

ÜÇ BOYUTLU ÇELİK YAPILARIN OTOMATİK PLASTİK DİZAYNI

Hasan GÖNEN

Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

ÖZET

Bu araştırmada iki ve üç boyutlu çelik çerçevelerin analizi ve boyutlandırılması için otomatik ve ekonomik dizayn prosedürüne sahip bir bilgisayar programı sunulmuştur. Burada, uygulanan yükler üç düşey yük durumu, iki statik yanal yük durumu, ve iki bağımsız davranış spektrumunun doğrusal kombinasyonları olarak düzenlenebilir. Program P-delta tesirlerini göz önünde tutma, kuvvetli kolon-zayıf kiriş stratejisini kullanma ve kat drift (yanal ötelenme) kriterini sağlama kabiliyetine sahiptir.

Anahtar Kelimeler : Çelik yapılar, Plastik dizayn

AUTOMATED PLASTIC DESIGN OF THREE DIMENSIONAL STEEL STRUCTURES

ABSTRACT

In this study a computer program is presented for an efficient automated design procedure for the analysis and design of two and three dimensional steel frames. Here applied loads may be developed as a linear combination of three vertical load conditions, two static lateral load conditions, and two independent response spectra. The program is able to estimate P-delta effects, enforce strong column-weak girder strategy, and satisfy the story drift criteria.

Key Words : Steel structures, Plastic design

1. GİRİŞ

1965'de Lehigh Üniversitesi'nde (Driscoll et al., 1965) verilen yaz kursunun ders notlarının yayınlanması, plastik hesap metodlarının gelişmesinde önemli bir dönüm noktası olmuştur. Bu yayın yapıyı alt elemanlara bölme tekniğini geliştirmiştir ki bu, 60'lı yılların sonlarında ve 70'li yıllarda Nakamura and Litle (1968), Horne and Morris (1972), Emkin and Litle (1970), El Hafez and Powell (1973) ve diğerleri tarafından kullanılmıştır. Driscoll et al. (1970) statik yüklemeye maruz iki boyutlu kararlılık bağısız çelik çerçevelerin plastik hesabı için iki program geliştirmişlerdir. Birinci program çerçevelerin ön boyutlandırılması için kullanılırken, ikinci program

ön boyutlandırma safhasında analiz için yapıyı alt elemanlara bölme aşamasında kullanılmıştır.

Saddick (1978), çelik çerçevelerin otomatik plastik dizaynını gerçekleştiren bir bilgisayar programı geliştirmiştir. O, tüp çerçeveler de dahil üç boyutlu yapıları analiz ve projelendirebilmekte ve her türlü kararlılık bağı (diyagonal) düzenini kullanabilmekteydi. Statik yükler ve dinamik spektrum yüklemeler kullanılabilirdi. Fakat programın bazı sınırlamaları vardı: P-delta tesirleri dikkate alınmıyordu; kuvvetli kolon-zayıf kiriş stratejisi kullanılmamıştı; drift kontrol algoritması bazı eksikliklere sahipti; AISC (1978)'nin ekonomik kesitlerinin çoğunu içermesine rağmen kaynaklanmış plak kirişler ve yapma kolonlar

kullanılarak boyutlandırma yapamıyordu. Üç boyutlu yapıların dinamik deprem yükü altındaki boyutlandırılmasında ancak bir yönde spektrum yükleyebiliyordu.

2. ARAŞTIRMANIN AMACI VE KAPSAMI

Yukarıda sayılan bilgisayar destekli boyutlandırma prosedürleri iki boyutlu, dikdörtgen kararlılık bağısız çerçevelerle sınırlıdır. Bu, çeşitli yanal yükler taşıyan sistemlerin kullanıldığı günümüzde ciddi bir limitasyon getirmektedir. Bilgisayar programları perde duvarlı kararlılık bağısız çerçevelerin yanında çeşitli kararlılık bağılı çerçevelerin boyutlandırılmasını yapabilmelidirler. Günümüzde çok katlı tüp çerçeveler ve kafes tüpler gibi üç boyutlu sistemler inşa edilmektedir. Çoğunlukla bu sistemler üç boyutlu dizayn prosedürü gerektiren moment tipi çerçevelerle kombinasyon yapılarak kullanılmaktadır. Bu araştırmanın gayesi iki ve üç boyutlu çelik binaların analiz ve boyutlandırılması için verimli, otomatik bir dizayn prosedürü sunmaktır. Çelik binaların incelenmesinde kullanılan program, “Çelik Yapıların Otomatik Bilgisayar Programı (ÇYOBP)” olarak adlandırılmıştır.

ÇYOBP iki ve üç boyutlu moment tipi çerçeveler, kararlılık bağılı çerçeveler, tüp çerçeveler, kafes tüpler ve perde duvarlı çerçevelerin otomatik boyutlandırılması için kullanılabilir. Kolonlar, standart ve özel imal edilen geniş başlıklı enkesitler ve çeşitli yapma enkesitleri içine alan eleman tablosundan seçilebilir. Kirişler, yapma ve ekonomik standart enkesitleri içine alan tablodan seçilir. Kararlılık bağı elemanları boru ve kutu enkesitler olmak üzere tablodan seçilebilir.

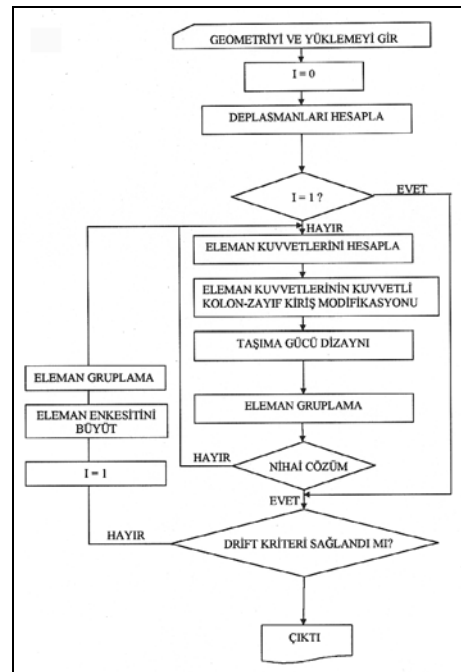
ÇYOBP’de yükler; üç düşey yükleme, iki statik yanal yükleme ve iki bağımsız dinamik spektrumun doğrusal kombinasyonu olarak uygulanabilir. ÇYOBP, P-delta tesirlerini dikkate almakta ve UBC (1982) yanal deprem kuvvetlerini otomatik olarak hesaplama kabiliyetine sahiptir.

3. OTOMATİK DİZAYN PROGRAMI (ÇYOBP)

ÇYOBP nihai çözüme bir dizi analiz ve boyutlandırma iterasyonları sonunda ulaşır. Nihai çözüm, ardışık iki iterasyonun neticeleri aynı olduğu zaman gerçekleşir.

Otomatik boyutlandırma prosedürü, statik ve dinamik deplasmanlar ve bunlara karşı gelen kesit tesirlerini hesaplayarak başlar. Her elemandaki kuvvetler doğrusal elastik analiz kullanılarak bulunan arttırılmış dizayn yüklerinden hesaplanır. Sonra elemanlar enkesitin maksimum yük altında taşıma gücü esas alınarak boyutlandırılır. Şayet kuvvetli kolon-zayıf kiriş kriteri seçilmişse, maksimum yük altında bütün plastik deformasyonları kolonlar yerine kirişlere yönlendiren boyutlandırma felsefesi yansıtmak üzere kolon uç momentleri modifiye edilir. Sonra, elemanların boyutlandırılması, belirlenen elemanların gruplandırılması yoluyla yapılır. Gruplamada aynı grup enkesitler arasından en kuvvetli eleman diğer elemanlar yerine kullanılır. Böylece her iki ya da üç katta aynı kolon enkesitlerini ve istenen bir katta kiriş enkesitlerini sabit tutmak mümkün olacaktır.

Sonra, mevcut boyutlandırma iterasyonu sonuçları ondan önceki iterasyon sonuçlarıyla kıyaslanır. Şayet nihai çözüme ulaşılmışsa kat driftleri (yanal ötelenme) aşılmaması istenen kat drift indeksi ile karşılaştırılır. Eğer drift kriteri sağlanmamışsa bazı elemanların enkesitleri yapının rijitliğini arttırmak için büyütülür. Bunu, drift kriterine geçmek üzere yapının deplasmanlarını belirleme takip eder. Drift dizayn prosedürü bütün katların drift değerleri seçilen değere eşit yada küçük oluncaya kadar devam eder. Şekil 1’de otomatik dizayn prosedürünün blok diyagramını göstermektedir.



Şekil 1. Otomatik dizayn programının blok diyagramı

3. 1. Kuvvetli Kolon-Zayıf Kiriş Dizaynı

Aşırı yükler altında sünekliğe yapının zayıf noktalarında ihtiyaç duyulduğu belirtilmektedir (Park and Paulay, 1980). Şayet plastik mafsallar kirişten önce kolonlarda oluşursa bir çerçeve (kolon) mekanizması oluşabilir. Böyle bir mekanizma, deformasyonu sadece bir kata konsantre etmeye meyillidir ve çok büyük eğrilik sünekliği ister. Diğer yandan, şayet plastik mafsallar önce kirişlerde oluşursa kiriş mekanizması meydana gelebilir. Bu mekanizma inelastik deformasyonu binanın yüksekliği boyunca dağıtmaya çalışır. Böylece plastik mafsallarda daha az eğrilik sünekliğine ihtiyaç duyulacaktır. Yalnız burada kirişlerin zayıflığının her katta ve binanın yüksekliği boyunca üniform olmasına dikkat edilmelidir.

Ayrıca, kirişlerde gerekli eğrilik sünekliğinin sağlanması daha kolaydır ve hasar durumunda kolonların tamiri kirişlere nazaran daha zordur. Yukarıdaki veriler deprem gibi aşırı yüklere maruz yapıların boyutlandırılmasında kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibinin kullanılmasının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

Kuvvetli kolon-zayıf kiriş prensibini uygulamak için ÇYOBP kuvvet analizinde elde edilen kolon uç momentlerini modifiye eder. Her yükleme durumu için kuvvetli ve zayıf eksenlere göre bulunan artırılmış kolon uç momentleri kendilerine bitişik kirişlerin moment kapasiteleriyle karşılaştırılır. Son olarak kiriş ve kolonun meydana getirdiği düğümdeki büyük moment, aksenal kuvvet ve kesme kuvveti ile birlikte kolonun boyutlandırılması için kullanılır.

3. 2. Drift (Yanal Deplasman) Dizaynı

Çok katlı bir binanın drifti iki ardışık katın birbirine göre izafi deplasmanının kat yüksekliğine oranı ile ölçülür. Kullanım konforunun kriterlerinden birisi de drift kontrolüdür. Ayrıca büyük yanal deplasmanlar sebebiyle ara bölmeler, tavan kaplamaları ve bazı cihazlar gibi taşıyıcı olmayan elemanlarda hasarı önlemek için de drift kontrolü istenir (Fintel, 1974; Council on Tall Buildings, 1979).

Yanal kat deplasmanları beş ana faktörden meydana gelir (De Buen, 1980) (1). Kolon eğilme ve kesme deformasyonu; (2). Kirişlerin elastik ve inelastik deformasyonlarından doğan düğüm noktası dönmesi; (3). Kiriş-perde kolon birleşim bölgesi çarpılması; (4). Kolon boylarının değişmesi sebebi

ile yapının bütün olarak eğilmesi; (5). Binanın bütün olarak dönmesi.

Yanal deplasmanlar kirişlerin L/EI oranlarıyla yaklaşık olarak orantılı olduğundan kolonlar yerine kirişlerin rijitliğini arttırmak suretiyle drift kontrolü yapmak daha ekonomik görünmektedir. Fakat, bu metod plastik mafsalları kirişlerden kolonlara kaydırabilir. Bundan dolayı, hem kiriş hem de kolonların rijitlikleri artırılarak çerçevelerin yanal deplasmanlarının kontrolü, en etkili ve ekonomik yol olmaktadır.

4. ELEMAN DİZAYN ALGORİTMASI

Eleman dizaynı için genel prosedür Şekil 2'de gösterilmiştir. Kolon dizayn algoritması AISC kodunun (1978) 2. bölümündeki etkileşim formüllerine dayanır.



Şekil 2. Eleman dizayn prosedürü

$$\frac{P}{P_y} + \frac{C_m \cdot M}{1.18M_p} \leq 1.0 \quad (1)$$

ve

$$\frac{P}{P_{cr}} + \frac{C_m \cdot M}{(1 - P/P_e)M_m} \leq 1.0 \quad (2)$$

Burada, P uygulanan aksenal yük, M uygulanan moment, P_{cr} , inelastik davranışı da kapsayan kritik burkulma yükü, P_e Euler burkulma yükü, P_y akma noktasındaki aksenal yük, M_m moment kapasitesi ve C_m bir katsayıdır.

Kullanım kolaylığı gayesi ile (3) ve (4) denklemleri aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$M_{p1} = \frac{M}{1.18(1 - P/P_e)} \quad (3)$$

burada, M_{p1} istenen plastik moment kapasitesidir.

$$M_m = \frac{C_m \cdot M}{(1 - P/P_{cr})(1 - P/P_e)} \quad (4)$$

Zayıf eksen doğrultusunda tutulmuş kolonlar için

$$M_{p2} = M_m \quad (5)$$

dir. Burada, M_{p2} (2) no'lu denklemde istenen plastik moment kapasitesidir. Fakat, zayıf eksen doğrultusunda tutulmamış kolonlar için

$$M_{p2} = \frac{M_m}{(1.07 - \frac{(l/r_y)F_y}{3160})} \quad (6)$$

Burada, l serbest açıklık, r_y zayıf eksene göre atalet yarıçapıdır. Buradan (3), (5) ve (6) denklemlerinden büyüğü esas alınarak kolon enkesiti seçilir.

Bileşik eğik eğilmeli yükleme durumunda, kolon kuvvetli eksene ve bulunan moment esas alınarak boyutlandırılır. Bulunan enkesit kapasitesi zayıf eksene göre bulunan momentle kontrol edilir. Kolon için bir enkesit seçildikten sonra, bu, kesmeye, başlık burkulmasına ve gövdenin yerel burkulmasına karşı kontrol edilir.

Kiriş dizayn algoritması, kirişi iki uç momenti ve maksimum açıklık momentinden büyüğüne göre boyutlandırır. Kirişin gerekli plastik enkesit modülü hesaplanır ve eleman dizayn tablosundan seçilir. Kiriş enkesitinin seçiminden sonra kesmeye, başlık burkulmasına ve yanal burulmalı burkulmaya karşı dizayn kontrolleri yapılır.

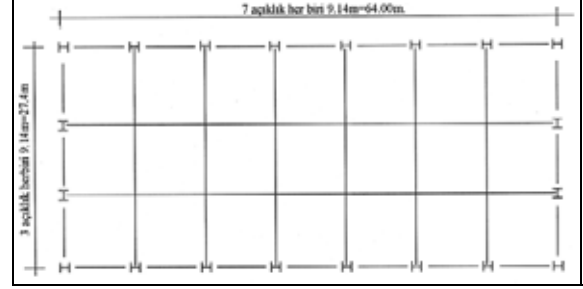
Çekmeye çalışan bir kararlılık bağı (diyagonal) elemanı için gerekli enkesit alanı dizayn çekme kuvvetinin çeliğin akma gerilmesine bölünmesiyle hesaplanır. Sonra seçilen elemanın narinlik oranının 300 den küçük olduğu kontrol edilir (AISC, 1978). Elemana gelen aksenal kuvvetin ($0.85 P_y$) ile sınırlandırılması tavsiye edilir. Basınca çalışan kararlılık bağı için gerekli enkesit alanı aşağıdaki gibi elde edilir.

$$A = P/1.7F_a \quad (7)$$

Burada, F_a aksenal yüklü basınç elemanının gerilme kapasitesidir. Sonra narinlik oranı limit değer olan 200 ile kontrol edilir.

5. 20 KATLI TÜP ÇERÇEVENİN OTOMATİK DİZAYNI

Bu bölümde 20 katlı, 20 açıklıklı bir tüp çerçevenin otomatik dizaynı bir mühendislik firmasının yaptığı ön boyutlandırma ile kıyaslanacaktır.



Şekil 3. 20 katlı tüp çerçevenin kat planı

Binanın normal kat planı Şekil 3'te gösterilmiştir. Yanal yükler binanın çevresindeki rijit çerçeve ile alınacaktır. Çerçeveye; düşey yükler, rüzgar yükü ve dinamik deprem spektrumunun kombinasyonları tesir etmektedir. Yükler ve yük kombinasyonları Şekil 4'te özetlenmiştir. Maksimum kat drift indeksi 0.0025 olarak seçilmiştir.

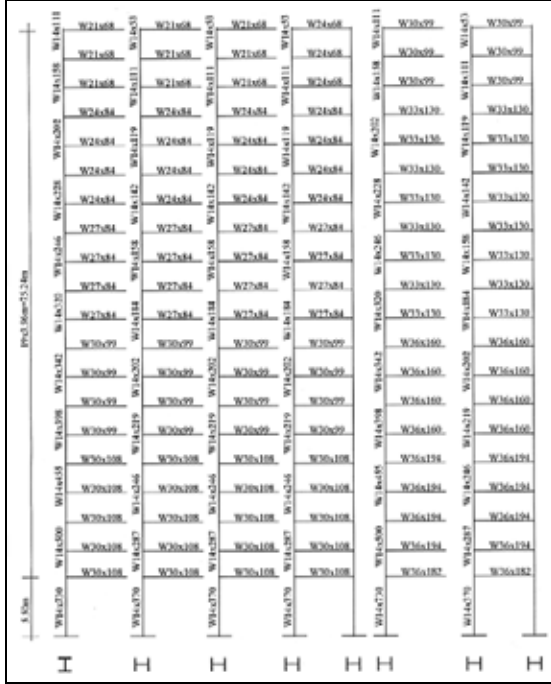
DİZAYN YÜKLERİ VE KAT KÜTLELERİ	
Servis Yükleri	
Zati	Çatı..... 2.53 t/m
	Normal Kat..... 1.99 t/m
	Zemin Kat..... 2.04 t/m
Hareketli	Çatı..... 0.89 t/m
	Diğer Katlar..... 0.67 t/m
Rüzgar 0.098 t/m
Yükleme Durumları	
1)	1.70 (ZY+HY)
2)	1.30 (ZY+HY+R)
3)	1.00 (ZY+HY+D)
4)	0.80 (ZY+HY)+1.0(D)
Kat Kütleleri	
Çatı.....	0.28 kgSec ² /cm ²
Normal Kat.....	0.36 kgSec ² /cm ²
Zemin Kat.....	0.36 kgSec ² /cm ²

Şekil 4. 20 katlı tüp çerçevenin dizayn yükleri

Mühendislik firmasının ön boyutlandırması otomatik dizayn prosedürü için başlangıç boyutlandırması olarak kullanılmıştır. Çerçeve 800 elemana sahiptir. Birinci iterasyonda, bu elemanların 788'i boyut değiştirmiştir. İşlem 9. iterasyon sonunda hiçbir

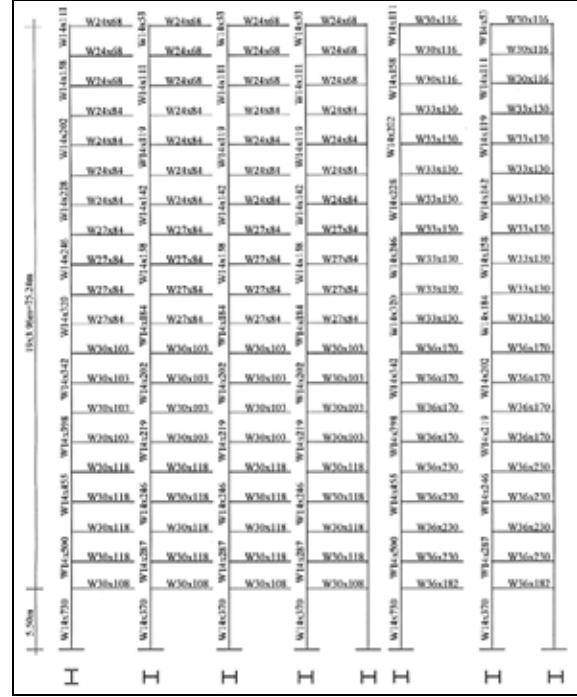
eleman değişmeyinceye kadar devam etmiştir. Nihai taşıma gücü dizaynı Şekil 5'te gösterilmiştir. Taşıma

gücü dizaynında belirtilen drift indeksi (0.0025) 2. ve 7. katlar arasında aşılmıştır.

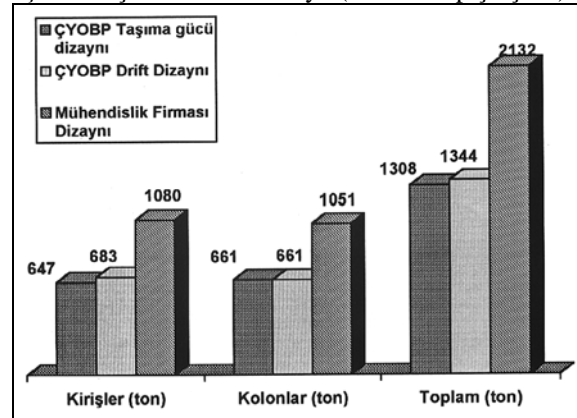


Şekil 5. ÇYOBP taşıma gücü dizaynı (20 katlı tüp çerçeve)

Kat driftlerinin müsaade edilen değere indirilmesi için iki ekstra iterasyon gerekmiştir. Bu, kolon kesitleri sabit tutulup kiriş enkesitleri büyütülerek gerçekleştirilmiştir. Drift dizaynının sonucu Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. ÇYOBP drift dizaynı (20 katlı tüp çerçeve)



Şekil 7. Farklı dizaynlar için ağırlık karşılaştırılması (20 katlı tüp çerçeve)

Program her elemanın ağırlığını otomatik olarak ve bunları toplayarak çerçevenin toplam ağırlığını vermektedir (Şekil 7).

Şekilden de görüleceği gibi, taşıma gücü dizaynı esas alınırsa kirişlerde 433 ton ve kolonlarda 390 ton daha hafif bir yapıyı öngören çözüm otomatik program yoluyla elde edilmiştir. Drift için düzeltme, kiriş ağırlığını 36 ton arttırmaktadır (toplam çerçevenin % 3'ü). Otomatik dizayn prosesi kullanılarak ağırlıkta net 788 ton (toplam çerçevenin % 59'u) tasarruf yapılmaktadır.

6. SONUÇLAR

Çalışmada, geniş çelik bina çerçevelerinin dizaynında kullanılabilen tamamen otomatik bir dizayn prosedürü sunulmuştur. İlk dizayn AISC spesifikasyonunun ikinci bölümünde belirlenen taşıma gücü kriterleri esas alınarak yapılmaktadır. Sonra bu dizayn drift için kontrol edilmekte ve belirlenen drift limiti aşılmışsa modifiye edilmektedir. Programın ana özellikleri aşağıdaki gibidir:

1. İteratif dizayn prosedürü tamamen otomatiktir. Elemanlar programın içerdiği zengin eleman tablosundan seçilmektedir.
2. Program konvansiyonel dizayn prosedürlerine kıyasla çok ekonomik çözümler üretmektedir. Çünkü bilgisayar, eleman tablosunu en iyi seçim için taramaktadır.
3. Program otomatik olarak drift kriterini kontrol etmekte ve fazla driftli olan katların rijitliğini ayarlamaktadır.
4. Eleman gruplama gibi pratik projelendirme tekniği programa eklenmiştir. Böylece bir kattaki giriş boyutları ve birkaç kattaki kolon boyutlarını sabit tutmak mümkün olmaktadır.
5. Dizayn yükleri; düşey yükler, yatay yükler ve iki bağımsız davranış spektrumunun kombinasyonları şeklinde verilebilir. 3 boyutlu sistemlerin dizaynında iki bağımsız davranış spektrumunun kullanımı esastır.

7. KAYNAKLAR

American Institute of Steel Construction Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings, 1978. New York.

Council on Tall Buildings, Commites 17, 1979. "Design Methods Based on Stiffness," Planning and Design of Tall Buildings, ASCE, Vol. Sc, New York.

De Buen, O. 1980. Steel Structures, Design of Earthquake Resistant Structure, E. Rosenblueth (Ed.), Chapter 4. Halsted Press, New York.

Driscoll, G. C., Jr., Beedle, L. S., Galambos, T.V. 1965. "Plastic Design of Multistory Frames-Lecture Notes and Design 6. Fritz Engineering Laboratory Report No. 273.20 and 273.24, Lehigh University, Bethlehem, P. A.

Driscoll, G. C., Jr., Armacost, J. O. III and Hansell, W. C. 1970. Plastic Design of Multi-Story Frames

by Computer, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol.96 No.ST1, Proc. Paper 6995, pp. 17-33.

El-Hafez, M.B. and Powell, G.H. 1973. "Computer Aided Ultimate Load Design of Unbraced Multistory Steel Frames", Report No.EERC 73-3, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Fintel, M. 1974. "Ductile Shear Walls in Earthquake Resistant Multistory Buildings, Journal of the American Concrete Institute, Vol. 71, No. 6.

Horne, M. R. and Morris, L. J. 1972. "Optimum Design of Multi-Story Rigit Frames", presented at International Symposium on Computers in Optimization of Structural Design, University of Wales, Swanson.

Nakamura, Y. and Litle, R. N. 1968. "Plastic Design Method of Multi-story Planar Frames with Deflection Constraints", Civil Engineering Research Report R68-12, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA.

Park, R., and Paulay, T. 1980. Concrete Structures, Design of Earthquake Resistant Structures, E. Rosenblueth (Ed.). Chapter 5, Halsted Press, New York.

Saddick, M. H. 1978. "Automated Design of Steel Frames," Ph.D. Dissertation, Dept. of Civil Eng. University of Southern California, Los Angeles.

Uniform Building Code, 1982. International Conference of Building Officials, Whittier, CA.