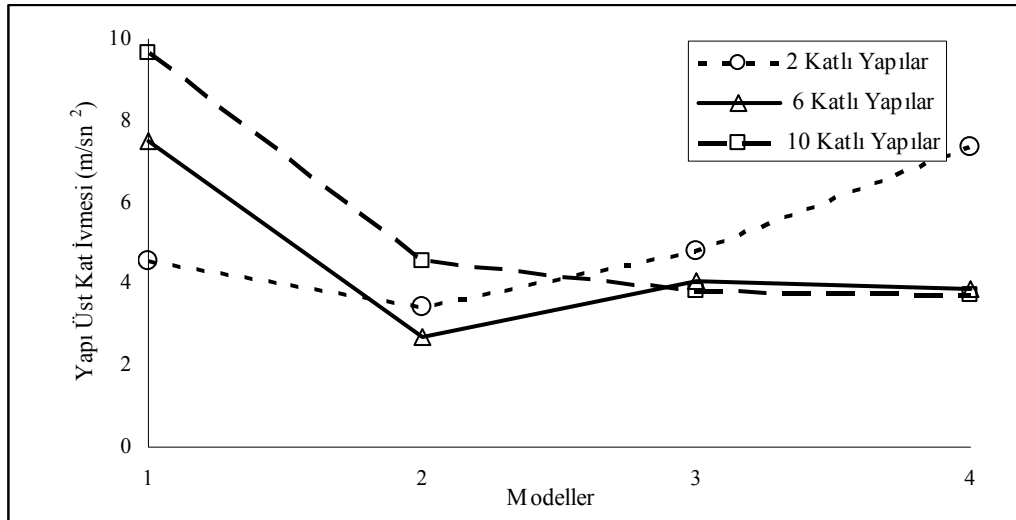
Şekil 1 Yapı Periyotları



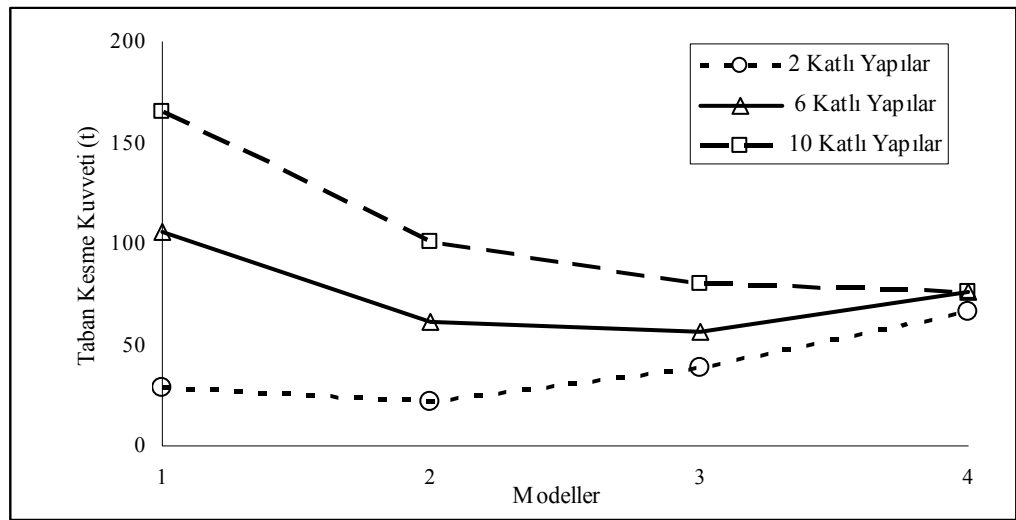
Şekil 2 Zemin Seviyesinde Oluşan Maksimum Yer Değiştirmeler



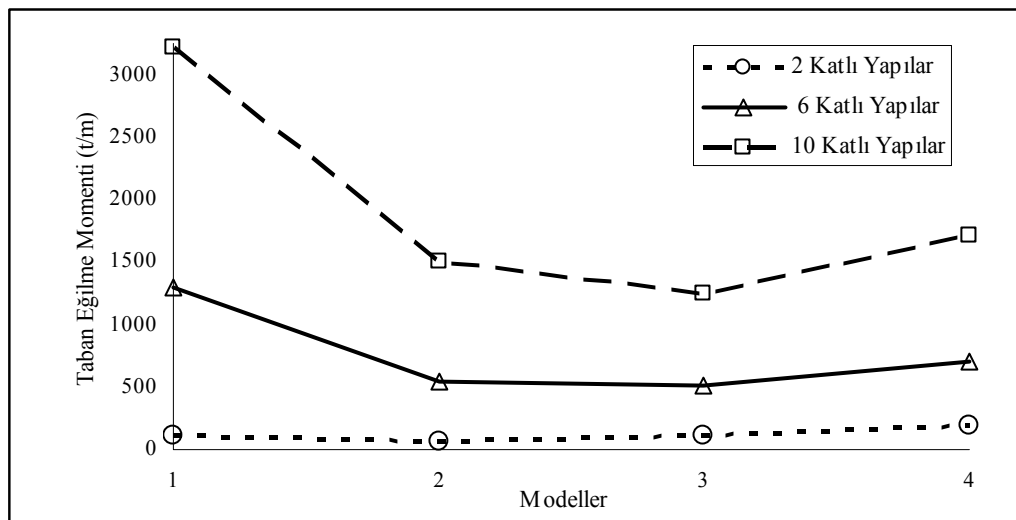
Şekil 3 En Üst Kat ve Zemin Seviyesi Arasında Oluşan Göreli Yer Değiştirmeler



Şekil 4 En Üst Katta Oluşan Maksimum İvmeler



Şekil 5 Maksimum Taban Kesme Kuvvetleri



Şekil 6 Maksimum Taban Eğilme Momentleri

4.Sonuçlar

Temel yalıtım sistemlerinden biri olan yüksek sönümlü kauçuk yatakların 2, 6 ve 10 katlı çelik yapı sistemlerine uygunluğu araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

1- Çelik yapı sistemlerinde kat yüksekliklerine uygun özellikte temel yalıtım malzemesi kullanılırsa yapı periyotları büyük oranlarda artmaktadır. Böylece üst yapıya iletilen deprem ivmeleri temel seviyesinde sönümlenerek üst yapıda oluşan iç kuvvetler azalmaktadır.

2- Az katlı çelik yapı sistemlerinde düşük rijitliğe sahip yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanımının etkili olduğu gözlenmiştir. Bu sistemler yapıda oluşan iç kuvvetleri etkili bir biçimde azaltmıştır. Zemin seviyesinde oluşan yer değiştirmeler kabul edilebilir sınırlar içerisinde. Az katlı sistemlerde yüksek rijitlikli kauçuk yatak kullanılması durumunda yer değiştirme miktarları azalırken iç kuvvetler büyük oranlarda artmaktadır.

3- Orta yükseklikteki çelik yapı sistemlerinde düşük rijitliğe sahip kauçuk yatak kullanılması durumunda yapıdaki iç kuvvetler azalmaktadır. Ancak yer değiştirmeler yapı güvenliğini tehlikeye atacak biçimde arttığı için kullanımı uygun değildir. Orta yükseklikteki çelik yapı sistemlerinde orta sertlikte yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanımı daha uygundur.

4- Çok katlı çelik yapı sistemlerinde orta sertlikte veya yüksek sertlikte yüksek sönümlü kauçuk yatak kullanılması durumunda yapıdaki iç kuvvetler azalmaktadır. Düşük rijitliğe sahip kauçuk yataklarda zemin seviyesinde büyük yer değiştirmeler olduğu için kullanımı güvenli değildir.

Kaynaklar

- [1] Karabörk. T., Titreşim Kontrol Sistemleri ve Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak Uygulamaları, Doktora Tezi, Sakarya Üniversitesi, İnşaat Müh. Böl., 2001.
- [2] RISTIC, D., Control of Structural Behaviour and Passive Structural Control, Lectures for The International Post Graduate Studies, 1993.
- [3] KITTA, T., KODERA, J., UJIIE, K. and TADA, H., A New Type Shock Absorber and its Effects on the Response of the Bridge to the Earthquake, Tenth European Conference Earthquake Engineering, 1994.
- [4] Elmas, M., Karabörk, T. ve Mercan, D., Yüksek Sönümlü Kauçuk Yatak ve Sönümleyici Kullanılarak Temeli Yalıtılmış Orta Yükseklikteki Yapıların Doğrusal Olmayan Dinamik Analizi, 5. İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 2002.
- [5] SKINNER, R.I., ROBINSON, W.H. and MCVEERY, G.H., An Introduction to Seismic Isolation, DSIR Physical Sciences, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [6] PAN, T.C. AND YANG, G., Non-linear Analysis of Base-Isolated MDOF Structures, Eleventh World Conference on Earthquake Engineering, Paper No 1534, 1996.

TABAN İZOLATÖRLÜ UZAY KAFES SİSTEMLERİNİN DEPREM ETKİSİ ALTINDAKİ DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

Emre Ercan^a, Mutlu Seçer^b

^aE.Ü. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü 35100 Bornova/İZMİR

^bD.E.Ü. Müh. Fak. İnşaat Mühendisliği Bölümü 35160 Buca/İZMİR

Özet

Büyük açıklıkları geçmek amacıyla tasarlanan uzay kafes sistemlerin deprem ve rüzgar gibi dinamik etkilerin karşısında yıkılmasını engellemek için kesit boyutlarının yeterli dayanıma sahip olması gereklidir. Bunun için özellikle deprem enerjisini, yapının taşıyıcı sistemi yerine, yapıya kurulan sistemler üzerinde toplanarak sönmülmesini sağlayacak izolasyon sistemleri geliştirilmiştir. Burada hedeflenen, dinamik kuvvetlerden meydana gelen titreşimleri, kesit zorlarını ve yer değiştirmeleri güvenli sınırlar içerisinde tutarak yapının korunmasını sağlamaktır.

Taban izolatörleri, uzay çatı mesnedi ile uzay kafes sistemin arasına monte edilerek sistemin yatay deplasman kapasitesini artırır. Bu elemanlar, zeminden gelen düşük periyotlu ve yüksek frekanslı titreşimleri, yaptığı büyük yanıl yer değiştirmelerle düşük frekanslı ve yüksek periyotlu titreşimlere dönüştürürler. Deprem enerjisi bu büyük yer değiştirmeyele emilmiş olur ve sistem bütün bir davranış sergileyerek rölatif ötelemeler minimize edilir. Bunun sonucunda da sisteme etkiyen titreşim ivmesi, zemin titreşim ivmesinden daha küçük değerlerde kalır. Sistemi oluşturan elemanlara daha küçük kesit tesirleri etkir.

Bu çalışmada, yaklaşık 2500 m²'lik bir açıklığı kapatmak amacıyla tasarlanmış çift katlı bir uzay kafes sistem hazırlanmıştır. Uzay kafes sistem basit mesnetli, kauçuk taban izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç taban izolatörlü olarak modellenmiştir. Bu şekilde modellenmiş uzay kafes sistemler, farklı deprem ve zemin koşullarındaki dinamik davranışları zaman tanım alanında araştırılmıştır. Çalışmada incelenen taşıyıcı sistemler SAP2000 programı ile modellenmiştir. Sistemlerin statik ve dinamik çözümlemeleri yapılmış ve maliyet analizi de dikkate alınarak elde edilen sonuçlar grafikler halinde sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: Kauçuk Taban İzolatörü, Sürtünmeli Sarkaç İzolatör, Uzay Kafes

1. Giriş

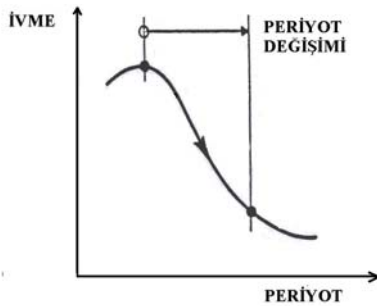
Yapılar, deprem hareketlerinin en çok yatay bileşenleri tarafından etkilenirler. Yer ivmesi yatay yönde yapıyı yüksek frekansta titreterek yapıda hasarlar oluşturur. Sismik taban izolasyon sistemleri, temel ile temel üstündeki yapı arasına kurulan ve yapının zemine bağlı olan temele göre büyük yatay deplasmanlar yapmasına izin veren izolatörlerden oluşur. Bu izolatörler, zeminden gelen yüksek frekanslı (düşük periyotlu) titreşimleri, yaptığı büyük yanıl yer değiştirmelerle düşük frekanslı titreşimlere dönüştürür. Deprem enerjisi bu büyük yer değiştirmeyele emilmiş olur ve yapı rijit bir davranış sergiler katlar arası ötelenmeler küçük kalır ve yapıda hissedilen titreşim ivmesi, zemin titreşim ivmesinden az olur.

Sismik taban izolasyon sistemi, yapının periyodunu arttırarak yapıya etkiyen ivmenin azalmasını amaçlar. Örneğin, birinci doğal titreşim periyotları ortalama 0.5 saniye olan orta yükseklikteki yapıların periyotlarını 2.5 saniye civarlarına yükseltirler ve yapı, zemin titreşimlerinden izole edilmiş olur. Şekil 1.'de verilen spektrum ivmesinde yapı periyodunun artmasıyla yapıya etkiyen ivmenin nasıl azaldığı görülmektedir [1].

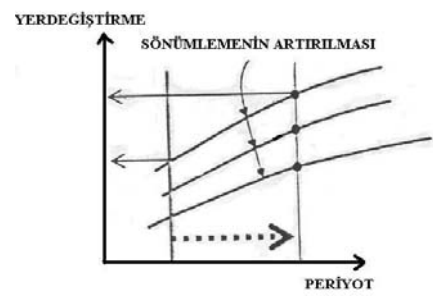
Temel ile üst yapı arasına yerleştirilen izolatörlerin, düşey yönde rijit yatay yönde ise esnek olması amaçlanır. İzolatörler üzerindeki yapı deprem sırasında yatay yönde büyük deplasmanlar (200 mm civarında) yapabilir ve böylelikle yapının periyodu artar. Şekil 2.'de yapının yanal yer değiştirmesi ile yapı periyodu arasındaki ilişki ve sönümlenmenin etkisi görülmektedir [1].

Sismik taban izolasyon sistemleri, tasarlanandan daha büyük bir depreme maruz kaldıklarında izolatörlerde kalıcı deformasyonlar meydana gelir ve bunların değiştirilmesi oldukça güçtür [1].

Sismik taban izolasyon sistemleri elastomerik taşıyıcılar ve kayıcı esnek sürtünmeli taşıyıcılar olarak iki temel türde incelenirler.



Şekil 1. Yapıya Etkiyen İvmenin Yapı Periyodu ile Değişimi



Şekil 2. Farklı Sönümlemelerde Yer Değiştirmenin Periyoda Etkisi

2. Elastomerik Taşıyıcılar (Kauçuk İzolatörler)

Üzerinde en çok çalışılan taban izolasyon sistemidir. Çelik ve kauçuğun tabaka tabaka yerleştirilip vulkanize edilmesi ile oluşturulur, içinde kurşun çekirdek de olabilir [2]. Genel olarak, kare yada dairesel kesitli olabilen bu taşıyıcılar yapıdaki her bir kolonun altına yerleştirilerek izolasyon sistemi oluşturulur.

Kullanılan kauçuk oluşumunun seçimi çok önemlidir. Düşük kayma modülü, yüksek sönüm kapasitesi, büyük kayma şekil değiştirmelerine karşı direnç, büyük yük dayanım kapasitesi ve yaşlanmaya karşı direnç kauçuk oluşumunda bulunması gereken özelliklerdir [2].

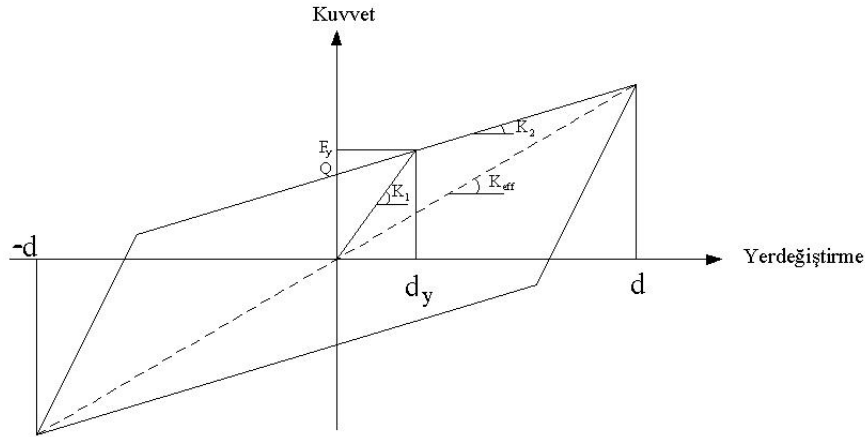
Yük etkisinde kauçukta oluşan kayma gerilmeleri sayesinde yatayda oldukça esnek davranış elde edilirken, çelik levhalardan dolayı düşeyde rijit davranış sağlanır. Doğal ya da yapay kauçuktan oluşturulabilen bu tip izolatörler, düşük

sönümlü doğal ve yapay kauçuk izolatorler, kurşun çekirdekli kauçuk izolatorler ve yüksek sönümlü doğal kauçuk izolatorler olarak üç tiptir [3].

2.1. Kurşun Çekirdekli Kauçuk İzolatorlerin Mekanik Karakteristikleri

Kurşun çekirdekli izolatorler bilinear elemanlar olarak modellenirler. Bu izolatorlerin karakteristikleri K_1 , K_2 ve Q 'dan oluşan üç temel parametreye dayanır. Elastik rijitlik olan K_1 'in hesaplanması zordur ve genellikle K_2 'nin ampirik olarak belirli bir katsayı ile çarpılması sonucunda hesaplanır. K_2 ise, kauçuğun kayma modülünden ve izolator mesnedinin tasarım boyutlandırması sonucu kesin bir şekilde belirlenen, akma sonrası rijitliktir. Karakteristik dayanım Q , kuvvet-yer değiştirme histeresis eğrisinde kuvvet eksenindeki bir büyüklüktür. Q , kurşunun akma gerilmesi (10.3 MPa) ve kurşun çekirdeğin alanına göre belirlenir.

Kurşun çekirdekli bir izolatorün efektif rijitliği kuvvet-yer değiştirme histeresis eğrisinin en alt ve en üst noktalarını birleştiren doğru parçasının eğimidir, dolayısıyla yer değiştirme değeri arttıkça efektif rijitlik küçülür. Şekil 3'te tipik bir kuvvet-yer değiştirme histeresis eğrisi verilmiştir [4].



Şekil 3. Kuvvet-Yerdeğiştirme Histeresis Eğrisi

Temel parametreler olan K_1 , K_2 ve Q cinsinden aşağıdaki gibi ifade edilir, ve burada d_y akma yer değiştirmesidir [4]:

$$K_{eff} = K_2 + \frac{Q}{d} \quad d \geq d_y \quad (1)$$

Doğal frekans ω , aşağıdaki eşitlikle verilir [4]:

$$\omega = \sqrt{\frac{K_{eff} \cdot g}{W}} = \sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{d}} \quad (2)$$

Burada; $\mu = \frac{Q}{W}$, $\omega_0^2 = K_2 \cdot g / W$ ve efektif periyot T ise aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = \frac{2\pi}{\sqrt{\omega_0^2 + \mu \cdot \frac{g}{d}}} \quad (3)$$

$d \geq d_y$ için, efektif sönüm β_{eff} aşağıdaki gibi tanımlanır [4].

$$\beta_{eff} = \text{Histeresis eğrisinin alanı} / 2\pi K_{eff} d^2$$

Histeresis eğrisinin alanı $4Q(d-d_y)$ çarpım ifadesi ile verilmektedir. β_{eff} 'i bu temel parametreler cinsinden yeniden yazmak gerekirse aşağıdaki notasyon takip edilebilir [4].

$d_y = \frac{F_y}{K_1}$ ve $F_y = Q + K_2 d_y$ olduğundan $d_y = \frac{Q}{K_1 - K_2}$ olarak hesaplanır. β_{eff} 'in tanımını ve denklem (1)'deki ifade kullanırsa aşağıdaki ifade elde edilebilir.

$$\beta_{eff} = \frac{4Q(d-d_y)}{2\pi(K_2 d + Q)d} \quad (4)$$

Genel bir yaklaşım olarak elastik rijitlik $K_1 = 10K_2$ olarak kabul edilirse, $d_y = Q/(9K_2)$ sonucunu elde edilir ve efektif sönümü aşağıdaki gibi yazılabilir [4].

$$\beta_{eff} = \frac{4Q[d - (Q/9)K_2]}{2\pi(K_2 d + Q)d} \quad (5)$$

3. Kaymaya Dayalı İzolasyon Sistemleri

Sadece sürtünmeye dayalı izolasyon sistemleri en eski ve en basit sistemlerdir. 1909 yılında bina ile temeli bir pudra tabakası ile birbirinden ayırma fikri ortaya atılmış, ancak uygulaması yapılamamıştır [7]. Günümüzde kaymaya dayalı sistemlerde en fazla kullanılan malzeme paslanmaz çelik üzerinde kayan dolu veya boş politetraetilen (PTFE veya teflon) taşıyıcılardır. Bu sistemlerin sürtünme karakterleri yüzey sıcaklığı, yüzey temizliği, aşınma derecesi ve kayan yüzeylerin hızından etkilenir ve bu tip sistemlerin verimini engeller [1]. Kaymaya dayalı izolasyon sistemleri, çelik plakalı neopran koruyucular, tekrar merkezleşen sürtünmeli taban izolasyonu ve sürtünmeli sarkaç izolasyon sistemleridir [1].

3.1 Sürtünmeli Sarkaç Sistemler

Sürtünmeli sarkaç sistemler, konkav bir yüzey ile bu yüzeyde hareket edebilen boğumlu (eklemlili) bir kayıcıdan oluşan sistemlerdir. Paslanmaz çelikten imal edilen konkav yüzey, geometrisinden dolayı tekrar merkezleşmeyi sağlar. Konkav yüzey ve boğumlu kayıcının yüzeyi düşük sürtünmeli bir alaşımla kaplanmıştır [1].

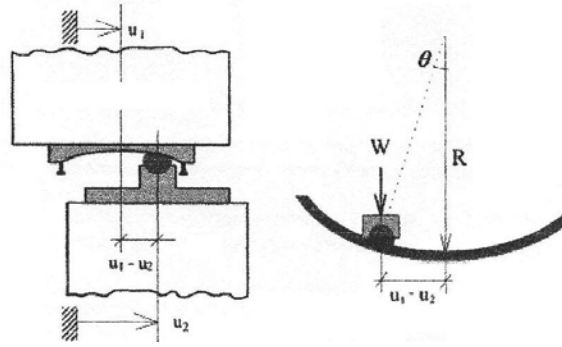
Yapı periyodu binanın ağırlığından bağımsız olarak konkav yüzeyin eğrilik çapına ve kayıcı yüzeyler arasındaki sürtünme kuvvetine bağlıdır. Taşıyıcıların

rijitlik merkezi ile yapının kütle merkezi kendiliğinden çakıştığı için torsiyonel momentler oldukça düşüktür [1].

Şekil 4.'deki gibi sürtünmeli sarkaç taşıyıcılar üzerine oturtulmuş bir yapının doğal titreşim periyodu basit sarkaç denkleminden aşağıdaki gibi elde edilebilir [1].

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R}{g}} \quad (6)$$

Periyodun arttırılması veya kayıcı yüzeyler arasındaki sürtünme katsayısının düşürülmesi, taban kesme kuvvetini azaltıp, yanal yer değiştirmeyi arttırır. Konkav yüzey ile boğumlu kayıcı arasındaki sürtünme kuvveti düşük ivmeli deprem kuvvetleri tarafından aşılamaz bu durumda, sürtünmeli sarkaç taşıyıcıların üzerine oturtulmuş yapı küçük ölçekli depremler karşısında izole edilmemiş bir yapı gibi davranır. Sürtünme kuvveti aşıldığında ise yapı izolasyon periyodunda salınarak enerji sönümü sağlanır [1]. Sürtünmeli sarkaç taşıyıcıların en büyük avantajı periyodun yapı kütlesinden bağımsız olması ve sistemin geniş bir ivme aralığında yanıt verebilmesidir [8].

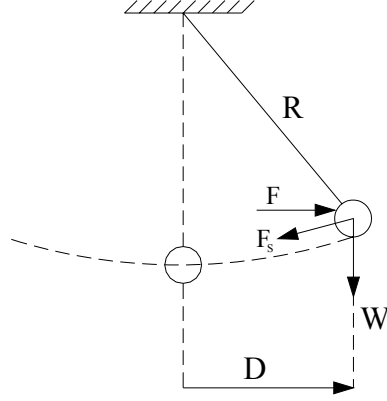


Şekil 4. Basit sarkaç ile sürtünmeli sarkaç ilişkisi

3.2 Sürtünmeli Sarkaç İzolatör Sistemlerin Mekanik Karakteristikleri

Sürtünmeli sarkaç tipteki bir izolatörün taşıdığı düşey yüke W , yaptığı yatay yer değiştirmeye D , sürtünme katsayısına μ ve sürtünme kuvvetine F_s , küresel yüzeyin eğrilik yarıçapı R , kayma hızına bağlılığı gösteren bir işaret fonksiyonunu olarak $\text{sgn}(\dot{D})$ yazılırsa, Şekil 5.'de görülen sistemde meydana gelen F tepki kuvveti aşağıdaki gibi ifade edilebilir [4]:

$$F = \frac{W}{R} \cdot D + \mu \cdot W(\text{sgn}(\dot{D})) \quad (7)$$



Şekil 5. Sürtünmeli sarkaç sistem modeli

Yukarıdaki eşitlikte yer alan ilk terim, kütle'nin yükselmesinden kaynaklanan geri dönüş kuvveti yani sarkaç kuvvetidir. Bu kuvvet değeri, bir yatay rijitlik sağlamaktadır. Yatay rijitlik, denklem (8) ve yapı periyodu denklem (9) ile gösterilebilir [5].

$$K_H = \frac{W}{R} \quad (8)$$

$$T = 2\pi\sqrt{R/g} \quad (9)$$

Denklem (9)'den de görüldüğü gibi sürtünmeli sarkaç izolatörler üzerine oturtulan yapıların periyodu yapı ağırlığından bağımsızdır. Denklem (7)'de yer alan ikinci terim ise mafsallı kayıcı ve içbükey (konkav) yüzey arasında oluşan sürtünme kuvvetini ifade etmektedir. Sürtünme katsayısı, μ ; p basıncına ve kayma hızı yani $\dot{D}$ 'ne bağlıdır. Basınç değeri arttıkça, sürtünme katsayısı azalmakta, 51 mm/s'nin üzerindeki hızlarda ve 14 MPa'dan daha yüksek basınçlarda ise hızdan bağımsız hale gelmektedir. Sürtünmeli sarkaç tipteki izolasyonlu sistemlerde, geri dönüş kuvvetinin çok doğrusal özellik göstermesi, kayma hareketi meydana gelmeden önce sistemin yüksek rijitliğe sahip olması ve kayma hareketi nedeniyle oluşan sürtünme dolayısıyla enerji yutulması gibi özellikler, kuvvet-yer değiştirme histeresis eğrilerinin karakteristik özellikleridir. Efektif rijitlik aşağıdaki eşitlik yardımı ile hesaplanabilir [4 – 5].

$$K_{eff} = \frac{W}{R} + \frac{\mu \cdot W}{D} \quad (10)$$

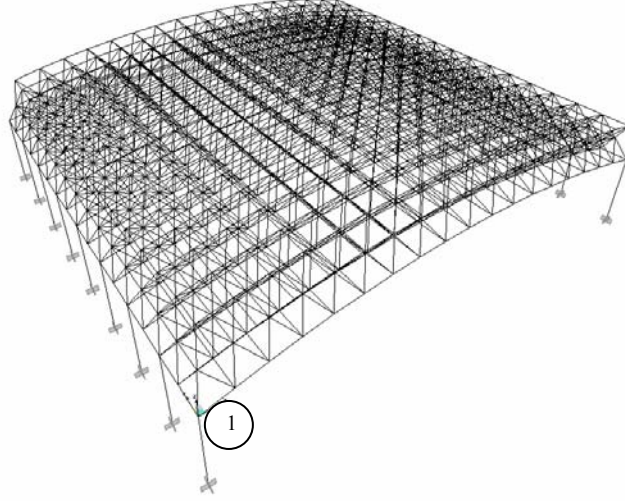
Efektif sönüm değeri, denklem (10) ile ve D yatay yer değiştirmesinden sonra yukarı yöndeki δ_v yer değiştirmesi denklem (11) ile ifade edilir.

$$\beta_{eff} = \frac{4\mu W d}{2\pi[(W/R)D + \mu W]d} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{\mu}{(D/R) + \mu} \quad (11)$$

$$\delta_v = R \left[1 - \cos \left(\arcsin \frac{D}{R} \right) \right] \quad (12)$$

4. Sayısal Uygulama: Uzay Kafes Çatı için Taban İzolasyonu

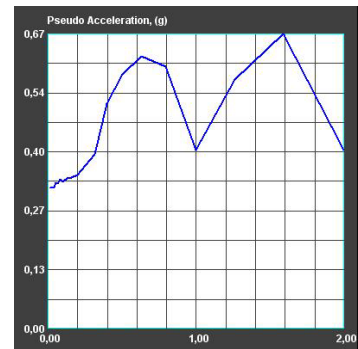
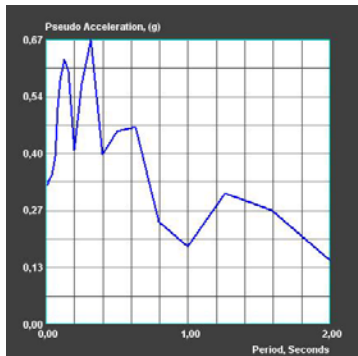
Bu çalışmada, taban izolatörleri ve sismik sönümleyicilerle ile modellenmiş uzay kafes sistemler, farklı deprem ve zemin koşullarındaki dinamik davranışları zaman tanım alanında araştırılmıştır.



Şekil 6. Uzay Kafes Sistem

Çalışmada incelenen taşıyıcı sistem Şekil 6.'da gösterilmiş ve SAP2000 programı ile modellenmiştir [9]. Çift katlı uzay kafes sistem 3970 çubuk elemandan ve 934 düğüm noktasından oluşturulmuş olup sistemde boru profiller kullanılarak optimum kesitler seçilmiştir.

Kauçuk ve sürtünmeli sarkaç taban izolatörleri UBC-97'nin ön gördüğü testleri sağlayan izolatörler arasından seçilmiştir [10]. Çalışmada, uzay kafes sistem geleneksel olan izalatörsüz, kauçuk taban izolatörlü ve sürtünmeli sarkaç taban izolatörlü olarak ayrı ayrı modellenmiş ve Z1 ile Z4 zemin sınıf koşulları için sistem incelenmiştir. Dinamik analiz yöntemi olarak lineer zaman tanım alanında çözümleme 17 Ağustos 1999 tarihinde meydana gelen Kocaeli depreminin, Yarımca Petkim şiddetli yer ivmesi kaydı kullanılarak yapılmıştır. Kullanılan deprem kayıtlarının Z1 ve Z4 zeminlerini ifade etmek için değiştirilmiş PSA – Periyot ilişkisi Şekil 7.'de gösterilmiştir [6].



Şekil 7. PSA – Periyot (Z1 ve Z4)

Sap 2000 programına modellenen yapı 6 farklı durum için ayrı ayrı analiz edilmiş ve sonuçlar Tablo 1. ve Tablo 2.'de gösterilmiştir.

Tablo 1. İzalatörlü ve İzalatörsüz Uzak Kafes Sistemlerin Yapı Periyot Değerleri

Uzak Kafes Sistem Elemanı	İzalatörsüz Sistem		Kauçuk İzalatör		Sürtünmeli Sarkaç İzalatör	
Mod No	1. Mod	2. Mod	1. Mod	2. Mod	1. Mod	2. Mod
Yapı Periyodu	0,600	0,568	1,360	1,353	1,961	1,869

Tablo 2. İzalatörlü ve İzalatörsüz Uzak Kafes Sistemlerin Yapı Periyot Değerleri

Uzak Kafes Sistem Elemanı	İzalatörsüz Sistem		Kauçuk İzalatör		Sürtünmeli Sarkaç İzalatör	
Zemin Sınıfı	Z1	Z4	Z1	Z4	Z1	Z4
1. Noktası Rölatif Yerdeğiştirmesi (cm)	4,71	4,56	3,56	4,79	3,08	3,26

4. Sonuçlar

Yapılan analiz sonuçlarına göre; taban izolatörlerinin kafes sisteminin periyodunun önemli oranda arttırdığı görülmüştür. İncelenen deprem verisine göre sert zeminde periyodun artmasıyla spektrum ivmesinde yapıya daha az ivme etkimiştir. Ancak yumuşak zeminlerde spektrum ivmesi 1.6 saniyelik periyottan sonra azalmaya başladığı için kauçuk izolatör depremden doğan kuvvetlerin azalması yerine artmasına sebep olmuştur. İncelenen örnek için sürtünmeli sarkaç izolatör deprem ivmesini az miktarda azaltmış olsa da istenen sonucu verememiştir. Sürtünmeli sarkaç izolatörlerin yatay rijitlikleri üzerlerindeki yükten bağımsız olarak sadece konkav yüzeyin eğrilik yarıçapına bağılı olduğu için incelenen uzak kafes sistemi için kauçuk izolatörlere göre daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] Sismik İzolasyon Sertifika Programı Ders Notları, İstanbul Kültür Üniv., İstanbul, 2003.
- [2] Kelly, J.M., The Development of Isolators and Isolation Components for Earthquake Resistant Design, Proceedings of the 10th European Conference on Earthquake Engineering, Vienna, Austria, 1994.
- [3] Tezcan S.S., Erkal A., Sesismic Base Isolation & Energy Absorbing Devices BOUN. HEF, İstanbul, 2002.
- [4] HITEC (Highway Innovative Technology Evaluation Center), Evaluation Findings for Earthquake Protection Systems, Inc. Friction Pendulum Bearings, Technical Evaluation Report, 1998.
- [5] Kelly, J.M., Earthquake-Resistant Design with Rubber, Springer Verlag, London, 1996.
- [6] NONLIN Ver. 6.0, FEMA, Emergency Management Institute, <http://training.fema.gov/EMIWeb/nonlin.asp>
- [7] Sansarcı E., Yapısal Kontrol Sistemleri ve Sıvı Sönümleyicilerin Yapılarda Uygulanması, İ.T.Ü. FBE, İstanbul, 2002.
- [8] Dumanoğlu, A. ve Ateş Ş., Taban İzolasyonlu Binaların Lineer Olmayan Deprem Analizi, Teknik Rapor TDV/TR 026-42, Türkiye Deprem Vakfı, İstanbul, 1999.
- [9] SAP2000 V9., Computers and Structures, Inc. Berkeley, California, USA, 2004.
- [10] UBC, Uniform Building Code, USA, 1997.

ELEKTRİK İLETİM KABLOLARININ ÇELİK DİREKLERİN DİNAMİK KARAKTERİSTİKLERİNE ETKİSİNİN OPERASYONAL MODAL ANALİZ YÖNTEMİ İLE BELİRLENMESİ

Alemdar BAYRAKTAR, Ahmet Can ALTUNIŞIK, Temel TÜRKER, Barış SEVİM
Karadeniz Teknik Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Trabzon

Özet

Bu çalışmada, elektrik iletim kablolarının çelik elektrik direklerin dinamik karakteristikleri üzerine etkisinin teorik ve operasyonel modal analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Uygulama amacıyla, yaygın olarak kullanılan iki ayaklı çelik elektrik direkleri seçilmiştir. Çalışma dört aşamadan oluşmaktadır: İlk aşamada, uygulama olarak seçilen direğin elektrik iletim kabloları bulunmaması durumundaki frekansları modal analiz yapılarak elde edilmiştir. İkinci aşamada, elektrik iletim kabloları bulunması durumundaki frekanslar hesaplanmıştır. Üçüncü aşamada, elektrik direğinin dinamik karakteristikleri operasyonel modal analiz yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Operasyonel modal analizde direk dışarıdan kuvvet uygulanarak titreştirilmiştir. Son aşamada ise, teorik analizlerden elde edilen sonuçlar deneysel ölçüm sonuçlarıyla karşılaştırılmış ve sonuçlar arasındaki farklılıkların sebepleri tartışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Elektrik direği, Elektrik iletim kablosu, Dinamik karakteristik, Operasyonel modal analiz.

1. Giriş

Günümüzde yapıların dış etkilere karşı projelendirilmesi ve kesit tesirlerinin hesaplanmasında teorik yöntemler kullanılmaktadır. Fakat teorik analizler sırasında dikkate alınan malzeme ve kesit özellikleri yapının inşası sırasında gerçekleşen işçilik hataları, yapının maruz kaldığı farklı yüklemeler sonucu oluşan çatlamlar, yorulmalar, mesnet çökmeleri gibi nedenlerden dolayı değişime uğrayabilmektedir. Bu nedenle yapı dinamik karakteristiklerinin deneysel ve teorik yöntemler kullanılarak belirlenmesi gerekmektedir. Oluşabilecek farklı dinamik özellikler için yapının analitik modelinde iyileştirmeler yapılmalı ve yapıyı en iyi temsil edecek model elde edilmelidir.

Mühendislik yapılarının dinamik davranışlarının tespit edilmesinde kullanılan dinamik karakteristiklerin deneysel yöntemler ile belirlendiği birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda, tarihi yapılar, köprüler, barajlar, betonarme ve çelik binalar ile nükleer güç santrallerinin dinamik karakteristikleri olarak adlandırılan doğal frekansları, sönüm oranları ve mod şekilleri belirlenmiştir [1–9]. Ayrıca çelik taşıyıcı sisteme sahip konsol kiriş, düzlem çerçeve ve üç boyutlu çerçeve modeller üzerinde gerçekleştirilen ölçümlerden dinamik karakteristikler belirlenmiş ve teorik sonuçlar ile karşılaştırmalı olarak sunulmuştur [10–11].

Bu çalışmada, elektrik iletim kablolarının çelik direklerin dinamik karakteristiklerine etkisi teorik ve operasyonel modal analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmesi amaçlanmıştır. Yaygın olarak kullanılan iki ayaklı çelik elektrik direkleri uygulama için seçilmiştir. Operasyonel Modal Analiz (OMA) yöntemi

kullanılarak gerçekleştirilen titreşim testlerinden elde edilen dinamik karakteristikler teorik analizlerden elde edilen sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Sonuçlar arasındaki farklılıkların olası sebepleri araştırılmıştır.

1. Formülasyon

1.1. Teorik Modal Analiz

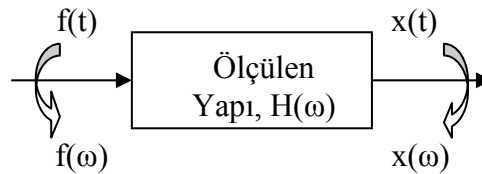
Frekanslar ve mod şekilleri teorik modal analizde yapıya ait aşağıda verilen sönümsüz hareket denklemi kullanılarak belirlenmektedir.

$$[M]\{\ddot{x}(t)\} + [K]\{x(t)\} = \{0\} \quad (1)$$

Burada, $[M]$ ve $[K]$ kütle ve rijitlik matrislerini, $\{\ddot{x}(t)\}$ ve $\{x(t)\}$ zamana bağlı ivme ve yerdeğiştirme vektörlerini göstermektedir. Bu denklemin çözümünden serbestlik derecesi kadar sönümsüz doğal açısal frekans $(\omega_1, \omega_2, \omega_3, \dots, \omega_n)$ elde edilir. Her bir doğal frekansa karşılık yapının almış olduğu şekil mod şekli olarak tanımlanır. Doğal frekansların küçükten büyüğe doğru sıralanması sonucunda elde edilen en küçük frekans temel frekans ve bu frekansa karşılık gelen mod şekli birinci mod şekli olarak adlandırılır [12].

1.2. Operasyonel Modal Analiz

Geleneksel deneysel modal analiz yönteminde yapı bir etki ile titreştirilmekte ve yapının bu titreşime göstermiş olduğu tepki ölçülmektedir. Fourier dönüşümü (FFT–Fast Fourier Transform) kullanılarak etki ve tepki fonksiyonları zaman ortamından frekans ortamına dönüştürülmekte (Şekil 1) ve frekans davranış fonksiyonu elde edilmektedir.



Şekil 1. Şematik bir deneysel modal ölçüm düzeneği.

Yapıya uygulanan etki ile yapının tepkisi arasındaki bağıntı,

$$[G_{yy}(\omega)] = [H(\omega)]^* [G_{xx}(\omega)] [H(\omega)]^T \quad (2)$$

ile verilmektedir. Burada, $[G_{xx}(\omega)]$ etki sinyaline ait Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu'nu, $[G_{yy}(\omega)]$ tepki sinyaline ait Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu'nu ve $[H(\omega)]$ ise Frekans Davranış Fonksiyonu'nu göstermektedir. (2) denklemindeki * ve T sırasıyla fonksiyonun eşleniğini ve transpozisini göstermektedir. Frekans Davranış Fonksiyonu modal parametreleri de içerecek şekilde aşağıdaki ifade ile hesaplanmaktadır.

$$[H(\omega)] = \frac{[x(\omega)]}{[f(\omega)]} = \sum_{k=1}^m \frac{[R(k)]}{j\omega - \lambda_k} + \frac{[R(k)]^*}{j\omega - \lambda_k^*} \quad (3)$$

$$\lambda_k = -\sigma_k + j\omega_{dk}$$

Burada, m toplam mod sayısını, λ_k k . moda ait kök rezonans değerini, σ_k modal sönümü ve ω_{dk} ise k . modun sönümlü doğal açısal frekansı göstermektedir. Etki sinyalinin bilinmemesi durumunda bu sinyale ait Güç Spektral Yoğunluk Fonksiyonu'nun değerinin sabit olduğu kabul edilmektedir [13].

2. Uygulama

Bu çalışmada, iki ayaklı çelik elektrik direğinin (Şekil 2) dinamik karakteristikleri iletim kablolarının bulunması ve bulunmaması durumları için teorik ve operasyonel modal analiz yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir.

Elektrik direği, iki adet [120.50.5 profilinin iki adet 100*4mm boyutlarındaki çelik levhalar ile birbirine kaynaklanmasıyla oluşturulmuştur. Elektrik iletim kablolarının bağlandığı kısımlarda ise L50.50.5 profilleri kullanılmıştır (Şekil 2). Elektrik direğinin toplam yüksekliği 7.90m'dir. Çelik ayaklar arasındaki mesafe tabanda 65cm, tepede ise 15cm'dir. Elektrik direğinin üst kısmında yer alan çıkmaların direğin simetri eksenine olan mesafesi 2.5m'dir (Şekil 2). Direğin ayakları betona gömülmüştür.

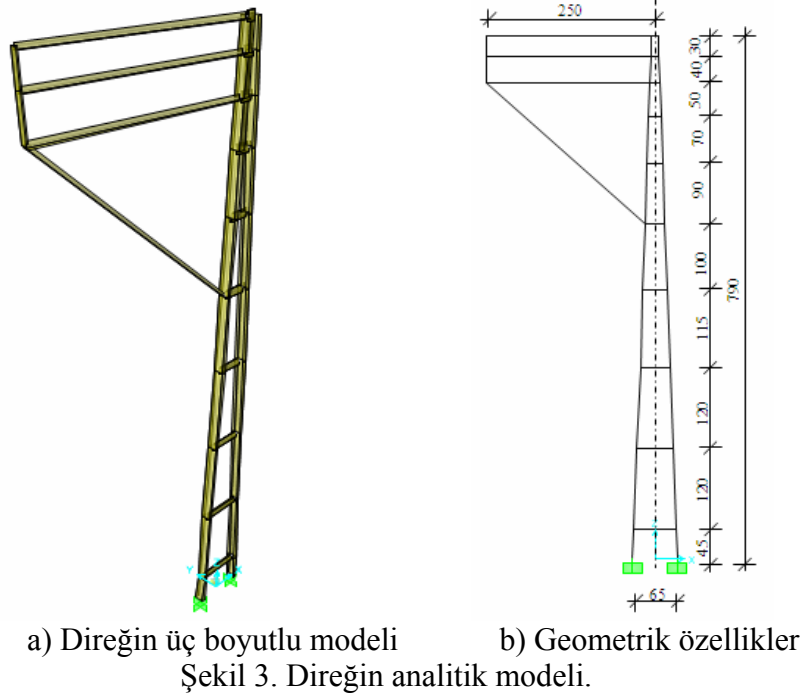


Şekil 2. Elektrik direğine ait görüntüler.

2.1. Elektrik Direğinin Analitik Modeli

Elektrik direğinin taşıyıcı kısmı yerdeğiştirme ve dönme yapabilen kiriş elemanlar kullanılarak modellenmiştir. Elektrik iletim kablolarının bağlandığı çıkma elemanları ise civatalı birleşimlerden oluştuğundan, kafes elemanlar ile temsil edilmiştir. Direğin ayaklarının zemine ankastre olduğu kabul edilmiştir. Sistemin üç

boyutlu analitik modelleri sırasıyla Şekil 3a’da, sisteme ait geometrik özellikler Şekil 3b’de cm cinsinden verilmiştir.



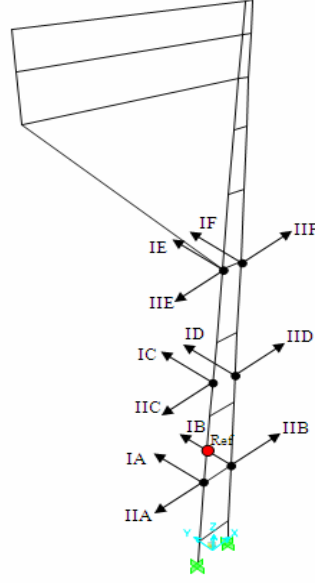
2.2. Çevresel Titreşim Testi

Yapının dinamik karakteristiklerinin titreşim testleri yapılarak belirlenmesinde Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılmıştır. Ölçümler yedi adet tek eksenli ivmeölçerler kullanılarak gerçekleştirilmiştir. İvmeölçerlerden elde edilen sinyaller 17 kanallı Brüel&Kjaer 3560 veri toplama ünitesinde birleştirilip PULSE yazılımına aktarılmıştır (Şekil 4). Burada sinyaller işlendikten sonra OMA yazılımı kullanılarak dinamik karakteristikler elde edilmiştir.



Şekil 4. Veri toplama ünitesi ve ivmeölçer.

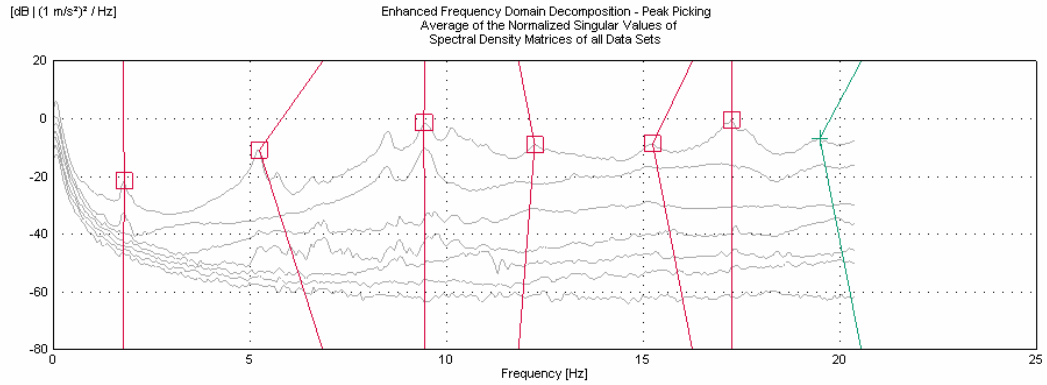
Direğin titreşim modlarını yeterince elde edebilmek amacıyla 6 adet noktadan titreşimler ölçülmüştür. Ölçüm işlemi iki adımda gerçekleştirilmiştir. Birinci adımda altı adet tek eksenli ivmeölçer Şekil 5’te gösterilen IA, IB, IC, ID, IE ve IF noktalarına y eksenli doğrultusunda yerleştirilmiştir. İkinci adımda ise ivmeölçerler IIA, IIB, IIC, IID, IIE ve IIF noktalarına x eksenli doğrultusunda yerleştirilmiştir. İki ölçümdeki sinyalleri birbirleriyle bağdaştırabilmek amacıyla Ref olarak gösterilen noktaya tek eksenli ivmeölçer referans olarak yerleştirilmiştir. Çelik direk dışarıdan uygulanan kuvvet ile titreştirilmiştir.



Şekil 5. İvmeölçerlerin yerleşim düzeni.

3. Teorik ve Deneyisel Sonuçların Değerlendirmesi

Çelik elektrik direğinin dinamik karakteristikleri, Operasyonel Modal Analiz yöntemi kullanılarak gerçekleştirilen titreşim testlerinden Frekans Ortamında Ayırışım (Frequency Domain Decomposition-FDD) tekniği ile elde edilmiştir [14 15]. Bu teknikte modal parametreler her bir titreşim sinyalinden tekil değerler olarak elde edilmektedir. Bu şekilde elde edilen tekil değerler her bir sinyal için Şekil 6’da görülmektedir.



Şekil 6. Her bir titreşim sinyaline ait tekil değerler.

Direğin teorik modal analizi SAP2000 sonlu eleman paket programı [16] kullanılarak yapılmıştır. Analizlerde elastisite modülü $2.06E11 \text{ N/m}^2$ ve birim kütle 7850 kg/m^3 olarak dikkate alınmıştır [17].

Teorik analizlerde direğin kablolu ve kablosuz durumları dikkate alınmış ve elde edilen ilk altı frekans değerleri Tablo 1’de karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Teorik analizlerde kablo etkisi, direğin tepesindeki çıkma kısımlara kabloya eşdeğer kütle eklenmesiyle dikkate alınmıştır.

Tablo 1. Teorik analizlerden elde edilen frekans değerleri

Frekans	Kablosuz Teorik Frekanslar (Hz)	Kablolu Teorik Frekanslar (Hz)
1	1.883	1.810
2	6.945	6.872
3	10.217	9.718
4	12.161	11.920
5	12.318	12.074
6	15.163	13.954

İletim kablolarının bulunması duruma ait teorik ve deneysel çalışmalardan elde edilen ilk altı frekans ve sönüm oranı ise Tablo 2’de karşılaştırmalı olarak verilmektedir.

Tablo 2. Kabloların bulunması durumundaki teorik ve deneysel frekans ve sönüm oranı değerleri

Frekans No	Teorik Frekanslar (Hz)	Deneysel	
		Frekanslar (Hz)	Sönüm Oranı (%)
1	1.810	1.780	2.684
2	6.872	6.860	1.362
3	9.718	9.440	0.893
4	11.920	11.840	2.455
5	12.074	13.060	-
6	13.954	13.250	-

Elde edilen teorik sonuçlardan, direğin iletim kablolarının bulunması durumundaki frekans değerlerinin kablosuz duruma göre daha düşük olduğu görülmektedir. Deneysel ve teorik frekanslar karşılaştırıldığında ise, elektrik iletim kablolarının bulunması durumundaki teorik analizden elde edilen frekansların deneysel modal analizden elde edilenlere daha yakın olduğu görülmektedir. Bununla birlikte deneysel ve teorik frekanslar arasında biraz farklılıklar bulunmaktadır. Bunun nedeni, direğin analitik modeli oluşturulurken malzeme ve sınır şartları bakımından yapılan kabullerin gerçekte tam olarak sağlanamamasından kaynaklanmaktadır. Örneğin, direğin analitik modeli oluşturulurken çelik ayakların zemine ankastre olduğu kabul edilmesine rağmen, ayakların betona bağlantı yerlerinde hasarların olduğu görülmüş (Şekil 7), bu durumun ankastre koşulunu tam olarak sağlamadığı anlaşılmıştır. Ayrıca, direkte kullanılan çeliğin standartlara uygun olarak dikkate alındığı ve buna göre elastisite modülünün standartlardaki değere sahip olduğu kabul edilmiştir.



Şekil 7. Çelik direk-temel birleşimi.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, elektrik iletim kablolarının çelik direklerin dinamik karakteristiklerine olan etkisi teorik ve deneysel yöntemler kullanılarak belirlenmiştir. Uygulama amacıyla, yaygın olarak kullanılan iki ayaklı çelik bir elektrik direği seçilmiştir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda maddeler halinde verilmektedir:

- Direğin modal analiz yapılarak dinamik özelliklerin belirlenmesinde iletim kablolarının bulunması ve bulunmaması durumuna ait iki ayrı model kullanılmıştır. Bu modellerden elde edilen frekans değerleri karşılaştırıldığında, iletim kablolarının bulunması durumunda elde edilen frekans değerlerinin iletim kablolarının bulunmaması durumunda elde edilen frekans değerlerinden daha düşük olduğu görülmüştür.
- Teorik ve deneysel modal analiz sonuçları karşılaştırıldığında kablolu duruma ait teorik frekans değerlerinin deneysel modal analiz sonuçlarından elde edilen frekans değerlerine yakın olduğu görülmüştür. Sonuçlar arasındaki farklılığın, teorik analizde malzeme özellikleri ve sınır şartları ile ilgili yapılan kabullerden kaynaklandığı düşünülmektedir.
- Teorik analizde dikkate alınan sınır şartlarının ve malzeme özelliklerinin doğrulanması, sonuçlar arasındaki uyumu arttıracaktır.

5. Teşekkür

Bu çalışma, 106M038 numaralı TÜBİTAK Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Projesi kapsamında desteklenmiştir.

6. Kaynaklar

- [1] Gentile, C., Saisi, A., 2007. Ambient Vibration Testing of Historic Masonry Towers for Structural Identification and Damage Assessment, Construction and Building Materials, 21, 1311-1321.
- [2] Sortis, A.D., Antonacci, E., Vestroni, F., 2005. Dynamic Identification of a Masonry Building Using Forced Vibration Tests, Engineering Structures, 27, 155-165.
- [3] Brownjohn, J.M.W., 1997. Vibration Characteristics of a Suspension Footbridge, Journal of Sound and Vibration, 202, 1, 29-46.
- [4] Chang, C.C., Chang, T.Y.P., 2001. Ambient Vibration of Long-Span Cable-Stayed Bridge, Journal of Bridge Engineering, ASCE, 6, 1, 46-53.
- [5] Wang, H., Li, D., 2006. Experimental Study of Seismic Overloading of Large Arch Dam, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 35, 199-216.

- [6] Darbre, G.R., Proulx, J., 2002. Continuous Ambient-Vibration Monitoring of the Arch Dam of Mauvoisin, Earthquake Engineering and Structural Dynamics, 31, 475-480.
- [7] Ventura, C.E., Lord, J.F., Simpson, R.D., 2002. Effective Use of Ambient Vibration Measurements for Modal Updating of a 48 Storey Building in Vancouver, Canada, Proceedings of the 3rd International Conference on Structural Dynamics Modeling-Test, Analysis, Correlation and Validation-Madeira Island, Portugal.
- [8] Lord, J.F., Ventura, C.E., 2003. FEM Updating Using Ambient Vibration Data from a 48-Storey Building in Vancouver, British Columbia, Canada, 32nd International Congress and Exposition on Noise Control Engineering, South Korea.
- [9] Ceballos, M.A., Car, E.J., Prato, T.A., Prato, C.A., Alvarez, L.M., 1998. Experimental and Numerical Determination of the Dynamic Properties of the Reactor Building of Atucha II NPP, Nuclear Engineering and Design, 182, 93-106.
- [10] Bayraktar, A., Türker, T., 2005. Deneysel Modal Analiz Yöntemi ile Düzlem Çerçevelerin Dinamik Karakteristiklerinin Belirlenmesi, Deprem Sempozyumu Kocaeli 2005, Kocaeli, Türkiye.
- [11] Bayraktar, A., Türker, T., 2005. Finite Element Modeling and Experimental Modal Testing of Steel Structures, the 1st International Operational Modal Analysis Conference (IOMAC), Denmark.
- [12] Petyt, M., 1990. Introduction to Finite Element Vibration Analysis, Cambridge University Press, Cambridge.
- [13] Uhlenbrock, S., Schlottmann, G., 2005. Contribution to the Identification of the Dynamic Behaviour of Floating Harbour Systems Using Frequency Domain Decomposition, 1st International Operational Modal Analysis Conference, Copenhagen, Denmark.
- [14] Brincker, R., Zhang, L., Anderson, P., 2000. Modal Identification from Ambient Responses using Frequency Domain Decomposition, Proc. 18th International Modal Analysis Conference, San Antonio, Texas, USA, 7-10 February, pp. 625-630.
- [15] Brincker, R., Ventura, C.E., Anderson, P., 2003. Why Output-Only Modal Testing is a Desirable Tool for a Wide Range of Practical Applications, Proc. 21st International Modal Analysis Conference, 3-6 February, Kissimmee, Florida, USA.
- [16] SAP2000, 1997. Integrated Finite Element Analysis and Design of Structures, Computers and Structures, Inc., Berkeley, California, USA.
- [17] Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, TS 648, 1980. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, Türkiye.

TÜRKİYE’DE HAFİF ÇELİK KONSTRÜKSİYONLU YAPILAR SEKTÖRÜNDE YAŞANAN SORUNLAR VE SİSTEMİN GELİŞTİRİLMESİ İÇİN ÇÖZÜM ÖNERİLERİ

Murat KAYA , Y.Mimar

(İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Öğretim Görevlisi)

Murat Kaya Mimarlık ve Mühendislik, İnşaat, Taahhüt, Turizm, Çelik Yapılar Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.

Zafer Mah. Gordion Cad. No : 61 /1 Polatlı / ANKARA

Özet

Son yıllarda hafif çelik konstrüksiyonlu yapılara olan ilgi ve talep giderek artmaktadır. Talep artışını gören pek çok firma yeterli bilgi ve donanımına sahip olmadan daha önce örneklerini gördüğümüz gibi hızlı bir şekilde karlı gördükleri bu sisteme girmektedir. Yetersiz firmaların sektöre girmeye çalışması pek çok sorunu da beraberinde getirmekte ve sistemin önünü tıkama riskini arttırmaktadır. Henüz yolun başındayken hem halkımıza, ülkemiz için yeni olan bu yapım şeklini doğru anlatmak hem de sektörü geliştirecek doğru adımları atmak zorundayız. Bu nedenle sektörün yaşadığı sorunlar farklı açılardan belirlenmeye çalışılmış ve çözüm önerileri getirilmiştir.

Anahtar Kelimeler ; Hafif çelik, deprem, kalite

1. Hafif Çelik Konstrüksiyonlu Yapılar Sektöründe Genel Durum

1999 yılında yaşanan Gölcük Depremi’nden sonra ülkemizde hafif çelik konstrüksiyonlu yapılar sıkça gündeme gelmektedir. Depremin etkisiyle spot olarak başlayan ilgi son 2-3 yılda yerini daha bilinçli gelişen bir pazara bırakmaya başlamıştır. Halkımız internet üzerinden ve sektördeki firmalardan konuyu daha dikkatli ve detaylı araştırmaktadır. Piyasada oluşan talebi fark eden yeni firmalar da her gün artan sayılarıyla işin arz boyutunu oluşturmaya çalışmaktadır. Sektör önümüzdeki yıllarda hızla ilerleyeceğinin sinyallerini vermektedir. Yeni ticari açılımlar planlayan pek çok bilgisiz kişi ve firmalar sektörde yer almak için çaba içine girmektedir. Sektör henüz doğmadan bilgisiz, tecrübesiz ve yetersiz firmaların elinde yok olma tehlikesini de içinde barındırmaktadır. B.arme yapılara seçenek ve sorunlara çözüm yolu olarak yaygınlaşmaya başlayan hafif çelik konstrüksiyonlu yapıları ve sektörü bugünlerden itibaren bir disiplin ve sistematik içinde geliştirmek zorundayız.

2. Sektörde Yaşanan Sorunlar

5 yıldır sektörün içinde aktif çalışan bir kişi olarak dolaştığım farklı şehirlerde ve incelediğim üretici firmalarda aynı sorunları gözlemlemiş bulunmaktayım. Bu sorunları birkaç farklı başlık altında toplayabiliriz;

2.1 İmalatçı Firmaların Yaşadığı Sorunlar

- a) Halkımız sistemin özelliklerini bilmemektedir ve bakış açısı genelde b.arme yapılar ile fiyat mukayesesi şeklindedir. Sadece ilk yatırım maliyeti açısından bakıldığı zaman çelik konstrüksiyonlu yapılar pahalı gibi gözükmemektedir. Doğru bir mukayese yapabilmek için sistemi zaman, işletme giderleri , faydalı alan, deprem güvencesi ve kalite gibi bütün unsurları ile değerlendirmek gerekmektedir.
- b) Yapılar çok hızlı tamamlandığı için müşterinin finansmanı kısa sürede çözmesi sorun oluşturabilmektedir. Kredi sistemlerinin geliştirilmesi gerekmektedir.
- c) Konuya hakim tecrübeli teknik kadrolar henüz yeterli değildir. Yeni bir personelin konuyu öğrenmesi ve pratik kazanması firmalar açısından zaman almakta ve maliyetleri arttırmaktadır.
- d) Meslek odalarında ve yapı denetim firmalarında bu tür yapıların hesap tekniklerini bilen kadrolar yok denecek kadar azdır. Hazırlanan projelerin resmi süreçlerini çözmek uzamaktadır ve müşteriye karşı taahhüt edilen süreleri aşmaktadır.
- e) Sektördeki bazı firmalar yabancı firmaların bilgi ve bayilik desteğiyle çalışmaktadır. Teknolojinin transfer edildiği bazı ülkelerde bu sistemler deprem endişesi ile değil endüstriyel üretim tarzı olarak uygulanmaktadır. Dolayısı ile ülkemize getirilen sac kalınlıkları, bağlantı yöntemleri , üretimde kullanılan makinelerin teknik kapasiteleri ülkemizin deprem koşulları ve hesap yöntemleri için yeterli gelmeyebilmektedir.
- f) Ana firmaların yabancı ülke vatandaşları için hazırlanmış planları halkımızın ihtiyaçları ve bizim imar kurallarımız ile uyuşmamaktadır. Malzemeleri doğrudan ithal eden firmalar süre ,malzeme sevkıyatı, gümrük maliyetleri ve teknik destek sıkıntıları yaşayabilmektedir.
- g) Sektöre yeni girmeye çalışan ve hali hazırda ağır çelik imalatlar, konteynır ve prefabrik yapılar üreten firmalar vardır. Ancak hafif çelik konstrüksiyonlu yapılar taşıyıcısı çelik olmakla birlikte sanayi yapılarından ve prefabrik binalardan çok farklı ince yapı detayları içermektedir. İnce yapı detayları çözülemediği için uygulama sıkıntıları yaşanmaktadır.
- h) Halkımız b.arme yapılarda yıllardır yaşadığı bazı özellikleri, doğruluğunu sorgulamadan çelik yapılarda da aramaktadır. Halkımızın geleneksel yapı alışkanlıklarını değiştirmesi zaman almaktadır.
- i) Anadolu'nun farklı bölgelerinde yerel bayi olarak çalışan firmalar ana firmalardan yeterli teknik desteği zamanında alamamaktadır.Bu firmalar bütün ticari riskleri almalarına rağmen ticari pastadan en az miktarı almaktadırlar. Bu durum küçük illerdeki yerel firmaları kendi imalatlarını yapmaya ve çoğu zaman kalitesiz sonuçların artmasına sebep olmaktadır.

2.2 Teknik Kadroların Yaşadığı Sorunlar

- a) Mimarlık ve Mühendislik Bölümlerinde verilen dersler çok sınırlıdır hatta yok denecek kadar azdır. Mezun olan öğrenciler yüksek lisans döneminde özellikle araştırma konusu olarak seçmemişlerse piyasa tecrübesi edinene kadar bilgi sahibi olamamaktadır.
- b) Öğrenci olarak piyasadaki firmalardan bilgi edinmeye çalışanlar çok fazla bilgi alamamaktadır ve konu ile ilgili bilimsel yazı ve kitapların sayısı oldukça azdır.
- c) Sektöre yeni giren firmalarda çalışmaya başlayan teknik kadrolara çok fazla imkan ve zaman verilmeden , firma adına sektörün altyapısı oluşturulmadan, önemli ticari başarılar beklenmektedir.
- d) Üretici firmaların kullandığı makine parkurlarının zayıf olmasından ve kurumsal tecrübenin oturmamış olmasından kaynaklanan sorunları deneme yanılma yoluyla çözmeye çalışarak mesleki riskler almaktadırlar. Başarı firmaların, başarısızlık teknik kadroların olmaktadır.

2.3 Müşterilerin Yaşadığı Sorunlar

- a) Konu ülkemizde çok yeni olduğu için bilinçli tüketici henüz oluşmamıştır. Halkımız hangi firmanın nasıl bir yapı ürettiğine dair bilgi sahibi değildir ve firmalardan isteyebileceği ve denetleyebileceği konu başlıklarını bilmemektedir. Küçük bir ilin sanayisinde basit metal işçiliği yapan herhangi bir ustadan , ciddi teknik ekipleri barındıran büyük firmalara kadar her aşamada üretici firma mevcuttur. Sektördeki taşlar henüz yerine oturmadığı için büyük firmalar ile çalışmak da her zaman kaliteli ve doğru sonuçlar anlamına gelmemektedir.
- b) Üretici firmaların bir kısmı maliyetleri aşağıya çekmek ve b.arme yapılar ile ticari rekabeti kaybetmemek için olması gerekenden ince , bazen taşıyıcı değer taşımayan saclar kullanabilmekte , yanlış olduğunu bile bilmediği bağlantı şekillerini uygulamaktadırlar. Müşteriler kullanılan malzemelerin kalite belgelerini istemek ve kontrol etmek durumundadır.
- c) İnce yapı detayları tam anlamıyla çözülemediği için bazı sorunlar firmalar arasında kronik hale gelmeye başlamıştır. Döşemelerin esniyor olması, binalarda çıtırtı seslerinin duyulması, pencere ve saçak detaylarında görülen su yalıtım problemi bu tip yapılarda en çok yaşanan sorunlardandır.
- d) Farklı mimari projeler çoğu zaman üretilmemektedir. Üretici firmalar kendi kataloglarındaki projelerin dışında yeni mimari projelerin uygulamasında zorlanmaktadır. Hafif çelik yapı denilince Amerikan Evi ve mimarisi akla gelmektedir. Oysa çelik konstrüksiyon b.arme gibi bir yapım yöntemidir ve her türlü mimari üslupta hazırlanmış yapı üretilmektedir.

- e) Hafif çelik konstrüksiyonlu yapılar gelişmiş ülkelerde 40-50 yıldır uygulanmakta olmasına karşın ülkemizde son teknoloji ürünü yapılar gibi anlatılmaktadır. Pazarlama tekniği bile olsa halkımızın doğruları bilmesi gerekmektedir.

3. Çözüm Önerileri

İçinde bulunduğumuz dönemin en önemli gerçeği bilgidir. Dolayısıyla her birimiz sahip olduğumuz bilgiyi ortak bir platformda, bir kurum ve sistematik içerisinde paylaşmalı ve arttırmalıyız. Yıllar içerisinde ülkemizde uygulanacak olan yapıların önemli bir bölümünün taşıyıcı sisteminin çeliğe dönüşeceğini kabul edersek, kendi kuşağımızı olmasa bile gelecek kuşakların yapılarında belirli bir kaliteyi yakalamış oluruz. Böylece hem depremlerin yıkıcı etkilerinden korunmuş hem de kaliteli ve sağlıklı yapılarda yaşıyor olacağız. Şu anda pek çok firma kendi koşulları içerisinde sektörde mücadele vermektedir. Lisans ve yüksek lisans yapan öğrenciler konu hakkında daha fazla bilgi toplamaya çalışmaktadır. Türk Yapısal Çelik Derneği sektördeki kurumsal boşluğu doldurmaya çalışmaktadır. Ancak münferit yapılan bu çalışmaların koordine edilmesi , hızlandırılması ve arttırılması gerekmektedir. Bunun da gelişmiş ülkelerde olduğu gibi kurumların ve şirketlerin üzerinde, devlet tarafından oluşturulacak Milli unvanını taşıyan bir Yapısal Çelik Enstitüsü bünyesinde olacağına inanmaktayım. Böyle bir enstitü çerçevesinde bir takım çalışmalar yapılarak bugüne kadar b.arme sistemde yıllardır yaşadığımız sorunları daha hızlı aşabiliriz ve geleceğe güvenle bakabiliriz. Sektörün geliştirilmesi adına enstitü çerçevesinde yapılabilecek çalışmaları şöyle özetleyebiliriz;

1) Sanal ve gerçek kütüphaneler oluşturulması , diğer kuruluşların ve üniversitelerin ellerindeki yayınların da bilgisinin toplanması ve sanal ortamda erişim sağlanması,

2) Mimar, mühendis ve uygulamaya yönelik meslek guruplarına kurslar açılması, yeterlilik belgeleri verilmesi ,üretim ve inşaat faaliyetlerinde yeterliliği olan kişilerin çalıştırılması konusunda zorunluluk getirilmesi,

3) İmalatçı firmaların kapasitelerine göre değerlendirilerek sınıflandırılması ve yeterlilik belgesi verilmesi, halkın belgelendirilmiş firmaları tercih etmesinin özendirilmesi,

4) Enstitüye üye olan kuruluşların tüm imalatlarının envanterinin tutulması ve imalatların düzenli olarak kontrol edilerek firma yeterliliklerinin sürekli denetim altında tutulması,

5) Ülkemiz koşullarında uygulanabilecek olan ince yapı detaylarının labarotuar koşullarında belirlenmesi, ısı , ses, su yalıtımı gibi konularda şartnameler oluşturulması,

6) Hafif çelik yapı sektöründe kullanılabilecek taşıyıcı çeliklerin ve kalınlıklarının belirlenmesi, değişik iklim bölgelerinde olması gereken galvaniz değerlerinin tespiti, farklı bağlantı şekillerinin teknik analizlerinin yapılması, farklı

taşıyıcı sistemlerin labarotuar ortamında deprem testlerinin yapılması ve tüm sonuçların belgelendirilerek şartnamelere dönüştürülmesi,

7) Kamu yapılarında çelik taşıyıcı sistemlerin zorunlu hale getirilmesi için altyapı ve kanunların çıkartılması için gerekli siyasi ortamın oluşturulması,

8) Basın yayın kuruluşları ile ortak çalışmalar yaparak halkımızın bu yeni yapım sistemini öğrenmesini sağlanması,

Milli ünvanı taşıyacak bir enstitünün oluşturulması ve aktif olarak çalıştırılması sektöre önemli bir ivme kazandıracaktır. Ancak sektörün gelişmesini sadece bir kuruma bağlamak yeterli olmayacaktır. Özel sektörün imza attığı her başarılı çalışma sektörün reklamı olacaktır. Üniversitelerde çelik yapılar ile ilgili derslerin arttırılması, yüksek lisans düzeyindeki öğrencilerin konuya yönlendirilmesi ,meslek odalarının sektörü geliştirecek kurslar açması ve seminerler düzenlemesi faydalı olacaktır. Basının konuya ilgisini sürekli sıcak tutmak gelişimin hızını belirleyecek unsurlardan belki de en önemlisi olacaktır.

Kaynaklar

[1] ‘Hafif Çelik Kostruksiyonlu Yapıların Türkiye Koşullarında Rasyonelliğine Dair Bir Araştırma’ Y.Lisans Tezi, 1998, Dokuz Eylül Üniv. Fen Bilimleri Enst., İzmir, Murat Kaya , Y.Mimar (İzmir Yüksek Teknoloji Enstitüsü Öğretim Görevlisi)