

6. Oturum

YARI RİJİT BAĞLI ÇELİK ÇERÇEVELERİN STATİK VE DİNAMİK ANALİZİ İÇİN YAKLAŞIK BİR YÖNTEM

Kanat Burak BOZDOĞAN

Duygu ÖZTÜRK

kanat@eng.ege.edu.tr

duygu@eng.ege.edu.tr

Ege Üniversitesi , Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü,
Bornova, İzmir, Tel:02323886026.

ÖZET

Çelik yapıların dizaynında çerçevelerin analizi sırasında kolon kiriş birleşimleri tam rijit ya da mafsallı olarak kabul edilmektedir. Deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçlarla bağlantı modellerinin bu iki kabul arasında kalacak biçimde yarı rijit davranış gösterdiği belirlenmiştir. Bu bildiride yarı rijit bağlı çelik çerçevelerin statik ve dinamik analizi için sürekli sistem hesap modeline dayalı pratik bir yaklaşım sunulmuştur. Çalışmada yarı rijit birleşimin moment –eğrilik ilişkisi lineer olarak gözönüne alınmıştır. Yarı rijit bağlantı modelinin başlangıç dönme rijitliği ‘Eurocode 3’ te verilen bağıntıya göre belirlenmiştir.

GİRİŞ

Yarı rijit bağlı çelik çerçevelerin statik ve dinamik analizine yönelik olarak literatürde bir çok çalışma mevcuttur. Bu çalışmalarda yaygın olarak matris deplasman yöntemi kullanılmış olup yarı rijit davranış farklı biçimlerde modellenmiştir. Genellikle yapılan modellemelerde yarı rijit düğüm noktası nonlineer olarak modellenmektedir.[1] Bu bildiride ise yarı rijit bağlı çelik çerçevelerin statik ve dinamik analizi için sürekli sistem hesap modelini

esas alan yaklaşık bir yöntem sunulmuştur. Çalışmada kolon kiriş birleşim bölgesindeki moment dönme ilişkisi doğrusal olarak modellenmiş, yapı sisteminin burulmasız olduğu ve çerçeveleri oluşturan kolon ve kirişlerin ortogonal olduğu kabulü yapılmıştır.

Kat Taşıma Matrislerinin Bulunması

Çok katlı çelik çerçeve sistem yatay yükler altında eşdeğer konsol Timoshenko kirişi olarak modellenenebilir. Bu durumda i. kat için denge denklemleri sırasıyla

$$D_i \frac{d^4 y_1}{dz^4} = 0 \quad (1)$$

$$GA_i \frac{d^2 y_2}{dz^2} = 0 \quad (2)$$

şeklinde yazılabilir .Bu denklemlerde, D_i , Eşdeğer konsol kirişe ait eğilme rijitliğini, y_1 eşdeğer konsol kirişte i.katta eğilmeden dolayı oluşan şekil değiştirme fonksiyonunu, z , kat tabanından başlayıp kat tavanına giden düşey eksenini göstermektedir.

(2) nolu sabit katsayılı ikinci mertebeden homojen lineer denklemde geçen y_2 : Eşdeğer konsol kirişte i. katta kaymadan dolayı oluşan şekil değiştirme fonksiyonunu

y : Eşdeğer konsol kirişte i. katta oluşan toplam şekil değiştirme fonksiyonu olup $y=y_1+y_2$

GA_i : i. kattaki eşdeğer konsol kirişe ait kayma rijitliğini ifade etmekte olup

$$GA = \frac{12}{h \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r} + \frac{12E}{c} \right)} \quad (3)$$

bağıntısıyla hesaplanmaktadır.[2] Burada s ve r sırasıyla kolonların ve kirişlerin toplam redörlerini göstermekte olup

$$s = \sum_{i=1}^n \frac{EI_r}{l} \quad , \quad r = \sum_{i=1}^m \frac{EI_s}{h} \quad (4)$$

bağıntılarıyla hesaplanabilmektedir. n ve m sırasıyla kattaki toplam kolon ve kiriş adedini göstermektedir. h ve l ise kolon yüksekliği ile kiriş açıklığını temsil etmektedir. c kolon kiriş birleşim bölgesindeki dönme rijitlikleri toplamını göstermektedir. Eurocode 3'e göre

$$c_i = \frac{Eh_t^2 t_{f,c}}{k_x} \quad (5)$$

bağıntısıyla hesaplanabilmektedir.[3] Burada E elastisite modülünü, h_t basınç ve çekme bölgeleri arasındaki uzaklık, $t_{f,c}$ kolon başlık kalınlığını k_x ise birleşimin şekline bağlı olarak verilen bir katsayıdır.

Toplam şekil değiştirme eğilmeden ve kaymadan dolayı oluşacak toplam şekil değiştirme $y = y_1 + y_2$ olacaktır. (1) ve (2) numaralı denklemlerde gerekli düzenlemeler yapılırsa

$$D_i \frac{d^4 y}{dz^4} = 0 \quad (6)$$

elde edilir .Dördüncü mertebeden olan bu homojen adi diferansiyel denklemin çözümü,

$$y = c_1 + c_2 z + c_3 z^2 + c_4 z^3 \quad (7)$$

şeklindedir. Burada c_1 , c_2 , c_3 ve c_4 integral sabitleridir. i.kat için elde edilecek taşıma matrisine esas olan, θ dönme, M, eğilme momenti ve V, kesme kuvveti bilinmeyenleri aşağıdaki gibi elde edilebilir.

$$\theta_i = y_1' = c_2 + 2c_3z + 3c_4z^2 + \frac{D_i}{GA_i}6c_4 \quad (8)$$

$$M_i = (-2c_3 - 6c_4z) * D_i \quad (9)$$

$$V_i = -6D_i c_4 \quad (10)$$

olarak bulunurlar.(7), (8) (9) ve (10) numaralı eşitlikler matris formunda,

$$\begin{bmatrix} y_i(z) \\ \theta_i(z) \\ M_i(z) \\ V_i(z) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & z & z^2 & z^3 \\ 0 & 1 & 2 & (3z^2 + 6\frac{D_i}{GA_i}) \\ 0 & 0 & -2D_i & -6zD_i \\ 0 & 0 & 0 & -6D_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (11)$$

katsayılar matrisi A(z) olarak adlandırılırsa

$$\begin{bmatrix} y_i(z) \\ \theta_i(z) \\ M_i(z) \\ V_i(z) \end{bmatrix} = A(z) \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (12)$$

olarak yazılabilir. i. kat başlangıcında z=0 olacağından,

$$\begin{bmatrix} y_i(0) \\ \theta_i(0) \\ M_i(0) \\ V_i(0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 2 & 6\frac{D_i}{K_i} \\ 0 & 0 & -2D_i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -6EI_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (13)$$

katsayılar matrisi A(0) olarak adlandırılırsa

$$\begin{bmatrix} y_i(0) \\ \theta_i(0) \\ M_i(0) \\ V_i(0) \end{bmatrix} = A(0) \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \end{bmatrix} \quad (14)$$

yazılabilir. Buradan

$$\begin{bmatrix} y_i(z) \\ \theta_i(z) \\ M_i(z) \\ V_i(z) \end{bmatrix} = \underline{T}_i^1 \begin{bmatrix} y_i(0) \\ \theta_i(0) \\ M_i(0) \\ V_i(0) \end{bmatrix} \quad (15)$$

elde edilir. Buradaki $\underline{T}_i^1$ i. kata ait birinci mertebe taşıma matrisidir ve,

$$\underline{T}_i^1 = \underline{A}_{(z)} \underline{A}_{(0)}^{-1} \quad (16)$$

matris çarpımı ile elde edilir. Taşıma matrisi kat başlangıcı ile bitişi arasındaki davranış ilişkisini belirler.

Yatay Yükler Tesirinde Statik Analiz

Yukarıda elde edilen kat taşıma matrisleri kullanılarak yarı rijit bağlı çelik çerçeve yapıların yatay yükler tesirindeki statik analiz prosedürü aşağıda açıklanmıştır. Ardışık katlar arasındaki bağlantıyı sağlayan T_i taşıma matrisi ile deplasmanlar ve uç kuvvetleri arasındaki iletişim,

$$\begin{bmatrix} y_{i+} \\ \theta_{i+} \\ M_{i+} \\ V_{i+} \end{bmatrix} = \underline{T}_i \begin{bmatrix} y_i \\ \theta_i \\ M_i \\ V_i \end{bmatrix} + \underline{F}_i \quad (17)$$

denklemleri ile sağlanabilir. Buradaki F_i i. katın tavanındaki yatay dış yükü kapsar ve

$$\underline{F}_i = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -f_i \end{bmatrix} \quad (18)$$

vektörü ile tarif edilebilir. (17) numaralı denklem her bir parça için yazılıp ardışık olarak uygulanırsa, yapı tabanı ile tepesi arasındaki aşağıdaki ilişki elde edilebilir.

$$\begin{bmatrix} y_{tepe} \\ \theta_{tepe} \\ M_{tepe} \\ V_{tepe} \end{bmatrix} = \left[\prod_{k=n}^1 T_k \right] \begin{bmatrix} y_{taban} \\ \theta_{taban} \\ M_{taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} + \sum_{s=1}^{n-1} \left[\prod_{k=n}^{s+1} T_k \right] f_s + f_n \quad (19)$$

$$t = \prod_{k=n}^1 T_k \quad \text{ve} \quad P = \sum_{s=1}^{n-1} \left[\prod_{k=n}^{s+1} T_k \right] f_s + f_n \quad (20)$$

alınırsa,

$$t \begin{bmatrix} y_{taban} \\ \theta_{taban} \\ M_{taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} + P = \begin{bmatrix} y_{tepe} \\ \theta_{tepe} \\ M_{tepe} \\ V_{tepe} \end{bmatrix} \quad (21)$$

elde edilir. Bu denklemde, tabandaki yatay deplasman ve dönmenin, tepe noktasında da eğilme momenti ve kesme kuvveti sıfır olduğu sınır koşulları dikkate alınır

$$\begin{bmatrix} t_{33} & t_{34} \\ t_{43} & t_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M_{taban} \\ V_{taban} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -P(3) \\ -P(4) \end{bmatrix} \quad (22)$$

olacaktır yazılırsa ,buradan M_{taban} ve V_{taban} bulunabilir. Bulunan değerler (17) ifadesinde yerine yazılırsa her bir kat hizasındaki (y_i , θ_i , M_i , V_i) bilinmeyenler tayin edilebilir.

Dinamik Analiz

Yukarıda elde edilen kat taşıma matrisleri kullanılarak rijit bağlı çelik çerçeve yapıların dinamik analizleri yapılabilir. Bunun için (15) numaralı denklemde taşıma matrisi yerine taşıma matrisinin tersini ve dış yük vektörü yerine atalet kuvveti vektörü yazılır.

$$\begin{bmatrix} y_{i+1} \\ \theta_{i+1} \\ M_{i+1} \\ V_{i+1} \end{bmatrix} = \underline{T}_i \begin{bmatrix} y_i \\ \theta_i \\ M_i \\ V_i \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ -mw^2 y_{i+1} \end{bmatrix} \quad (23)$$

Taşıma matrisinin tersinin esas alınmasının nedeni hesaba tepeden başlanıp aşağıya doğru devam edilmesidir. Burada m_i i. katın kütlesini w , yapı açısıl frekansını göstermektedir. Böylece, $\underline{T}_d$ dinamik taşıma matrisi,

$$\underline{T}_d = \begin{bmatrix} T^{-1}(1,1) & T^{-1}(1,2) & T^{-1}(1,3) & T^{-1}(1,4) \\ T^{-1}(2,1) & T^{-1}(2,2) & T^{-1}(2,3) & T^{-1}(2,4) \\ T^{-1}(3,1) & T^{-1}(3,2) & T^{-1}(3,3) & T^{-1}(3,4) \\ T^{-1}(4,1) - mw^2 & T^{-1}(4,2) & T^{-1}(4,3) & T^{-1}(4,4) \end{bmatrix} \quad (24)$$

olarak yazılabilir. Sonuçta taşıyıcı sistemin tepesi ile tabanı arasındaki deplasman ve iç kuvvet ilişkisi,

$$\begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ V \end{bmatrix} = \underline{T}_{d1} \underline{T}_{d2} \dots \dots \underline{T}_d \begin{bmatrix} y \\ \theta \\ M \\ V \end{bmatrix} \quad (25)$$

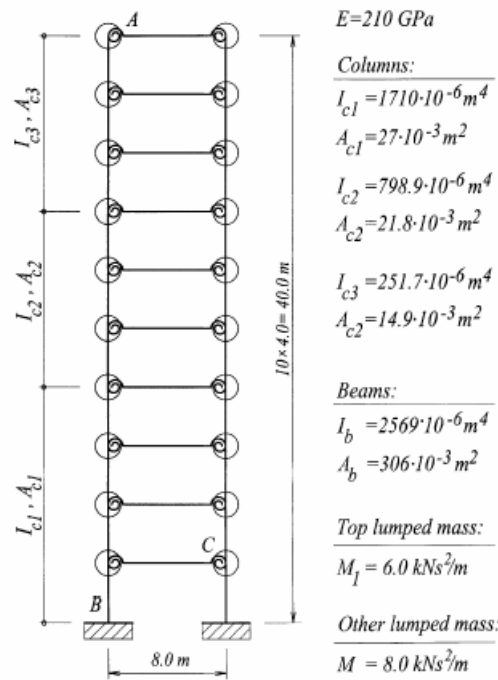
eşitliği ile elde edilebilir. Bu denklemde, tabandaki yatay deplasman ve dönmenin, tepe noktasında da eğilme momenti ve kesme kuvvetinin sıfır olduğu sınır koşulları dikkate alınır. Bu durumda denklemde nontrivial çözümün olabilmesi için $t_d = T_{d1} T_{d2} T_{d3} \dots \dots T_{dn}$ olmak üzere

$$\begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} \\ t_{21} & t_{22} \end{bmatrix} \quad (26)$$

matrisinin determinantının 0 olması gerekir. Bu durumda $f = t_{11}.t_{22} - t_{12}.t_{21}$ ifadesini 0 yapan w değeri yapının açılmal frekansını vermektedir.[3].

Sayısal Örnek

Referans'tan alınan [4] Şekil 1'de kesiti verilen 10 katlı tek açıklıklı çelik çerçeve örneğinin ilk üç moda ait açılmal frekans değerleri rijit ve yarı rijit bağlantılı olarak bu çalışmada verilen yöntemle çözülmüş ve elde edilen sonuçlar referanstaki sonuçlarla Tablo1 de karşılaştırılmıştır. Çalışmada sunulan yöntem uygulanırken Matlab hazır paket programından [5] yararlanılmıştır.



Şekil 1. Örneğe ait kesit

Tablo 1. Rijit ve Yarı Rijit Bağlantı durumundaki açısal Frekanslar (rd/s)

Mod no	Rijit Bağlantı		Yarı Rijit Bağlantı	
	Bu Çalışma	Ref	Bu Çalışma	Ref
1.	6.358	6.328	6.086	5.727
2.	17.414	17.523	16.726	16.088
3.	30.054	31.116	28.742	28.611

SONUÇ

Bu çalışmada yarı rijit bağlı çelik çerçevelerin statik ve dinamik hesabı için yaklaşık bir yöntem sunulmuştur. Sunulan yöntemin matris deplasman yöntemi ile uyumlu olduğu gözlenmiştir. Yöntem kolay ve hızlı bir şekilde programlanabilmektedir. Sonuç olarak yaklaşımın özellikle ön tasarım aşamasında ve paket program çıktılarının kontrolü açısından güvenle kullanılabileceğine inanılmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Chen,W.F, Practical Analysis for Semi-Rigid Frame Design, World Scientific, 1999, pp 465.
2. Hoenderkamp,J.C.D, “Approximate Analysis of High Rise Frames with Flexible Connections”, The Structural Design of Tall Buildings ,9, 2000, pp 223-248
3. Yorgun,C, Yardımcı,N, “Eurocode3’te Yarı Rijit Birleşimler ve Çerçeveler”, Türkiye İnşaat Mühendisliği 15.Teknik Kongre ve Sergisi, Ankara, 1999, pp 399-414.
4. Sekulović,M., Salatic,R., Nefovska, M., “Dynamic Analysis of Steel Frames with Flexible Connections”, Computers and Structures, v.80, 2002, pp 935-955.
5. Matlab V7.1, 2004, Users Manual, Mathworks Inc. , USA

**AN APPROXIMATE METHOD FOR THE STATIC AND
DYNAMIC ANALYSIS OF STEEL FRAMES WITH SEMI
RIGID CONNECTION**

Kanat Burak BOZDOĞAN (Research Assistant) kanat@eng.ege.edu.tr	Duygu ÖZTÜRK (Research Assistant) duygu@eng.ege.edu.tr	Ayhan NUHOĞLU (Assistant Prof. Dr.) anuhoglu@eng.ege.edu.tr
---	---	--

Ege University Engineering Faculty,
Civil Engineering Department Bornova/İZMİR
Tel: 0.232.3886026

ABSTRACT

In design of steel structures the beam-column connections are usually considered as either rigid or hinged. Recently performed experimental researches have shown that joints are neither fully rigid nor actually hinged, and displays a semi rigid behaviour. In this paper a practical approach based on continuum model for steel structures with semi rigid connection is presented. In the study moment – rotation curve relationship of semi rigid connection is assumed as linear. The initial rotational stiffness of semi rigid beam- column connection is devised based on “Eurocod3”.

UZAY ÇELİK ÇERÇEVE YAPILARIN LİNEER OLMAYAN STATİK ANALİZİ İÇİN BİR BİLGİSAYAR PROGRAMI (İMEP-3D)

Doç. Dr. Erdal İrtem

Balıkesir Üniversitesi Mühendislik Mim. Fakültesi

İnşaat Mühendisliği Bölümü

10146 Çağış Kampüsü, Balıkesir

eirtem@balikesir.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, uzay çerçeve yapıların sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan statik analizi için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemini [1,2] esas alan İMEP-3D isimli bir bilgisayar programı ile ilgili bilgilere yer verilmiştir [2]. Bu program ile düzlem ve uzay çelik çerçeve sistemlerin malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan analizi yapılabilmektedir. Bildiride İMEP-3D bilgisayar programının giriş ve çıkış bilgilerine ve programın esas aldığı yük artımı yöntemine [1,2] yer verilmiştir. Yük artımı yöntemi esasen malzemeden bağımsızdır ve çelik yapıları da kapsamaktadır. Programın esas aldığı yük artımı yönteminin özelliği nedeniyle, her plastikleşen kesitin oluşumundan sonra plastik kesitlerdeki plastik şekil değiştirmelerin hesabı için ayrıca bir hesap yapmaya gerek kalmamakta ve direkt olarak belirlenebilmektedir. Yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde ise her plastik kesitin olduğu yük artımı değerinin belirlenmesi için ardışık yaklaşım yapmaya gerek kalmamakta ve tek bir adım yeterli olmaktadır. Yapıların sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında lineer olmayan statik analizi sonucunda elde edilen bilgilerden yararlanarak *yatay yük-tepe deplasmanı* eğrisi çizilir ve buna kapasite eğrisi (pushover eğrisi) denir. Bilindiği gibi birçok çağdaş ülke yönetmeliğinde olduğu gibi Türk Deprem Yönetmeliğinde [3] de belirli deprem seviyeleri için binadan beklenen performans hedefleri tanımlanmıştır. Bu hedeflerin gerçekleşip

gerçekleşmediğinin kontrolünün lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile yapılması istendiğinde öncelikle kapasite eğrisinin elde edilmesi gerekmektedir. Ancak, bunun için bilgisayar programları vb. araçlara gereksinim duyulmaktadır. Bu nedenle bildiride çerçeve yapıların lineer olmayan statik analizinin sayısal hesabı için hazırlanan İMEP-3D bilgisayar programı ve bu programın esas aldığı etkin bir yük artımı yöntemi ile ilgili bilgiler verilmesi amaçlanmıştır [2].

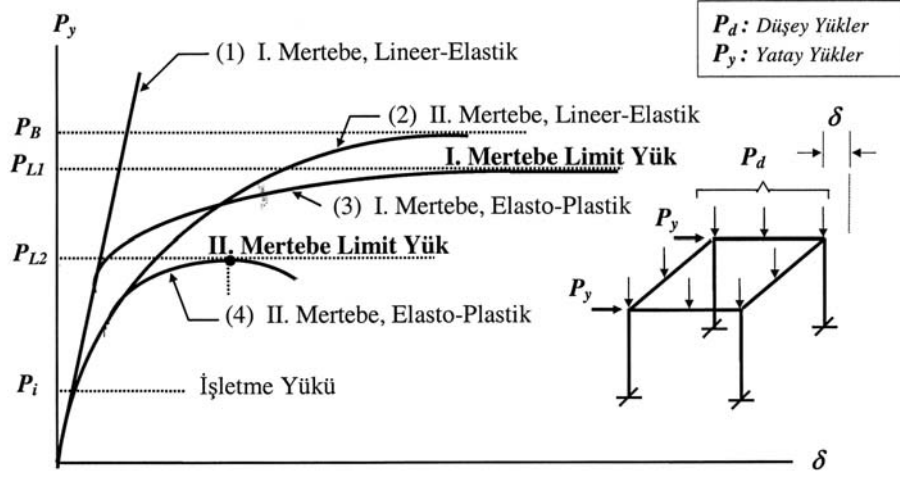
GİRİŞ

Dünyada son on yıl içinde özellikle kentsel alanlarda yaşanan şiddetli depremlerde (1994 Northridge-ABD, 1995 Kobe-Japonya, 1999 Marmara-Türkiye vb.) yapılarda meydana gelen hasarlar oldukça büyük ekonomik kayıplara neden olmuştur. Bu nedenle, geleneksel kuvvet esaslı sismik tasarım yöntemlerinin sorgulanmasına başlanmış ve bu yöntemlerin yerini alacak yeni yaklaşımlar önem kazanarak performans esaslı sismik tasarımla ilgili çalışmalara hız verilmiştir. Bu konuda son on yılda başta ABD ve Japonya olmak üzere bir çok ülkede bilimsel araştırma projeleri başlatılmış (VISION 2000 [4], ATC 40 [5], FEMA 273 [6], FEMA 356 [7], FEMA 440 [8] vb.) ve bu çalışmalara günümüzde de devam edilmektedir. Yapıların performans esaslı sismik tasarımının ve değerlendirilmesinin yapılabilmesi için önce lineer olmayan davranışının belirlenmesi gerekmektedir. Bunun için bilindiği gibi lineer olmayan dinamik ve statik analiz yöntemleri kullanılmaktadır. Bunlardan lineer olmayan statik analiz yöntemi, yapıların deprem yükleri altındaki gerçek davranışının belirlenmesinde önemli bir yer tutmaktadır.

Bilindiği gibi, büyük bir oranı yapı ağırlığı olan düşey yüklerin daha az değişim göstermesi, buna karşılık deprem ve rüzgar etkilerini temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olması göz önünde bulundurularak, sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında yapıların lineer olmayan statik analizinin yapılması daha gerçekçi bir yaklaşım olmaktadır. Bu nedenle lineer olmayan statik analiz yöntemleri ile belirli sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan teoriye göre yapının analizi yapılarak

kapasite eğrisi olarak tanımlanan *yatay kuvvet-tepe deplasmanı* bağıntısı elde edilebilmektedir. Bilindiği gibi pushover analiz olarak da isimlendirilen bu analizde yapının yatay yük taşıma kapasitesini ifade eden kapasite eğrisinin elde edilmesi ile her plastik kesitin olduğu *yatay yük-tepe deplasmanı* değerleri, oluşan plastik kesitlerin sistemdeki yerleri ve sırası, yapının taşıyıcı elemanlarının dayanım ve deformasyon talepleri ve olabilecek kısmi veya toptan göçme mekanizma durumları belirlenebilmektedir [9]. Ayrıca, kapasite eğrisi ile davranış spektrum analizinin birleştirilmesine dayanan çeşitli yöntemler (Kapasite Spektrumu Yöntemi [5], Deplasman Katsayıları Yöntemi [6,7], N2 Yöntemi [10], Akma Noktası Spektrumu Yöntemi [11] vb.) kullanılarak göz önüne alınan deprem seviyesi için yapının genel dayanım ve deplasman talepleri belirlenebilmekte, böylece istenilen deprem seviyesi için yapının performans düzeyleri değerlendirilebilmektedir. Ancak yapının performans düzeylerinin değerlendirebilmesi için öncelikle kapasite eğrisinin belirlenmesi gerekmektedir. Uygulamada yapıların lineer olmayan statik analizinin yapılarak kapasite eğrisinin belirlenebilmesi için ise bilgisayar programlarına vb. araçlara ihtiyaç duyulmaktadır. Bu nedenle bildiride çelik yapıların sayısal uygulamaları için hazırlanan İMEP-3D bilgisayar programı [2] ve bu programın esas aldığı, düzlem ve uzay çerçeve yapıların lineer olmayan statik analizi için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemi [1,2] ile ilgili bilgilere yer verilmiştir. Bilindiği gibi, yapıların lineer olmayan davranışı malzeme bakımından, geometri değişimi bakımından ve her iki bakımdan (malzeme ve geometri değişimi bakımından) incelenebilmektedir [12]. Malzeme bakımından lineer olmayan analizde malzemenin lineer-elastik sınırının ötesindeki davranışı göz önüne alınmaktadır. Geometri değişimi bakımından lineer olmayan analizde ise dış etkiler altında yapıda meydana gelen yer değiştirmeler denge denklemlerinde gözönüne alınmakta, geometrik uygunluk koşullarında ihmal edilmektedir. Yerdeğiştirmelerin sadece denge denklemlerinde gözönüne alındığı bu teoriye bilindiği gibi *ikinci mertebe teorisi* denilmektedir. Malzeme davranışının lineer-elastik ve yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde ve geometrik uygunluk koşullarında ihmal edildiği *birinci mertebe lineer-elastik* teoriye göre analizde artan yüklere aynı oranda artan yerdeğiştirmeler, şekildeğiştirmeler ve iç kuvvetler karşı gelir (Şekil 1. (1)).

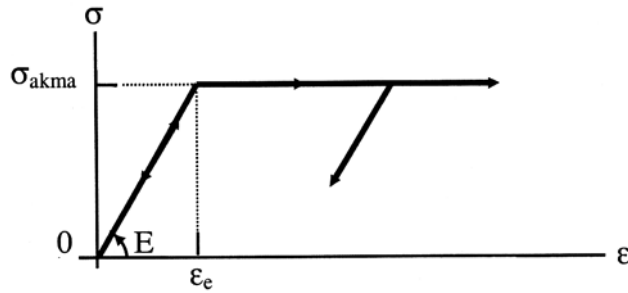
Ancak malzeme davranışının lineer-elastik kabul edildiği ve geometri değişimlerinin sadece denge denklemlerinde gözönüne alındığı teoriye göre analizde, artan yükler için sistemde daha da artan yerdeğiştirmeler meydana gelir ve sistemin daha büyük yükleri taşıyamadığı sınır değere ulaşır, bu duruma burkulma, bu yüke ise burkulma yükü adı verilir ve P_B ile gösterilir. *İkinci mertebe lineer-elastik* teoriye göre elde edilen *yük-tepe deplasmanı* eğrisi Şekil 1. (2)'de şematik olarak gösterilmiştir. Ayrıca malzemenin lineer olmayan davranışının Şekil 2.'de görüldüğü gibi *ideal elasto-plastik* olarak gözönüne alındığı ve ikinci mertebe etkilerinin ihmal edildiği teoriye göre analizde artan yükler altında iç kuvvetler de artarak sistemin bazı kesitlerinde lineer-elastik sınır aşılmakta ve *plastik kesit* adı verilen bu kesitlerde lineer olmayan şekil değiştirmeler (plastik şekildeğiştirmeler) meydana gelmektedir. Birinci mertebe elasto-plastik analiz olarak isimlendirilen bu teoriye göre oluşan plastik kesitler nedeniyle rijitliği azalan sisteme ait *yük-tepe deplasmanı* eğrisi Şekil 1. (3)'de şematik olarak gösterilmiştir. Burada artan yükler belirli bir sınır değere ulaşır, bu yüke **I. Mertebe Limit Yük** denir ve P_{L1} ile gösterilir [1,2]. Bilindiği gibi yerdeğiştirmelerin sadece denge denklemlerinde gözönüne alındığı ve malzemenin lineer-elastik sınırın ötesindeki davranışının *ideal elasto-plastik* olarak kabul edildiği teoriye *ikinci mertebe elasto-plastik teori* denilmektedir [1,2] ve buna ait *yük-tepe deplasmanı* eğrisi Şekil 1. (4)'de şematik olarak gösterilmiştir. Bu teoriye göre analizde yük belirli bir kritik değere ulaşınca, sistemde oluşan plastik kesitler nedeniyle rijitliği azalan sisteme etkiyen yük, kritik yükün altına düşmekte ve sistemin yerdeğiştirmelerindeki artışa azalan yük değerleri karşı gelmektedir. Sistemin daha büyük yükleri taşıyamayacağını ifade eden bu yüke **II. Mertebe Limit Yük** denir ve P_{L2} ile gösterilir [1,2].



Şekil 1. Yüğü- tepe deplasmanı (P_y - δ) bağıntıları

YÜĞ ARTIMI YÖNTEMİNİN HESAP ESASLARI

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı etkin yüğü artımı yönteminin hesap esasları aşağıda özetlenmiştir. Geliştirilen yüğü artımı yöntemi, malzeme ve geometri değışimi bakımından lineer olmayan teoriye göre uzay ve düzlem çubuk sistemlerin sabit düşey yüğüler ve artan yatay yüğüler altındaki analizini kapsamaktadır. Çelik malzemenin ideal *elasto-plastik* davranış gösterdiği (Şekil 2) ve artan yatay yüğüler altında oluşan plastik şekil değıştirmelerin **plastik kesit** adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde çubuğun *lineer-elastik* davrandığı kabul edilmektedir.



Şekil 2: Malzemenin (çeli in) ideal elasto-plastik davranışına ait yükleme - boşaltma e risi

Malzemenin lineer olmayan davranışında bu kabulün geçerli olduğu çubuk sistemlerin geometri değişimi bakımından lineer olmayan analizinde karşılaşılan ve mevcut diğer hesap yöntemlerinde çözümlenmesi gereken sorunlar bulunmaktadır [2] ve bunun için etkin yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır [13]. Bu sorunlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir.

- a- Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinden dolayı süperpozisyon kuralı geçerli değildir. Bu nedenle her plastik kesitin oluşumunda gerekli yük artımı değerinin belirlenebilmesi için ya ardışık yaklaşım yapılarak ya da yüklere çok küçük artımlar verilerek çok sayıda hesap yapılması gerekmektedir. Bu durum, sistemde oluşacak plastik kesit sayısına bağlı olarak daha da çok sayıda işlem yapılmasına neden olmaktadır.
- b- Her plastik kesitin oluşumundan sonra ilgili kesitte tek bir plastik şekildeğiştirme bileşenine bağımlı olarak ifade edilebilen sonlu plastik şekildeğiştirmeler oluşmakta ve bu nedenle rijitliği azalan sistemin dış etkiler altındaki davranışı da değişmektedir. Bu durumda her plastik kesitin oluşumundan sonra sistem yeni bir sistem olarak ele alınmakta ve yeni sisteme ait denklem takımının yeniden kurulması ve çözülmesi gerekmektedir. Bu işlemler, sistemde oluşacak plastik kesitlerin sayısına bağlı olarak hesapların oldukça uzamasına neden olmaktadır.
- c- Normal kuvvetle birlikte tek eksenli eğilme veya iki eksenli eğilme etkisi ile oluşan bileşik iç kuvvet durumunun akma koşullarında göz önüne alınması ile artan yüklerle birlikte plastik kesitlerdeki iç kuvvetler de sürekli olarak değişmektedir. Daha gerçekçi bir yaklaşım olan bu durumda oluşan plastik kesitlerdeki iç kuvvetlere ait değerlerin her yük artımı için yeniden ardışık yaklaşımla hesaplanması gerekmektedir. Görüldüğü gibi bu durumda da işlem sayısı ardışık yaklaşım sayısına bağlı olarak önemli ölçüde artmaktadır.

Geliştirilen yük artımı yönteminde yukarıda sözedilen sorunlar giderilerek etkin bir yöntem ortaya konmuştur [1,2]. Bu yöntem üzerinde daha ileri çalışmalara halen devam edilmektedir.

Çelik malzemenin davranışı Şekil 2’de görüldüğü gibi ideal *elasto-plastik* olarak göz önüne alınmaktadır. Buna göre geliştirilen yük artımı yöntemini esas alan İMEP-3D bilgisayar programında da düşey yükler, öngörülen bir güvenlik katsayısı çarpılarak sisteme etkitilmekte ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için sistemin ikinci mertebe elasto-plastik analizi yapılmaktadır [2].

Sisteme etkiyen düşey yüklerin belirli bir değeri için, büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olan normal kuvvetler başlangıçta kolaylıkla tahmin edilebilir. Böylece, çubuklara ait rijitlik (birim deplasman) ve yükleme matrislerinin elemanlarını çubukların normal kuvvetlerine bağlı olarak ikinci mertebe teorisinden almak suretiyle süperpozisyon yapılabilmekte ve her plastikleşen kesitin meydana geldiği yük parametresinin hesabı için ardışık yaklaşım yapılmasına gerek kalmamaktadır [1,2].

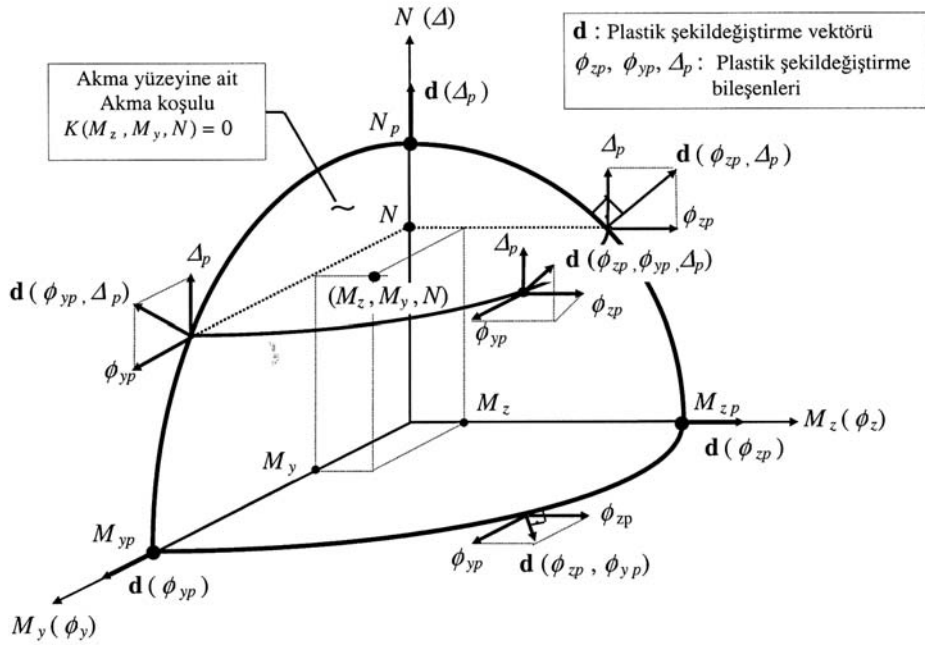
Geliştirilen yük artımı yönteminde, hesap sonucunda bulunan normal kuvvetlerin, başlangıçta tahmin edilen değerlerden çok farklı olduğu ve bu farkın sonuçları önemli oranda etkilemesinin beklendiği durumlarda, sonuç normal kuvvetlere göre hesap tekrarlanabilir. Ancak aşağıda açıklandığı gibi, çok kere hesabın tekrarına gerek kalmamaktadır. Yapı yüksekliğinin kat yüksekliğine oranının büyük olduğu çok katlı yapılarda ikinci mertebe etkilerinin çok önemli bir bölümü kat kolonlarındaki normal kuvvetlerin toplamı ile orantılıdır. Buradan da kolayca görülebileceği gibi kat kolonlarındaki normal kuvvetlerin hesabın başında tahmin edilen değerlerden çok farklı olması durumunda dahi, bunların toplamı sabit kaldığı sürece ikinci mertebe etkilerindeki fark terkedilebilecek mertebededir [14, 15, 2].

Artan yükler altında plastikleşen kesitlerdeki iç kuvvetler akma şartlarını sağlayacak şekilde değişebilmekte, buna karşılık iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekil değiştirme bileşenleri meydana gelmektedir. Plastikleşen bir kesitteki sonlu plastik şekil değiştirme bileşenleri, akma vektörünün akma yüzeyine dik olması özelliği nedeniyle, tek bir plastik şekil değiştirme bileşenine bağlı olarak ifade edilebilmektedir [12].

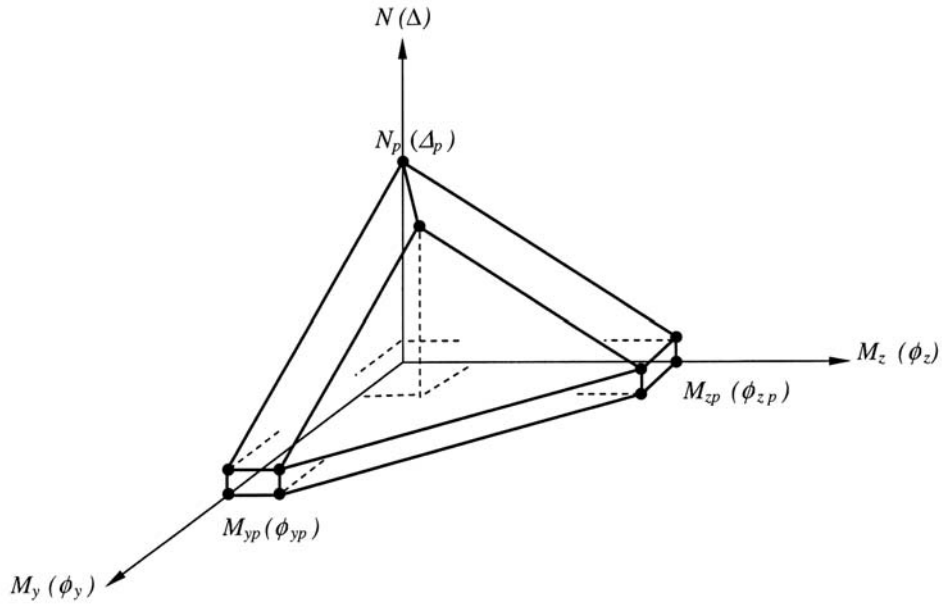
Geliştirilen yük artımı yönteminde her plastikleşen kesitin oluşumundan sonra o kesitteki, seçilen bağımsız plastik şekil değiştirme bileşeninin,

bilinmeyen olarak alınması ve bu kesitteki iç kuvvet durumunun akma yüzeyi üzerinde kaldığını ifade eden yeni bir denklemin, denklem takımına ilave edilmesi öngörülmektedir.

Ayrıca, bileşik iç kuvvet durumunda akma yüzeyinin (Şekil 3) düzlemlerden oluşacak şekilde idealleştirilmesiyle (Şekil 4) ilave edilen denklemin lineer olması sağlanabilmektedir [1,2].



Şekil 3. Bileşik iç kuvvet durumunda üç boyutlu akma yüzeyi [2]



Şekil 4. Düzlemlerle idealleştirilmiş akma yüzeyi [2]

Plastikleşen kesitlerdeki plastik şekildeğıştirmeler esasen bilinmeyen olarak dikkate alındıklarından, bunların ayrıca hesaplanmasına gerek kalmaması, geliştirilen yük artımı yönteminin diğer yöntemlere göre önemli bir üstünlüğüdür.

Diğer taraftan, denklem takımına ilave edilen ve plastikleşen kesitlerdeki iç kuvvet durumunun akma yüzeyi üzerinde kaldığını ifade eden denklemler yardımı ile plastik kesitlerdeki iç kuvvetlerin değışimi de doğrudan doğruya belirlenebilmektedir.

Görüldüğü gibi esasları yukarıda açıklanan yük artımı yöntemi ile malzeme ve geometri değışimleri bakımından lineer olmayan uzay çubuk sistemlerin ikinci mertebe limit yüklerinin hesabı ve *yük artımı-yerdeğıştirme* bağıntılarının tayini, plastik şekildeğıştirme bileşenlerini de içeren tek bir genişletilmiş denklem sisteminin kurulmasına ve bu denklem sistemi ile alt sistemlerinin çözümüne indirgenmiş olmaktadır.

İMEP-3D BİLGİSAYAR PROGRAMI

Uzay çubuk sistemlerin sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan statik analizi (pushover analiz) için geliştirilen etkin bir yük artımı yöntemi [1,2] esas alan İMEP-3D adı verilen bilgisayar programının akış şeması Şekil 5. de görülmektedir [2]. Programda giriş bilgisi olarak verilen bir değişken yardımıyla analizin istenilen ara adımlarına ait çıkış bilgileri gerektiğinde ayrıntılarıyla alınabilmektedir. Bu program yardımı ile uzay çubuk sistemlerin yanısıra düzlem çubuk sistemlerin de malzeme ve geometri değişimi bakımından lineer olmayan statik analizi yapılabilmektedir. Ayrıca yerdeğiştirmelerin denge denklemlerinde ve geometrik uygunluk koşullarında ihmal edildiği birinci mertebe teorisine göre malzeme bakımından lineer olmayan analiz de (*birinci mertebe elasto-plastik analiz*) yapılabilmektedir.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yük artımı yöntemi [2] üzerinde halen bilimsel araştırmalar sürdürülmektedir. Yöntemdeki bu gelişmeleri bilgisayar programına yansıtmak için de çalışmalar yapılmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programı TÜBİTAK tarafından desteklenen bir araştırma projesinde [16] çok sayıda sayısal örneğin (üç binden daha fazla) analizi için kullanılmış ve programın güvenilirliği yapılan değerlendirmelerle kanıtlanmıştır.

İMEP-3D (İkinci Mertebe Elasto-Plastik, 3 boyutlu (uzay sistem)) adı verilen bilgisayar programının giriş ve çıkış bilgileri aşağıda özetlenmiştir.

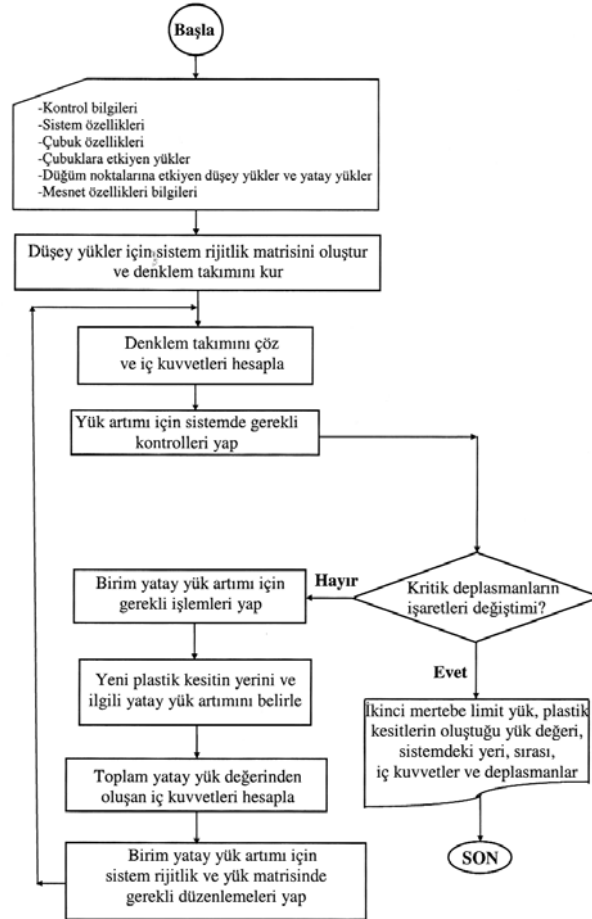
Giriş Bilgileri :

- a- Kontrol bilgileri,
- b- Sistem bilgileri,
- c- Çubuk elemanların özelliklerine ait bilgiler,
- d- Düşey ve yatay yük bilgileri,
- e- Sistemin mesnet özellikleri ile ilgili bilgiler.

Çıkış Bilgileri :

Her yük artımı için aşağıdaki bilgiler çıkış dosyasından alınabilmektedir.

- a- Düşey ve yatay yük artımları ve toplam yükler,
- b- Plastik kesitlerin oluştuğu yerler, sırası, yük artımları, toplam yatay yük değerleri, plastik şekil değiştirme bileşenleri,
- c- Sistemin kesitlerine ait iç kuvvetleri ve yer değiştirmeleri,
- d- Ayrıntılı bilgi istendiğinde giriş bilgisi olarak verilen anahtar değişken sayesinde, yük artımı yönteminin tüm ara hesaplarına ait bilgiler çıkış bilgisi olarak alınabilmektedir.



Şekil 5. İMEP-3D bilgisayar programının özet Akış Şeması

SONUÇ VE ÖNERİLER

İMEP-3D bilgisayar programı ile uzay çelik çerçeve yapıların sabit düşey yükler ve artan yatay yükler (deprem, rüzgar) altında *ikinci mertebe elasto-plastik analizi* etkin bir şekilde yapılabilmektedir. Ayrıca, bu program ile çelik yapıların sadece malzeme bakımından lineer olmayan analizi (*birinci mertebe elasto-plastik analizi*) ve sadece geometri değişimi bakımından lineer olmayan analizi (*ikinci mertebe lineer-elastik analizi*) de etkin olarak yapılabilmektedir. Uzay çelik çerçeve yapıların yanısıra düzlem çelik çerçeve yapıların da lineer olmayan analizleri etkin olarak yapılabilmektedir.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde, çubuk sistemlerin malzeme ve geometri değişimleri bakımından lineer olmayan analizi ile ikinci mertebe limit yükünün hesabı ve *yük-yerdeğiştirme* bağıntılarının tayini, plastik şekildeğiştirme bileşenlerini de içeren tek bir genişletilmiş denklem sisteminin kurulmasına ve bu denklem sistemi ile alt sistemlerinin çözümüne indirgenmiş olmaktadır. Böylece sistemde her plastik kesitin oluşumundan sonra sisteme ait denklem takımının yeniden kurulmasına ve indirgenmesine gerek kalmamakta, bunun yerine bir önceki adıma ait denklem takımında plastik kesitteki plastik şekildeğiştirme bileşeninin bilinmeyen olarak alınması ve sistemdeki rijitlik kaybını ifade eden yeni bir satır ve kolonun eklenmesi yeterli olmaktadır. Böylece, sadece eklenen satır ve kolonun indirgenmesi ile çözüm yapılabilmekte, bu nedenle de işlemler ve işlem süresi oldukça kısalmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programının esas aldığı yöntemin özelliği nedeniyle her plastik kesitin oluşumundan sonra bağımsız plastik şekildeğiştirmeler, sistem denklem takımına ilave bilinmeyen olarak eklendiğinden plastik kesitlerdeki plastik şekildeğiştirmeler için ayrıca bir hesaba gerek kalmadan direkt olarak hesaplanabilmektedir.

Her plastik kesitin oluştuğu yatay yük artımları belirlenirken, yüklere küçük artımlar vererek ardışık yaklaşım yapılmamakta bunun yerine İMEP-3D

programının esas aldığı yük artımı yönteminin etkinliği sayesinde her yük yük artımı için tek bir adım yeterli olmaktadır.

İMEP-3D bilgisayar programı özellikle bilimsel araştırma düzeyindeki çalışmalarda kullanmak için hazırlanmıştır, bu nedenle yeterli alt yapı bilgisine ihtiyaç göstermektedir. Uygulamadaki inşaat mühendislerinin programı kullanabilmeleri için bu yönde geliştirilmesi gerekmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] Özer E., “Determination of the Second-Order Limit Load by a Method of Load Increments”, Bulltein of the Technical University of Istanbul, Vol.40, No.4, pp. 815-836, İstanbul, 1987.
- [2] İrtem, E., “Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, 1991.
- [3] Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, “Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik”, 1998
- [4] SEAOC, Performance Based Seismic Engineering of Buildings, Vision 2000, Structural Engineers Association of California, Washington, DC., USA, 1995.
- [5] ATC, Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, ATC 40, Vol. 1., Applied Technology Council, Washington, DC., USA, 1996.
- [6] FEMA, NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, FEMA 273, Federal Emergency Management Agency, Washington, DC., USA, 1997.
- [7] FEMA, Prestandart and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings FEMA 356, American Society of Civil Engineers, Virginia, USA, 2000.

- [8] FEMA, Improvements of Nonlinear Static Procedures FEMA 440, Applied Technology Council, Washington, DC., USA, 2004.
- [9] Beskos D.E. and Anagnostopoulos S.A., Computer Analysis and Design of Earthquake Resistant Structures a Handbook, CMP, 1997.
- [10] Fajfar P., “A Nonlinear Analysis Method for Performance-Based Seismic Design”, *Earthquake Spectra*, 2000, 16., p.573.
- [11] Aschheim M. and Black E. F., “Yield Point Spectra for Seismic Design and Rehabilitation”, *Earthquake Spectra*, 2000, 16, p. 317.
- [12] Çakıroğlu A. ve Özer E., *Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler*, Cilt-1, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul, 1980.
- [13] A.M. Mwafy and A.S. Elnashai, “Static Pushover Versus Dynamic Collapse Analysis of RC Buildings”, *Engineering Structures*, 200, 23, p.407.
- [14] Özer E., “Lineer Olmayan Sistemlerin Hesabı için Bir Metot”, Doktora Tezi, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Matbaası, İstanbul, 1969.
- [15] Johnston B.G., Ed., *Guide to Stability Design Criteria for Metal Structures*, Third Edition, Wiley-Interscience, 1976, pp. 410-454
- [16] Özer E., İrtem E., Orakdöğen E., Girgin K., Doğaner S. ve Kurtuldu S., “Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Kuvvetleri Altında Gerçek Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı”, Kesin Rapor, Proje No: İNTAG-505, TÜBİTAK, 1994.

A COMPUTER PROGRAM FOR NON-LINEAR STATIC ANALYSIS OF STEEL FRAMED SPACE STRUCTURES

ABSTRACT

In this study, a computer program called IMEP-3D is presented. This program is developed for nonlinear static (pushover) analysis of space frame structures. The program is based on an effective load incremental method. By the use of IMEP-3D the behavior of materially and geometrically non-linear framed space structures can be determined under factored constant gravity loads and increasing lateral loads and the corresponding second-order limit load is calculated.

KARMA BAĞLANTILI DÜZLEMSEL ÇELİK ÇERÇEVELERİN DOĞRUSAL OLMAYAN STATİK ANALİZİ

Mustafa SÖNMEZ

Yrd. Doç. Dr.
Niğde Ü., Aksaray Müh. Fak.,
İnş. Müh. Böl., Aksaray, Türkiye

M. Aydın KÖMÜR

Arş. Gör. Dr.
Niğde Ü., Aksaray Müh. Fak.,
İnş. Müh. Böl., Aksaray, Türkiye

ÖZET

Depreme dayanıklı çelik yapı tasarımında yapının; malzeme, geometri gibi temel özelliklerinin yanında kolon giriş davranışının da göz önüne alınması gereklidir. Bu çalışmada rijit ve karma bağlantılı (rijit ve yarı-rijit bağlantının birlikte kullanıldığı) çelik yapıların davranışı incelenmiştir. Bu amaçla 3 katlı- 4 açıklıklı olarak tasarlanmış bir çelik yapının farklı bağlantı durumları için doğrusal olmayan statik analizleri NPFrame++ programı ile gerçekleştirilmiştir. Yapılar, bir yanal yük biçimi ile FEMA-273 de tanımlanan ve bina toplam yüksekliğinin % 5 ine karşı gelen göçme limit durumuna kadar itilerek kapasite eğrileri karşılaştırılmıştır.

GİRİŞ

Moment taşıyan çelik çerçeveler en çok kullanılan yapı sistemlerinden biridir. Bu sistemler, hazır veya yapma profillerin birbirleri ile birleştirilmesi ile oluşturulur. Söz konusu profiller, çerçeve veya kolon-giriş elemanı olarak adlandırılır ve analizlerde çerçeve elemanı olarak modellenir. Diğer taraftan, bu profilleri birleştiren bağlantılar ise ideal mafsalsal veya rijit davranış varsayımı ile modellenir. Rijit bağlantılarda birleşim yerinin rijitliğinin sonsuz olduğu, ideal mafsalsal ise bağlantının rijitliğinin sıfır olduğu varsayılır. Yani her iki durum için de moment ile dönme arasında bir ilişki olmadığı kabul edilir.

1930'lu yıllardan beri yapılan deneysel çalışmalar, birleşim yerlerinin bu iki uç durum arasında bir davranış gösterdiğini kanıtlamıştır[1]. Eğer yarı-rijit davranış gösteren bir bağlantı, rijit veya mafsallı olarak modellenirse doğru eleman kesitlerinin kullanılmamasına ve yapının gerçek davranışının tam manası ile modellenememesine neden olacaktır[2].

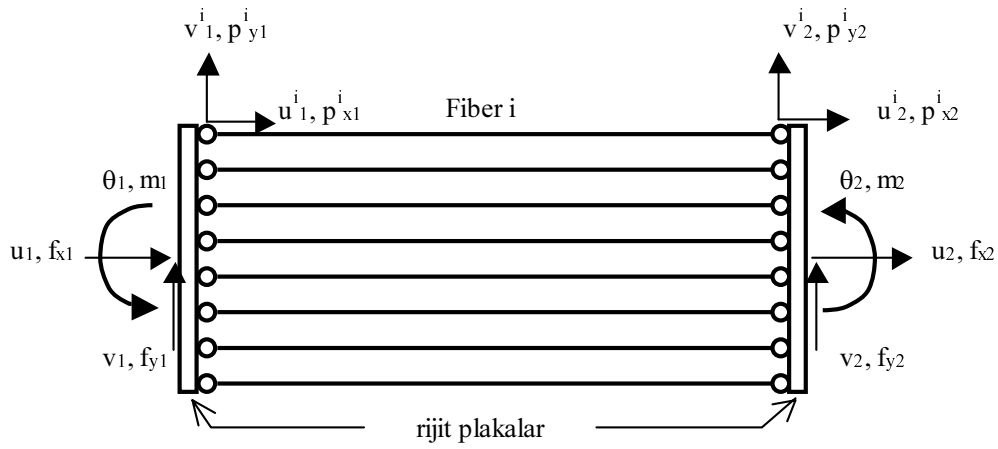
Kolon-kiriş bağlantılarının yarı-rijit olarak modellenmesi durumunda daha ekonomik çerçeve sistemlerin elde edilmesi mümkündür[3]. Özellikle yanal ötelenmesi önlenmiş sistemler için, ideal mafsallı bağlantılar kullanmak yerine yarı-rijit bağlantılar kullanıldığında, kiriş açıklık momentleri, dolayısı ile kirişlerdeki yer değiştirmeler azalacaktır. Bu da daha küçük kiriş kesitlerinin kullanılmasına sağlayacaktır. Sistemin yanal ötelenmesi önlenmemişse, durum yanal ötelenmesi önlenmiş çerçevelerdeki gibi net değildir. Söz konusu sistemde kirişlerin rijit bağlantılı değil de yarı-rijit bağlantılı olarak modellenmesi durumunda kiriş uç momentleri azalacak, açıklık momentleri artacak ve böylece daha küçük kiriş boyutları kullanılabilir. Bununla birlikte kolona aktarılan momentler azalacak ve katlar arası yer değiştirmeler artacaktır. Bu durum ise daha büyük kolon kesiti kullanılmasını gerektirebilir.

AMAÇ

Bu çalışmada çerçevelerin bazı bölgelerinin rijit ve bazı bölgelerin ise yarı-rijit olarak modellenmesi durumunun çerçeve davranışını nasıl etkilediği araştırılmıştır. Bunun için araştırmacıların sıklıkla kullandıkları 3 katlı-4 açıklıklı bir çerçeve sistem dikkate alınmıştır. Söz konusu yapı, tüm bağlantı bölgeleri rijit ve farklı bölgeleri yarı-rijit bağlantılı olmak üzere değişik şekillerde modellenerek 10 farklı çerçeve sistem oluşturulmuştur. Yapı davranışının belirlenmesinde doğrusal olmayan statik analiz yöntemi kullanılmıştır.

ÇERÇEVE ELEMANI VE BİRLEŞİM YERİNİN MODELLENMESİ

NPFrame++ programında malzemenin doğrusal olmayan davranışı plastik bölge yaklaşımı ile modellenmiştir. Bu yaklaşımda plastikleşmenin çerçeve elemanı boyunca ve derinliğince yayıldığı varsayılır. Plastikleşmenin eleman derinliğince yayılmasını modellemek için çerçeve elemanı fiberlere bölünmüştür ve her bir fiberin kafes elemanı gibi davrandığı varsayılmıştır (Şekil 1). Bu yaklaşımda düzlem dışı ve yerel burkulmalar ihmal edilmiştir.



Şekil 1. Çerçeve elemanı

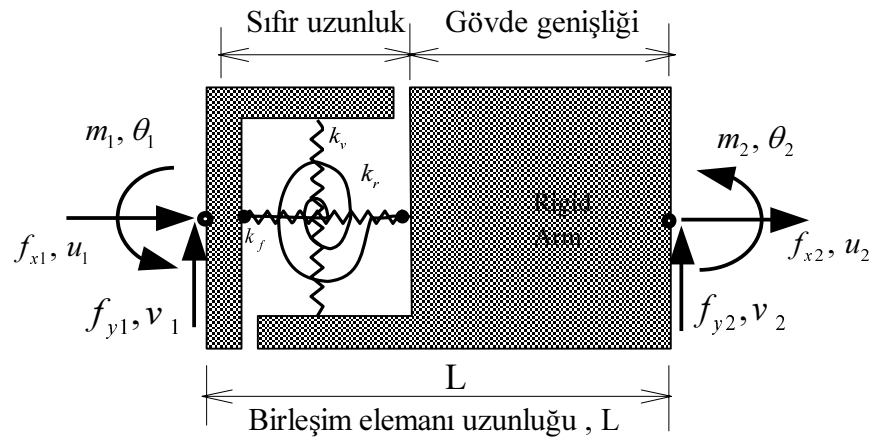
Çerçeve elemanları, Timoshenko Kiriş teorisi ve Updated Lagrangian konfigürasyonu kullanılarak formüle edilmiştir. Geometrik olarak doğrusal olmayan davranış ise geometrik rijitlik matrisi yardımı ile analize dahil edilmiştir. Kuvvet-yer değiştirme arasındaki artımsal ilişki,

$$\left([k_{fl}] + [k_{sh}] + [k_g] \right) \{u\} + \{^1 f\} = \{^2 f\} \quad (1)$$

şeklinde yazılabilmektedir. Burada verilen $[k_{fl}]$, kayma direnci göz önüne alınmadan elde edilen artımsal rijitlik matrisidir. Bu matris sadece fiberlerin etkisi göz önüne alınarak hesaplanmıştır. $[k_{sh}]$, sadece kayma direncini temsil eden artımsal rijitlik matrisidir. $[k_g]$ ise geometrik rijitlik matrisi olarak adlandırılır ve çerçeve elemanının geometrisinin değişiminden dolayı meydana gelen doğrusal olmayan davranışı temsil etmesi için kullanılır.

Aynı zamanda bu matris eleman üzerindeki eksenel kuvvet ve uç momentlerin fonksiyonudur. Artımsal rijitlik matrisi formüle edilirken Updated Lagrangian yaklaşımı kullanıldığı için denklem 1 en son bilinen konfigürasyona göre yazılmıştır. Denklem 1 de verilen $\{^1f\}$ ve $\{^2f\}$ sırası ile artım başlamadan önceki ve sonraki eleman uç kuvvetlerini, $\{u\}$ ise düğüm noktalarındaki artımsal yer değiştirmelerini temsil eder.

Birleşim yerleri ise kolon ve kirişlerden bağımsız olarak, birleşim yeri elemanı kullanılarak modellenmiştir. En basit hali ile birleşim elemanının modellenmesinde rijit bir kol ve buna bağlı eksenel, yanal ve dönel yay kullanılmıştır(Şekil 2). Yarı-rijit bağlantı yeri modelinin matematiksel ifadesi denklem 2 de verilmiştir.



Şekil 2. Birleşim elemanı

$$([k_c] + [k_g]_e)\{u\} + \{^1f\} = \{^2f\} \quad (2)$$

$[k_c]$ birleşim elemanın artımsal rijitlik matrisi olup açık formda denklem 3 deki gibi

$$[k_c] = \begin{bmatrix} k_a & 0 & 0 & -k_a & 0 & 0 \\ 0 & k_v & 0 & 0 & -k_v & Lk_v \\ 0 & 0 & k_r & 0 & 0 & -k_r \\ -k_a & 0 & 0 & k_a & 0 & 0 \\ 0 & -k_v & 0 & 0 & k_v & -Lk_v \\ 0 & Lk_v & -k_r & 0 & -Lk_v & k_r + L^2k_v \end{bmatrix} \quad (3)$$

yazılabilir. Burada, k_a and k_v birleşim elemanın eksensel ve yanal rijitliklerini temsil eder. Eğer eksensel ve yanal şekil değiştirmeler ihmal edilecek ise k_a ve k_v değerleri için sırası ile $AE \times 10^5$, $AG \times 10^5$ kullanılabilir. Burada E kirişin elastisite modülünü, A alanını, G kayma modülünü ve L ise uzunluğunu göstermektedir.

Birleşim elemanın dönme rijitliği, k_r , ise dönme açısının bir fonksiyonu olarak tanımlanabilir. Moment ile dönme arasındaki ilişki için bir çok matematiksel yaklaşım vardır. Bunların en yaygın olarak kullanılanlarından biri üç-parametrelili matematiksel yaklaşımdır. Bu yaklaşımın matematiksel gösterimi,

$$M(\theta) = \frac{k_e \theta}{[1 + (\theta/\theta_o)^n]^{1/n}} \quad (4)$$

olarak verilmektedir. Burada k_e birleşim elemanın ilk rijitliği, θ_o referans plastik dönme kapasitesi olup M_0/k_e ye eşittir. M_0 birleşim elemanın moment kapasitesi, n ise şekil fonksiyondur. Denklem 3 ün dönmeye göre türevi birleşim elemanın rijitliğini vermektedir. Denklem 4 den de anlaşılacağı gibi dönme rijitliği k_e , M_0 ve n parametrelerine bağlıdır. Bundan dolayı bu yöntem üç-parametrelili yaklaşım olarak adlandırılır. Tüm bu

parametreler birleşim yerinin fiziksel özelliklerine bağlıdır. Bu parametreleri belirlemek için deneysel ve analitik olmak üzere iki farklı yöntem vardır. Her bir birleşim yeri için deney yapmak her zaman mümkün olmadığından dolayı analitik olarak tahmin etmek daha kolaydır. Üç-parametre modelinde kullanılan parametrelerin hesabı için [4] ve [5] nolu kaynaklara bakılabilir.

Denklem 2 de verilen $[k_g]_e$ birleşim elemanının uzunluğundan dolayı meydana gelen geometrik rijitlik matrisidir. Bu matris aynı zamanda dış geometrik rijitlik matrisi olarak adlandırılır ve aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$[k_g]_e = \begin{bmatrix} 0 & \frac{m_1 + m_2}{L^2} & 0 & 0 & -\frac{m_1 + m_2}{L^2} & 0 \\ \frac{m_1 + m_2}{L^2} & \frac{p_2}{L} & 0 & -\frac{m_1 + m_2}{L^2} & -\frac{p_2}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{m_1 + m_2}{L^2} & 0 & 0 & \frac{m_1 + m_2}{L^2} & 0 \\ -\frac{m_1 + m_2}{L^2} & -\frac{p_2}{L} & 0 & \frac{m_1 + m_2}{L^2} & \frac{p_2}{L} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Burada p_2 , m_1 , m_2 bilinen en son konfigürasyondaki eleman üzerindeki eksenel yük ve momentleri verir. Indis olarak 1 ve 2 rakamları düğüm noktalarının numaralarıdır. Gözden kaçmaması gereken bir noktada denklem 6 da verilen birleşim elemanı artımsal rijitlik matrisi kırışteki sağ birleşim elemanı içindir. Birleşim elemanının sağda olması durumunda denklem 6 yeniden yazılmalıdır.

STATİK İTME ANALİZİ

İtme analizi, kullanılan bir yanal yük biçimi ile yapının elastik bölge ötesine itilmesine dayanmaktadır. İtme işlemi sonucunda, taban kesme kuvvetinin en üst kat yer değiştirmesi ile değişiminden oluşan kapasite eğrisi elde edilmektedir. İtme analizinde yanal yük biçimi belirlenmesi gereken önemli parametrelerden biridir. En çok kullanılan yanal yük biçimleri; ters üçgen (k=1), parabolik (k=2) ve düzgün yayılı yanal yüklerdir[6]. Bu çalışmada dikkate alınan yanal yük dağılımı Denklem 6 ile ifade edilebilmektedir.

$$F_i = \frac{w_i h_i^k}{\sum_{j=1}^n w_j h_j^k} V_b \quad (6)$$

Burada; w_i i. kat ağırlığını, V_b taban kesme kuvvetini, h_i i. katın zeminden yüksekliğini ve k ise binanın doğal titreşim periyoduna bağlı bileşeni temsil etmektedir.

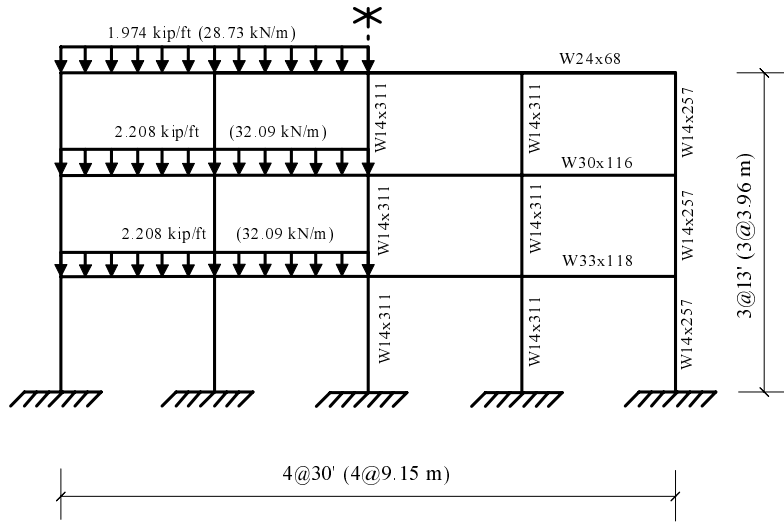
İtme işlemi genellikle ters üçgen şeklindeki yanal yük (k=1) ile gerçekleştirilebilmektedir. Yapılan çalışmalar, söz konusu yanal yükün, birinci modun hakim olduğu az katlı yapılarda kullanılmasının iyi sonuçlar verdiğini göstermiştir[7]. Yüksek modların hakim olduğu çok katlı binalar için parabolik yanal yük dağılımı (k=2) kullanılmalıdır.

İtme analizi kuvvet ve yer değiştirme kontrollü olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Kuvvet kontrollü itme analizinde önceden belirlenmiş yanal yük biçimi yapıya artımsal olarak uygulanmaktadır. Yer değiştirme kontrollü itme analizinde ise, bir yanal yük şekli seçilir ve bu yanal yük şeklinin büyüklüğü, önceden belirlenmiş yer değiştirme değerine ulaşmak için adım adım değiştirilir ve yapının istenen yer değiştirmesine karşılık gelen kuvvet miktarı hesaplanır.

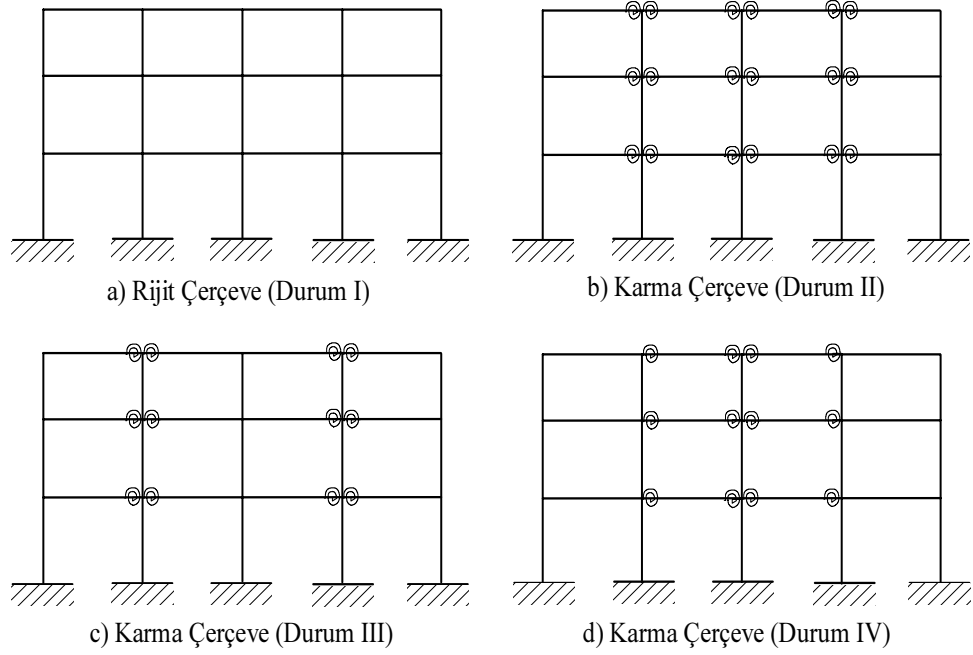
SAYISAL UYGULAMA

Bu çalışmada kullanılan 3 katlı–4 açıklıklı çerçeve sistem daha önce Gupta ve Krawinkler[8], Hasan ve diğ. [9] tarafından çalışılmıştır (Şekil 3). Uniform Building Code[10]’ a göre tasarlanmış moment taşıyan çelik çerçeve, sabit açıklıklı (9.14 m) ve sabit yüksekliklidir (3.96 m). Bu çerçeve sistem 3 farklı birleşim elemanı için analiz edilmiştir. Birleşim yerleri birinci durumda rijit olarak, ikinci ve üçüncü durumda ise yarı-rijit olarak tasarlanmıştır. Yarı-rijit bağlantı yerinin rijitlik parametresi olarak $k_e=EI/(0.167*L)$ ve $n=10$ kullanılmıştır. Bunun amacı kirişlerdeki uç momentler ile açıklık momentlerinin eşit olmasını sağlamaktır. Bundan dolayı yarı-rijit bağlantılı çerçeve sistemi için yeni bir tasarım yapılmamıştır. Birleşim elemanı için moment taşıma kapasitesi, kirişlerin plastik moment taşıma kapasitelerinin % 40 ve % 80’i olarak alınmıştır. Kolon ve kirişler sırasıyla 6 ve 8 eşit parçaya bölünerek modellenmiştir.

Bütün kolonlar 50 ksi (345 MPa) çeliği ve kirişlerde ise 36 ksi (248 MPa) çeliği olarak tanımlanmıştır. Kolonlarda beklenen akma gerilmesi 57.6 ksi (397 MPa) ve kirişlerde ise 49.2 ksi (339 MPa) olarak kullanılmıştır. Çerçeve sistem Amerikan kesitlerinden imal edilmiştir. Dış kolonlarda W14×257 profili, iç kolonlarda ise W14×311 profili kullanılmıştır. Birinci, ikinci ve çatı katı kirişlerinde sırasıyla W33×118, W30×116 ve W24×68 profilleri kullanılmıştır. Düşey yükler çatı katında 1.97 kips/ft (28.7 kN/m), normal katlarda ise 2.2 kips/ft (32.02 kN/m) olarak dikkate alınmıştır.



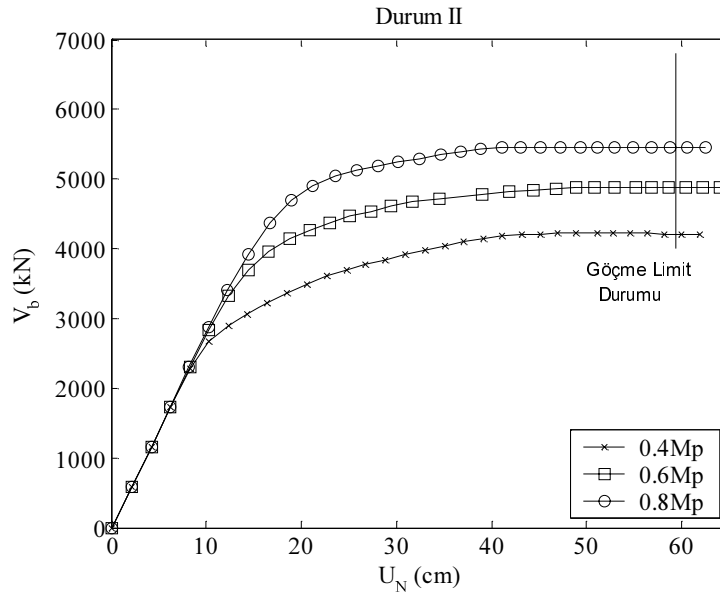
Şekil 3. Çalışmaya konu olan çelik çerçeve sistem



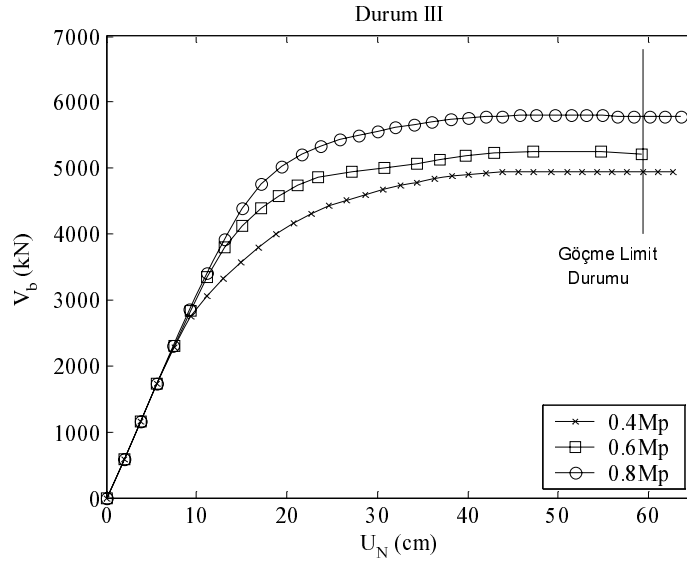
Şekil 4. Karma bağlantılı çerçevelerin adlandırılması

ANALİZ SONUÇLARI

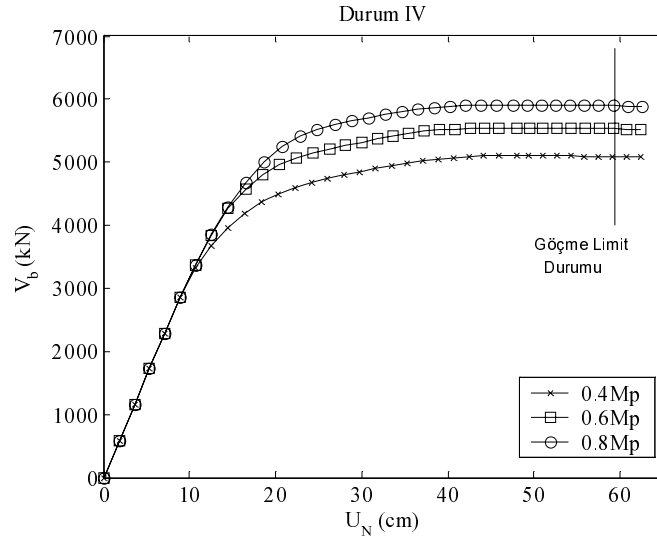
Yukarıda belirtilen açıklamalar çerçevesinde tüm durumlar için doğrusal olmayan statik itme analizi yapılmıştır. Analizde, sisteme düşey yükler uygulandıktan sonra yanal yükler artımsal olarak uygulanmıştır. Yanal yük artımı, FEMA-273 de tanımlanan ve bina toplam yüksekliğinin % 5 ine karşı gelen göçme limit durumuna ulaşınca kadar devam ettirilmiştir. Analiz sonucunda bir çerçevenin farklı bağlantılı durumlar için taban kesme kuvvetlerinin çatı yerdeğiştirmeleri ile değişiminden oluşan kapasite eğrileri elde edilmiştir(şekil 4-6). Daha sonra çerçevenin rijit bağlantılı yerine karma bağlantılı olarak modellenmesi durumlarında taban kesme kuvvetlerinde ve çatı yerdeğiştirmelerinde meydana gelen azalmalar şekil 7-8 de verilmiştir.



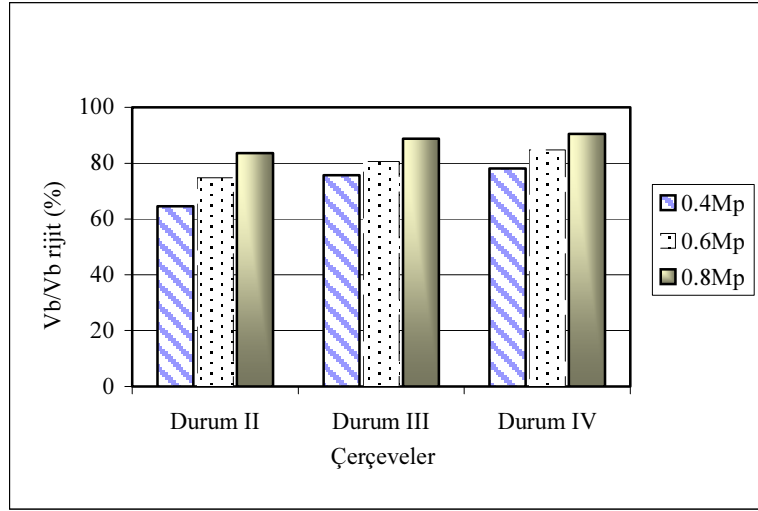
şekil 4. Farklı bağlantılar için kapasite eğrileri (Durum II)



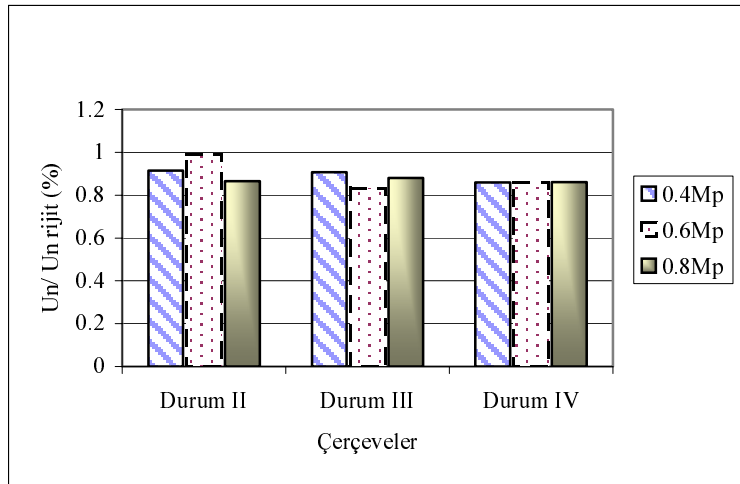
Şekil 5. Farklı bağlantılar için kapasite eğrileri (Durum III)



Şekil 6. Farklı bağlantılar için kapasite eğrileri (Durum IV)



Şekil 7. Farklı durumlar için taban kesme kuvvetleri oranları



Şekil 7. Farklı durumlar için çatı yerdeğiştirme oranları

SONUÇ

Bu çalışmada 3 katlı-4 açıklıklı çelik düzlem çerçeve sistemin farklı bağlantı durumları için itme analizi yapılmıştır. Çerçeve sistemin itme analizinde, doğal titreşim periyodunun 0.5 sn den büyük olması nedeniyle çok modlu yanal yük biçimi kullanılmıştır. Söz konusu yanal yük ile çerçeve sistem, Fema-273 de verilen ve bina yüksekliğinin %5 ine karşı gelen göçme limit durumuna kadar itilmiştir. Çalışmadan elde edilen bazı sonuçlar aşağıda verilmiştir:

Çerçeve sistemin yanal yük taşıma kapasitesi rijit durumda karma durumlara göre doğal olarak daha büyük çıkmıştır. Durum III ve Durum IV hemen hemen aynı kapasiteye sahipken Durum II de kapasitesin daha düşük olduğu gözlenmiştir. Yarı-rijit bağlantıların moment kapasitelerin artırıldığı durumlarda çerçevelerin yanal yük taşıma kapasitelerinin de arttığı gözlenmiştir.

Yer değiştirmeler açısından bakıldığında rijit çerçevenin göçme limit durumundaki yerdeğiştirmesi, diğer durumlara göre daha büyük çıkmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Rathburn, J.S., "Elastic properties of riveted connections," Transaction of ASCE Journal of Engineering Mechanics, Vol. 101, 1936, pp. 524-543.
2. Chan, S. L. and Ho, G.W., "Nonlinear vibration analysis of steel frames with semi-rigid connections", Journal of Structural Engineering, Vol. 120, 1994, pp. 1078-1087.
3. Chirstopher, J.E. and Bjorhovde, R., "Response characteristics of frame with semi-rigid connections," Journal of Constructional Steel Research, Vol. 46, 1998, No. 1-3, pp. 1-13.
4. Kishi, N., Chen, W. F., Goto, Y. and Hasan, R., "Behavior of Tall Building with Mixed Use of Rigid and Semi-Rigid Connections", Computers & Structures, Vol. 61, No. 6, 1996, pp.1193-1206.
5. Sonmez, M., Elasto-plastic large displacement analysis of planer frames with joints flexibility using finite element method, 2000, Ph.D. thesis, Civil and Env. Engineering Dept., University of Pittsburgh, PA. USA.
6. FEMA-273, NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings, Federal Emergency Management Agency, 1997, Washington.
7. Krawinkler H. and Seneviratna, G.D.P.K., "Pros and cons of a pushover analysis of seismic performance evaluation," Engineering Structures, Vol. 20 No. 4-6, 1998, pp. 452-464.
8. Gupta, A. and Krawinkler, "Behaviour of ductile SMRFs at various seismic hazard levels," Journal of Structural Engineering, Vol. 126, No. 1, 2000, pp. 98-106.
9. Hasan, R., Xu, L. and Grierson, D.E., "Push-over analysis for performance-based seismic design," Computers and Structures, Vol. 80, 2002, pp. 2483-2493.
10. Uniform Building Code.

NONLINEAR STATIC ANALYSIS OF STEEL FRAMES WITH MIXED USED OF RIGID AND SEMI-RIGID CONNECTIONS

Abstract

Geometric and material nonlinearities as well as connection flexibilities must be taken into account in design of steel structures build in the seismic region. In this study, affects of a mixed used of rigid and semi-rigid connection on the steel frames behavior is studied. For this purpose, a four bay three-story frame is modeled ten different cases, then is analyzed using NPFrame++ computer program. For all case, frames are push until their ultimate lateral load capacity. Lateral load capacity curves and lateral deflections due to these lateral forces whose pattern are calculated based on FEMA-273, are obtained. A mixed used of rigid and semi-rigid connection on the steel frames reduces the lateral load capacity and lateral deflection on the ultimate load slightly.

TEK KATLI ÇELİK ENDÜSTRİ YAPILARININ DÜZLEMSEL TASARIM VE ANALİZ YAZILIMI: ÇELİKPRO2005

Özgür BOZDAĞ

İnşaat Yüksek
Mühendisi

Araştırma Görevlisi

Dokuz Eylül

Üniversitesi

İzmir, TÜRKİYE

Mutlu SEÇER

İnşaat Yüksek
Mühendisi

Araştırma Görevlisi

Dokuz Eylül

Üniversitesi

İzmir, TÜRKİYE

Mehmet KAPAR

İnşaat Mühendisi
İzmir, TÜRKİYE

ÖZET

Bu çalışmada, yapısal çelik kullanımını yaygınlaştırmak amacı ile geliştirilen ÇelikPro2005 adlı bir yazılım sunulmuştur. Bu yazılım, tek katlı çelik endüstri yapılarının düzlemsel tasarım ve analizinde kullanılmak üzere hazırlanmıştır.

Yazılımın başlıca hedefi, çelik yapı projelerinde farklı seçeneklerin analizini kolaylaştırarak en ekonomik ve güvenli çözüme hızlı bir şekilde ulaşılmasını sağlamaktır. ÇelikPro2005 ile büyük zaman alan proje detay çizimleri sorun olmaktan çıkmakta ve tasarım hızlandırılmaktadır.

GİRİŞ

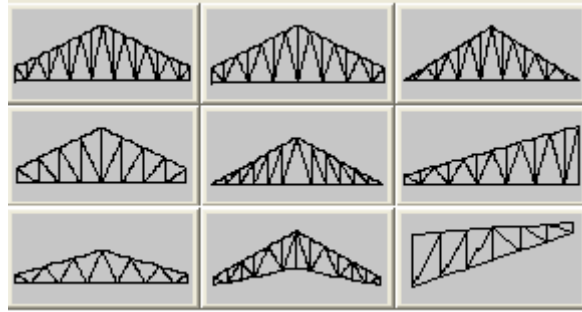
Sanayi yapıları, fabrikalar, spor tesisleri, hangarlar ve ticaret merkezleri gibi büyük hacimli endüstri yapılarının örtülmesinde çelik çatılar sıkça kullanılmaktadır. Bu tip çatılar hem geniş alanlar sorunsuz olarak kapatılabilmekte hem de estetik bir görünüm sağlamaktadır.

Çelik çatı makasının plandaki düzeni, makas tipi, en kesit şekli, en kesit boyutları ve konstrüktif detaylar yapının kullanım amacı, ışıklandırma, ısı izolasyonu, havalandırma ve benzeri unsurlar gözönüne alınarak belirlenir. Öngörülen tüm bu ayrıntılar ışığı altında en uygun ve en ekonomik çatı sisteminin seçilmesi önemli bir konudur.

Hızla gelişen bilgisayar teknolojisi mühendislere estetik, emniyetli ve ekonomik yapılar yapabilmek için gerekli imkanları sunmaktadır. ÇelikPro2005 yazılımı, bu amaçla Türk standart ve yönetmeliklerine uygun olarak tek katlı endüstri yapılarının tasarlanması için hazırlanmıştır.

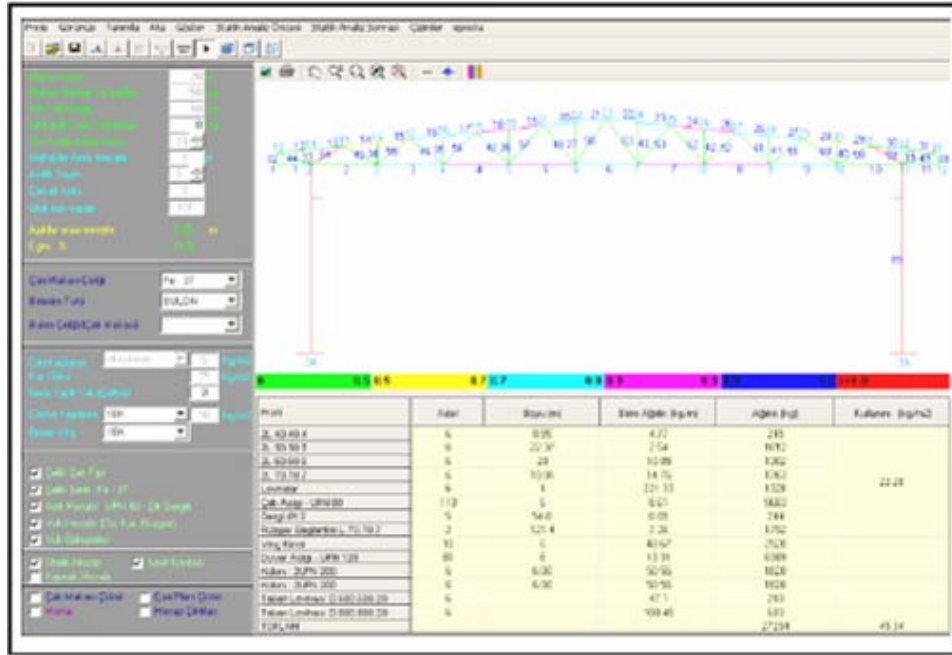
ÇELİKPRO2005 TASARIM VE ANALİZ YAZILIMI

Yazılım, çelik çatı ve tek katlı endüstri yapılarının rutin hesaplarının hızlı ve doğru olarak yapılabilmesi için hazırlanmıştır. Bu amaçla yazılımda, uygulamada en çok kullanılan dokuz çelik çatı tipi kullanılmıştır. Kullanılan çatı tipleri Şekil 1’de verilmiştir.



Şekil 1. Makas Tipleri

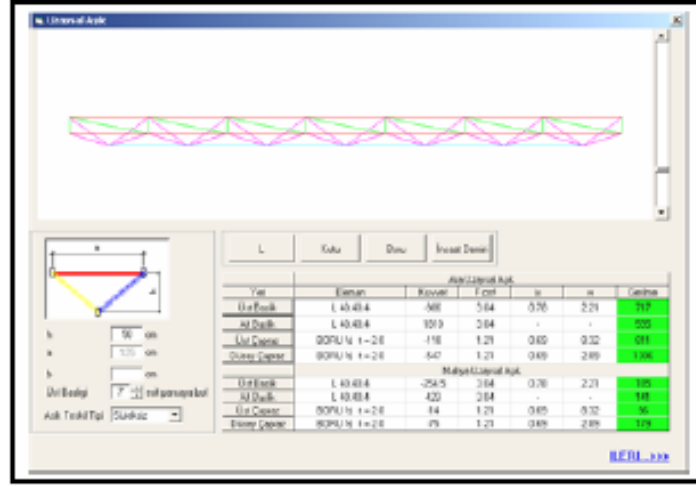
Makas tipi seçildikten sonra gelen kullanıcı ara yüzü yardımı ile çelik çatının kaplama malzemesi, aşık aralığı, aşık tipi, makas açıklığı, mahya yüksekliği, makas sayısı ve benzeri birçok özelliği yazılıma veri olarak girilir. Kullanıcı ara yüzü Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2. Kullanıcı Ara Yüzü

Aşıklar dolu gövdeli profiller, bükme saç veya uzaysal aşıklar olarak seçilebilmektedir. Genel olarak çelik çatılarda dolu gövdeli elemanlar aşıklar olarak kullanılmaktadır. Ancak, ekonomi sağlamak veya sanayi tesislerinde kullanılan büyük makinelerin yerleştirilebilmesi gibi amaçlar ile uzaysal aşıklar kullanılarak büyük açıklıklar geçilebilir. Uzaysal aşığın tanımlanması için kullanılan ara yüz Şekil 3’de gösterilmiştir.

Çelik çatının geometri ve malzeme özellikleri tanımlandıktan sonra yazılım, çatıya gelecek olan yükleri TS 498’e göre hesaplayarak gerekli yük birleşimlerini hazırlamaktadır. Yazılımın çelik çatı tasarımı kullandığı yük birleşimlerinin bir kısmı Tablo 1’de verilmiştir.



Şekil 3. Uzaysal Aşık Tanımlama Ara Yüzü

Çatıya etkiyen yüklerden kaplama, aşık, makas, kar ve tesisat yükleri esas, rüzgar ve deprem yükleri ise ilave yüklerdir. Yapıda gezer vinç bulunması durumunda vinç yüklerini içeren yük birleşimleri de dikkate alınır. İstenmesi durumunda özel yük birleşimleri tanımlanabilmektedir.

Tablo 1. Yazılımda Dikkate Alınan Yük Birleşimleri

Yük Birleşimi Adı	Sınıfı
Makas Öz+Kaplama+Aşık	E.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar	E.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Yarımlı Kar	E.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar+Vinç Solda	E.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar+Vinç Sağda	E.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar+Vinç Solda +Rüzgar Sol	E.İ.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar+Vinç Sağda+Rüzgar Sağ	E.İ.Y.
Makas Öz+Kaplama+Aşık+Kar+Deprem	E.İ.Y.

Çelik çatılar yapıdan bağımsız olarak veya kolonlarla beraber tek katlı yapı olarak çözülebilmektedir. Kolonlar çelik veya betonarme olarak seçilebilmektedir. Çelik kolonlar tek parçalı veya çok parçalı basınç çubuğu olarak tasarlanabilmektedir. Seçilen kolon tipine göre kolonun geometrik özellikleri belirlenmektedir. Kolon özelliklerinin tanımlandığı ara yüz Şekil 4’de verilmiştir.

Yazılımda gezer vinç (kren) tanımlama olanağı da mevcut olup, kolon hesaplarında dikkate alınmaktadır. Gezer vinçten dolayı oluşan kesit tesirleri dikkate alınarak vinç kirişi, dolu gövdeli veya petek kiriş olarak tanımlanabilmektedir. Kolon hesapları yapılırken vinçten dolayı meydana gelecek kuvvetler de dikkate alınmaktadır.

KOLON KESİTİ

Kolon Numarası: 28

Çelik Kolon Malzeme: Çelik Türü: Fe - 37

Kolon Kesiti: Bx: 168 mm, H: 120 mm

U Profil: UPN, UPE, U Profil: UPN 120

I Profil: IPN, IPE, HEA, HEB, I Profil: IPN 120

KESİT TANIMLA

Kolon Kesit Özellikleri

F	48,2	cm ²
I _{xx}	1680	cm ⁴
I _{yy}	1056	cm ⁴
W _{xx}	280	cm ³
W _{yy}	125,7	cm ³
i _x	5,9	cm
i _y	4,68	cm
E	2100000	kg/cm ²

Bağ Levhası Bilgileri

Bağ Levhası Adeti: 5

Bağ Levhaları arası: cm

Levha Boyutları b-h: 150 100 5 mm

BAG LEVHALI BOYDAN LEVHALI

[İLERİ...>>>](#)

Şekil 4. Kolon Tanımlama Ara Yüzü

Statik analiz aşamasında çelik çatı kolonlar ile birlikte modellenerek sistem matris deplasman yöntemi ile çözülmektedir. Yapısal çözümleme düzlem çerçeve olarak yapılmaktadır. Çözümlemede doğrusal olmayan malzeme davranışı ve ikinci mertebe etkiler dikkate alınmamıştır.

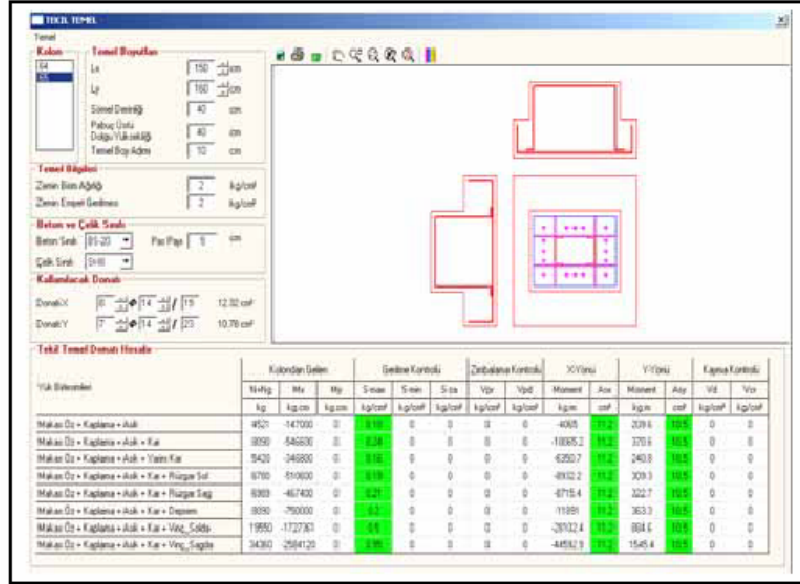
Yapısal çözümle sonucu bulunan kesit tesirleri kullanılarak çatı elemanlarındaki ve kolonlardaki gerilmeler hesaplanarak TS 648 ve 1998 Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik ilkelerine göre kontrol edilmektedir. Yazılım, elemanların gerilme durumunu emniyet gerilmesi değerine oranlayarak kapasite kullanımını renk ölçeği kullanarak sunmaktadır.

Çelik çatı eleman birleşimleri kaynaklı veya bulonlu olarak teşkil edilebilmektedir. Çatı eleman birleşimlerinde gerekli olan bulon sayısı yazılım tarafından hesaplanmaktadır. Genelde daha sık karşılaşılan kaynaklı birleşimlerin kullanılması durumunda kaynak boyu seçilen kaynak kalınlığına göre belirlenmektedir. Ayrıca birleşim levhaları boyutları yazılım tarafından hesaplanabilmektedir.

Üst yapı tasarımından sonra, statik analizden elde edilen kesit tesirleri kullanılarak kolonlar için taban levhası ve tekil temel hesabı yapılabilmektedir. Taban levhasındaki elemanların kaynak ve ankraj bulonu hesapları kesit tesirlerine göre hesaplanmaktadır. Taban levhası hesabı için kullanılan ara yüz örneği Şekil 5’de verilmiştir.

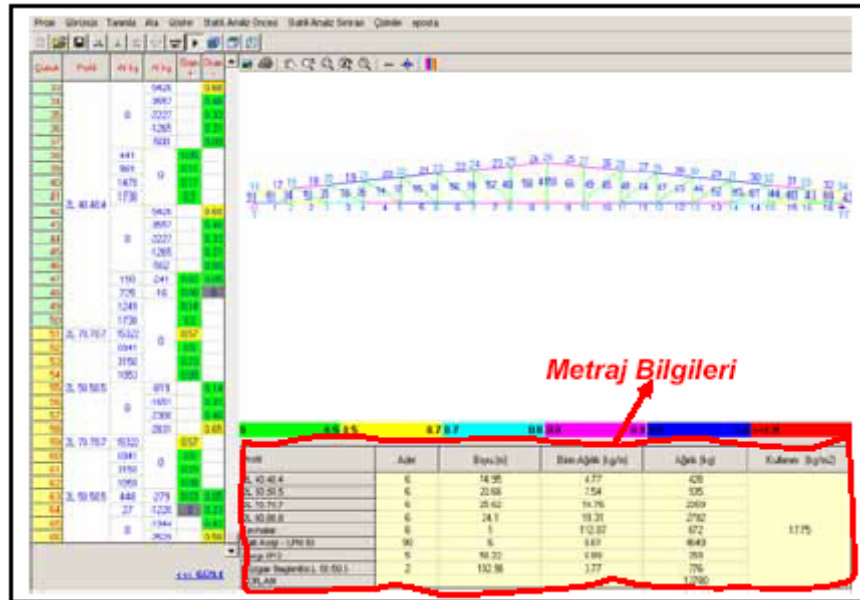
Şekil 5. Taban Levhası Ara Yüzü

Statik analizden elde edilen kesit tesirlerine göre tekil temelin ön boyutlandırması yapılır. Seçilen boyutlara göre kesme, zımbalama ve temel altındaki zeminin taşıma gücü kontrolleri yapılarak kesitin yeterli olup olmadığı kontrol edilir ve donatısı hesaplanır. Yazılım, tekil temeller için de çeşitli çelik ve beton sınıfı tanımlama olanağı sunmaktadır. Tekil temel ara yüzü Şekil 6’da sunulmuştur.



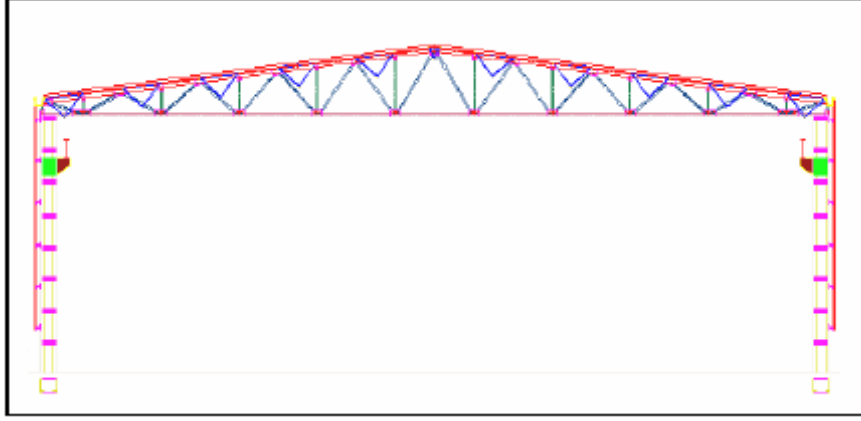
Şekil 6. Tekil Temel Ara Yüzü

Yazılım yukarıda açıklanan statik hesap ve kesit kontrollerinin yanında metraj, iki ve üç boyutlu çizimleri hazırlamaktadır. Kesitlerin belirlenmesi aşamasında seçilen elemanlara göre metraj sürekli olarak yenilenmekte ve ekranda tablo halinde gösterilmektedir. Bu tabloda kullanılan profil türü, miktarı ve ağırlığı bu tablodan her tasarım adımında takip edilebilmektedir. Ayrıca birim alanda kullanılan malzeme miktarı sürekli yenilenmekte ve bu şekilde tasarlanan yapının maliyeti her adıma izlenebilmektedir. Metraj tablosunda beton ve çelik metrajı ayrı ayrı verilmektedir. Bu tablonun mühendise sağladığı en büyük avantaj yapı tasarımı bittiği anda yapıda kullanılacak malzeme miktarının ve maliyetinin aynı anda elde edilebilmesidir. Yazılımın oluşturduğu bir metraj tablosu Şekil 7’de gösterilmiştir.

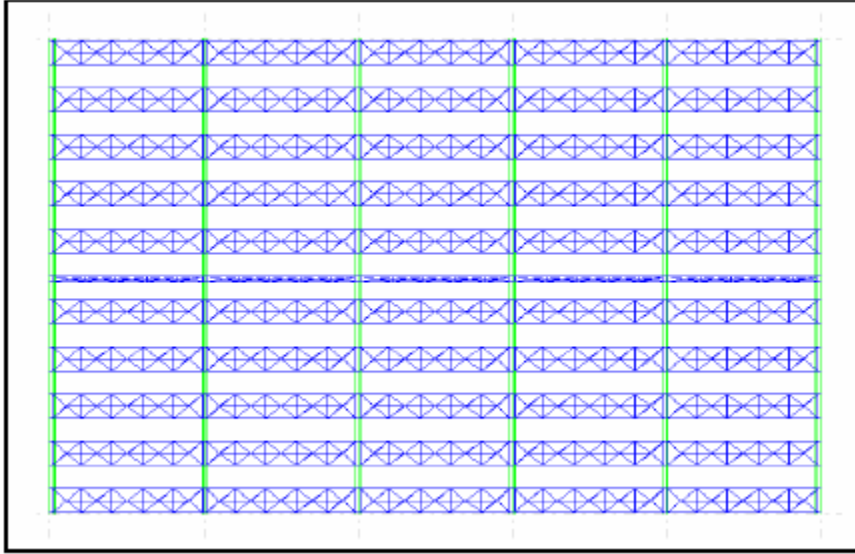


Şekil 7. Metraj Tablosu

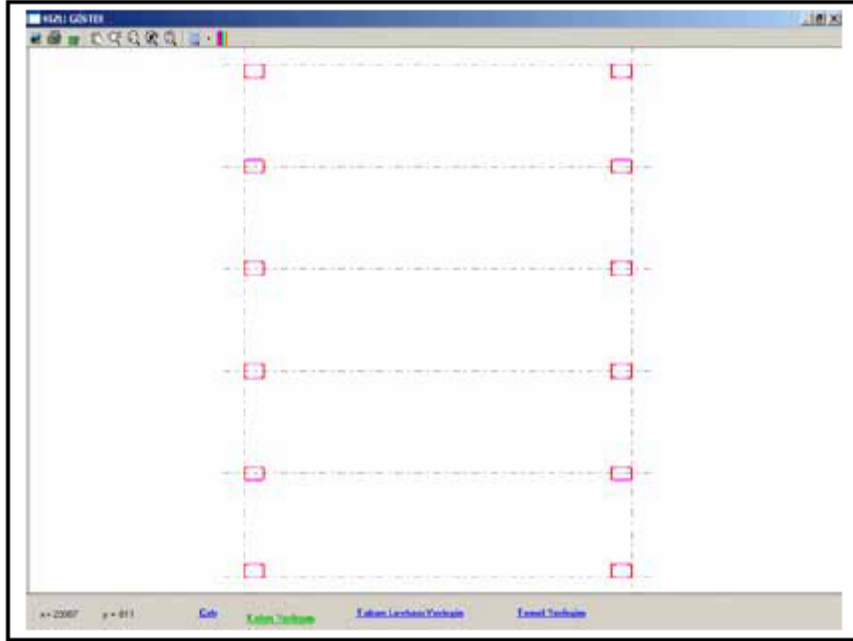
Çelik yapıların uygulamada sorunsuz bir şekilde yapılabilmesi için mümkün olduğunca fazla detay çizimleri hazırlanması gerekir. Ancak detay çizim sayısı arttıkça bu çizimlerin hazırlanması büyük emek ve zaman gerektirmektedir. ÇelikPro2005 yazılımı tasarımı biten yapının gerekli olan; yapı enkesiti, çatı planı, kolon yerleşimi, taban levha yerleşimi, temel yerleşimi çizim paftalarını hazırlayabilmektedir. Yazılımın hazırladığı örnek yapı enkesiti Şekil 8’de, çatı planı Şekil 9’da, kolon yerleşim planı Şekil 10’da, taban levha yerleşim planı Şekil 11’de, temel yerleşim planı Şekil 12’de verilmiştir.



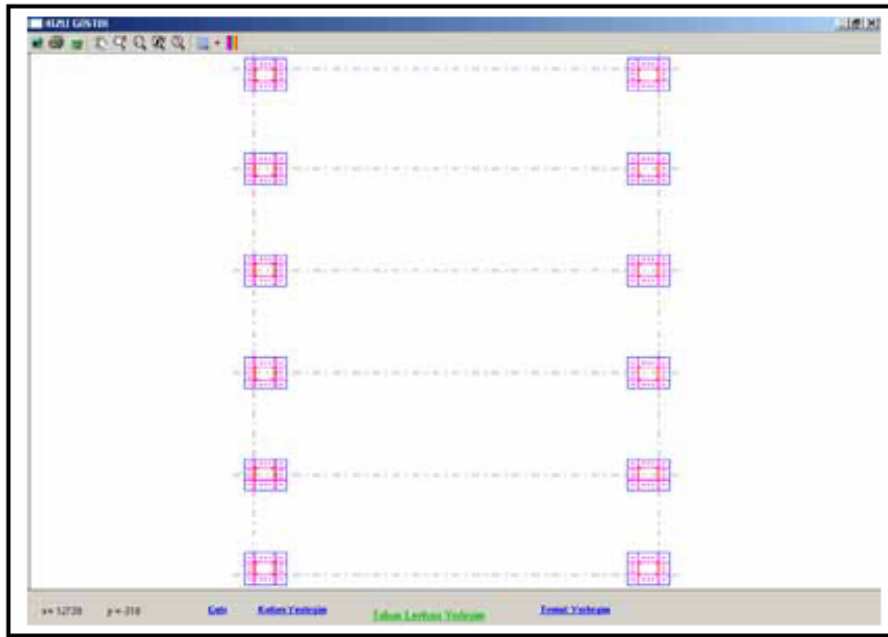
Şekil 8. Yapı Enkesit Görünüşü



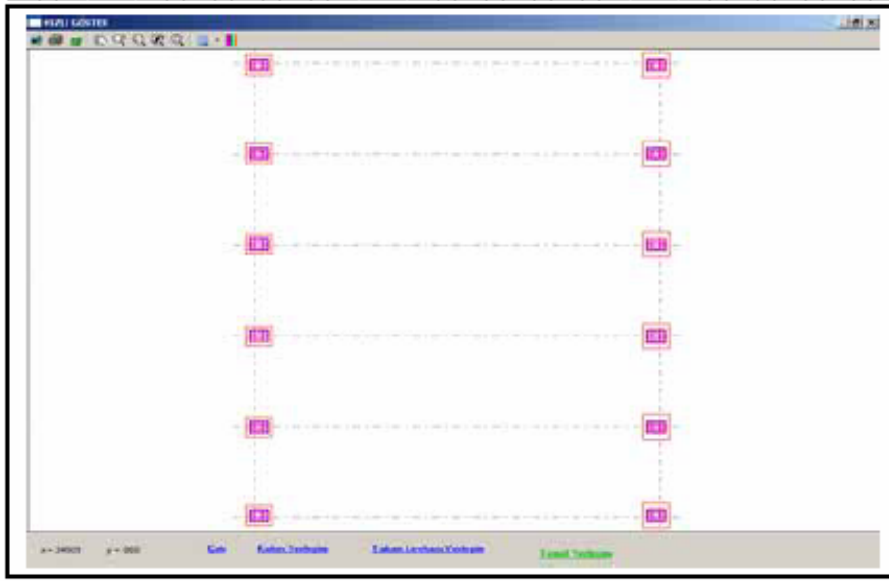
Şekil 9. Çatı Planı



Şekil 10. Kolon Yerleşim Planı

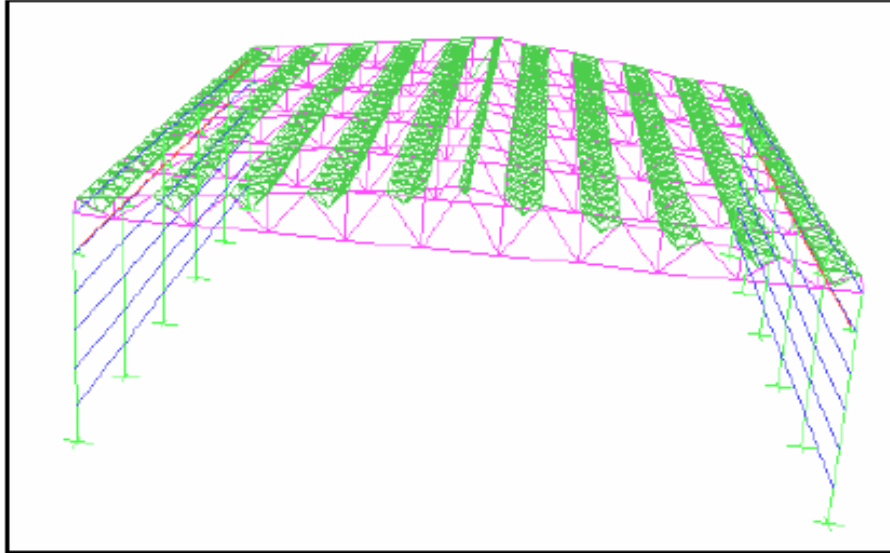


Şekil 11. Taban Levhası Yerleşim Planı



Şekil 12. Temel Yerleşim Planı

Tasarım aşamalarında yapının üç boyutlu izlenebilmesi mümkündür. Üç boyutlu görünüş, yapının tasarım aşamalarında oluşacak hataların önlenmesini ve dolayısıyla zaman tasarrufunu sağlamaktadır. Şekil 13’de üç boyutlu bir görünüş gösterilmiştir.



Şekil 13. Yapının Üç Boyutlu Görünüşü

SONUÇ

Bu çalışmada, tek katlı çelik endüstri yapılarının düzlemsel tasarım ve analiz yazılımı olan ÇELİKPRO2005 hakkında bilgi verilmiştir. Bu yazılım kullanılarak tek katlı çelik yapıların hesap, tasarım, analiz, çizim ve metrajları kısa sürede yönetmeliklere uygun olarak hazırlanabilmektedir.

TEŞEKKÜR

Bu bildirinin hazırlanmasındaki katkılarından dolayı, ÇelikPro2005 yazılımını hazırlayan İnş. Müh. Mehmet KAPAR'a ve TEKNOM Müh. Mim. Ltd. Şti.'ne teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

1. ÇelikPro2005, Kullanma Kılavuzu
2. www.teknommuhendislik.com
3. Türk Standartları, Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri (TS 498), Türk Standartları Enstitüsü, 1987.
4. Türk Standartları, Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları (TS 648). Türk Standartları Enstitüsü, 1982.
5. Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, A.B.Y.Y.H.Y.1998: Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik

PLANAR ANALYSIS AND DESIGN OF SINGLE STORY STEEL INDUSTRIAL STRUCTURES: ÇELİKPRO2005

In the present paper, ÇelikPro2005 computer program is introduced in order to improve the usage of steel structures. This program is developed for the analysis and design of single story industrial structures.

The main goal of this program is to reach the most economic and safe solution faster by investigating different solutions. Time-consuming detail drawings are getting simple and designing of structure becomes easy by using ÇelikPro2005