

## **ÇELİK YAPILARDA ELASTİK VE PLASTİK YÖNTEM ÇÖZÜMLERİ VE BİRLEŞİMLER**

Selim ŞENGEL<sup>1</sup>, Nevzat KIRAC<sup>2</sup>

**ÖZET :** Bu çalışmada çelik bir yapının iki farklı hesap yöntemiyle çözümü yapılmıştır. Sonuçta bu hesaplamalar için bir ekonomik analiz elde edilmiştir. Yapının elastik hesapla boyutlandırılmasında, düşey yükler altında enine ve boyuna doğrultudaki kirişler ve kolonlar boyutlandırılmıştır. Plastik hesapta ise enine ve boyuna doğrultudaki kirişler adım-adım yöntemiyle hesaplanmıştır. Daha sonra her iki yöntemde de kirişlerde kesme kuvveti etkisi irdelenmiş ve sehim şartı göz önüne alınmıştır. Kiriş ve kolonlar boyutlandırıldıktan sonra deprem hesabı yapılmış, kiriş ve kolonlara gelen normal kuvvet etkisi irdelenerek kesitlerde gerekli değişiklikler yapılmıştır. Diyagonaller deprem kuvvetlerine göre boyutlandırılmıştır. Sonuçta bu iki çözüm için bir karşılaştırma yapılmıştır. Her iki çözümde de, birleşim elemanı olarak bulon seçilerek çözüm yöntem farklılığının birleşim elemanlarındaki etkisi de araştırılmıştır.

**ANAHTAR KELİMELELER :** Elastik Analiz, Plastik Analiz, Bulon.

## **ELASTIC AND PLASTIC DESIGN METHODS AND CONNECTIONS IN STEEL STRUCTURES**

**ABSTRACT :** In this study , a steel structure is chosen. In order to get the solution of this system, two different solution methods are applied which are elastic design and plastic design methods. At the end this two solutions are compared in order to find out which one is economical. In designing the structure with elastic analysis the beam and the columns on both longitudinal and parallel direction were designed under vertical loads. In plastic analysis the beams on longitudinal and parallel direction were analyzed by step by step method. Shear force effect on the beams were considered in both methods and also vertical deformation. After the design of beams and columns earthquake analysis were considered. Normal force which affects the beams and columns were considered and necessary changes were made. Diagonals are designed as well using the earthquake forces. Bolts are used in order to join the elements for both solution methods and finally the effect of solution method on connection type is studied and also an economical comparison is presented for both solutions.

**KEYWORDS :** Elastic analysis, Plastic analysis, bolt.

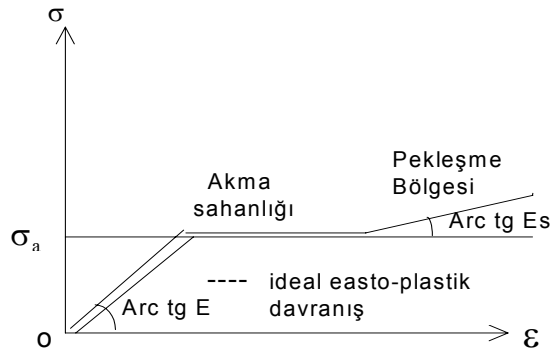
---

<sup>1,2</sup> Osmangazi Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, İnşaat Mühendisliği  
Bölümü, Batı Meşelik Kampüsü, 26480 ESKİŞEHİR

## I. GİRİŞ

Elastik teori ile yöntem gereği ulaşılamayan “Göçme Yüğü” değerine Plastik analiz yöntemiyle erişilmektedir. Her türlü yapının göçme emniyeti ve yükünü tespit etmek için bu güne kadar ortaya konulan en geçerli yöntem plastik analiz yöntemidir.

Plastik incelemede süneklikten tamamen faydalanılabilir. Ayrıca yöntem yalnızca pekleşen yani ideal elasto-plastik malzeme için geçerli olacaktır Şekil 1.1. Bu durumda, bu tarife uyan malzeme genellikle metal malzeme olup bugün için bina, köprü vb. yapılarda bu metal, çelik; uçak, vb. yapılarda ise duraliminyumdur [1].



Şekil 1.1: Elasto-plastik davranış diyagramı

Yapıların plastik analizinden beklenenler ise;

- Yapının dış tesirlere karşı gerekli mukavemetinin temini,
- Yapının yükler altında şekil değiştirmesi ve gerilmelerinin bilinmesi ve belirli sınırlarda kalması,
- Yapının göçmeye karşı emniyetinin tespit edilmesi olacaktır.

Birleşimler taşıyıcı sistemde birinci derece etkindirler ve bu sistemlerin hesaplarındaki kabullere uymak zorundadırlar. Birleşimler genellikle kesme kuvvetlerinin ve eğilme momentlerinin büyük değerlere ulaştıkları bölgelerde bulunurlar.

Bir birleşimin sağlaması gereken koşullar aşağıda özetlenmiştir :

- 1) Yeterli bir mukavemet kapasitesi,
- 2) Yeterli bir plastik şekil-değiştirme kapasitesi,
- 3) Birleştirilen bütün elemanları konumlarında tutmaya uygun bir rijitlik,
- 4) Kabul edilebilir bir üretim maliyeti.

Birleşimlerin elastik incelenmesinde ikinci zorunluk üzerinde durulmaz. Plastik hesapta ise birleşimin şekil-değiştirebilme kapasitesi çok önemlidir [2].

## ***II. PLASTİK ANALİZ VE BİRLEŞİM TÜRLERİ***

Bu çalışmada bir yapının çelik çözümlerinin karşılaştırılması yapılmıştır. Sistem enine doğrultudaki kirişlerden , boyuna doğrultudaki kirişlerden ve bu kirişlerin oturduğu dış cephe kolonlarından ve ara kolonlardan oluşmaktadır. Bu sistemin aşağıdaki iki yöntemle çözümleri yapılmıştır:[3]

- 1) Yapının elastik hesapla çelik olarak boyutlandırılması,
- 2) Yapının plastik hesapla çelik olarak boyutlandırılması.

### **1) Yapının elastik hesapla çelik olarak boyutlandırılması:**

Düşey yükler :  $p = 1,4g + 1,6q$  olarak alınmışlardır.

a) Kirişlerin Boyutlandırılması :

İlk olarak kesit seçildi ve kirişe gelen yükler hesap edildi. Daha sonra bu kesite göre kirişin Moment ve Kesme Kuvveti diyagramları oluşturuldu ve max. momentin bulunduğu noktalarda gerilme tahkiki, max. kesme kuvvetinin bulunduğu yerlerde de kayma gerilmesi tahkiki yapıldı [4]. hg: profil yüksekliği, tg: profil gövde kalınlığı olmak üzere,

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq \sigma_{em} \quad , \quad \tau = \frac{Q_{\max}}{hg \cdot tg} \leq \tau_{em}$$

(2.1)

Tahkikler tamamlandıktan sonra sehim şartı göz önüne alındı.

$\delta$ : sehim miktarı,  $l$  açıklık olmak üzere,

$$\delta \leq \frac{l}{300}$$

(2.2)

b) Kolonların Boyutlandırılması :

Kolonlara gelen normal kuvvetler hesap edildi ve kolon kesiti seçildi daha sonra X ve Y doğrultusundaki burkulma boyları hesap edildi ve gerilme tahkiki yapıldı.

$$\left. \begin{array}{l} s_{kx} \rightarrow \frac{s_{kx}}{i_x} = \lambda_x \\ s_{ky} \rightarrow \frac{s_{ky}}{i_y} = \lambda_y \end{array} \right\} \lambda_{\max} \Rightarrow \omega \quad \sigma = \frac{\omega \cdot N}{F} \leq \sigma_{em}$$

(2.3) c) Deprem İncelemesi :

Sistem ağırlıkları toplandı ve deprem kuvveti hesaplandı. Daha sonra enine ve boyuna doğrultuda deprem ve rüzgar kuvveti etkisi altında kirişler ve kolonlar irdelendi ve diyagonaller boyutlandırıldı [5].

d) Sistemdeki kirişlerin ve kolonların boyutları bilindiğinden metraj oluşturuldu.

## 2) Yapının plastik hesapla çelik olarak boyutlandırılması :

Düşey yükler  $p = 1,7(g + q)$  olarak alınmışlardır.

a) Kirişlerin boyutlandırılması :

İlk olarak kesit seçildi ve oluşan yükler hesap edildi daha sonra adım-adım yöntemiyle sistemin göçme yükü belirlendi. Göçme yükü belirlendikten sonra kirişin moment ve kesme kuvveti diyagramları oluşturuldu ve max. kesme kuvvetinin bulunduğu yerde inceleme yapıldı [6].  $Q_{py}$ ,  $Q_y$ : plastikleşme kesme kuvveti, düşey yük.  $\sigma_{yd}$ : akma gerilmesi olmak üzere,

$$Q_{py} = 0,52F_g \sigma_{yd} \quad Q_y = \quad = \quad Q_{\max}$$

(2.4)

$$\frac{Q_y}{Q_{py}} > 0,30 \quad \text{ise kiriş gövdesinde kesit küçültmesi yapıldı.}$$

(2.5)

Daha sonra ise sehim tahkiki yapıldı ve kolon hesaplarına geçildi.

b) Kolonların Boyutlandırılması :

Kolonlara gelen normal kuvvetler hesap edildi ve kolon için bir kesit seçildi. Daha sonra X ve Y doğrultusunda kolonların burkulma boyları hesaplandı ve burkulma katsayısı bulundu.

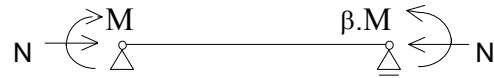
$$\left. \begin{array}{l} s_{kx} \rightarrow \frac{S_{kx}}{i_x} = \lambda_x \\ s_{ky} \rightarrow \frac{S_{ky}}{i_y} = \lambda_y \end{array} \right\} \lambda_{\max} \Rightarrow \omega \quad N_{kr} = \frac{N_p}{\omega} \quad \frac{N}{N_{kr}} \leq 1,00$$

(2.6)

c) Deprem İncelemesi :

$$F = c.W, \quad F^* = 1,5.F$$

Deprem kuvveti hesaplandı, enine ve boyuna doğrultuda deprem kuvveti etkisi altında kirişler ve kolonlar irdelendi. Kirişlerde normal kuvvet etkisinde en önemli etken burkulma olduğundan dolayı,



$$C_m = 0,6 + 0,4\beta \geq 0,4 \quad [\text{TS 648}]$$

$$N_E = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad k f_x = \frac{C_m}{1 - \frac{N}{N_E}}$$

(2.7)

$$\left. \begin{array}{l} s_{kx} \rightarrow \frac{S_{kx}}{i_x} = \lambda_x \\ s_{ky} \rightarrow \frac{S_{ky}}{i_y} = \lambda_y \end{array} \right\} \lambda_{\max} \Rightarrow \omega \quad \omega \frac{N}{N_p} + k f_x \frac{M_{ix}}{M_{px}} \leq 1,00$$

(2.8)

burkulma yoksa;

$$\chi_x = 0,15$$

$$M_{ux} = M_{px}$$

$$\frac{N}{N_p} = \chi_x$$

(2.9)

$$\frac{N}{N_p} > \chi_x \quad \text{ise} \quad M_{yx} = \frac{1 - \frac{N}{N_p}}{1 - \chi_x} m_{px}$$

(2.10) d) Bulunan bu kesitlerden sonra sistemin metrajı çıkarıldı.

### **II.1. Çelik Yapıların Birleşim Elemanları :**

Çelik yapılar çeşitli hadde mamüllerinin birbirine birleştirilmesinden meydana gelen çubuklar, kirişler vs. yapı elemanlarından oluşur. Birleşimler iki türlü olabilir (çözülebilir ve çözülmez birleşimler olmak üzere) : Çözülebilir birleşimlerde (bulonlu), birleştirilen profilleri birleşim elemanlarını veya profilleri tahrip etmeksizin, birbirinden ayırmak mümkündür. Çözülmez birleşimlerde ise birleşim kaynakla gerçekleştirilir [7].

Birleşimin yapıda önemli bir rolü vardır : Sistemin, birinci derece plastik hesap ana varsayımlarını sağlayan, plastikleşme taşıma gücü yüküne ulaşılmasına izin vermektir. Birleşimlerdeki kesit zorlamaları plastik hesapta kesin olarak belirlenemiyorsa, bu birleşimlerin kontrolunda gözönünde bulundurulacak zorlamalar olarak; birleştirilen elemanların boyut ve düzenlemelerine bağımlı olarak taşıyabilecekleri zorlamalar alınır. Çelik karkas yapılarda, kiriş ve kolonlar birbirlerine değişik biçimlerde bağlanabilirler. Bu bağlantıların bir kısmı yalnız kesme kuvvetini aktarır şekilde düzenlenirken bazıları da kesme kuvveti yanında eğilme momentide taşıyabilirler. Her iki tür bağlantıda da, birleşim elemanı olarak, perçin, uygun bulon veya öngermeli yüksek mukavemetli bulon ve kaynak kullanılabilir. Çelik yapıda sorun özellikle : çok katlı, rijid düğüm noktalı taşıyıcı sistemlerde önem kazanır. Bu tür sistemlerde, geleneksel olarak rijid kabul edilen ve uçları ile düğüm noktaları arasında moment aktarılmasını mümkün kılan birleşimler, gerçekte şekil-değiştirebilir türdendir [8].

## ***II.2. Bulonlar (Civatalar)***

Bulonlar çelik yapılarda aşağıda belirtilen hallerde kullanılır.

- a) Gövde doğrultusunda (birleşim vasıtalarında) büyük çekme kuvvetleri tesir ediyorsa,
- b) Birleştirilecek parçaların malzemesi, şekli veya boyutları perçin yapılmasına elverişli değilse,
- c) Konstrüktif sebeplerden, mesela çok küçük yapılarda ve şantiyelerde perçin ile birleşim pahalı oluyorsa,
- d) Birleşim yeri, iyi perçin yapılmasına müsait değilse,
- e) Birleştirilecek parçaların kalınlığı perçin yapılamayacak derecede fazla ise,
- f) Sıcaklık ve gürültüden kaçınılması halinde,
- g) Kısa süreli teşkil edilen yapılarda (sergi binalarında).

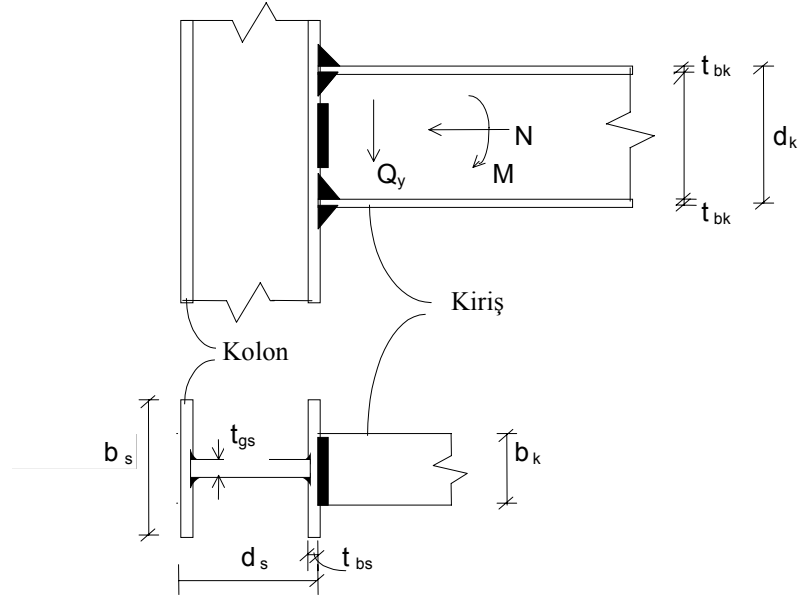
Bulonların çalışma tarzı aynen perçinlerde olduğu gibidir. Yani bulonlar kesme ve ezilmeye çalışırlar. Bulon hesaplarında perçin hesapları gibi yapılır. Kaba bulonların hesabında bulonun gövde çapı göz önünde tutulur. Bulonun gövde uzunluğu ve dış çekilen kısmın uzunluğu, birleştirilen parçaların kalınlığına göre tesbit edilir. Eğer bu hususa uyulmayıp da dişler deliğin içine kadar girerse, hesaplarda dış dibi çapını almak gerekir. Uygun bulonların (parlak bulon) hesabında, perçinlerde olduğu gibi delik çapı dikkate alınır. Bulonlarda gövde doğrultusunda normal kuvvetler tesir ediyorsa dış dibi enkesiti göz önünde tutulur [9].

## ***II.3. Kaynaklı Kiriş - Kolon Birleşimleri***

Kiriş - kolon birleşimlerinde kaynak kullanılması, hesaplarıdaki moment aktaran düğüm noktası kabulüne uygun bir çözüm getirir.  $M + Q + N$  kesit zorlamalarını aktaran bir kiriş - kolon birleşiminde, kaynak dikişlerindeki kontroller yapılır. Bu tür bir birleşimde üç tür hasar gözlenebilir.

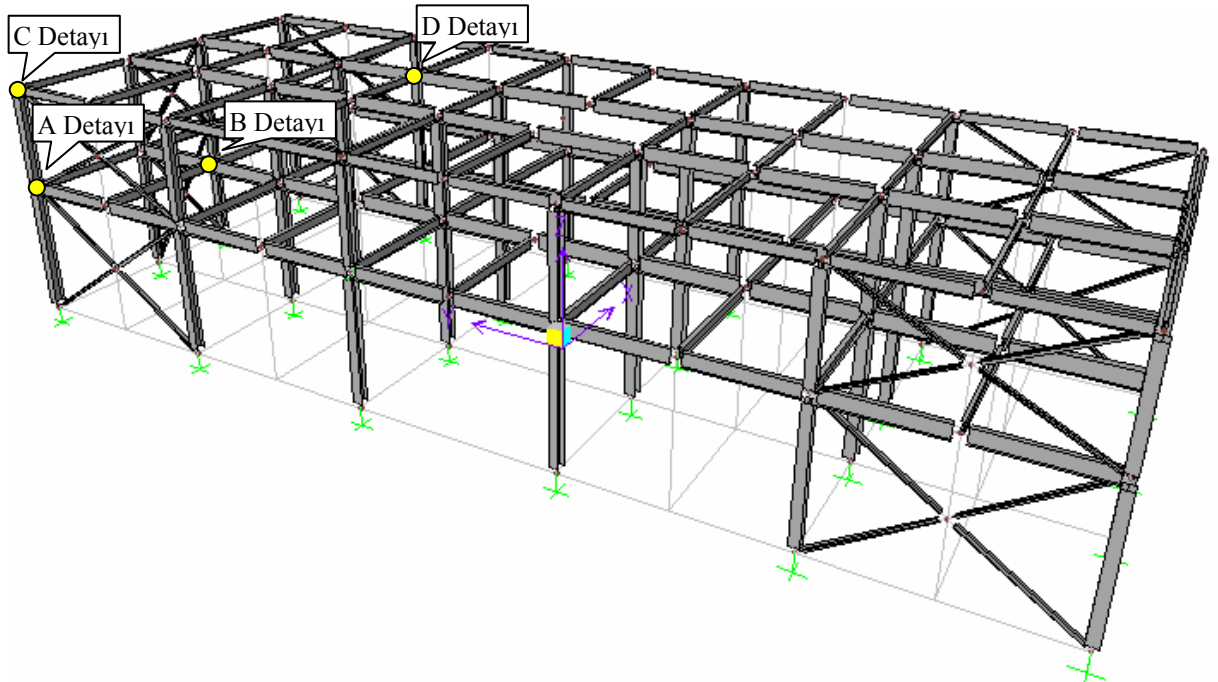
- 1) Kiriş çekme başlığını bağlayan kaynak dikişlerinde kopma : Kiriş çekme başlığından gelen zorlama, kolon başlığının şekil değiştirmesine sebep olur. Bu durumda buradaki kaynak dikişine gelen gerilmeler düzgün yayılı olma özelliğini kaybederler. Dikiş en çok zorlandığı, kolon gövdesi kısmında kopar.
- 2) Kiriş basınç başlığı düzeyinde kolon gövdesinde buruşma : Kiriş basınç başlığından kolona gelen basınç kuvveti kolon gövdesinde buruşmaya yani yerel burkulmaya neden olabilir.

3) Kiriş - kolon ortak bölgesinde gövdenin makaslama buruşması : Kiriş başlıklarından gelen çekme ve basınç tekil yükleri nedeniyle önemli bir makaslama zorlaması alan kiriş - kolon ortak bölgesinde gövdede kayma buruşması gözlenebilir [10].



Şekil 2.1: Kiriş - kolon birleşimi.

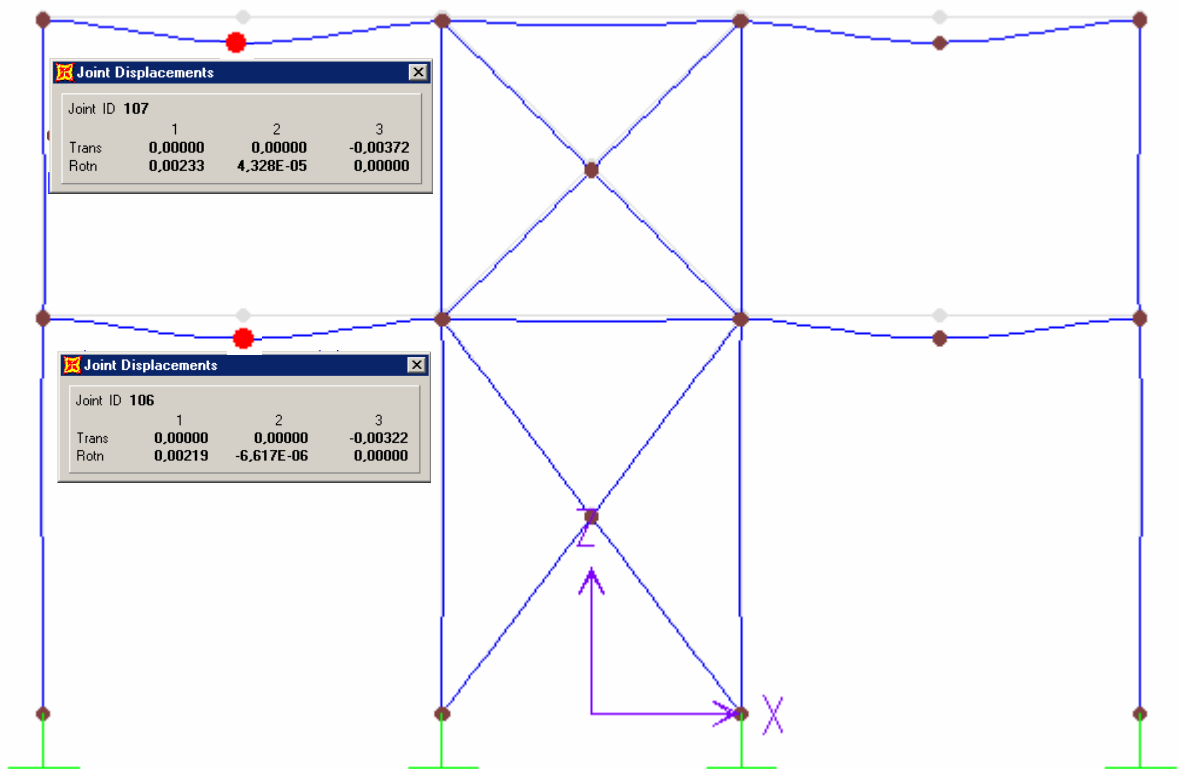
### III. SİSTEM



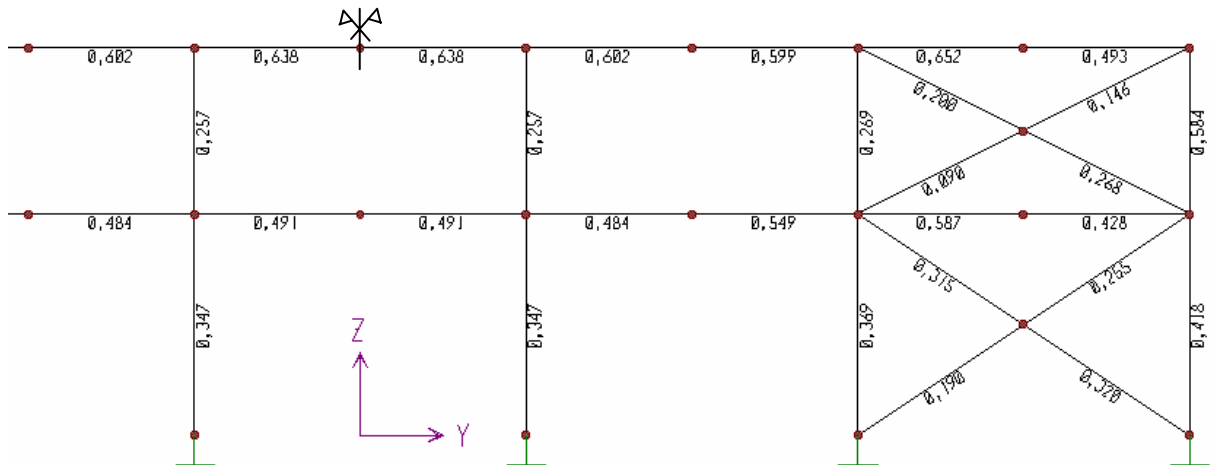
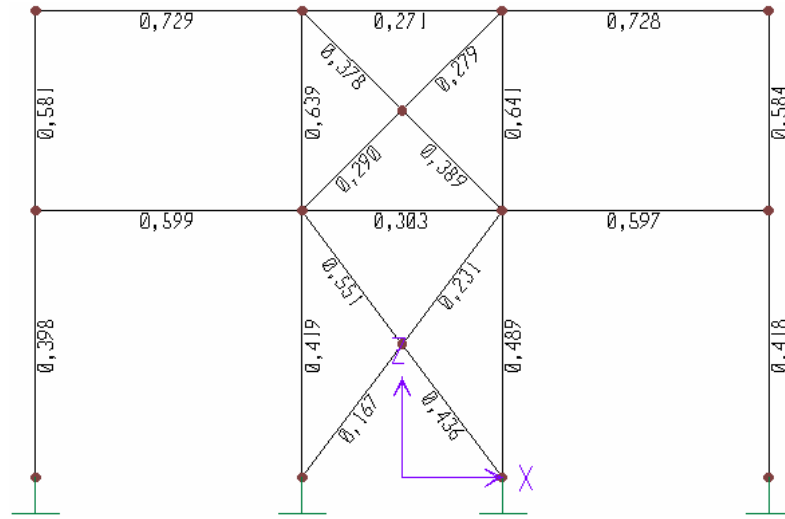


Sistem, enine doğrultuda kenar açıklıkları 4,0m, ara açıklığı 3,0 m olan üç açıklıklı sürekli kirişlerden, boyuna doğrultuda ise 6,0m aralıklı beş açıklıklı sürekli kirişlerden oluşmaktadır. Deprem ve rüzgar kuvvetlerini almak üzere enine ve boyuna doğrultuda dörder adet diyagonal kullanılmıştır. Yapı II. derece deprem bölgesindedir. Döşeme 10 cm kalınlığında betonarme plak seçilmiştir. Kirişlerde normal I profili, kolonlarda IPB profilleri kullanılmıştır. Bu sistem elastik ve plastik olmak üzere her iki yöntemle çözümleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

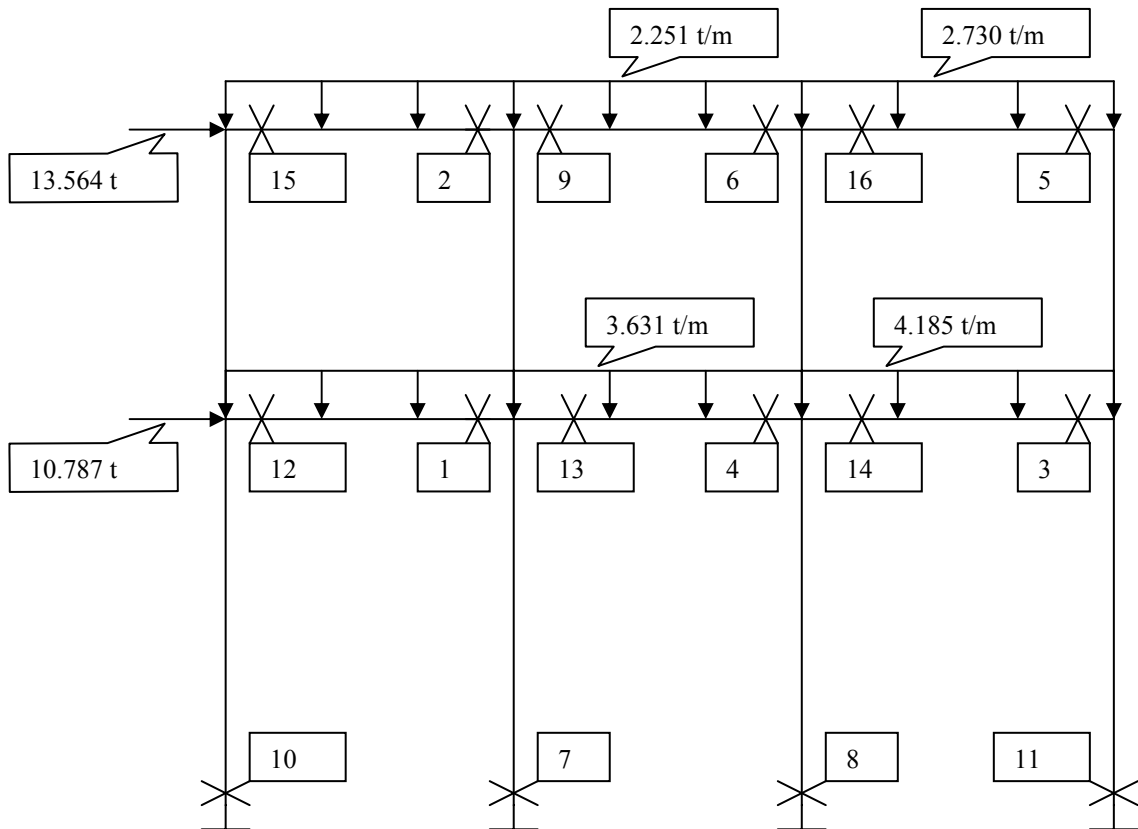
Sistemin bu yapılan incelemelerinden sonra, SAP 2000 v.7.1 ile de analizi gerçekleştirildi. Sistemin (düşey + yatay yük) etkisi altında analizi gerçekleştirildi ve sistemdeki tüm düğüm noktalarının deplasmanları kontrol edildi. Aşağıda sistemden seçilen bir çerçevenin deplasmanlarının program çıktısı görülmektedir.



Sistemin SAP 2000 ile analizi düşey + yatay yük etkisi altında yapıldı. Analiz sonucunda kolonların burulma (torsiyon) yükü almadığı ve kirişlerde yanal burkulma sorunu ortaya çıkmadığı görülmüştür. Ayrıca Elastik hesapta kolonların merkezi basınca çalışan iki ucu mafsallı çubuk oldukları kabul edilmiştir. Deprem kuvvetleri ise yapının ortasından ve yapıya bir bütün olarak etkitildi ve sonuçta sistem dizayn açısından ele alındığında hiçbir kesitin zorlanmadığı yani tüm kesitlerde gerilme oranlarının ( $\sigma/\sigma_{em}<1$ ) 1'den küçük kaldıkları görülmüştür. Aşağıda ise sistemimize ait enine ve boyuna doğrultulardaki birer çerçevenin gerilme oranlarının SAP 2000 çıktıları görülmektedir.



Sistemin Plastik Analizi ile de çözümlü yapılmış ve analiz sonucu aşağıda verilen çerçeve için mafsal oluşumu ve çökme mekanizması gösterilmiştir. Analizde düşey yükler ve yatay yükler kullanılmıştır. Mafsal oluşumu önce kirişlerde gerçekleşmektedir ve şekilde gösterildiği sırayla oluştuğu gözlenmiştir. Bu da tasarımda istenen bir kriterdir (Sağlam kolon zayıf kiriş).



#### IV. KARŞILAŞTIRMA

*Tablo 8.1: Sistem ağırlıklarının karşılaştırılması*

YÖNTEM	AĞIRLIK (t)		
	KİRİŞLER	KOLONLAR	TOPLAM
ELASTİK HESAP	28,708	17,528.0	49,566.0
PLASTİK HESAP	19,614	15,870.4	39,412.4

**Tablo 8.2:** Sistemin bağlantı elemanı açısından karşılaştırılması

ELASTİK	A Detayı	B Detayı	C Detayı	D Detayı
HESAP	6 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede	6 Adet Başlıkta 2 Adet Gövdede	4 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede	6 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede
PLASTİK	A Detayı	B Detayı	C Detayı	D Detayı
HESAP	6 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede	8 Adet Başlıkta 2 Adet Gövdede	6 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede	6 Adet Başlıkta 6 Adet Gövdede

## ***V. SONUÇLAR VE ÖNERİLER***

Burada bahse konu olan binanın Elastik ve Plastik çözümleri yapılmış ve bu çelik bina için sonuçlar aşağıda karşılaştırılmışlardır.

Kirişlerde , plastik hesap elastik hesaba göre %30 daha ekonomik , kolonlarda ise plastik hesap % 10 daha ekonomiktir. Sistemin tümünde ise plastik hesap elastik hesaba göre % 20 daha ekonomiktir.

Birleşim elemanları açısından ele alındığında , plastik yöntemde elemanlar daha büyük kesit tesirlerine maruz kaldıklarından fazla sayıda birleşim elemanı çıkması da doğal karşılanmalıdır.

Çelik malzeme ile inşa edilmesi planlanan bir yapı iki ayrı hesap yöntemiyle boyutlandırılabilir. Bunlar emniyet gerilmelerinin kullanıldığı elastik hesap ve akma gerilmelerinin kullanıldığı plastik hesaptır. Ama mühendisin üç temel amacı olan ekonomiklik, güven ve estetiğe en yakın yöntem plastik hesap yöntemidir.

Ülkemizde boyutlandırmada plastik hesaptan ziyade elastik hesap yöntemi kullanılmaktadır. Oysa plastik hesap elastik hesaba göre çözümü , özellikle kirişlerde çok daha ince kesitlere götüren bir hesap yöntemidir.

**KAYNAKLAR**

- [1] TMMOB, “Yapıların Plastik Analizine Giriş Kurs Notları”, Oğuz, S., Ankara, 1983.
- [2] Arda, T.S. ve Uzgider, E., “Çelik Yapılarda Taşıma Gücü”, İstanbul, 1986.
- [3] Şengel, S., “Çelik Yapıların Plastik Tasarımında Birleşim Türlerinin İncelenmesi”, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir, 1996.
- [4] TS 648, “Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları”, TSE, Nisan, 1982.
- [5] TS 498, “Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri” TSE, Ankara, 1987.
- [6] TS 4561, “Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları”, TSE, Ankara, 1985.
- [7] TS 3357, “Çelik Yapılarda Kaynaklı Birleşimlerin Hesap Yapım Kuralları”, TSE, Ankara, 1985.
- [8] Arda, T.S. ve Aşkar, G., “Plastic Design of Steel Structures”, B.Ü, İstanbul, 1986.
- [9] TMMOB, “Çelik Yapı Elemanları ve Örnek Çözümler”, Tuğal, E., Nisan, 1986.
- [10] Ardan, F., “Çelik Yapı Elemanları”, Ankara, 1973.