

3. Oturum

İNCE ÇELİK LEVHALI ÇERÇEVELERİN ANALİTİK OLARAK İNCELENMESİ

Cüneyt VATANSEVER
Araştırma Görevlisi
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

Nesrin YARDIMCI
Prof. Dr.
İstanbul Teknik Üniversitesi
İnşaat Fakültesi
İstanbul, Türkiye

ÖZET

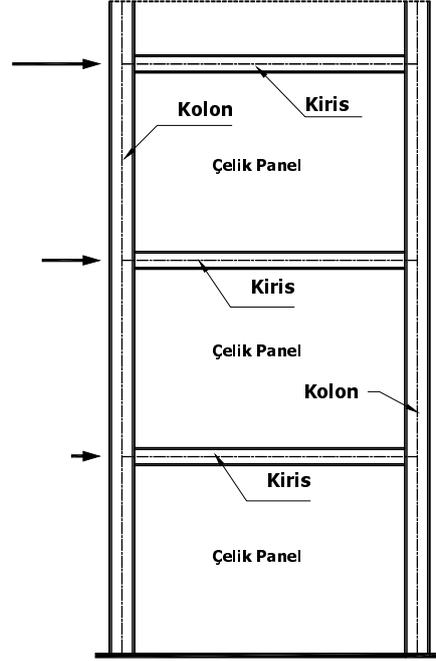
Bu çalışmada, çelik levha (panel) içeren örnek bir çerçeve yatay yük altında analitik olarak incelenmiştir. Çelik panelli çerçevenin, panelin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği analitik modeli (paralel çubuk modeli) SAP2000, malzeme ve geometri bakımında doğrusal olmayan sonlu eleman modeli ABAQUS bilgisayar yazılımları kullanılarak oluşturulmuştur. Hazırlanan bu modellerin yatay yükler altında davranışları incelenerek karşılaştırılmıştır. Ayrıca deney [1] sonucunda, örnek sistemin sergilediği davranış ile analitik inceleme sonunda elde edilen sonuçlar karşılaştırmalı olarak irdelenmiştir.

GİRİŞ

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

Çelik levha içeren çerçeveler (Şekil 1), yatay yükler nedeniyle meydana gelen tesirlere (moment ve kesme kuvveti) karşı etkili bir biçimde taşıyıcılık sağlamak amacıyla kullanılan yapı sistemleri olup, genel olarak

çelik levha (panel) ve bu levhaya sınır teşkil eden kiriş ve kolonlardan oluşmaktadır. Bu tip çerçeveler, yatay yükler altında taşıyıcı sistem bakımından, basit olarak düşey doğrultulu dolu gövdeli bir konsol kiriş gibi değerlendirilebilir. Bu durumda, kolonlar bu konsol kirişin basınç ve çekme başlığı, çelik levha gövde elemanı, kat kirişleri de gövde levhasının berkitmeleri olarak düşünülebilir.



Şekil 1 Çelik levhalı çerçeve

ÇALIŞMANIN KAPSAMI

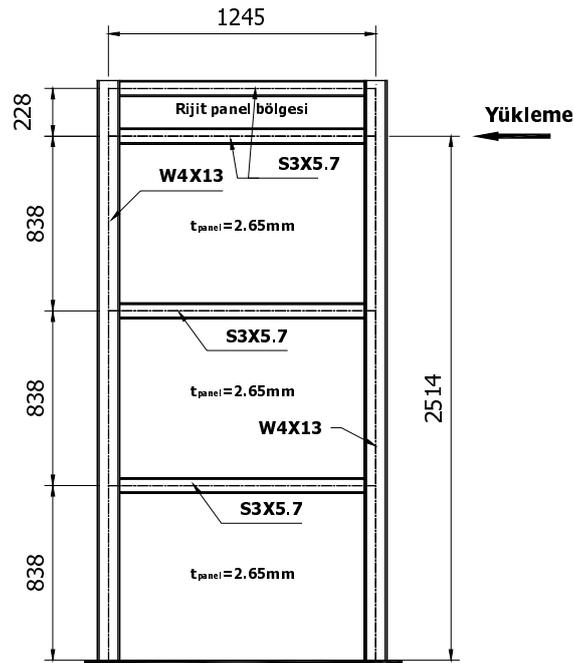
Çelik levhalı çerçeveler (Şekil 1), çelik panel ile bu panelin kenarlarına kaynak veya bulonlar vasıtasıyla birleşen kolon ve kirişlerden oluşmaktadır.

İnce çelik panelli çerçevelerin yapılarda yatay yük aktarmak amacıyla kullanılmaya başlanmasından bu yana pek çok deneysel ve kuramsal çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunun yanında, yapılan deneysel çalışmalar ile

desteklenen ve çelik paneli bir seri çekme çubukları ile temsil eden analitik modeller de geliştirilmiştir.

Bu çalışmada oluşturulacak analitik model için esas alınan örnek çelik panelli çerçeve [1] Şekil 2’de verilmiştir. Yapılan deneysel çalışmada [1] örnek çerçevenin 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.

Çerçevenin, çelik panelin bir seri çekme çubuğu ile temsil edildiği analitik modeli SAP2000, çubuk (kiriş ve kolonlar) ve plak (çelik panel) elemanlardan oluşan sonlu eleman modeli ABAQUS bilgisayar yazılımları ile oluşturulmuştur.



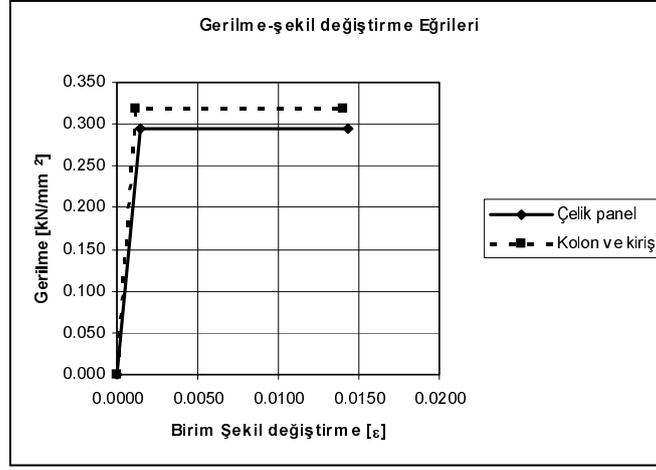
Şekil 2 Deney numunesi ve analitik modeli oluşturulacak çelik levhalı çerçeve[1]

MALZEME

Kolon, kiriş ve panelin malzemelerine ait akma gerilmesi değerleri Tablo 1’de, gerilme-şekil değiştirme diyagramı Şekil 3’te verilmiştir.

Tablo 1 Levha, kiriş ve kolona ait akma gerilmeleri [2]

Levha [MPa]	Kiriş [MPa]	Kolon [MPa]
295	319	319



Şekil 3 Kolon, kiriş ve panele ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı

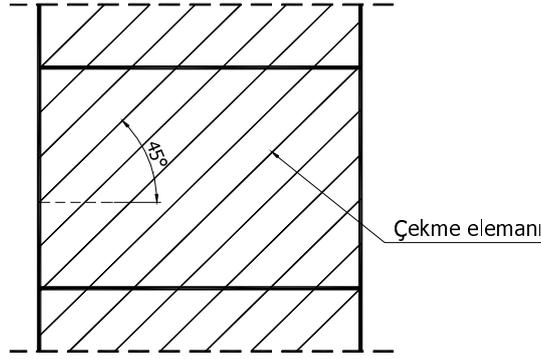
Şekil 3’te verilen gerilme-şekil değiştirme diyagramları herhangi bir çekme deneyi sonunda elde edilen eğriler olmayıp, Tablo 1’de verilen akma gerilmeleri esas alınarak tahmin edilen eğrilerdir.

ANALİTİK MODEL

Çelik levhalı çerçevelerin yatay yükler altında davranışlarını tahmin etmek üzere deneysel çalışmalarla desteklenen çeşitli analitik modeller geliştirilmiştir. Bu modellerde çelik panel, en büyük asal çekme gerilmeleri doğrultusunda yerleştirilen çekme elemanları ile temsil edilmektedir. Bu çalışmada esas alınan model, panelin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği paralel çubuk modelidir[3].

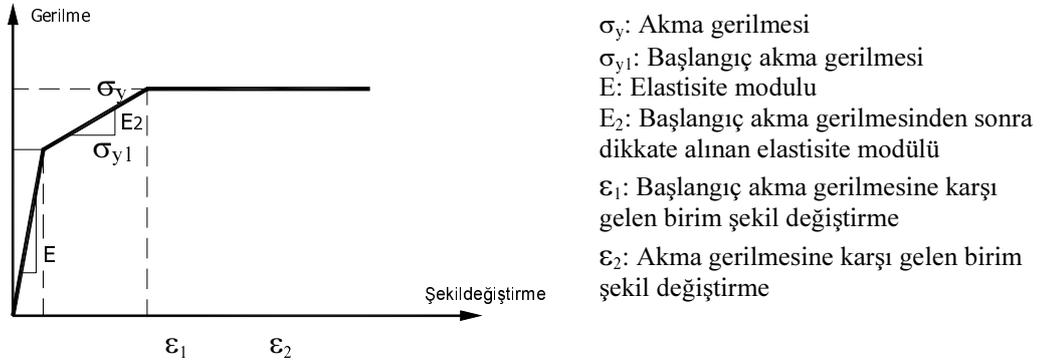
Paralel Çubuk Modeli [3]

Çelik panel, yatay eksen ile 45°'lik açı yapacak şekilde yerleştirilen iki ucu mafsallı eşdeğer çubuk elemanlar ile temsil edilmektedir (Şekil 4).



Şekil 4 Çelik panelin eşdeğer çubuk elemanlar kullanılarak geliştirilen modeli

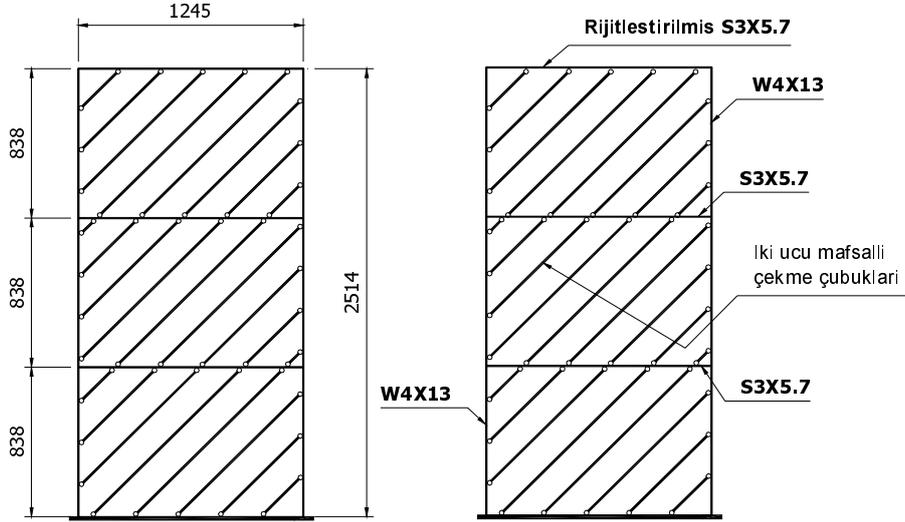
Eşdeğer çubuk elemanların gerilme-şekildeğiştirme eğrisi üç doğru parçasından oluşmaktadır (Şekil 5).



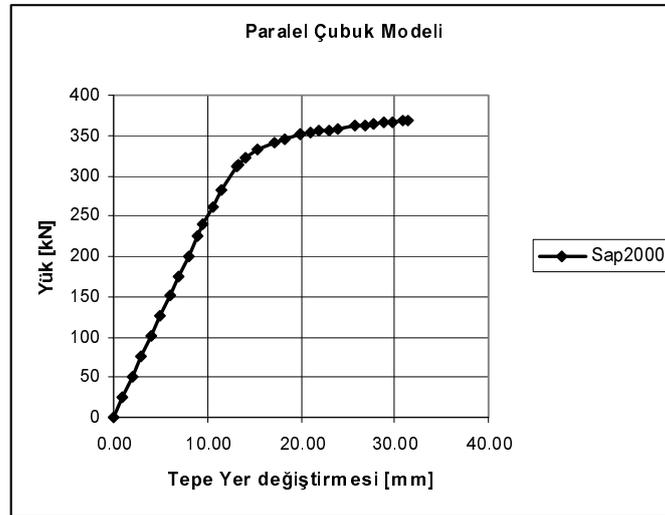
Şekil 5 Eşdeğer çubuk elemana ait gerilme-şekil değiştirme diyagramı

Eşdeğer çekme elemanlarının davranış modelini oluşturan gerilme-şekil değiştirme diyagramına ait karakteristik değerlerin (σ_{y1} , E_2 , ϵ_1 , ϵ_2) hesabı ile ilgili ayrıntılı bilgi için [3]'e bakılabilir.

Çelik panellerin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği analitik model Şekil 6’da doğrusal olmayan statik itme analizi sonunda elde edilen yük-yer değiştirme eğrisi de şekil 7’de verilmektedir.



Şekil 6 Paralel çubuk modeli



Şekil 7 Paralel çubuk modeline ait yük-yer değiştirme eğrisi

Analiz ve Deneysel Çalışma Sonuçlarının İrdelenmesi

Analiz sonuçları ve örnek çelik levhali çerçeveye ait deneysel çalışma sonuçları karşılaştırmalı olarak Tablo 2’de özetlenmiştir.

Analitik model analizi sonunda sistemin davranışı ile ilgili elde edilen karakteristik değerlerden başlangıç rijitliği %6 daha küçük, 12.6 mm’lik tepe yerdeğiştirmesine karşı gelen yük değeri %6 daha büyük, 18.3 mm’lik tepe yerdeğiştirmesine karşı gelen yük değeri %3 ve yatay yük taşıma kapasitesi %2 daha küçük olarak elde edilmiştir.

Tablo 2 Analitik modelin analiz ve deneysel çalışma sonuçları

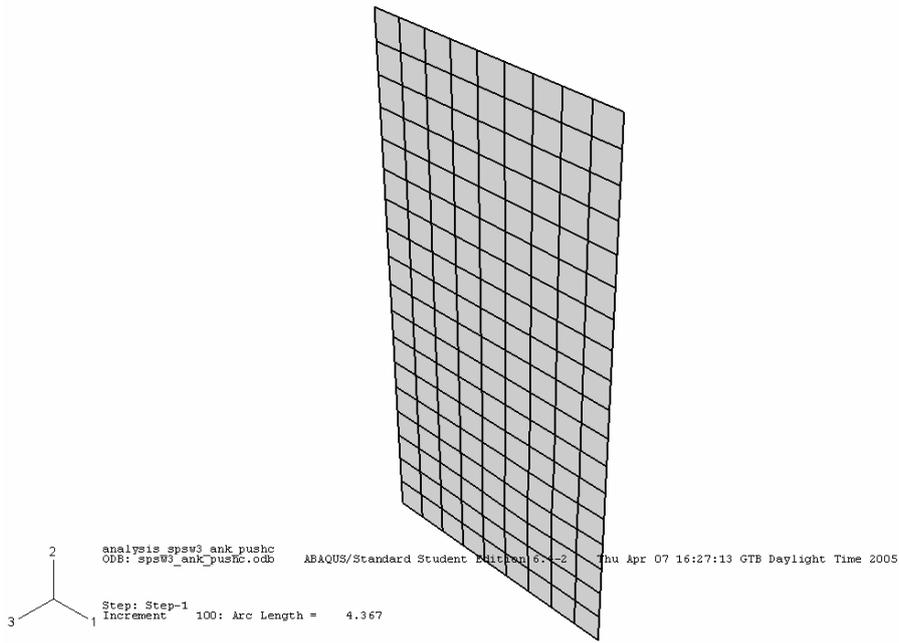
SAP2000 Analiz Sonuçları	Deneysel Çalışma Sonuçları [2]
Başlangıç rijitliği ~25.106 kN/mm² olarak hesaplanmıştır.	Sistemin başlangıç rijitliği 26.618 kN/mm² ‘dir [3].
Tepe noktasının %0.5 (~12.6mm) rölatif ötelemeye karşı gelen yük ~297 kN ‘ dur.	Tepe noktasının %0.5 (~12.6mm) rölatif ötelenmesine karşı gelen yük 280 kN ‘ dur [3].
Tepe noktasının ~18.3 mm’lik yatay yer değiştirmesine karşı gelen yük ~347 kN ’dur.	Tepe noktasının 18.3 mm’lik yatay yer değiştirmesine karşı gelen yük 356 kN ’dur[3].
Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi ~369 kN olarak hesaplanmıştır.	Sistemin yatay yük taşıma kapasitesi 376 kN ’dur[3].

SONLU ELEMAN MODELİ

Çelik levhali çerçevenin sonlu eleman modeli (Şekil 8) ABAQUS bilgisayar yazılımı kullanılarak hazırlanmıştır. Tüm paneller için 6 (düşey doğrultuda) × 9 (yatay doğrultuda) adet parçadan oluşan sonlu eleman ağı kullanılmıştır. Kolonlar ve kirişler, eleman uçlarında altı adet serbestliğin tamamını dikkate alan üç düğüm noktalı B32 elemanı ile çelik panel, sekiz düğüm noktası içeren S8R5 elemanı kullanılarak modellenmiştir. S8R5 elemanı ile düğüm noktalarının panel düzlemi dışına doğru yerdeğiştirmeleri de dikkate alınmaktadır.

Geometri

Çelik levhalı çerçevede kiriş-kolon birleşimleri, kirişlerin, kolon başlığına doğrudan, kesitleri boyunca kaynaklanmasıyla teşkil edilmiş moment aktaran birleşimlerdir. Kolonlar da tabanda 19mm kalınlığındaki levhaya kesitleri boyunca kaynaklanmıştır. Üçüncü kat kirişinin üzerinde, çerçeve düzleminde kiriş alt başlığına dik doğrultuda oluşacak çekme kuvvetleri nedeniyle, kirişin eğilme rijitliğini arttırmak üzere rijit bir panel bölgesi oluşturulmuştur (Şekil 2). Çelik paneller, kolon ve kirişlerin başlıklarına gövde hizaları boyunca sürekli olarak doğrudan kaynaklanmıştır [1].



Şekil 8 Çelik levhalı çerçevenin sonlu eleman modeli

Analiz Yöntemi

Analiz yöntemi olarak yatay yükün, tek doğrultuda artan (monotonik) nitelikte etkilendiği doğrusal olmayan statik itme yöntemi kullanılmıştır. ABAQUS genel anlamda yük kontrollü analizlerde çözüm sistemi olarak Newton-Raphson yöntemini kullanmaktadır. Ancak kararlı (stabil) olmayan yapı davranışlarında (örneğin yerel burkulmaların meydana gelmesi) bu yöntem doğrudan kullanıldığında çözüm elde edilememektedir [4].

Dolayısıyla, yük ve yer değiştirmelerin her ikisini de bilinmeyen olarak dikkate alan Riks çözüml algoritması [4] kullanılmıştır.

Analizde, küçük yük seviyelerinde Newton-Raphson yöntemi, sonrasındaki büyük yük düzeylerinde ise çözüml elde edilebilmesi için Riks çözüml algoritması kullanılmaktadır.

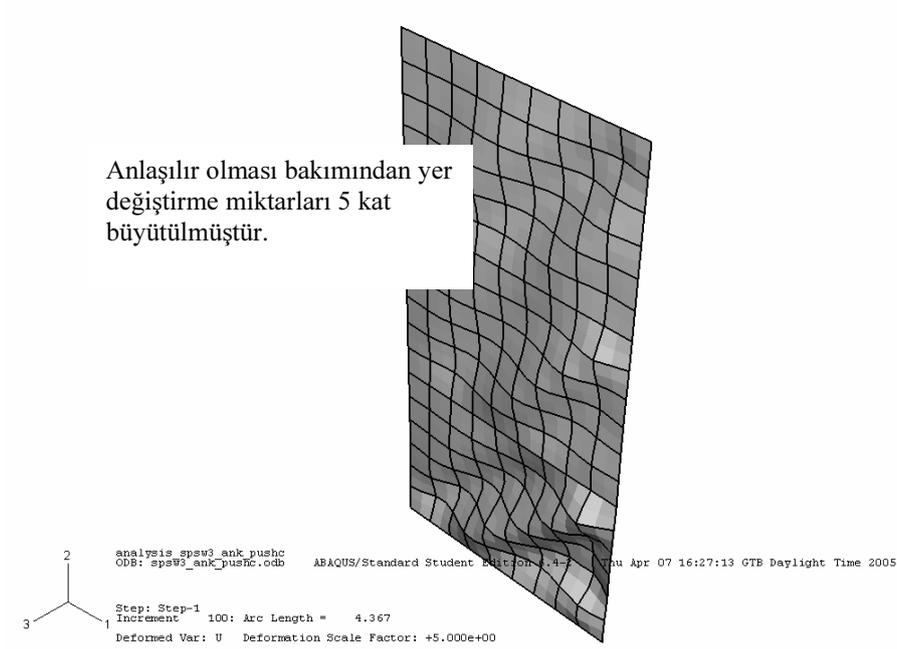
Başlangıç Durumu

İnce çelik levha içeren çerçevelerin imalatı sırasında panellerin düzlem dışı yer değiştirmelerinin engellenmesi neredeyse imkansızdır. Bu yer değiştirmelerin durumu yapının yatay yükler altındaki davranışının elde edilmesinde oldukça etkilidir. Dolayısıyla, yapılan analizlerde bu durumun dikkate alınması gerekmektedir. Bunun için de çelik panellerin başlangıçtaki düzlem dışı yer değiştirme miktarlarının tespit edilmesi veya tahmin edilmesi gerekir. ABAQUS'te, böyle bir analizin gerçekleştirilmesi sırasında, sisteme ait herhangi bir burkulma modunu, tüm veya bazı modların belirli katsayılar oranında birleştirilmesiyle sağlanan bir kombinasyonu ile elde edilen yer değiştirme durumunu, başlangıçtaki Şekil değiştirmiş hal olarak tanımlanabilmektedir. Bu nedenle, doğrusal olmayan analize başlamadan önce sistemin burkulma modları elde edilmiştir. Başlangıç yer değiştirme durumu olarak, sistemde en küçük burkulma yükünün (49.07 kN) elde edildiği ikinci burkulma modu panel kalınlığının 4 katı (10.6 mm) olarak belirlenen katsayı ile ölçeklendirilerek dikkate alınmıştır.

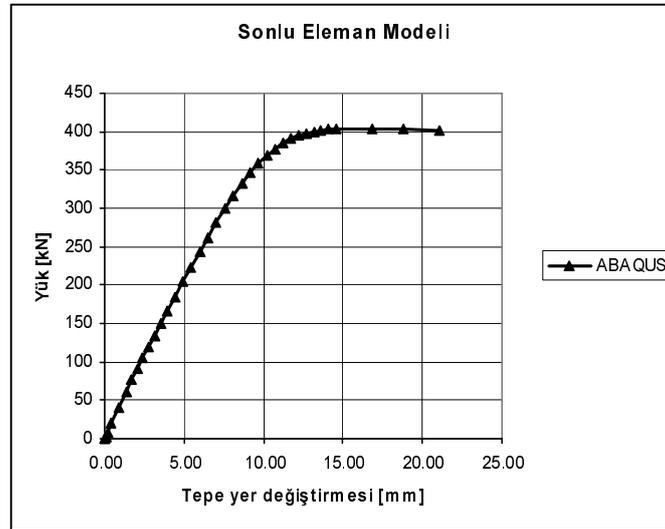
Sonlu Eleman Analiz Sonuçları

Çelik levhalı çerçevenin ABAQUS bilgisayar yazılımı kullanılarak gerçekleştirilen doğrusal olmayan analizi sonunda elde edilen Şekil değiştirmiş durumu Şekil 9'da, sisteme ait yük-yer değiştirme eğrisi de Şekil 10'da verilmiştir. Tepe noktasının en büyük yer değiştirme miktarı ~19 mm, bu değere karşı gelen yük yaklaşık 403 kN olarak elde edilmiştir. Sonlu eleman analiz sonuçları ve deneysel çalışma [1] sonunda elde edilen sonuçlar Tablo 3'te özetlenmiştir.

Sonlu eleman analizi sonunda sistemin davranışı ile ilgili hesaplanan karakteristik değerlerden başlangıç rijitliği %74, 12.6 mm'lik tepe yerdeğiştirmesine karşı gelen yük değeri %42, 18.3 mm'lik tepe yerdeğiştirmesine karşı gelen yük değeri %12 ve yatay yük taşıma kapasitesi %7 daha büyük olarak elde edilmiştir.



Şekil 9 Çelik levhalı çerçevenin şekil değiştirmiş durumu



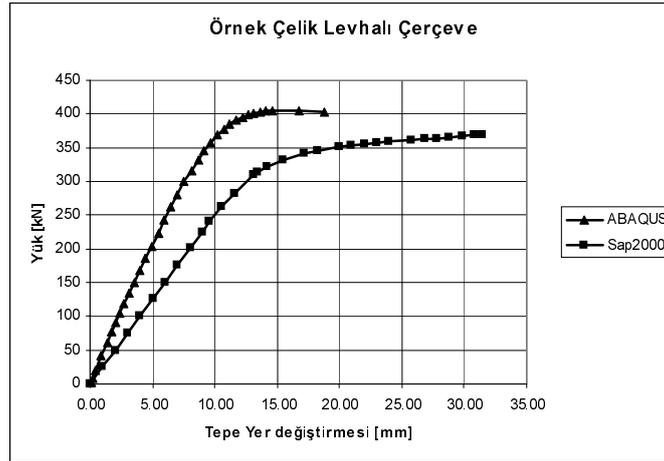
Şekil 10 Sonlu eleman modeline ait yük-yer değiştirme eğrisi

Tablo 3 Sonlu eleman modeline ait analiz ve deneysel çalışma sonuçları

ABAQUS Analiz Sonuçları	DeneySEL Çalışma Sonuçları [2]
Başlangıç rijitliği ~46.253 kN/mm olarak hesaplanmıştır.	Sistemin başlangıç rijitliği 26.618 kN/mm 'dir [3].
Tepe noktasının %0.5 (~12.6mm) rölatif ötelemeye karşı gelen yük ~397 kN 'dur.	Tepe noktasının %0.5 (~12.6mm) rölatif ötelenmesine karşı gelen yük 280 kN 'dur [3].
Tepe noktasının ~18.3 mm'lik yatay yer değiştirmesine karşı gelen yük ~400 kN 'dur.	Tepe noktasının 18.3 mm'lik yatay yer değiştirmesine karşı gelen yük 356 kN 'dur[3].
Hesaplanan yatay yük taşıma kapasitesi ~403 kN olarak hesaplanmıştır.	Sistemin yatay yük taşıma kapasitesi 376 kN 'dur[3].

SONUÇ

Çalışma kapsamında tek açıklıklı ve üç katlı çelik levhalı çerçevenin tek doğrultuda artan yatay yük altında SAP2000 ve ABAQUS bilgisayar yazılımları ile doğrusal olmayan analizi yapılmıştır. Analizler sonunda elde edilen yük-yer değiştirme eğrileri Şekil 11'de verilmiştir.



Şekil 11 Her iki modele ait yük-yer değiştirme eğrileri

Çelik panellerin birbirine paralel çekme çubukları ile temsil edildiği analitik modelin Sap2000 ile gerçekleştirilen analizi sonunda elde edilen sonuçların deneysel çalışma sonuçları ile uyumlu olduğu görülmüştür. Sonlu eleman modelin ABAQUS ile yapılan doğrusal olmayan analizi sonunda elde edilen sonuçlar, özellikle başlangıç rijitliklerinin ve tepe deplasmanlarının belirli değerleri için karşılaşılan yük miktarlarının birbirlerinden oldukça farklı olduğu görülmektedir. Bu farkların, sebepleri olarak, panellerin burkulma sonrası şekil değiştirmiş durumları oldukça karmaşık olması nedeniyle daha sık sonlu eleman ağı kullanılmasının gerekliliği, özellikle panellerin başlangıçtaki şekil değiştirmiş durumlarının tayininde dikkate alınan burkulma modu ve kolon, kiriş ve panellerin malzemelerine ait gerilme-şekil değiştirme eğrileri için yapılan varsayımlar düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Caccese, V. and Elgaaly, M., 1993. "Experimental Study of Thin Steel-Plate Shear Walls Under Cyclic Load", Journal of Structural. Engineering, ASCE, 119, n. 2, 573-587.
2. Elgaaly, M., Caccese, V. and Du, C., 1993. "Post-buckling Behavior of Steel- Plate Shear Walls under Cyclic Loads", Journal of Structural. Engineering, ASCE, 119, n. 2, 588-605.
3. Elgaaly, M., Liu, Y., 1997. "Analysis of Thin-Steel-Plate Shear Walls", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.123, No. 11, 1487-1496.
4. Driver, R. G., Kulak, G. L., Elwi, A. E., Kennedy, D. J. L., 1998. "FE and Simplified Models of Steel Plate Shear Wall", Journal of Structural Engineering, ASCE, Vol.124, No. 2, 0121-0130.
5. ABAQUS 6.4 Student Version, 2004. Hibbit, Karlsson, and Sorenson, Inc., Pawtucket, R.I.
6. SAP2000, Computers and Structures, Inc., 1995 University Ave. Berkeley, CA.

A NUMERICAL INVESTIGATION ON THIN-STEEL- PLATE SHEAR WALLS

Cüneyt VATANSEVER

Araştırma Görevlisi

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat

Fakültesi

İstanbul, Türkiye

Nesrin YARDIMCI

Prof. Dr.

İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat

Fakültesi

İstanbul, Türkiye

ABSTRACT

In this study, a sample steel plate shear wall is analytically examined under lateral load. The infill plate panels in the shear wall are replaced by a series of equivalent truss elements in the diagonal tension direction in the analytical model of the shear wall which is developed by SAP2000. The finite-element model of the steel plate shear wall specimen is developed using ABAQUS. The analytical results from numerical model and the finite-element analysis results which are obtained by ABAQUS are compared and the results from two different analyses and the test results [1] are also comparatively discussed.

UZAY KAFES SİSTEMLERDEKİ BASINÇ ÇUBUKLARININ GÜÇLENDİRİLMESİ ÜZERİNE DENEYSEL BİR ÇALIŞMA

Hicran AÇIKEL

Yrd. Doç. Dr.
S.Ü.Müh.Mim.Fak.,
İnş.Müh.Böl
Konya/ TÜRKİYE

M. Yaşar KALTAKCI

Prof. Dr.
S.Ü.
Müh.Mim.Fak.,İnş.Müh.Böl
Konya/ TÜRKİYE

Ali SÖNMEZ

İnş. Yük. Müh.
H. Uluşahin İş Merk.
A Blok No: 611
Konya/ TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada uzay kafes sistemlerdeki basınca çalışan çubukların yük kapasitelerinin artırılarak, güçlendirilmesi hedeflenmiştir. Bunun için 900 mm boyunda, 60.3 mm çapında 28 adet çelik boru çubuk 6 değişik şekilde takviye edilmiş ve Selçuk Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında aksenal basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar, çizilen grafikler vasıtasıyla birbirleriyle karşılaştırılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzay Kafes Sistemler, uzay sistemleri iyileştirme çalışmaları.

GİRİŞ

Ülkemizde son yıllarda çelik uzay kafes taşıyıcı sistem uygulamaları önemli ölçüde artmıştır. Dünyada bir çok araştırmacı uzay kafes sistemlerin davranışları hakkında araştırmalar yapmıştır (1, 2, 3, 4, 5). Bu araştırmalarda, uzay kafes sistemindeki basınca çalışan elemanların burkulmasıyla, sistem kapasitesinde oluşan azalmanın üzerinde durulmuştur. Yapılan çalışmalar, uzay sistem tasarımında geleneksel yaklaşımların çok güvenilir olmadığını ortaya koymuştur. Bu nedenle, uzay taşıyıcı sistemleri iyileştirme çalışmalarında, uzay kafes sistemler üzerinde

çok değişik metotlar uygulanmış, bu metotların iyi ve kötü tarafları bilimsel çalışmalarından elde edilen bilgilerle bizlere sunulmuştur (6, 7, 8).

ÇALIŞMANIN AMACI

Bu çalışmanın amacı, basınca çalışan uzay kafes sistem çubuklarını daha önce denenmeyen bir metotla güçlendirmek, daha hafif, daha dayanıklı, daha güzel ve estetik görünümlü, daha ekonomik çubuklar elde etmektir.

DENEYSEL ÇALIŞMA

Deney Numuneleri

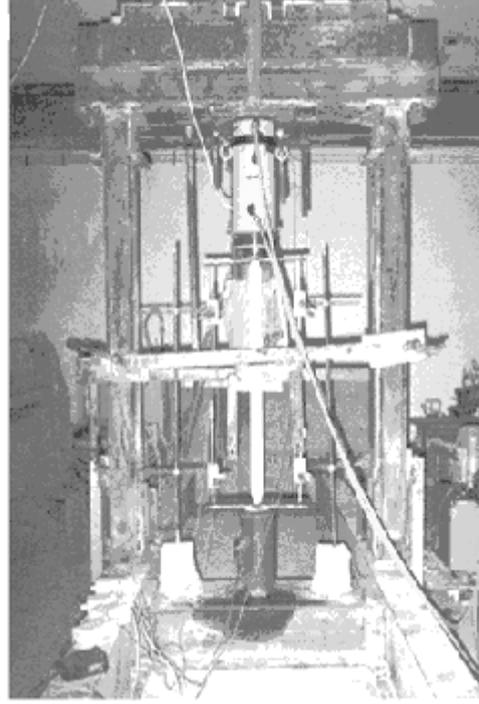
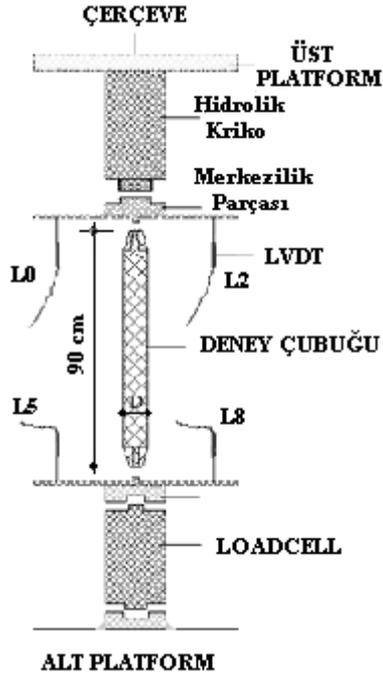
Bu çalışmada, iki ucundan konik parçaların kaynaklandığı 900 mm boyunda, 60.3 mm çapında 28 adet çelik boru çubuk kullanılmıştır. Çelik malzeme DIN 17100'e göre düşük karbonlu, kaynak olabilme kabiliyeti yüksek ST33-1 sınıfıdır. Çeliğin çekme dayanımı $\sigma_c = 330 - 500 \text{ N/mm}^2$ dir. Konik parçalarda da ST33-1 malzemesi kullanılmıştır. Konik parçalar boruya DIN 4100 ve DIN 4115'e göre kaynaklanmıştır. Deneyler için her birinden dörder adet olmak üzere; takviyesiz, $\lambda/2$ 'den takviyeli, $\lambda/2$ 'den nervürlü takviyeli, $\lambda/3$ 'ten takviyeli, $\lambda/3$ 'ten nervürlü takviyeli, $\lambda/4$ 'ten takviyeli, $\lambda/4$ 'ten nervürlü takviyeli olmak üzere toplam 28 adet basınç çubuğu, deney numunesi olarak hazırlanmıştır (Şekil 1). Takviyeli çubuklara $\lambda/2$, $\lambda/3$, $\lambda/4$ mesafelerinde bilezik kaynatılmıştır. Bileziğin dış çapı 100 mm, iç çapı 60.3 mm, et kalınlığı 5 mm'dir. Nervürlü takviyeli çubuklara $\lambda/2$, $\lambda/3$, $\lambda/4$ mesafelerinde kaynatılan bilezik nervür parçaları ile desteklenmiştir. Nervürler ikizkenar üçgen şeklinde olup, kenar uzunluğu ve yüksekliği 20 mm, et kalınlığı 5 mm'dir. Her bilezik için, bileziğin alt ve üstüne dörder adet olmak üzere 8 adet nervür kullanılmıştır. Bu çubuklardan, her gruptan birer adedi şahit bırakılmış, üçer adedi basınç deneyine tabi tutularak, toplam 21 numune denenmiştir.



Şekil 1. Deney numunelerinin takviye şekilleri

Deney Düzenegi ve Deneyin Yapılışı

Deney numuneleri Şekil 2’de görüldüğü gibi uçlarından mafsallı olarak sabitlenmiştir. Çubuklara uygulanacak aksenal yük için, elektrikli motorla yapılan yüklemenin hızı saniyede ortalama 10 kN olacak şekilde seçilmiştir. Çubuklara, çubuk eksenine dik doğrultuda aksenal normal kuvvet uygulanmıştır. Deney düzenegi, uygulanan normal kuvvetin çubuğun tam eksenine uygulanacak şekilde düzenlenmiştir. Her deney için basınç çubukları ve hidrolik krikonun her yönde düşeyliğinin kontrolü su terazisi ile yapılmıştır. Deney düzeneginin alt ve üst kısmına iki adet çelik plaka konulmuştur. Bu plakalar üzerine iki altta ve iki üstte olmak üzere toplam 4 adet LVDT ölçüm aletleri (deplasman ölçer) konularak, çubuk elemanlarda aksenal yük etkisiyle meydana gelen yer değiştirmeler (deplasmanlar) ölçülmüştür. Her deney için LVDT’lerin düşeylik kontrolü şakül ile iki yönde yapılmıştır. Loadcell kayıt tutucu olarak kullanılmıştır. Hazırlanan deney numuneleri Selçuk Üniversitesi Mühendislik- Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Yapı Laboratuvarında aksenal basınç deneyine tabi tutulmuştur. Yükleme 1000 kN kapasiteli hidrolik kriko ile basınç çubuğu eksenine paralel olarak uygulanmış ve yük okumaları 600 kN kapasiteli yük ölçer (Loadcell) ile yapılmıştır. Yüklemenin yapıldığı çubukların alt ve üstüne, yükün çubuğun tam eksenine uygulanabilmesi için merkezilik parçası yerleştirilmiştir. LVDT’leri monte edebilmek için merkezilik parçasına 150 mm genişliğinde 500 mm boyunda iki plaka ilave edilmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Deney düzeneği ve yer değiştirme ölçümleri için LVDT'lerin yerleşim yerleri

Basınç çubuklarında göçme yüküne erişilinceye kadar yapılan deneylerde, her yük kademesinde alt ve üst noktalarda düşey yer değiştirmelerin ölçülebilmesi için LVDT'ler kullanılmıştır. Basınç çubuklarında üst başlıkta düşey yer değiştirmeler (L0, L2) ile alt başlıkta düşey yer değiştirmeler (L5, L8) ile ölçülmüş ve bütün ölçüm değerleri her yük değeri için anında bilgisayara aktarılarak kayıt altına alınmıştır. Toplam olarak 4 adet LVDT, yer değiştirme ölçümlerinde kullanılmıştır (Şekil 2). Deneyler sonunda basınç çubuklarına ait eksenel yük-toplam boyuna birim kısalma grafiklerinin çiziminde çubuğun üst başlığındaki düşey yer değiştirmeleri ölçen L0 ve L2 nolu LVDT'lerin ölçüm değerlerinin farkı ile alt başlıktaki/mesnetteki düşey yer değiştirmeleri ölçen L5, L8 nolu LVDT'lerin ölçüm değerlerinin farkının ortalaması basınç çubuğu toplam boyu olan $h=900$ mm'ye oranlanarak çubuğa ait toplam boyuna birim kısalma oranı (ϵ) bulunmuştur.

$$\varepsilon = \frac{(L0 - L5) + (L2 - L8)}{2} / l \quad (1)$$

Deneyle yapıldıktan sonra, deneye tabi tutulan çubukların her biri kesilip dış çap, iç çap ve et kalınlıkları ile ilgili ölçümler alınmıştır. Çubuğun dış çapı “D” için 3, iç çapı “d” için 3, et kalınlığı “t” için için 3 olmak üzere her bir çubuk için 9 değer dijital kumpasla ölçülmüştür. Dış çap için alınan 3 ölçünün aritmetik ortalaması alınarak ortalama dış çap, iç çap için alınan 3 ölçünün aritmetik ortalaması alınarak ortalama iç çap bulunmuştur. Aynı işlem et kalınlığı için de tekrarlanarak ortalama et kalınlığı tespit edilmiştir. Bu değerlerden 3 ayrı alan hesabı yapılmıştır. Bunlar ;

$$A_1 = \pi.(D^2 - d^2) / 4$$

$$A_2 = \pi.(D^2 - (D-t)^2) / 4$$

$$(2)$$

$$A_3 = \pi.((d+t)^2 - d^2) / 4$$

Sonuç olarak da ortalama alan “ $A_{ori} = A_1 + A_2 + A_3 / 3$ ” olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu hesapların sonucu Çizelge 1’de verilmiştir. Deneğin sonuçları Çizelge 1’de hesaplanmış ortalama alanlara göre bulunmuştur.

Deney Sonuçları

Yapılan 21 deneyden elde edilen sonuçlar Çizelge 2’de verilmiştir. Her numune için σ - ε diyagramları elde edilmiştir. Çizelge 2 ve σ - ε diyagramları, deney sonucunu yorumlayacak genel bir bilgi vermemiştir. Deney sonuçlarını irdeleyebilmek için sonuçların normalize edilmesi gerekmiştir. 7 deneyde kullanılan toplam 21 çubuk incelenmiş ve en küçük alana sahip olan çubuğun 2. deneydeki 2C çubuğu olduğu tesbit edilmiştir (Çizelge 1). Bu çubuk esas alınarak deney sonuçları normalize edilmiştir.

Çizelge 1. Deney çubuklarına ait geometrik özellikler

Çubuk Adı	Çubuk Ağırlığı (kg)	D _{ort} (mm)	d _{ort} (mm)	t _{ort} (mm)	A _{ort} (mm ²)	Normalize edilmiş değer (mm ² /mm ²)
1A	4.218	60.7	54.0	3.3	596	0,95
1B	4.184	60.6	53.9	3.5	615	0,92
1C	4.247	60.8	53.9	3.3	599	0,95
2A	4.556	60.7	53.9	3.4	605	0,94
2B	4.787	60.3	52.9	3.7	653	0,87
2C	4.335	60.2	54.0	3.2	567	1,00
3A	4.553	60.4	52.9	3.4	619	0,92
3B	4.718	60.7	53.4	3.6	646	0,88
3C	4.522	60.6	53.9	3.3	593	0,96
4A	5.003	60.3	53.1	3.8	662	0,86
4B	4.582	60.6	53.7	3.2	587	0,97
4C	4.947	60.6	53.1	3.6	653	0,87
5A	4.859	60.7	53.9	3.3	601	0,94
5B	5.063	60.6	53.6	3.5	633	0,90
5C	5.359	60.8	53.1	3.9	688	0,82
6A	4.888	60.4	53.7	3.2	585	0,97
6B	5.628	60.4	51.8	4.0	729	0,78
6C	4.797	60.5	53.6	3.4	617	0,92
7A	5.500	60.3	52.8	3.7	665	0,85
7B	5.506	60.4	52.9	3.7	660	0,86
7C	5.386	60.5	53.0	3.5	639	0,89

Normalize edilen değerler 1A çubuğu için aşağıdaki gibi hesaplanmıştır:

Normalize edilmiş değer=deney sonucu(2C çubuğu alanı)/(1A....7C) çubuğunun alanı

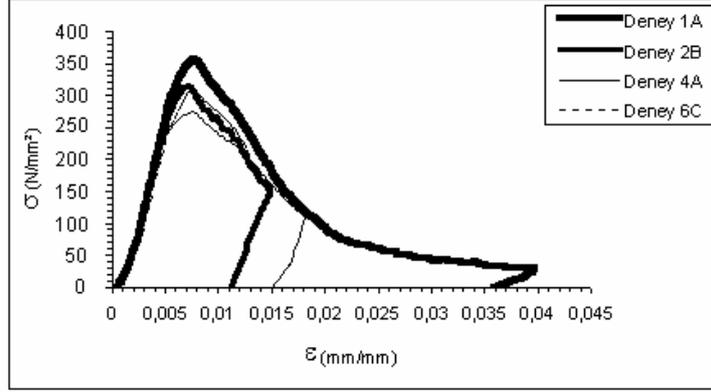
Bu hesap, 21 çubuk için yapılmış ve Çizelge 2’de bulunan değerler, normalize edilmiş değer katsayılarıyla çarpılarak, normalize edilmiş deney sonuç bulunmuştur (Çizelge 3). Aynı katsayılar dikkate alınarak her deney için normalize edilmiş grafikler çizilmiştir (Şekil 3, 4, 5, 6, 7, 8). Bu grafikler ve Çizelge 3 yardımıyla deney sonuçları irdelenebilir duruma gelmiştir. Grafiklerde, her grupta üçer adet olan σ_{max} ve N_{max} değerlerinden ara değer kullanılarak deney sonuçları birbiri ile karşılaştırılmıştır.

Çizelge 2. Basınç çubukları üzerinde yapılan deney sonuçları

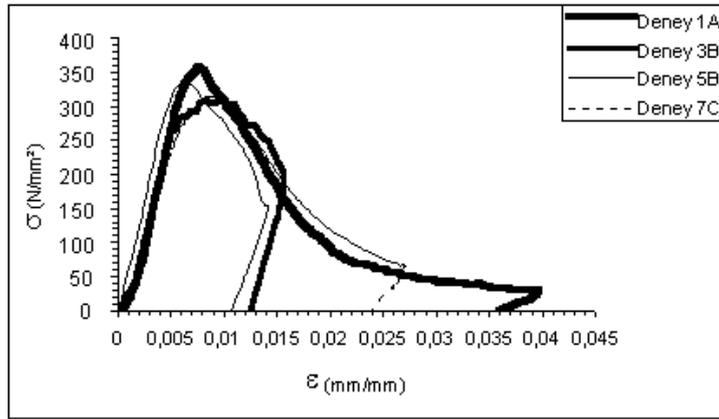
Dene y No	Özelliği	σ_{max} (N/mm ²)	N_{max} (N)	ϵ_{max} (mm/m)	E_{max} (joule)	σ_A (N/mm ²)	N_A (N)	ϵ_A (mm/m)	E_A (joule)	E_D (joule)	E_G (joule)	E_T (joule)
1A	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	375.0	223580	0,007594	8,275	344.0	205120	0,006244	5,432	15,789	0,263195	15,526
1B	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	362.7	222900	0,005933	6,934	339.3	208520	0,004811	4,615	16,905	0	16,905
1C	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	383.3	229740	0,005233	6,527	361.6	216720	0,003811	3,379	17,523	3,528642	13,995
2A	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	352.5	213320	0,008089	9,116	331.0	200310	0,006567	6,038	15,373	0,851305	14,522
2B	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	362.1	236570	0,007333	7,223	347.4	226980	0,006189	5,642	14,819	2,034306	12,784
2C	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	277.5	157270	0,008289	7,348	270.2	153130	0,006867	5,064	11,745	0,49149	11,254
3A	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	329.0	203760	0,008556	7,662	298.1	184610	0,007867	6,387	11,933	0	11,933
3B	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	355.4	229740	0,009556	12,799	299.3	193520	0,004911	3,658	15,894	1,794086	14,100
3C	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	364.2	216100	0,007256	7,654	336.5	199670	0,005911	4,970	15,676	2,20364	13,472
4A	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	359.3	237940	0,007656	9,339	325.2	215380	0,005489	4,888	16,083	1,025697	15,058
4B	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	376.0	220860	0,006867	8,887	327.4	192300	0,004789	4,300	17,894	1,339028	16,555
4C	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	335.2	218800	0,007478	7,748	318.1	207680	0,006378	5,628	14,974	1,126758	13,848
5A	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	382.5	229740	0,007356	8,349	364.9	219220	0,006333	6,102	16,115	1,004621	15,111
5B	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	376.2	237940	0,006456	7,624	361.8	228840	0,005367	6,015	16,751	1,671505	15,080
5C	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	353.9	243430	0,006722	7,988	331.7	228200	0,005378	5,261	15,344	1,125343	14,219
6A	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	389.3	227690	0,007722	8,442	367.1	214730	0,006344	6,081	15,337	1,219555	14,117
6B	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	362.0	263930	0,00978	11,690	335.9	244860	0,006978	7,464	15,859	1,385668	14,474
6C	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	334.7	206500	0,007867	7,974	314.8	194220	0,006467	5,267	13,916	1,520563	12,395
7A	L/4'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	383.7	255720	0,007222	8,541	362.6	241660	0,006133	6,125	16,809	1,480514	15,328
7B	L/4'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	363.2	239710	0,007544	10,602	348.4	229940	0,006511	7,786	18,385	2,06347	16,322

Çizelge 3. Basınç çubukları üzerinde yapılan deneylerden elde edilen, **normalize edilmiş** deney sonuçları

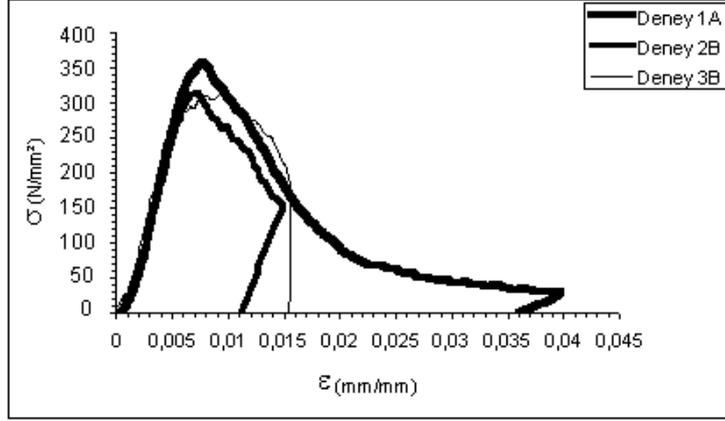
Deney No	Deney Numunelerinin Özelliği	σ_{max} (N/mm ²)	N_{max} (N)	ϵ_{max} (mm/m)	E_{max} (joule)	σ^A (Ng/mm ²)	N_A (N)	ϵ^A (mm/m)	E_A (joule)	E_D (joule)	E_G (joule)	E_T (joule)
1A	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	357	212600	0,00852	7,87019	327	195100	0,00700	5,16569	15,01720	0,25004	14,76600
1B	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	335	205600	0,00665	6,39685	313	192400	0,00539	4,25746	15,59690	0,00000	15,59690
1C	Takviyesiz Basınç Çubuğu Deneyi	363	217400	0,00587	6,17596	342	205000	0,00427	3,19674	16,57910	3,33914	13,24110
2A	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	330	199900	0,00907	8,54071	310	187700	0,00736	5,65681	14,40380	0,79722	13,60550
2B	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	314	205300	0,00819	6,26790	302	197000	0,00694	4,89546	12,85980	1,76488	11,09380
2C	L/2'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	278	157400	0,00929	7,35217	270	153200	0,00770	5,06702	11,75200	0,49224	11,25980
3A	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	301	186600	0,00959	7,01467	273	169000	0,00882	5,84854	10,92570	0,00000	10,92570
3B	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	312	201500	0,01072	11,22616	262	169700	0,00549	3,20795	13,93960	1,57314	12,36650
3C	L/2'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	348	206500	0,00807	7,31404	322	190800	0,00663	4,74970	14,97900	2,10575	12,87330
4A	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	308	203700	0,00858	7,99578	278	184400	0,00616	4,18458	13,77030	0,87795	12,89120
4B	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	363	213200	0,00770	8,57884	316	185600	0,00527	4,15094	17,27320	1,29282	15,98030
4C	L/3'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	291	190100	0,00839	6,72986	276	180400	0,00715	4,88874	13,00670	0,97887	12,02790
5A	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	361	216900	0,00825	7,88141	344	206900	0,00710	5,75996	15,21230	0,94859	14,26370
5B	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	337	213300	0,00724	6,83414	324	205100	0,00602	5,39219	15,01720	1,49802	13,51920
5C	L/3'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	292	200700	0,00754	6,58410	273	188100	0,00603	4,33595	12,64790	0,92729	11,72060
6A	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	377	220700	0,00866	8,18415	356	208200	0,00711	5,89564	14,86800	1,18182	13,68620
6B	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	282	205300	0,01009	9,09238	261	190500	0,00782	5,80594	12,33620	1,07754	11,25760
6C	L/4'den Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	308	189800	0,00882	7,32974	289	178500	0,00725	4,84164	12,79030	1,39710	11,39320
7A	L/4'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	327	217600	0,00810	7,26695	309	205600	0,00688	5,21166	14,30180	1,25919	13,04260
7B	L/4'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	313	205600	0,00650	9,10792	390	197100	0,00560	6,70209	15,82550	1,77581	14,04980
7C	L/4'den Nervürlü Takviyeli Basınç Çubuğu Deneyi	315	201400	0,00982	8,62705	306	195600	0,00865	7,32526	13,10880	0,54045	12,56830



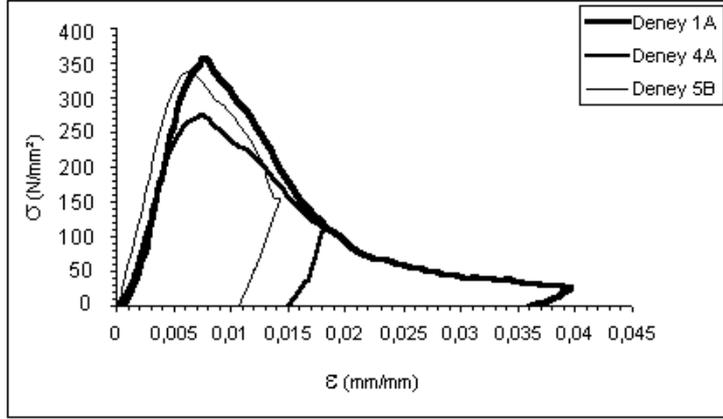
Şekil 3. 1, 2, 4 ve 6 deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği



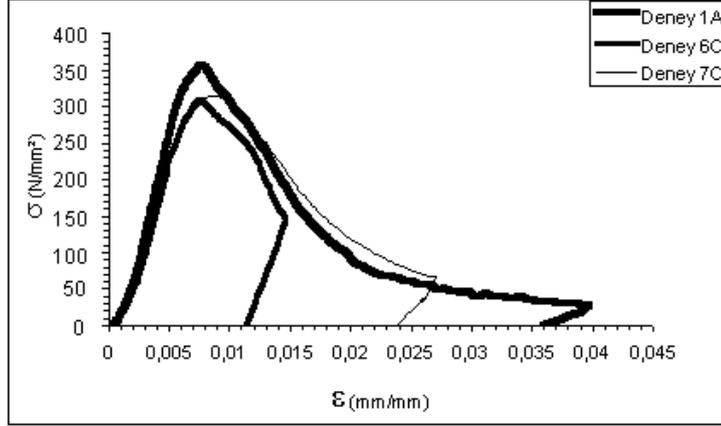
Şekil 4. 1, 3, 5 ve 7 deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği



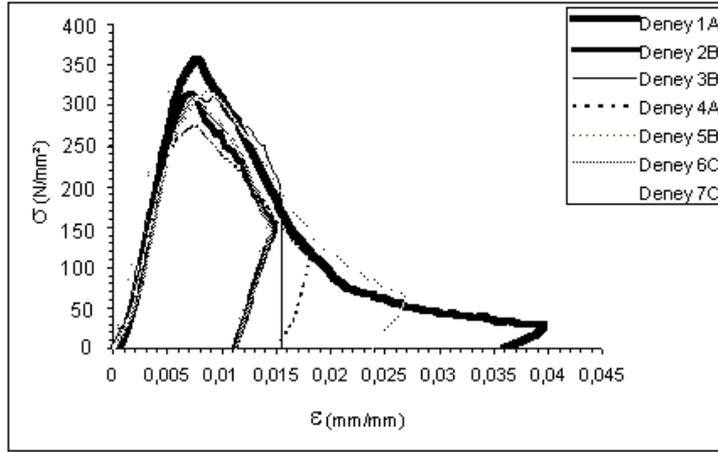
Şekil 5. 1, 2 ve 3 deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği



Şekil 6. 1, 4 ve 5 deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği



Şekil 7. 1, 6 ve 7 nolu deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği



Şekil 8. 1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7 deneylerine ait karşılaştırmalı σ (N/mm²) - ϵ (toplam boydaki birim kısalma) (mm/mm) grafiği

SONUÇLAR

Deneyde kullanılan numunelere yapılan takviyelerin, çubukların aksenal basınç kuvveti altında taşıyabilecekleri burkulma yükünü arttırabileceği düşünülerek, bu çalışma yapılmıştır. Ancak deney sonuçları incelendiğinde;

yapılan takviyelerin burkulma yükünü arttırmadığı görülmüştür. Deneyde kullanılan çubuklar, bir çelik uzay kafes sistem firmasından temin edilmiş olup, bu çubukların et kalınlıkları kesit içerisinde farklılıklar göstermektedir. Aynı kesit üzerinde alınan 3 ölçünün birbirinden farklı olduğu boruların kesilip incelenmesi ile tespit edilmiştir. Takviye edilmemiş çubuklardan elde edilen gerilme değeri $\sigma_A = 350 \text{ N/mm}^2$ civarında gerçekleşmiştir. Bu sonuç, fabrikanın çubuklar üzerinde verdiği akma gerilmesi standardına uymaktadır. Fakat bu çubuklarla hassas bir deney yapmak oldukça güçtür. Çünkü aynı kesitte et kalınlığı farklılık göstermektedir. Bu da deney sonuçlarının yorumlanmasını güçleştirmektedir. Daha hassas sonuçlar elde edebilmek için çubuk et kalınlıkları her kesit için aynı, çubuk boyunca homojen olmalıdır.

Yapılan takviyeler, takviye edilen çubukların akma ve maksimum gerilme altında enerji yutma kapasitelerini ortalama olarak % 4 ile % 56 arasında arttırmıştır. Bu artış, takviye edilmiş her çubuk için söz konusudur. Fakat deney çubuklarının homojen olmayışı ve de takviye elemanı (bilezik) ile çubuk arasında yapılan kaynağın fabrikasyon olmaması, enerji yutma kapasitesindeki artışı kesin olarak hesaplamamıza imkan vermemektedir. Ancak, $\lambda/4$ 'den takviyeli ve $\lambda/4$ 'den nervürlü takviyeli deneylerde, akma ve maksimum gerilme altında enerji yutma kapasitelerindeki ortalama artış, $\lambda/4$ 'den takviyeli deney için %20, $\lambda/4$ 'den nervürlü takviyeli deney için %22 olarak gerçekleşmiştir. $\lambda/4$ 'den nervürlü takviyeli deneyin maksimum gerilme altındaki taşıdığı maksimum normal kuvvette önemli ölçüde bir artış gerçekleşmemiştir. Çubukların et kalınlığının ve yapılan kaynakların kalınlığının kesitin her tarafında homojen olmamasının, kaynak yapılan bölgedeki çubuk kesitini zayıflatmış olabileceği düşünülmektedir. Bu kesit azalması, kaynak yapılan bölgeden kesilmiş bir çubukta tespit edilmiştir. Nitekim takviyesiz basınç çubuğu deneyindeki akma ve maksimum gerilme altındaki taşınan normal kuvvet değerleri, $\lambda/2$ 'den takviyeli basınç çubuğu deneyindeki akma ve maksimum gerilme altındaki taşınan normal kuvvet değerinden büyüktür. Bu da takviye elemanı ile çubuk arasında yapılan kaynak işleminin çubuk kesitini zayıflattığını göstermektedir. Aynı zamanda deneye tabi tutulan çubukların et kalınlıkları az olduğundan, bu değer kaynakla ilgili ($3 \text{ mm} \leq a \leq 0,7 t_{\min}$) şartname değerlerine

uymamaktadır. Bu da deney sonuçlarını olumsuz etkilemiştir. Bu konu ile ilgili yapılacak deneylerde, çubuk ile takviye arasında yapılacak kaynağın, çubuk kesitini zayıflatmaması için et kalınlığı fazla olan çubuklar seçilmelidir. Ayrıca nervürlü takviyeli çubukları daha hassas inceleyebilmek için çubuk çapının büyük olmasında fayda vardır. Çubuk çapı, bilezik kesiti ve nervür büyüklüğü doğru orantılı olarak artacağından nervürlü takviyelerdeki deney sonuçları daha hassas olacaktır. Çubukların takviyesinde kaynak yapılmasından oluşan olumsuz etki, bulonlu takviye modelleri geliştirilerek giderilebilir. İki parçadan imal edilecek takviye bileziği bulonla çubuklara tespit edilebilir. Bulonlu takviye modeli işçilik maliyetini düşüreceği gibi uygulama kolaylığı da sağlayabilir. Deneyde kullanılan çubuk boyları, laboratuvar şartlarından dolayı 900 mm olarak alınmıştır. Basınç çubuklarını daha hassas incelemek için çubuk boyunun arttırılarak deney yapılması daha kesin sonuçlar verecektir. Artan burkulma boyunun basınç çubuklarını olumsuz etkilediği bilinmektedir. Çubuk boyunun arttırılmasıyla elde edilen deney sonuçları daha gerçekçi olacaktır.

Basınç çubuklarının Tetmajer formülü kullanılarak hesaplanan teorik burkulma yükü, deneyde elde edilen burkulma yükünden çok küçüktür. Çubukların Çekme dayanımı $\sigma_{\text{ç}}=330-500 \text{ N/mm}^2$ arasında değişmektedir. Hesaplar $\sigma_{\text{ç}}=330 \text{ N/mm}^2$ alınarak yapılmıştır. Daha kesin sonuçlar elde edebilmek için basınca tabi tutulan çubuklardan belirli bir boyda deforme olmamış parça alınarak, bu çubuklar çekme deneyine tabi tutulmalı, çekme kuvveti altında akma ve kopma dayanımları tespit edilmeli, elastisite modülü hakkında fikir edinilmelidir ve elde edilen değerlere göre teorik hesaplar yapılmalıdır. $\lambda/4$ 'den takviyeli deney ile $\lambda/4$ 'den nervürlü takviyeli deneyde akma ve maksimum gerilme altında, kaynaktan dolayı kesitte bir zayıflama olmasına rağmen, taşıdığı aksenal kuvvetlerde az da olsa bir artış olmuştur. Burkulmanın çubuğun tam ortasından değil, orta bilezikle alt veya üst bileziğin ortalarında gerçekleştiği gözlenmiştir. Bu da tam ortadan olması beklenen burkulmanın, çubuğun tam ortasındaki takviye bileziğinin etkisi ile ötelendiğini göstermektedir. Aynı deneylerde çubukların, akma ve maksimum gerilme altında yuttukları enerjide bir artışın olduğu da tespit edilmiştir.

Deneyleerde, takviye esnasında yapılan kaynaktan dolayı çubuk kesitinde azalma olmasına rağmen akma ve orantılılık sınırındaki enerji yutma kapasitesinin arttığı belirtilmişti. Kaynak yapılmasından dolayı oluşan kötü etki giderildiğinde akma ve orantılılık sınırındaki enerji yutma kapasitesinde artışların daha fazla olabileceği ve de maksimum yük taşıma kapasitesinde artış olabileceği beklenebilir.

KAYNAKLAR

1. Arda, T. S., 1985, Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemler, II. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt II, Sayfa: 251-319, 16-21 Eylül, İstanbul.
2. Aşkar, G., 1985, Çelik Uzay Taşıyıcı Sistemler, II. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt II, Sayfa: 239-249, 16-21 Eylül, İstanbul.
3. Köksal, T., 1995, Sonlu Elemanlar Metodu, Yıldız Üniversitesi Matbaası, İstanbul.
4. Levy, R., Hanaor, A., 1986, Optimal Design Of prestressed Trusses. Shells, Membranes and Space Frames, Proc. IASS Int. Symp., K. Heki, ed., Page: 207-214, September, Osaka, Japan.
5. Odabaşı, Y., Özgen, A., 1987, Uzay Kafes Kirişlerin Yaklaşık Statik Hesabı, Boyutlandırma Esasları ve Ekonomik Etüdü, III. Çelik Yapılar Seminer Notları, Cilt II, Sayfa: 119-160, 30 Kasım-5 Aralık, İstanbul.
6. Akın, S., 1997, Uzay Kafes Sistemlerin Yapısal Analizi, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
7. Hanaor, A., 1987, Snags and Solution in Double-Layer Grid Design, Building Struct., Proc. Of Session at Structures Congress 87 Related to Buildings, ASCE Struc. Div., D. R. Shennan, ed., Page: 319-331, August, Orlando.
8. Öztörün, N., 1997, Uzay Kafes Taşıyıcı Sistemlerin Karşılaştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

EKLER

Kullanılan Semboller

A	:	Kesit alanı
D	:	Dış çap
d	:	İç çap
E_{max}	:	Maksimum gerilme altında yutulan enerji
E_A	:	Orantılılık sınırında yutulan enerji
E_D	:	1 cm deplasman anında yutulan enerji
E_G	:	Geri verilen enerji
E_T	:	1 cm deplasman anında yutulan enerji
λ	:	Çubuk(Boru) boyu
L	:	Deplasman ölçer alet (LVDT).
N_{max}	:	Maksimum gerilme altında taşınan yük
N_A	:	Orantılılık sınırında taşınan yük
t	:	Boru Et kalınlığı
ϵ	:	Boyuna birim kısalma
ϵ_{max}	:	Maksimum yüke karşılık gelen birim deformasyon
ϵ_A	:	Orantılılık sınırındaki birim deformasyon
σ_{max}	:	Maksimum gerilme
σ_A	:	Orantılılık sınırındaki gerilme

AN EXPERIMENTAL STUDY ON STRENGTHENING COMPRESSION STRUT TIES OF SPACE TRUSS SYSTEMS

Hicran AÇIKEL

Asst. Prof. Dr.
Selcuk University,
Engineering and
Architecture Faculty,
Civil Engineering
Department

Konya/ TÜRKİY

M. Yaşar KALTAKCI

Prof. Dr.
Selcuk University,
Engineering and Architecture
Faculty, Civil Engineering
Department

Konya/ TÜRKİY

Ali SÖNMEZ

MSc Civil Engineer
H. Uluşahin İş Merk.
A Blok No: 611

Konya/ TÜRKİY

ABSTRACT

The goal of this study is to strengthen the compression strut ties of space truss systems by increasing the load carrying capacities of them. Therefore, 28 steel bar ties each having 900 mm length and 60.3 mm diameter were strengthened by six different types and applied axial compression test in the Structure Laboratory of Selcuk University Engineering – Architectural Faculty Civil Engineering Department. The results obtained from tests were examined by making comparisons between the plotted graphics.

Key Words: space truss systems, rehabilitation of space truss systems.

BERKİTMESİZ KAYNAKLI KİRİŞ KOLON BİRLEŞİMLERİNİN STATİK YÜKLER ALTINDA DAVRANIŞININ İNCELENMESİ

S. Gökhan KARAMAN

İnş. Yük. Müh.

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi

İstanbul, TÜRKİYE

Nesrin YARDIMCI

Prof. Dr.

İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi

İstanbul, TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmanın amacı, berkitmesiz kaynaklı kiriş kolon birleşimlerinin statik yükler etkisi altında davranışının çeşitli yöntemler ile incelenmesi üzerinedir. Araştırma, üç ana bölümden oluşmaktadır. Bunlar, analitik yöntemler, nümerik ve deneysel çalışmalar olarak sıralanır. Berkitmesiz kaynaklı kiriş kolon birleşimi için, belirtilen bu farklı hesaplama yöntemlerinin bir model üzerinde karşılaştırılması ve bu modellerin nümerik olarak belirlenen davranışı göstermedeki yeterliliği üzerine yapılan incelemeyi içeren bu çalışmada, elde edilen sonuçlar özetlenmiş ve hesap yöntemlerindeki yaklaşımlar irdelenmiştir.

1. GİRİŞ

Çelik yapıda kullanılan kiriş kolon birleşimlerinin taşıma kapasitelerinin hesabında farklı yaklaşımlar kullanılmaktadır. Berkitmesiz kaynaklı kiriş kolon birleşimlerinin incelenmesi 70'li yıllardan günümüze çeşitli araştırmalara konu olmuştur. Bu çalışmada, statik taşıma kapasitesinin belirlenmesinde kullanılan farklı hesap yöntemlerinin kıyaslanması için belirtilen birleşim tipi seçilmiştir. Araştırma üç ana bölümden oluşmaktadır.

Bunlar analitik, nümerik ve deneysel yöntemleri içermektedir. Açıklanan bu yöntemlerin karşılaştırılması için kullanılan geometrik model üzerinde yapılan hesaplamaların sonuçları verilmiş ve elde edilen bu değerlere bağlı olarak kullanılan yöntemler karşılaştırılmıştır.

2. STATİK TAŞIMA KAPASİTESİNİN ANALİTİK OLARAK BELİRLENMESİ

2.1. GELENEKSEL HESAP YÖNTEMİ

Geleneksel hesap yöntemi ile kaynaklı kiriş-kolon birleşimi incelenecek olursa[1], toplam 7 kontrol sözkonusudur. Bunlar, kolon gövdesinde ezilme, kolon gövdesinde çekme, kolon gövdesinde kayma, bu gerilmelerin kıyaslama gerilmesi kontrolü, kolona etkiyen normal kuvvet ve moment ile kiriş kesme kuvvetinin taşıma kapasitesine etkisi, gövdede burkulma ve kiriş çekme başlığı birleşiminin tahkiki[2, 3].

Kolon gövdesinin basınç ve çekme kuvvetleri halindeki hesaplamalarında, kuvvet dağılımı bütün I kesitler için sabit $c=2.5$ alınmıştır. Burada verilen $c=2.5$ değeri amerikan araştırmalarına ve profillerine göredir[4]. Dolayısıyla r/tf oranları farklı olan avrupada kullanılan profiller için hesaplamalarda düzeltme katsayıları kullanılmalıdır. İsviçre şartnamesinde kuvvet dağılımı ile ilgili başlık genişliği ve kalınlığını değişken olarak içeren bir formül verilmiştir. Başlığa gelen kuvvetin gövdede yayılması kren kirişleri için [5] de incelenmiştir. Taşıma kapasitesinin hesabında, çeşitli mekanizma yaklaşımları yapılmıştır[1, 6]. Bunlar, plastikleşmenin bir ve iki boyutlu incelenmesi ile ilgilidir. İki boyutlu modelde[6], kiriş başlığından aktarılan kuvvet, iki kısma ayrılmış, bir kısım kuvvet gövdeye direkt iletilmiş, kalan ise kolon başlıkları ile aktarılmıştır. Yapılan deneylerde, başlıklar tarafından aktarılan kuvvetin avrupa da kullanılan profiller için kolon başlığının karesinin 3.5 ila 5 katı arasında değiştiği gösterilmiş, ve 3.5 değeri bütün grubu kapsaması bakımından esas alınmıştır. Halbuki tek boyutlu incelemede başlık doğrusal bir eleman gibi düşünülmüş ve mekanizma durumu incelenmiştir. Buradan yola çıkarak tek boyutlu sistemin modeli basit olmasına karşın, hesabın daha ayrıntılı olduğu söylenebilir.

Kesme kuvveti kolon gövdesi üzerinde kayma gerilmeleri oluşturur. Bu sebeple çekme ve basınçtan kolon gövdesinde oluşan gerilmeler ile kayma gerilmeleri von-Mises biçim değiştirme enerjisi kriterine göre kontrol edilmelidir.

Kiriş çekme bölgesindeki kuvvet dağılımı için 1/2.5 değeri kullanılacak olursa, yaklaşık olarak hollandalı araştırmacıların sonuçları ile örtüşen etki bölgesi uzunlukları elde edilir.

Kolona etkileyen moment ve normal kuvvet etkileri için ise kolon başlığındaki tek boyutlu mekanizma çözümünde bu tesirler dikkate alınarak çözüm yapılabilir.

Gövde burkulmasının yaklaşık hesabında üç farklı mod söz konusudur. Bunlar, başlığın yatay ötelenmesi, başlığın dönmesi ve profil başlığının gövde ekseninde hareketi ile gövdenin şekil değiştirmesi ile oluşur. Farklı burkulma modlarına göre, sırası ile gövdede fiktif bir basınç çubuğunun boyu, $s_k = h_1$, $s_k \leq 0.7 \times h_1$, $s_k \leq 0.5h_1$ olarak alınabilir. Kolon gövdesinin burkulması ile ilgili olarak [7] basit mesnetli levha eleman ile deneyler yapılmak suretiyle burkulma yükleri elde olunmuştur. Birleşimde kullanımı ise [8] de grafik ile verilmiştir.

2.2. BİLEŞENLER İLE HESAP

Bu hesap yönteminde kaynaklı kiriş-kolon birleşimi; kolon gövde panelinde kesme, kolon gövdesinde basınç ve çekme, kolon başlığında eğilme, kiriş başlığında basınç ve kaynaklar bileşenlerinden oluşmaktadır[9]. Hesap yönteminin amacı, taşıma kapasitesinin yanında, birleşimin dönme rijitliğinin belirlenmesini de içerir. Kaynaklı kiriş-kolon birleşimlerinin bileşenlerinin taşıma kapasiteleri ve yük etkisi altındaki davranışı ile bütün birleşime ait moment-dönme karakteristiği elde edilebilir. Bu tip birleşim için yapılan deneyler ve deneylerden elde edilen ölçümler ile birleşimin farklı bileşenlerinin karakteristik yük-şekildeğiştirme eğrileri elde edilmiştir[10]. Bileşenler için elde edilen bu sonuçlar, birleşimi tasvir eden bir yay modeli üzerinde değerlendirilerek, birleşimin moment dönme karakteristik eğrisi elde edilmektedir. Birleşim üzerinde test yapılabileceği

gibi, bileşenleri üzerinde de testler yapılmış[11, 12], kolonda kayma bölgesi, kolon başlığında basınç ve çekme bölgesine ait bileşenlere ait sonuçlar elde edilmiştir. Burada, grafiksel olarak nonlineer eğrilerin toplanması ile elde edilebilecekleri gibi, lineer olmayan yay modelleri ile de bileşenler üzerinde işlem yapılabilmektedir. Maksimum dönme kapasitesinin belirlenmesinde [13] etkin bileşenin dönme kapasitesi, birleşimin dönme kapasitesini belirlemekte, bu ise birleşimde oluşan çeşitli düzensizlikler dolayısı ile değişebilmektedir. Yapılan çalışmalarda maksimum dönme kapasitesi için güvenli bölgede kalacak şekilde birleşimin maksimum taşıma kapasitesine ulaştığında sahip olduğu dönme kapasitesi esas alınmıştır.

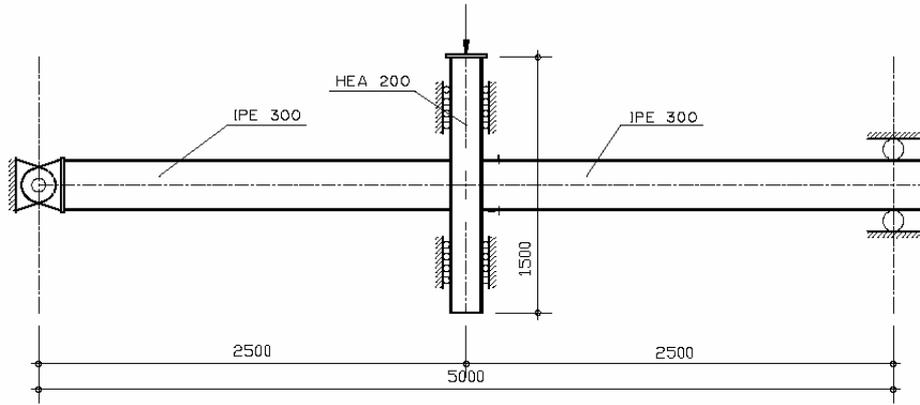
2.3. KAFES ANALOJİSİ İLE HESAP

Berkitmesiz kaynaklı kiriş-kolon birleşimlerinde, birleşim bölgesindeki sınır şartlarının kuvvetin dağılımına etkisi [14, 15, 16] da incelenmiştir. Birleşimin hesabında bileşen elemanların birleşim yüzlerindeki sınır koşulları ve bunların tesiri sonucundaki yeni kuvvet dağılımının belirlenmesi için kafes analogisi metodu gösterilmiştir. Yöntemde kirişten gelen kuvvetlerin başlık bölgelerinde yığılması, plastik mafsallık ile kolon yüzü arasında kafes bir sistem ile tariflenmiş ve bu şekilde kirişte meydana gelen kesit tesirlerinin kolona aktarıldığı kabul edilmiştir. Plastik mafsallık kirişin kolon yüzünden itibaren olduğu mesafeye bağlı olarak kafes analogisinde başlıklara gelen kuvvet değişmektedir. Bunun sonucu olarak ise kiriş başlığından kolona aktarılan kuvvet bileşen metodundan farklılık göstermektedir.

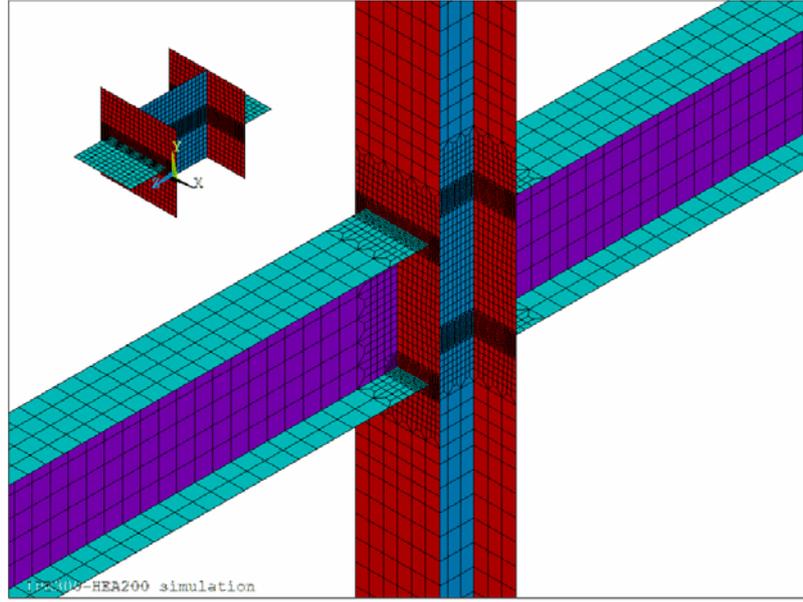
3. STATİK TAŞIMA KAPASİTESİNİN NÜMERİK OLARAK BELİRLENMESİ

Bu kısımda, birleşimin statik davranışının nümerik olarak incelenmesinde sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. Kaynaklı kiriş-kolon birleşimleri üzerinde bu şekilde hesap ile ilgili çalışmalar [17] da verilmiştir. Sistemi incelemek için yapılan modelleme, çözümlenme ve değerlendirme amacıyla sonlu eleman yazılımı ANSYS kullanılmıştır. Modellerin değerlendirilmesinde, akma şartı olarak biçim değiştirme enerjisi hipotezi esas alınmıştır.

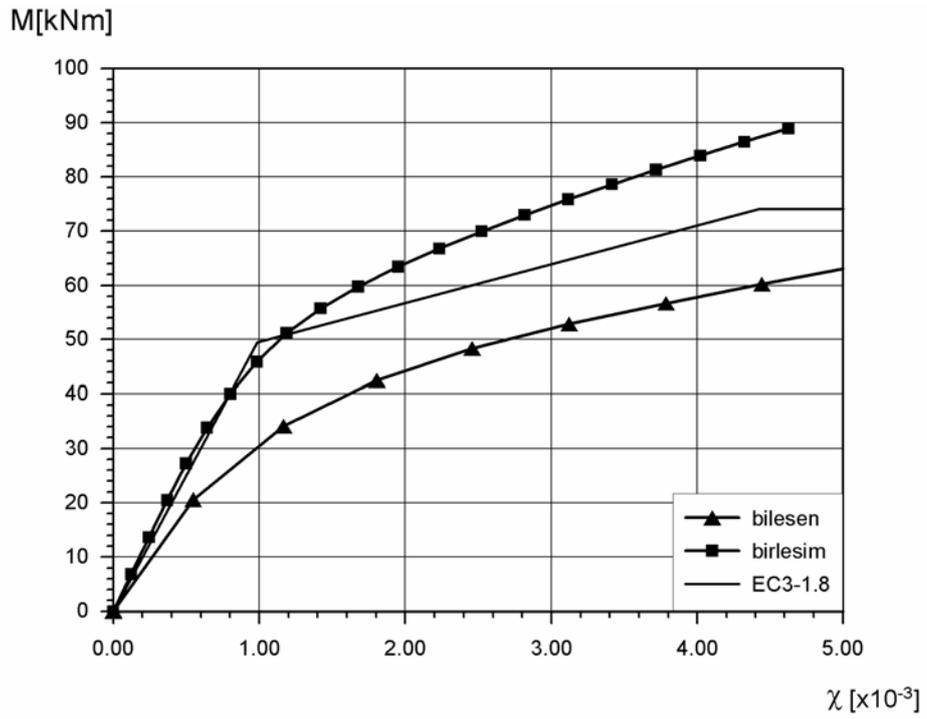
Bileşen metodunu nümerik olarak kıyaslayabilmek amacıyla, bileşen ve birleşim için sonlu eleman modeli ANSYS programı kullanılarak orta kiriş-kolon kaynaklı birleşimi üzerinde hazırlanmış ve kiriş kolon birleşim bölgesinden alınan deneylere konu olan bileşen eleman üzerinde nümerik hesap yapılmıştır. Malzeme olarak benzetimde S235JR yapı çeliği esas alınmıştır. Modelleme 2 boyutlu elemanlar kullanılarak yapılmıştır. Birleşim modeline ait boyutlar Şekil 1de verilmiştir. Şekil 2 de bileşen ve birleşim modelinin birleşim bölgesine ait ayrılaştırılmış sistemleri görülmektedir. Birleşim ve bileşene ait bu modelden elde edilen sonuçlar ile EC3-1.8 e göre malzeme güvenlik katsayılarının 1.00 alınması halinde bulunan taşıma kapasitesi Şekil 3 te verilmiştir.



Şekil 1.- Berkitmesiz kaynaklı kiriş kolon birleşimi



Şekil 2.- Bileşen ve Birleşim sonlu eleman modelleri



Şekil 3.- Model ve bütün sisteme ait M - eğrileri

4. KAYNAKLI KİRİŞ-KOLON BİRLEŞİMLERİNİN DENEYSEL İNCELENMESİ

Konu ile ilgili deneysel çalışmalar, sistem bakımından kenar ve orta kolon üzerinde olmak üzere iki farklı model üzerinde yapılmıştır. Bazı çalışmalar çeşitli birleşim tipleri için veri bankası şeklinde hazırlanmıştır [18, 19]. Burada yapılan deneylerde kullanılan test sistemi, eleman boyutları, malzeme bilgileri ve deney sonuçlarından elde edilen moment-dönme karakteristik eğrileri verilmiştir. Orta kiriş-kolon kaynaklı birleşiminin modellendiği [20] çalışmada kolon yüzünde gerilme dağılımları verilmiştir.

5. ANALİTİK VE NÜMERİK ÇÖZÜMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

1-3 kısımlarında anlatılan çözümler, bu bölümde değerlendirilmiştir. Analitik yöntemler bölümünde verilen yöntemler taşıma kapasitesini belirli bir yaklaşıklıkla vermesine rağmen birleşimin yaptığı maksimum şekil değiştirmenin belirlenmesi için yeterli değildir. Bu sebeple, maksimum taşıma kapasitesine ulaştığında sistemin aynı zamanda maksimum deformasyonunun bu etkin bileşene bağlı olduğu düşünülmektedir. da yaptığı düşünülmektedir. Bileşen metodu için yapılan nümerik değerlendirme sonucunda, birleşim bölgesindeki gerilme dağılımlarının, kirişteki kesit tesirlerinin, klasik çözüm yöntemlerindeki gibi olmaması sebebiyle, yeterli yaklaşıklıkta sonuç elde edilmesine izin vermediği görülmüştür. Birleşim deneylerinden elde edilen ölçümler ile yapılan sonuçlar daha gerçekçi sonuçlar vermektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışmada, analitik çözüm yöntemleri özetlenmiş ve bileşen metodu yaklaşımı sonlu elemanlar yöntemi ile incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda, kaynaklı kiriş-kolon birleşimi için gerçekleştirilen birleşim ve bileşen hesaplarından, sadece verilen bileşen deneyleri kullanılarak, birleşimin davranışının tam olarak tasvir edilemeyeceği sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple, kirişten aktarılan kesit tesirlerinin etkin biçimde kiriş başlıkları ile aktarıldığı dikkate alınmak suretiyle kafes analogisi ile düzeltme yapılması uygun görülmüştür.

Kaynaklar

- [1] G. Valtinat, Das moderne Stahlbauunternehmen. Wandlungen in Entwurf und Konstruktion, Vorträge aus der Fachsitzung II des Deutschen Stahlbautages Stuttgart 1976, Köln 1976, Stahlbau-Verlags GmbH, pp.18-29
- [2] F. Tschmemmerneegg, Das moderne Stahlbauunternehmen. Wandlungen in Entwurf und Konstruktion, Vorträge aus der Fachsitzung II des Deutschen Stahlbautages Stuttgart 1976, Köln 1976, Stahlbau-Verlags GmbH, pp.13-17.
- [3] Steifenlose Stahlskeletttragwerke und Dünnwandige Vollwandträger, Berechnung und Konstruktion, Europäische Empfehlungen, Europäische Konvention Für Stahlbau, EKS, Verlag Wilhelm Ernst und Sohn, 1977.
- [4] F. Tschmemmerneegg, Zur Entwicklung der Steifenlosen Stahlbauweise, Der Stahlbau, 7, 1982, pp. 201-206.
- [5] O. Steinhardt, U Schulue, Zur örtlichen Stegbeanspruchung zentrisch belasteter Kranbahnträger bei Verwendung elastisch gebetteter Kranschinen, der Bauingenieur, 44, 1969, Heft 7.
- [6] J. Witteveen, J.W.B. Stark, F.S.K. Bijlaard and P. Zoetemeijer, Welded and bolted Beam-to-Column Connections, ASCE, Journal of the Structural Division, Vol. 108, No.ST2., pp.433-455.
- [7] J.L. Dave, G.Y. Grondin, Inelastic Buckling of steel Plates, ASCE, Journal of Structural Engineering, vol 111, No.1, January 1985, pp.95-107.
- [8] A. Kakaliagos, Behaviour of Steel Frames with Semi Rigid Joints under Seismic Induced Loads, TU Darmstadt, Dissertation, 1987, pp.24.37.
- [9] Eurocode 3, Design of Steel Structures, Part. 1.8, Design of Joints, 26.Feb.2002.
- [10] F. Tschmemmerneegg, A. Tautschnig, H. Klein, Ch. Braun, Ch. Humer, Zur Nachgiebigkeit von Rahmenknoten, Verlag Wilhel Ernst & Sohn, Berlin, Stahlbau 10 / 1987, pp. 299-306.
- [11] G.Huber, Nonlinear Calculations of Composite Sections and Semi-Continious Joints, Ernst und Sohn, 2000, pp.70-75.
- [12] Rahmentragwerke in Stahl unter besonderer Berücksichtigung der steifenlosen Bauweise, Österreichischer Stahlbauverband und Schweizerische Zentralstelle für Stahlbau, 1987.

- [13] U. Kuhlmann, A. Fürch, Rotation Capacity Of Steel Joints, COST C1 - Working Group meeting, Helsinki May 26th 1997.
- [14] K.H. Lee, Boundary effect in Welded Steel Beam to Column Connections, dissertation, Universtiy of Michigan, 1998.
- [15] S.C. Goel, B. Stojadinovic, J. Choi, K.H. Lee Shear Force And Welded Steel Moment Connections, AISC, Fourth International Workshop on Connections in Steel Structures, October 22-25, 2000, Roanoke, VA, pp.276-286.
- [16] J.N. Arlekar, C.V.R. Murty, Improved Truss Model for Design of Welded Steel Moment-Resisting Frame Connections, Journal of Structural Engineering ASCE / March 2004, pp.498-510.
- [17] Strength and Ductility of FR Welded-Bolted Connections, Report No. SAC/BD-98/01, 15. April 1998.
- [18] COST C1-ECCS TC 10, Database on Connections, Developed at Lehrstuhl für Stahlbau, RWTH Aachen, Written by Klaus Weynand, Feb.1990.
- [19] Sericon II, Database for Semi-Rigid Connections,D.S. Rodrigues, University of Minho, Portugal, May 1998.
- [20] J. Parfitt Jr., W.F. Chen, Tests of Welded Steel Beam-to-Column Connections, ASCE, Journal of Structural Division, Vol 102, No.ST1, January 1976, pp.189-202.

**Research on the Static Behaviour of Unstiffened Welded
Beam-to-Column Connections**

S.Gökhan KARAMAN

Dipl. Ing.
T.U. Istanbul, Civil Eng. Fac.
İstanbul, TÜRKİYE

Nesrin YARDIMCI

Prof. Dr.
T.U. Istanbul, Civil Eng. Fac.
İstanbul, TÜRKİYE

SUMMARY

The aim of this study is to verify the static behaviour of unstiffened welded beam to column connections with different methods. The work consists of three main sections. These are analytical, numerical and experimental methods. Analytical methods are summarized as classical, component and truss analogy. For the numerical analysis finite element method is used. The experimental works done before are summarized with the given databases on structural steel beam to column connections. The different methods to obtain the static load and rotation capacity of the connection are compared to each other and the good and weak points of the methods are clarified.

Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka Yaklaşımı
ÇELİK YAPILARIN TASARIMI

Yük.Müh.İTÜ Hasan KOÇ

YapıData

Cumh.Myd.Kaptanağa Cd.12/5-79 Samsun Türkiye

Tel: 0362 431 42 46 –431 91 08

e.posta :yapidata@yapidata.com

<http://www.yapidata.com>

ÖZET

Mühendislik sayısal çözümleri; genelde sınır koşullarına bağlı sınır değerlerinin bulunması seçeneklerinin analizi gibidir.Çeşitli bilimsel ve özellikle mühendislik bilimlerinde kullanılan ifade ve formüller yüzyıllardır süre gelen hepsi elle bilgi işleme yaklaşımına yöneliktir.Elle bilgi işleme matematiğin rölaksasyon ve iterasyon yöntemlerini etkin kullanmaktadır. Günümüzde yine etkin olarak kullanılan bilgi işleme yöntemi; bilgisayar destekli bilgi işlemedir.Bilgisayar destekli bilgi işleme yöntemi de, elle bilgi işleme amacına yönelik olarak elde edilmiş ifade ve formülleri bilgisayarla çözme yöntemidir.Bilgisayar destekli bilgi işlemede etkin iç denetim sistemi yok denecek kadar azdır. Bu durum dış denetimin sansasyonel ve sadece başarısızlığı göstermesine sebep olmaktadır.

Bu bildirinin konusu; bilgi sistemleri ve yapay zeka teknolojisi yaklaşımı ile, akıllı nesne teknolojisi , insanın kendine özgü özellikleri v.b.kullanarak, iç denetim sistemi ile sınırların aşılması durumunda ilk geriye dönüş noktalarına dallanarak sayısal çözüm ile tasarım yapılmasıdır.Sayısal çözümlenme,sayısal çizim, çelik yapılar v.b. arayüzlerinde kullanarak yapısal bir yaklaşımla özgün bir tasarım teknolojisini amaç almaktadır.Bu yaklaşımda ;sınır koşulları ve değerlerine bağlı akıllı nesnenin /nesnelerin sistemi taraması ile tasarım gerçekleşir.

GİRİŞ

Çelik yapılarda olduğu gibi, genelde yapıların tasarımı ;elle bilgi işleme amacına yönelik çıkarılmış sayısal tanımlar,ifadeler ve formüller ile sayısal çözümler bilgisayar ile yani bilgisayar destekli olarak yapılmaktadır.Bu durumda ve bilgisayar destekli bilgi işlemede iç denetim sistemi çok sınırlı veya gerçekte kurulamadığı için,üretilen bilgilerin doğruluğunu ve geçerliliğini, tutarlılığını denetleyen bir yapı bulunmamaktadır. Bilindiği gibi bilgisayarlar sonsuz değerler ile işlem yapamadığı gibi, yapıları gereği ancak alt ve üst sınır değerleri arasında doğru, tutarlı ve geçerli değerler üretebilmektedir. Bu sınır değerler aşıldığında tutarsızlıklar meydana gelir. İşin kötü yanı bu tutarsızlıkların işlemlerin hangi aşamalarında veya aşamaların hangi durumlarında oluştuğunu belirleyen bir sistemin mevcut yazılımlarda bulunmamasıdır.

Bilgisayar ile üretilen bilgilerin doğrulunu ,tutarlılığını ve geçerliliğini iç denetimle garanti edebilen bir yazılım tasarımı ancak,bilgi sistemleri ve yapay zeka teknolojileri yaklaşımı ile mümkündür.

Mühendislik Bilimlerinin halen geçerli olan genel kuramları :Bilgi Bilimleri, Yapay Zeka ve Bilgi Sistemleri özellik ve kurallarına göre yeniden yapılanmak zorundadır. Bu gelişim değişiminin yapılabilmesi elbette mühendislerin ve hatta mühendislik eğitimi veren çoğu öğretim üyeleri için bile zordur. Ama başka yollarla da küçülen dünyamızda meydana gelen ve çok yakın gelecekte oluşacak gelişmelerin içinde kalınmaz.

Mühendislikte çok önemli olanı gelişmelerin dışında kalmamaktır. Mühendislik Bilimlerinin standartlaşmış ve genel teorik yapısı ile bile Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka düzeyinde elemanter çözümler yerine tasarımın tümünü sistem olarak çözebilmek mümkündür. Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka düzeyinde; elektronik hızla ortam şartları değişmeden çözüm, istenilen alanlarda istenilen çözüm duyarlılığında iç ve dış etkilerin gerekli dağılımları göz önüne alınarak ve gerekli sınır ve uygunluk şartları da

sağlanarak tasarımın gereksinimi olan tüm etki dağılımları, grafik nesnel ve görsel olarak tanımlanmaktadır.

Bu durum karar vermek durumunda olan mühendisin çok önemli yardımcısı durumundadır. Karar destek sistemlerini de devreye sokarak tasarım alışılmışın ötesinde çok farklı bir yapıya kavuşmaktadır. Tasarımcılar için hız ve zaman performansının (ilgili bilgilerin ortam şartları değişmeden çözümü) yanında, teknolojik atak ve gelişmeler ile ekonomik rekabete temel oluşturan çözüm duyarlılığının artırılabilmesi tasarımın genel ve çelişkili parametreleri (fonksiyon, emniyet, ekonomi, estetik) için de daha iyi bir çözüm-tasarım analizinin yapılmasını sağlar. Elle Bilgi işleme yaklaşım olarak çok kaba ve çok yaklaşık elemanter çözümleri kullanabilirken, Bilgi sistemleri ve Yapay Zeka düzeyinde ise, gerek sistem kabullerinin, gerekse sayısal çözüm yöntemlerinin çözüm duyarlılıkları artırılabilir. Daha duyarlı ve elemanter çözümler yerine, elemanların istenilen her noktasına kadar indirgenebilen Sistem çözümleri yapılabilir. Bu durumda mühendislik bilimlerinin çelişkili parametreleri için daha uygun çözümlerde üretilebilir.

Diğer taraftan elektronik ortamda bilgilerin işlenmesi, Bilgi Sistemleri, Yapay Zeka düzeyinde yapılacaksa bu farklı bilim dallarının özellikleri ile, Mühendislik Bilimlerinin tasarım özellikleri ,hem bilgi sistemlerinin bu yüksek teknoloji içinde tasarımı, hem de işlenecek bilgiler ile teknik elemanların daha iyi tasarım gerçekleştirebilme amacına hizmet etmelidir.

Amacı ve Özellikler:

Daha iyi, duyarlılıklar gerçekleştirebilen ve etkin alternatif analizleri ile etkin ve geçerli tasarım gereksinimi olan kararların verilmesi için gerçekten yoğun bilgi işlemenin gerekliliği açıkça ortadadır. Konuya Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka düzeyinde yaklaşıldığında çözümlerin artık klasik elemanter ve dar kalıplar içinde rutin çözümler olarak yapılamayacağını, gerek bilgi teknolojisi gerekse mühendislik bilimleri açısından, farklı ortamlardaki bilgi işleme teknik ve yöntemleri doğal olarak farklı çözüm yöntem ve tekniklerini beraberinde getirecektir. Gelişmekte olan (ama hala elektronik teknolojisinin gelişimi yanında oldukça yavaş

gelişen) bir teknolojinin içinde bulunan ve elektronik ortamda Bilgi Sistemlerinin gereksinimi olan farklı çözüm ve tasarım yöntemlerini ortaya koyabilmektir. Gerçekte; tasarımdaki etkinlik özlemlerinin gerçekleşebilmesi için gerekli gereksinimlerin karşılanması esas amacı oluşturmaktadır. Diğer taraftan Sistemin amacı, sistemin özelliklerini belirleyicidir.

Çelik yapı projelerinin Bilgi Sistemleri ve Yapay zeka düzeyinde tasarlanması, hesaplanması, çizimlerinin hazırlanması, metraj, üretim iş programlarının hazırlanması (Proje ve Mühendislik hizmetlerinin tümünün sunulabilmesi) hizmetlerinin grafik ve nesnel yaklaşımlı, çok konuşma dili kullanılabilmesi, aynı anda çok sayıda proje üzerinde çalışabilme ve çok sayıda tasarıma çözüm önerisi analizini yapıp seçenekleri sunabilme vs. gibi tasarımın elektronik ortamda yapılabilmesi amacına yöneliktir. Böyle bir yazılım ancak Bilgi sistemi ve yapay zeka düzeyinde tasarlanabilir.

Bilgi İşleme Yöntemleri:

Bilgi işleme yöntemleri, bilimsel ilkelere bağlı ifade ve formüllerin, tanımların elde edilmesinde bilgi işleme teknik ve amacına yönelik olarak şekillenmesinde etkindirler. Bu nedenle yüzyıllar süren elle bilgi işleme yaklaşımı için çıkarılan ifadeler ,formüller hatta tanımlar, günümüzde küçük değişikliklerle yani bu ifadelerin bilgisayarla çözümünü yapan bilgisayar destekli bilgi işleme günümüzde etkin bir aşama olarak görülmektedir. Özellikle mühendislikte elle bilgi işlemede bir iç denetim sistemi vardır. Örneğin Cros, kani v.b. iterasyon, rölaksasyon yöntemlerinde farkların veya değerlerin yaklaşımını hesapları yapan mühendis belirleyerek hesaplara son verirdi. Yine yapı statikindeki süreklilik denklemleri ile hesaplarının doğruluğunu denetleyebilmekteydi.

Büyük bölümü elle bilgi işlemenin ifadelerini, bilgi teknolojilerinin özelliklerini gereği gibi kullanmadan bilgisayarla çözen ,yani bilgisayar destekli bilgi işleme yapan yöntemde ne yazık ki işlenen bilginin kalitesini (doğruluğunu, geçerliliğini, tutarlılığını) denetleyen bir iç denetim sistemi yoktur.

Bunun nedeni gerçekte; bilgisayarla bilgi işlemenin bilgi teknolojilerini etkin kullanarak, bu yeni yaklaşıma uygun, bilgisayarlı bilgi işleme amacına yönelik, bilimsel ilkelere göre ifadelerin yeniden tanımlanması gereğidir. Bu gelişmeler gelecekte belki yüzyıllar sürebilecek bir geleceğin başlangıcı durumundadır. Diğer taraftan üretilen bilgilerin iç denetim sistemi bilgi üretiminde kullanılan teknolojik düzeyde olmak zorundadır. Dahası bilgi çağında artık kalite iç denetimle elde edilip sunulmak zorundadır. İç denetimde sistem içinde sınır değerler aşıldığında ilk geriye dönüş noktalarına dallanarak sistem tarafından kalite garanti edilebilir. Dış denetim daima vardır, sansasyonel olarak sadece başarısızlığı gösterir. Ve geriye dönüşü yoktur. Bir yapının depremde v.b. kırılması yıkılması dış denetimdir. Bilgi sistemleri ve yapay zeka teknolojileri yaklaşımı amacına göre, bilimsel ilkelere göre mühendislik kitapları gerçekte yeniden yazılmak zorundadır. Mühendislik eğitimi de belli mühendislik formüllerinin ezberletilmesi yerine, bilimsel temel ilkelere göre her türlü bilgi işleme amacına göre ifadeleri çıkarabilecek şekilde verilmelidir. Bunu İTÜ yapmaktadır [1]. Dileğim daha çok geliştirebilmesidir. Bu kurumumuzda bilgi teknolojilerine yatkın bilimsel alt yapı vardır. Bilgi teknolojileri yaklaşımı ile ,bilimsel altyapı olanaklarını birleştirebilirse dünyadaki gelişmelerin önüne geçebilir.

Tanımlar:

Bilgi Sistemi: Bilgi (informatik) ve İç Denetim (sibernetik) olarak iki kısımdan meydana gelir.

İç Denetim: Kendi kendini düzenleme ve kendi kendini düzeltme olarak iki kısımdan oluşur. Kendi kendini düzenleme sınır değerlerin aşıldığını, kendi kendini düzeltme de, dallanılacak ilk geriye dönüş noktalarının tasarımını içerir.

Bilgi Tabanı: Bilgi sisteminin sınırsız gereksinmelerini karşılayabilen bilgi alanı/alanlarıdır.

Veri Tabanı: bilgi sisteminin seçilmiş bilgi gereksinmelerini karşılayan alanlardır.

Arayüz : Bilgi teknolojileri yaklaşımı ile çıkarılan ifadelerin bulunduğu ve sistem tarafından her zaman erişilebilen nesnel, fonksiyonel, prosedürel bilgi alanlarıdır. Çelik yapılar arayüzü, Stabilitate arayüzü, v.b. gibi.

Nesnel yaklaşım ve akıllı nesne: bilgi sistemi dokusunun ortak fonksiyonel, porocedürel özelliklerini parametrik olarak çözebilen veya çözümde kullanılabilen bilgi modülleridir. Nesnel arayüzler ve sistemlerle iletişimi, değişken parametreler ile ve sınır değerleri kullanarak yaparlar.Bir akıllı nesne çok sayıda alt akıllı nesneden meydana gelebilir. Kendisi de diğer bir akıllı nesnenin alt nesnesi olabilir.

İç içe (recrusive) özellik: örneğin bir çubuk sistemdeki akıllı bir nesne tarafından etki dağılımları taranırken ,aynı zamanda akıllı bir diferans nesnesi ile de etki dağılımları için dokusal (yüzeysel) tarama [2][3][4] yapılabilir.Böylece taşıyıcı sistem üzerinde akıllı nesne hareketi ve taraması ile etki dağılımları eleman üzerinde nokta nokta elde edilebildiği gibi, doku üzerinde de nokta nokta etki dağılımları elde edilebilmektedir.

TASARIM YÖNTEMİ

Bilgi Sistemleri ve Yapay zeka yaklaşımlı (Bilgisayarlı) tasarım yöntemi,yapıların tasarımını seçenekli olarak ,sayısal çözümlene, sayısal çizim, Çelik yapılar, Stabilite , yüksek Mukavemet, Yapı Dinamiği, v.b arayüzler ve akıllı nesne teknolojisi kullanılarak ,sınır değer ve koşullarla da alt sistemler ve nesnelere arası etkileşimi sağlayabilen gelişmiş ve özgün bir teknolojinin kullanılması esasına dayanmaktadır. Şekil 1'de Yapı Mühendisliği Bilgi Sisteminin alt sistem modülü olarak Çelik yapı tasarım sisteminin genel bilgi akış çizelgesi sunulmuştur. Çubuk ve /yüzeysel taşıyıcı sistemler olarak belirlenen taşıyıcı sistemin çözümlenebilmesi için gerekli bilgiler (Malzeme, geometrik, zemin, etkiler (servis, rüzgar, deprem v.b), v.b) iki yolla elde edilir. Birincisi standartlaştırmış ve sistem için sabitlenen bilgiler bilgi tabanından alınır.Çözümleme aşamasında üretilen bilgiler,ilk geriye dönüş noktalarına dallanarak girdi olarak da kullanılabilir.

Taşıyıcı Sistem Çözümleme alt sistemi :

Tanımlar :

Düğüm noktası koordinatları : x,y,z

Eleman uzunluğu : le

Elemanın kendi koor. sistemindeki rijitlik matrisi	: [k]
Elemanın koor. dönüşüm matrisi	: [t]
Elemanın kesiti	: ac
Elemanın Atalet Momenti	: atm
Elemanın El. Modülü	:em
Elemanın sistem koor. göre Rij.Matrisi	: [ks]
Taşıyıcı sistem matrisi	: [s]
Sınır şekil değiştirmeler vektörü(boysal ve açısıl)	: {d}
Sınır koşulları ve dış etkilere bağlı Sınır Değerleri	: {f}
Taşıyıcı sistem sonucu bulunan sınır değerler	: {p}
Eleman sınır koşulları ve değerleri sabitleri	: {c}

Tasarım çözümlemesi genel taşıyıcı sistem çözümlemesi ile iç içe olarak , çelik yapılar tasarımında ilave olarak boyutlandırma ve Detay akıllı nesnelere olmak üzere iki adet akıllı nesne tasarlanmıştır.

Sistem çözümü :

$$\{le\}=f(x,y,z) ; [k]=f(ac,em,le,atm,....); [t]=f(x,y,z) ; [ks]=[t]^*[k]^*[t]^T$$

$$[s]=f([ks],....) ; \{d\}=[s]^{-1} \{f\} ; \{p\}=[s]^* \{d\} + \{f\}$$

Boyutlandırma Akıllı nesnesi :

Sınır koşulları ve değerleri belli bir akıllı nesnenin diferansiyel fonksiyonları;

$$E_{1z}''''=f(\{c\},y,...) ; E_{1z}'''=f(\{c\},y,...) ; E_{1z}''=f(\{c\},y,...) ; E_{1z}'=f(\{c\},y,...);$$

$$E_{1z}=f(\{c\},y,...) ; \{c\}=f(\text{etkiler,sınır koşulları ve geometrik bilgiler},...)$$

Taşıyıcı sistem çözümü için gerekli $\{f\}=f(\{c\},y,...)$ bu nesne çözümler. Taşıyıcı sistem çözümünden sonrada; $y=y_b$ den $y=y_s$ kadar seçilen dly aralıkları için nokta nokta $\{p\}=f(\{c\},y,...)$ ve $\{d\}=f(\{c\},y,...)$ dağılımları bulunur. (boyutlandırmada eleman taraması) Dokusal tarama iç içe olarak bu defa dly diferans elemanı üzerinde dy, dz aralıkları için doku teorisi [2] kullanılarak yapılır. Bu sayısal çözüm; çelik yapılarda çerçeve sistemlerde, uzay kafes sistem düğüm elemanlarındaki gerilme yığılmaları (çentik etkisi v.b) analizlerinde, düzlem kafes sistem düğüm levhalarında, kolon bağlantı levhalarında v.b. kullanılmaktadır. Şekil 2 de dly elemanına

ait $[kd]=f(\text{statik büyüklükler, } x_b, y_b, z_b, x_s, y_s, z_s, dx, dy, dz, \dots)$ sunulmuştur. Sınır değerleri şekil 3a da bir eleman nesnesi ve şekil 3b de bir düğüm levhası nesnesi olarak sunulmuştur. Sınır koşulları ve sınır değerlerden $\{f\}$ bulunur. Sistem çözümü $\{d\}=[kd]-1 * \{f\}$; her dokusal nokta için $\{p\}=f(\{d\}, \dots)$ yapılır. Gerek şekil veya yer değiştirme, gerekse gerilme bakımından sınır değerlerin aşılması durumunda gerekli işlemler yapılarak (insanın kendine özgü özellikleri kullanma yeteneği) akış ilk başlangıç noktalarına dallanmaktadır. Bu etkileşimde akıllı nesne/nesnelere ile iletişimi sınır değerleri sağlamaktadır. Parametrik sınır değerleri ile akıllı nesne sürekli tasarım için gerekli bilgi akışını, akıllı arayüz nesnelere (sayısal çözümleme, sayısal çizim, statik, dinamik, burkulma, elastisite, yk.mukavemet ,çelik, betonarme, zemin, malzeme v.b.) ve bilgi tabanı ile çözümlemektedir.

İşte bu arayüz akıllı nesnelere tasarımında elle bilgi işlemenin geleneksel ifadeleri kullanılamamaktadır. Bilimsel ilkelere bağlı olarak bu bilgi işleme amacına göre ifadelerin yeniden çıkarılması zorunlu olmaktadır.

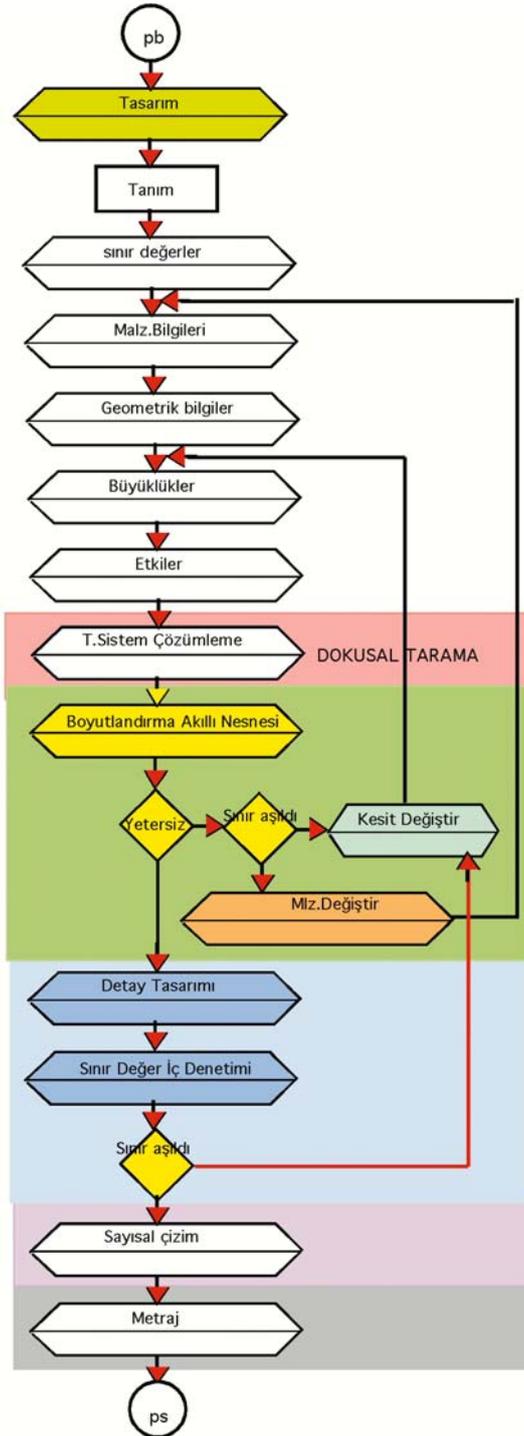
Detaylandırma akıllı nesnesi:

Bilgi tabanında bulunan bilgilere göre, geometrik sınır değerlere ve koşullara, mekanik sınır değer ve koşullara, malzeme sınır değerlerine v.b. göre kaynak akıllı alt nesnesi de devreye girerek detay sayısal çözümü yapılır. Bu çözümlere göre levha v.b. boyutlandırmalar tamamlanır.

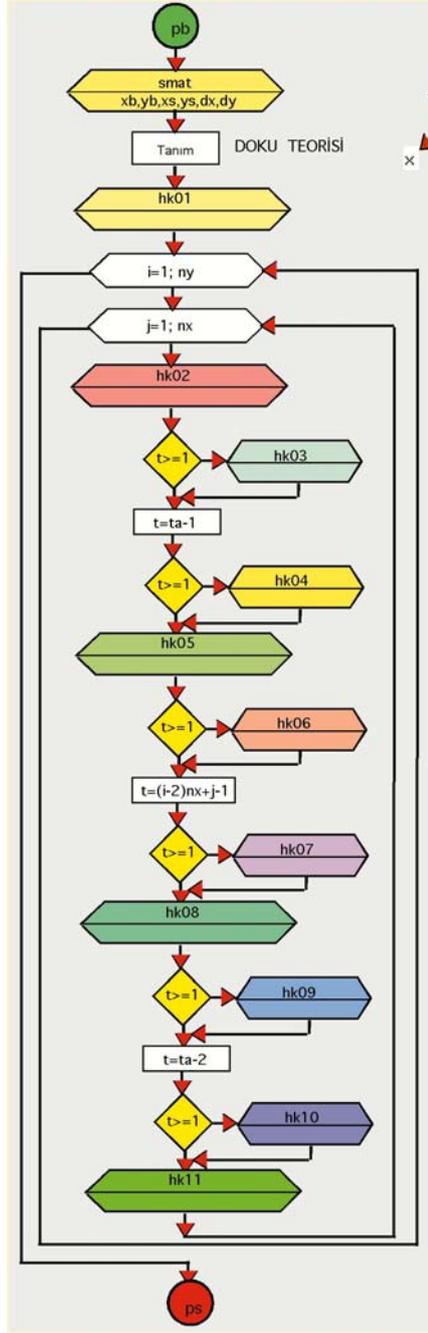
Levhanın tasarımında yine yukarıda sunulduğu ve şekil 3b de gösterildiği gibi örn.bir düğüm levhası sınır değerleri ile koşulları belirlenerek (sistem tarafından) levhanın dokusal sayısal çözümü yapılır. İç denetim sistemi akıllı nesnelere yardımı ile sınır değerlerinin (gerilme, şekil değiştirme, burkulma, buruşma v.b.) aşılması durumunda ilk geriye dönüş noktalarına dallanır. Böylece detay çözümlenmiş olur.

Bundan sonra geometrik bilgiler kullanılarak sayısal çizim arayüzü akıllı nesnelere ile çizimler yapılır.

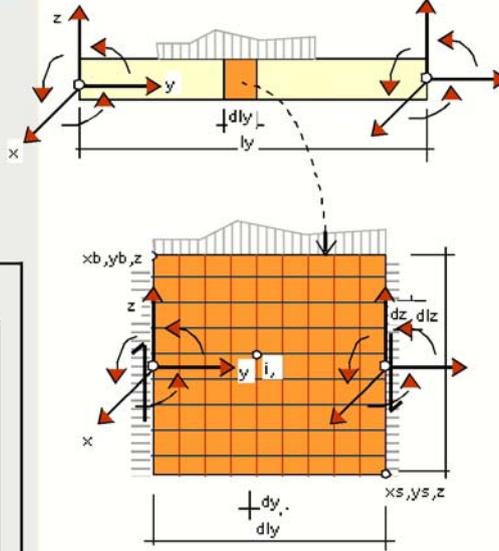
Metraj arayüzü akıllı nesnelere ile de metrajlar hazırlanır.



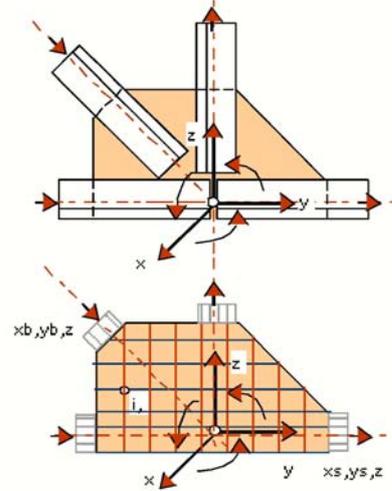
Şekil 1. Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka Yaklaşımılı Çelik Yapılar Tasarımı Bilgi Akış Çizelgesi



Şekil 2. Doku elemanı Sistem Matrisi Bilgi Akış Çizelgesi



Şekil 3.a Doku elemanı Sınır Değırleri



Şekil 3.b Düğüm Levhası örneği Doku elemanı Sınır Değırleri

SONUÇ VE ÖNERİLER

- 1- Bu yaklaşım daha duyarlı ve iç denetim sistemi ile de güvenli ve kaliteli bir tasarım olanağı sunmaktadır.
- 2- Mühendislikte tasarım duyarlılığı kalite demektir, kalite de ekonomi ve yapı güvenliği demektir.
- 3- Taşıyıcı ve kullanılan teknoloji , malzemelere göre (Betonarme, Çelik ,Öngerilmeli v.b.) aynı yapı sistemi sistem seçenekleri çözümlerine göre ,farklı sistemler içinde zemin, malzeme,fonksiyon ,ekonomi v.b. değerlere göre etkin sistem seçiminin belirlenmesinde kullanılabilir. (TOKİ,Bahadır sanayii tesisi, Esmâ Hatun konağı güçlendirmesi v.b.)
- 4- Tasarım çözümleri mühendisliğin ağır sorumluluğunu alacak şekilde güvenli olmaktadır. Bilgi Sistemleri ve Yapay Zeka teknolojisinin iç denetim sistemi ile,bilgisayar sistemlerinin donanım özelliklerinden kaynaklanan sayısal v.b. sınır değerleri tutarsızlıklarını denetleyebilmekte ve tutarsız, geçersiz bilgilerin kullanımına izin vermemektedir.
- 5- Böylece bilgisayar destekli bilgi işlemenin geçersizlikleri ,tutarsızlıkları artık bu bilgi işleme teknolojisi ile yapılan tasarımda yoktur.
- 6- Takdir edilir ki her teknolojik düzey ,kendi düzeyinde bilimsel altyapının kurulmasını gerekli kılar. Bu nedenle ; çok değerli öğrenim kurumlarımız, elle bilgi işlemenin ifadelerini ezberletmek yerine, bu v.b. teknolojilere altyapı oluşturacak bilimsel ilkelerin ve ifadelerin çıkarılması tekniklerini öğretmeye çalışmalıdır. Çünkü gerçekte gelişmelerin içinde kalmak isteyen her mühendis mezun olduktan sonra bilmelidir ki yeni bir başlangıç noktasındadır. Bilmelidir ki günümüzde artık öğrenim ömür boyu bir etkinliktir. Bilgi üretmeden teknoloji üretilmeyecektir.
- 7- Bilgi sistemleri ve yapay zeka teknolojileri yaklaşımı ; yüzyıllardır ve halen devam edilen elle bilgi işlemenin ifade ve formüllerini,hatta tanımlarını kullanamamaktadır. Bu nedenle belki yine yüzyıllar sürecek bu yeni yaklaşımla ifade ve formüllerin çıkarılması için bir başlangıç noktasında bulunmaktadır.Yani mühendislik alanındaki

ve temel bilimlerdeki sayısal çözüm ,sayısal çizim v.b. bütün kitap ve yayınlar, bu yaklaşımla Arayüz teknolojisi ile yeniden yazılmak durumundadır.Bu konulardaki kaynaklar bilimsel ve yapısal (ezbere dayanmayan) altyapının içindedir. V.b.

TEŞEKKÜR

İTÜ İnşaat Fak.de geleceğe yönelik bu gelişmelerin içine bir mühendis olarak girmemde verilen çok değerli öğrenim ve ezbere dayanmayan formasyonun verilmesinde büyük özveri ile bizleri yetiştiren çok değerli ve saygıdeğer öğretim üyelerine en içten duygularıyla şükranlarımı sunarım.

KAYNAKLAR

- 1- Özer ,E. Prof.Dr. “Yapı Statiği Ders Notları - Lineer olmayan sistemler”, İTÜ.
- 2- Koç,H.”Yapı Mühendisliği Bilgi Sistemi Doku Teorisi Alt sistem Modülü”,İMO 13.Teknik Kongre 1995 ,Ankara
- 3- Koç,H.”Yapı Mühendisliği Bilgi Sistemi Tasarımı “, Bilişim 95
- 4- Koç,H.”Bilgisayarlı Mühendislik Tasarım Sistemi “İTÜ İnş.Fak.Bilgisayar Sempozyumu, 1988

The Design of Information Systems and Artificial Intelligence
Oriented
Steel Structures

Msc.Ing.ITU Hasan KOÇ
YapıData
e.mail : yapidata@yapidata.com

ABSTRACT

Information Systems and Artificial Intelligence Oriented technology has batch processing, intelligence object approach, subject interface e.c.t.Intelligence object makes data communications by design parameters.And it scans structural systems point to point. This processing is recursive.

It solves stress and displacements point to point.

Information Systems and Artificial Intelligence has control subsystem.It has self-regulation and self-correction.If there are inconsistencies , the flow of the processing will go back to beginning points.

The intelligence object communicates by subject interfaces.(Buckling, Steel Structure,Stability interfaces e.c.t.)

So ,this oriented technology wants new formulas and definitions.