

39555

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ * FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

39555

**BOYUTLANDIRMA KRİTERLERİNİN ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN
LİNEER OLMAYAN DAVRANIŞINA ETKİSİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Sezgin KURTULDU

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 13 Haziran 1994

Tezin Savunulduğu Tarih : 1 Temmuz 1994

Tez Danışmanı : Prof.Dr. Erkan ÖZER

Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Faruk KARADOĞAN

Doç. Dr. Sumru PALA

TEMMUZ 1994

ÖNSÖZ

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan bu çalışmada, çok katlı çelik yapıların boyutlandırılmasında esas alınan çeşitli boyutlandırma kriterlerinin ve yönetmeliklerin yapı sisteminin lineer olmayan davranışına ve göçme güvenliğine etkilerini incelemek amacıyla yürütülen bir araştırmanın ilkeleri, dayandığı bilimsel yöntemler, seçilen bir taşıyıcı sistem modeli üzerindeki sayısal uygulamaları ve sonuçları yer almaktadır.

Tez çalışmalarımın her aşamasında yakın ilgi ve değerli yardımlarını esirgemeyen Sayın Hocam Prof. Dr. Erkan ÖZER 'e, ayrıca lisans ve yüksek lisans öğrenimim sırasında değerli çalışmalarından yararlandığım Sayın Prof. Adnan ÇAKIROĞLU 'na, bu çalışmanın oluşmasına önemli katkılar sağlayan Araştırma Görevlileri Sayın Konuralp Girgin ve Sayın Sinan Doğaner 'e, Yapı Statîği Çalışma Grubunun diğer öğretim üyelerine ve bana maddi ve manevi destek veren aileme sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmalarım sırasında beni destekleyen ve teknik olanaklarından geniş ölçüde yararlanmamı sağlayan Yapı Merkezi İnşaat ve Sanayi A.Ş. 'nin yönetici ve teknik elemanlarına teşekkürü borç bilirim.

Haziran 1994

Sezgin KURTULDU
İnşaat Mühendisi

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖZET.....	v
SUMMARY	vi
Bölüm 1. GİRİŞ	1
1.1. Yapı Sistemlerinin Düşey ve Yatay Yükler Altındaki Davranışı.....	2
1.2. Yapıların Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi	4
1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı.....	5
Bölüm 2. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI	7
2.1. Ortak Boyutlandırma Kriterleri	7
2.2. Yapı Sistemlerinin Düşey ve Yatay Yüklere Göre Hesabı	8
2.3. Burkulma Boylarının Belirlenmesi.....	9
2.4. Boyutlandırma Yöntemleri.....	10
2.4.1. Güvenlik Gerilmeleri Esasına Göre Boyutlandırma	10
2.4.1.1. TS 648 Yönetmeliği	11
2.4.1.2. AISC-ASD Yönetmeliği	14
2.4.1.3. DIN 1050, 4114 Yönetmelikleri.....	18
2.4.2. Taşıma Gücü Esasına Göre Boyutlandırma.....	20
2.4.2.1. AISC-LRFD Yönetmeliği.....	20
2.5. Bilgisayar Programları	28
Bölüm 3. YAPI SİSTEMLERİNİN LİNEER OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI	30
3.1. İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi.....	30
3.1.1. Kabuller	30
3.1.2. Yöntemin Esasları	31
3.1.3. Akma Koşulları.....	33
3.1.4. Matematik Formülasyon	36
3.1.4.1. Denge Denklemleri.....	37
3.1.4.2. Plastik Kesitlerdeki Akma Koşulları.....	39
3.1.5. Hesapta İzlenen Yol	40
3.2. Bilgisayar Programları	42

Bölüm 4. BİR TAŞIYICI SİSTEM MODELİ ÜZERİNDE	
SAYISAL İNCELEME	43
4.1. Taşıyıcı Sistem Modelinin Özellikleri	43
4.2. TS 648 Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma	45
4.2.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri	45
4.2.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	46
4.2.2.1. Göçme Güvenlikleri	47
4.2.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıkları	48
4.2.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu	49
4.2.2.4. İkinci Mertebe Etkileri	52
4.3. AISC-ASD Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma	54
4.3.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri	55
4.3.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	56
4.3.2.1. Göçme Güvenlikleri	56
4.3.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıkları	57
4.3.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu	58
4.3.2.4. İkinci Mertebe Etkileri	60
4.4. DIN 1050, 4114 Yönetmeliklerine Göre Boyutlandırma	60
4.4.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri	61
4.4.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	62
4.4.2.1. Göçme Güvenlikleri	62
4.4.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıkları	63
4.4.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu	64
4.4.2.4. İkinci Mertebe Etkileri	66
4.5. AISC-LRFD Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma	66
4.5.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri	67
4.5.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi	68
4.5.2.1. Göçme Güvenlikleri	68
4.5.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıkları	69
4.5.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu	70
4.5.2.4. İkinci Mertebe Etkileri	73
Bölüm 5. SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI	74
5.1. Boyutlandırılan Sistemin Özelliklerinin Karşılaştırılması	74
5.2. Göçme Güvenliklerinin Karşılaştırılması	75
5.3. Plastik Kesitlerin Oluşumlarının Karşılaştırılması	76
5.4. İkinci Mertebe Etkilerin Karşılaştırılması	78
5.5. Göçme Yükü Hesabında Kullanılan Kesin ve Yaklaşık Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması	79
Bölüm 6. SONUÇLAR	80
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	86

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi olarak sunulan ve " Boyutlandırma Kriterlerinin Çok Katlı Çelik Yapıların Lineer Olmayan Davranışına Etkisi " ni inceleyen bu çalışma altı bölümden oluşmaktadır.

Birinci bölümde, yapı sistemlerinin düşey ve yatay yükler altındaki lineer olmayan davranışı incelenerek yapıların göçme güvenliklerinin belirlenmesini amaçlayan genel yöntemler özetlenmiş ve çalışmanın amacı ve kapsamı açıklanmıştır.

İkinci bölüm çok katlı çelik yapıların boyutlandırılmasına ayrılmıştır. Bu bölümde, çalışmada esas alınan ortak boyutlandırma kriterleri, burkulma boylarının bulunması, güvenlik gerilmeleri ve taşıma gücü ilkelere dayanan boyutlandırma yöntemleri ve yönetmelikler, boyutlandırmada yararlanılan bilgisayar programları hakkında bilgi verilmektedir.

Yapı sistemlerinin lineer olmayan teoriye göre hesabı amacıyla geliştirilen ve bu çalışmada yararlanılan bir yük artımı yönteminin dayandığı kabuller, yöntemin esasları ve matematik formülasyonu, hesapta izlenen yol ve yöntemin pratik uygulamaları üçüncü bölümde açıklanmıştır.

Dördüncü bölümde çok katlı çelik yapıların olası pratik uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen yirmi katlı, üç açıklıklı bir taşıyıcı sistem modeli üzerindeki sayısal incelemeler ve bu incelemelerin sonuçları geniş şekilde yer almaktadır. Bu bölümde, taşıyıcı sistem modeli önce TS 648, AISC-ASD, DIN 1050, 4114 ve AISC-LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılarak enkesitleri ve sistem özellikleri belirlenmekte, sonra birinci ve ikinci mertebe elastoplastik teoriye göre hesaplanarak göçme güvenlikleri, yük parametresi-yerdeğiştirme bağıntıları, plastik kesit oluşumları ve ikinci mertebe etkileri elde edilmektedir.

Beşinci bölümde, taşıyıcı sistem modelinin dört farklı yönetmelik esaslarına göre boyutlandırılması ve boyutlandırılan sistemin elastoplastik analizi ile elde edilen sayısal sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Altıncı bölüm bu çalışmada elde edilen sonuçların değerlendirilmesine ayrılmıştır.

EFFECT OF DESIGN CRITERIA ON NON-LINEAR BEHAVIOR OF MULTISTORY STEEL STRUCTURES

SUMMARY

In this study, the effect of design criteria and codes on the elastic-plastic behavior and collapse safety of multistory steel structures subjected to gravity and lateral loads is investigated. The numerical results obtained in the course of the study are presented and discussed in detail.

This study which is submitted as Master Thesis consists of six chapters.

In the first chapter, the subject is introduced and the scope and aim of the investigation is presented.

In recent years, the design and construction of tall buildings became more popular in our country, especially in major cities. Although most of the tall buildings are designed as reinforced concrete structures, it is believed that, in the near future the use of structural steel in tall buildings will gain importance due to several practical and economical reasons.

The recent developments in the non-linear analysis methods of plane and space structures enable engineers to reach more realistic and economical solutions. Further, by the use of these methods, the non-linear behavior and collapse safety of building structures designed by the current codes can be studied in detail.

By considering the facts above, a research project on the " Determination of Collapse Safety of Multistory Steel Structures Under Seismic Loads and Earthquake Resistant Structural Design " has been conducted under the sponsorship of Turkish Scientific and Technical Research Council.

This study which is a part of the above mentioned research project aims :

- a- to investigate the collapse safety and the elastic-plastic, second-order behavior of a sample frame designed according to the provisions of the current steel design codes based on both allowable stress and ultimate strength principles,
- b- based on the numerical results obtained through the non-linear analyses of the sample frame, to discuss the current steel design

codes with special emphasis on seismic safety and economical design of multistory steel frames.

The procedure followed in this study has following steps :

- a- Selection of a sample structure which represents the tall office buildings commonly encountered in practice. This is a twenty-story, three-bay steel frame.
- b- Design of the sample frame according to the provisions of the Turkish code TS 648 and the major steel design codes based on the allowable stress method and the ultimate design principles.
- c- Analyses of the designed structural systems according to the second-order, elastic-plastic theory under constant gravity and increasing lateral loads as well as proportionally increasing gravity and lateral loads by using effective computer programs developed for the practical applications of the non-linear theory.
- d- Discussion and comparison of the numerical results obtained in these analyses.

In this chapter, the second-order, elastic-plastic behavior of structural systems subjected to gravity and lateral loads is also discussed.

The non-linear behavior of structures is caused by two different reasons, such as geometrical and material non-linearities.

Material non-linearity represents the load carrying capacity of material beyond the proportional limit.

As the gravity and lateral loads are increased starting from the initial state, plastic deformations develop at sections where the internal forces reach the limiting values which correspond to the proportional limit. In the case of structures made of ductile material such as steel, the plastic deformations are assumed to be accumulated at certain sections which are defined as plastic sections. This assumption is called as " plastic hinge hypo-thesis ".

Geometrical non-linearity represents the effect of geometrical changes on the equilibrium equations. As it known, the theory which considers the geometrical non-linearity is called as " second-order theory ".

When both non-linearities are considered in the analysis of a structural system, the collapse of a structure occurs at a load parameter of $\mathcal{P}_{L2}$ through the loss of stability. This load parameter is referred to as the

After the formation of each plastic section, the plastic rotation at this section is introduced as a new unknown. Besides, an equation is added to the system of equations to express the incremental yield conditions.

Since the system of equations corresponding to the previous load increment have already been solved, the solution for the current load increment is simply obtained by the elimination of the new unknown.

As it is clearly seen from the above discussion that, the determination of the second-order limit load of a structure is reduced to the determination of an extended system of linear equations and the solution of this system and its subsystems.

The fourth chapter is devoted to the presentation of numerical results obtained through the detailed investigation.

A twenty-story, three-bay steel frame representing the tall office buildings is selected for numerical study.

The selected frame is first designed in accordance with different design codes explained in the second chapter. Then the structural systems designed by these codes are analyzed according to the non-linear theory.

Six different analyses are performed for each design. These are first-, and second-order, elastic-plastic analyses under both proportional and non-proportional loadings.

The following results are presented for each structural system designed by the codes investigated :

- a- member sizes of columns and beams and the governing loading conditions,
- b- characteristics of the structural system, such as weight of structural system, drift ratio, natural period, buckling load parameter,
- c- first-, and second-order limit loads determined by the non-linear analyses,
- d- load-drift curves,
- e- plastic section patterns,

- f- " $P-\Delta$ " effects at the levels of service load and collapse loads, and the variation of these effect along the height of the building.

In the fifth chapter, the characteristics and the non-linear behavior of structural systems designed by the application of different design codes are compared.

The results obtained in the course of this study are discussed in the six chapter. The main results are given in the following :

- a- The application of AISC-LRFD code which is based on the ultimate strength design principles results in more economical solution as compared with other codes.
- b- The weight of the structural system obtained by the application of American AISC-ASD design code is approximately 4 % less than obtained through the Turkish TS 648 Standard. The difference is caused by two reasons.
 - i) The allowable bending stress adopted in AISC-ASD is 10 % above than that adopted in TS 648 .
 - ii) According to AISC-ASD code, the allowable stresses for combined gravity and wind loading are increased by 33 % instead of 15 %.
- c- The collapse safety of structural systems designed by Turkish standard and DIN norms is above 1.50 for both proportional and non-proportional loading, while collapse safety of 1.44 - 1.45 is reached by American codes under proportional loadings.
- d- The collapse safety of structures against gravity and wind (HZ) loads is generally 50 % above the safety against gravity and earthquake (HD) loads.
- e- The governing loading condition for the design of structural system is generally gravity+earthquake (HD) loading. However, in the application of Turkish standard and DIN norms, the design of some of the lower story columns is governed by the gravity+wind (HZ) loading.
- f- When plastic hinge patterns obtained for wind and seismic loadings are compared, it is seen that the plastic hinges corresponding to wind loading generally accumulate in lower stories.
- g- The second-order ($P - \Delta$) effects are 5-6 % for service load level and 15-16 % for collapse load levels.

Bölüm 1. GİRİŞ

Ülkemizde, özellikle yoğun yerleşim bölgelerinde çok katlı yapıların giderek daha geniş uygulama alanı bulması, bu yapı sistemlerinin gerçekçi, diğer bir deyişle yeter güvenli ve en ekonomik olarak tasarımının önemini arttırmaktadır. Çok katlı yapıların önemli bir özelliği, bu yapı sistemlerinin boyutlandırılmasında rüzgar ve deprem etkilerinin düşey yüklere oranla genellikle daha belirleyici olmasıdır.

Değişen ve gelişen ekonomik koşullara paralel olarak işçilik giderlerinin toplam yapı maliyeti içindeki payının artması ve bunun sonucunda prefabrikasyonun önem kazanması, yapım sürelerini kısaltarak yapıların mümkün olan en kısa zamanda kullanıma açılması isteği ve yapı taşıyıcı sistemini narinleştirerek bina alanından verimli bir şekilde yararlanılmasının sağlanması gibi nedenler, diğer batı ülkelerinde olduğu gibi, ülkemizde de çok katlı çelik yapıların uygulanması gereğini vurgulamaktadır.

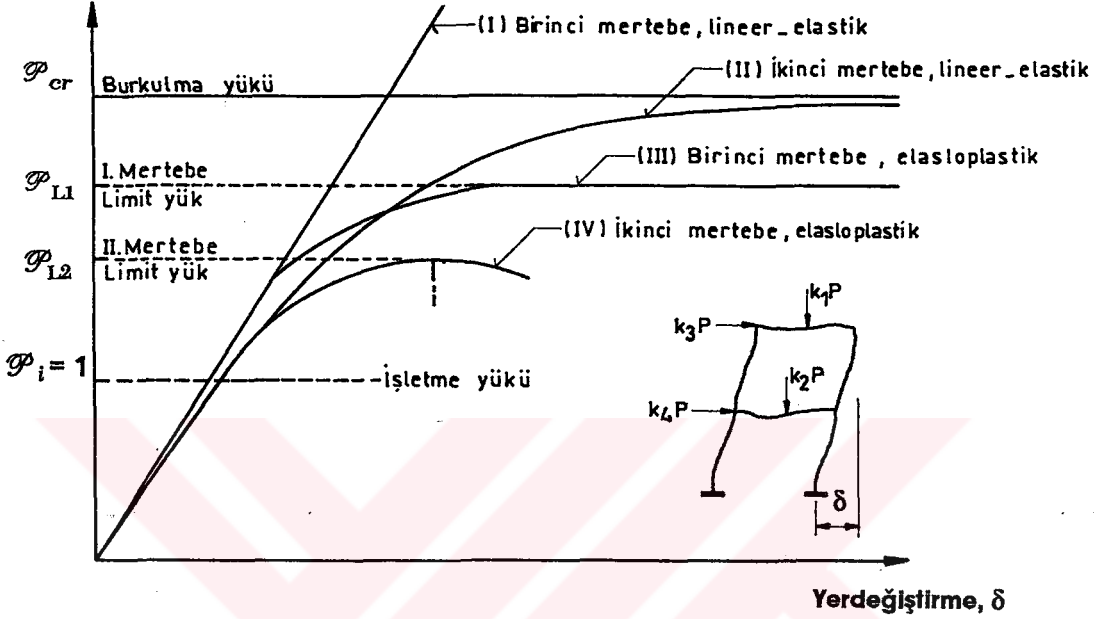
Yapı malzemelerinin orantı sınırından sonraki lineer olmayan davranışını ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini (II. mertebe etkisi) gözönüne alan ileri hesap yöntemlerinde son yıllarda meydana gelen gelişmeler, yapı sistemlerinin dış yükler altındaki gerçek davranışının daha yakından izlenebilmesine ve göçme güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamışlardır, [1], [2], [3].

Bu hususlar gözönünde tutularak, Türkiye Bilimsel ve Teknik Araştırma Kurumu'nun desteği ile, " Çok Katlı Çelik Yapıların Deprem Kuvvetleri Altındaki Gerçek Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı " isimli bir araştırma projesi yürütülmektedir. Söz konusu araştırma projesinin kapsamı içinde ve ona paralel olarak gelişen bu çalışmada, çeşitli boyutlandırma kriterlerinin ve yönetmeliklerin çok katlı çelik yapıların lineer olmayan davranışına etkileri incelenmekte ve alternatif boyutlandırma kriterleri araştırılmaktadır.

1.1. Yapı Sistemlerinin Düşey ve Yatay Yükler Altındaki Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin lineer ve lineer olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta$) bağıntıları Şekil 1.1 de şematik olarak gösterilmiştir.

Yük Parametresi, $\mathcal{P}$



Şekil 1.1 : Yük Parametresi-Yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta$) Bağıntıları

Bir yapı sisteminin dış etkiler altındaki davranışının lineer olmaması iki sebepten ileri gelmektedir :

a- malzemenin lineer-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekil-değiştirme bağıntılarının (bünve denklemleri) lineer olmaması,

b- geometri değişimlerinin etkisi nedeniyle denge denklemlerinin lineer olmaması.

Bilindiği gibi, malzemenin lineer olmayan davranışının gözönüne alındığı teoriye *elastoplastik teori*, denge denklemlerinin şekildedirilmiş eksen üzerinde yazıldığı teoriye *ikinci mertebe teorisi*, lineerliği bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alındığı hesap yöntemine ise *ikinci mertebe, elastoplastik teori* denilmektedir.

Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisi terkedilerek hesaplanan I. mertebe limit yükten farklı olarak, II. mertebe limit yükte sistem mekanizma durumuna gelmeyebilir.

Bazı hallerde, dış yükler ikinci mertebe limit yüke ($\mathcal{P}_{L2}$) erişmeden önce , meydana gelen büyük yerdeğiştirmeler ve plastik şekildeğiştirmeler yapının göçmesine neden olabilir. Göçmenin meydana geldiği $\mathcal{P}_G$ yük parametresine *göçme yükü* denilmektedir.

1.2. Yapıların Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi

Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki gerçek davranışının daha yakından izlenmesine olanak sağlayan II. mertebe elastoplastik hesap yöntemlerinden uygulamada iki şekilde yararlanılabilmektedir.

a) Yapıların göçme yükü esasına göre boyutlandırılması

Sünek malzemeden yapılan yapı sistemlerinin göçme yükü esasına göre boyutlandırılmasında izlenen genel yol bir ardışık yaklaşım yöntemidir. Her adımı birbirlerini izleyen boyutlandırma ve sistem hesabı aşamalarından oluşan bu yöntemde, düşey ve yatay işletme yüklerinin bu yükler için öngörülen güvenlik katsayıları ile çarpımından oluşan hesap yükleri ikinci mertebe limit yükü aşmayacak şekilde sistemin enkesitleri belirlenir.

Ayrıca,

i) hesap yükleri altında, sistemin göçmesine neden olabilecek büyük yerdeğiştirmelerin ve plastik şekildeğiştirmelerin meydana gelmemesi,

ii) işletme yükleri altındaki yerdeğiştirmelerin yönetmeliklerin öngördüğü sınır değerleri aşmaması ve gerilmelerin lineer-elastik sınırın altında kalması sağlanır.

b) Boyutlandırılan yapıların göçme güvenliklerinin belirlenmesi

Belirli bir yönteme veya yönetmeliğe göre boyutlandırılarak enkesitleri saptanan bir yapının göçme güvenliğinin belirlenmesi için önce II. mertebe elastoplastik teoriye göre sistem hesabı yapılarak ikinci mertebe limit yüke karşı gelen düşey ve yatay yükler bulunur. Sonra bu yükler işletme yük-

lerine oranlanarak göçmeye ait düşey yük parametresi (DYP) ve yatay yük parametresi (YYP) elde edilir. Daha sonra bu değerler yönetmeliklerin öngördüğü güvenlik katsayıları ile karşılaştırılarak yapı güvenliği irdelenir.

Yapıların göçme güvenliği iki şekilde belirlenebilir:

b1) Boyutlandırılan yapı sistemi orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler için hesaplanarak bu yükler için ortak bir göçme güvenliği (DYP = YYP) belirlenir, [4], [5], [6].

b2) Önce düşey yükler, bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkililir. Sonra sistem artan yatay yükler için hesaplanarak göçmeye ait yatay yük parametresi (YYP) belirlenir. Böylece düşey yükler için öngörülen belirli bir güvenlik altında sistemin yatay yük taşıma kapasitesi elde edilir, [4], [6], [7], [8].

Büyük oranda yapı öz ağırlığından oluşan düşey yüklerin daha belirli olduğu, buna karşılık rüzgar ve deprem gibi etkileri temsil eden yatay yüklerin değişme olasılığının daha fazla olduğu gözönüne alındığında, yukarıda (b2) paragrafında önerilen yolla hesaplanan göçme güvenliğinin daha gerçekçi olduğu görülmektedir.

1.3. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Yapı sistemlerinin lineer olmayan teoriye göre hesabı için geliştirilen hesap yöntemlerinin sağladığı olanakların pratik uygulamalara aktarılmasını öngören bu çalışmanın amacı,

a- çeşitli boyutlandırma kriterlerine ve yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan çok katlı, düzlem yapı çerçevelerinin düşey ve yatay yükler altındaki davranışlarının ve göçme güvenliklerinin geniş şekilde araştırılması,

b- elde edilen sonuçlara dayanarak, bu yönetmeliklerin güvenlik ve ekonomi açılarından karşılaştırılması,

c- önerilerin ve alternatif boyutlandırma kriterlerinin belirlenmesi suretiyle güvenli ve ekonomik yapı tasarımına katkı sağlamaktır.

Çalışmada izlenen yol şu aşamalardan oluşmaktadır :

a- çok katlı düzlem çelik yapıların pratikteki olası uygulamalarını temsil etmek üzere, bir *taşıyıcı sistem modelinin* belirlenmesi,

b- belirlenen taşıyıcı sistem modelinin ülkemizde yürürlükte olan yönetmeliklere ve diğer başlıca yönetmeliklere göre boyutlandırılması,

c- boyutlandırılan yapı sistemlerinin, malzeme ve geometri değişimlerinin lineer olmayan etkilerini gözönüne alan ileri hesap yöntemleri ile ve bu yöntemlerin pratik uygulamaları için geliştirilmiş bilgisayar programlarından yararlanılarak hesabı, düşey ve yatay yükler altındaki davranışlarının incelenmesi ve göçme güvenliklerinin belirlenmesi,

d- sayısal sonuçların değerlendirilmesi, karşılaştırılması ve önerilerin belirlenmesi.

İzleyen bölümlerde bu aşamalar ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

Bölüm 2. ÇOK KATLI ÇELİK YAPILARIN BOYUTLANDIRILMASI

Bu çalışmada, çok katlı çelik yapıların pratikteki uygulamalarını temsil etmek üzere seçilen bir taşıyıcı sistem modeli ülkemizde uygulanmakta olan yönetmeliklere ve diğer başlıca yönetmeliklere göre boyutlandırılmakta ve boyutlandırılan yapı sistemlerinin lineer olmayan davranışı incelenmektedir.

Araştırmada esas alınan yönetmelikler,

a- güvenlik gerilmeleri esasına dayanan

a.1- TS 648 yönetmeliği

a.2- AISC-ASD Amerikan yönetmeliği

a.3- DIN 1050, 4114 Alman yönetmelikleri

b- taşıma gücü esasına dayanan

b.1- AISC-LRFD Amerikan yönetmeliğidir.

Aşağıdaki bölümlerde, önce çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırmada gözönünde tutulan ortak boyutlandırma kriterleri, düşey ve yatay yüklere göre sistem hesabı, burkulma boylarının bulunması açıklanacak, sonra söz konusu yönetmelikler teker teker ele alınarak özetlenecektir.

Bu bölümde ayrıca, boyutlandırmada yararlanılan bilgisayar programları hakkında bilgi verilecektir.

2.1. Ortak Boyutlandırma Kriterleri

Taşıyıcı sistem modelinin çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırılmasında ortak olarak aşağıdaki boyutlandırma kriterleri esas alınmaktadır.

a- Yapı sistemi düşey yükler ile yatay rüzgar ve deprem kuvvetleri için hesaplanarak kesit tahkikleri yapılmaktadır. Boyutlandırmada gözönüne alınan yükleme durumları şunlardır.

- i) Düşey yükler (H)
- ii) Düşey yükler + Soldan rüzgar (HZ)
- iii) Düşey yükler + Sağdan rüzgar (HZ)
- iv) Düşey yükler + Soldan deprem (HD)
- v) Düşey yükler + Sağdan deprem (HD)

b- Rüzgar yükleri TS 498 [9] yönetmeliğine uygun olarak belirlenmektedir. Yapı yüksekliği boyunca sürekli olan rüzgar yükleri kat döşemelerine etkileyen statikçe eşdeğer tekil kuvvetlere dönüştürülmüşlerdir.

c- Yapı yüksekliğinin 75 m den az olması nedeniyle yarı dinamik yöntem uygulanmakta ve deprem yükleri Türk Deprem Yönetmeliğine [10] göre hesaplanmaktadır. Yapının birinci normal moda ait özel periyodunun değeri, $S=1.00$ için hesaplanan deprem yüklerinden oluşan yerdeğiştirmeler esas alınarak Rayleigh oranı ile elde edilmektedir, [11].

d- Yapı sisteminin boyutlandırılmasında, aşağıda belirtilen çeşitli konstruktif kısıtlamalar gözönünde tutulmaktadır.

- i) Kiriş ekesitleri IPE, kolon enkesitleri HD Avrupa norm profilleri arasından seçilmişlerdir.
- ii) Bir kattaki kiriş enkesitleri birbirinin aynıdır ve iki katta bir değişmektedir.
- iii) Bir kattaki dış ve iç kolon enkesitleri ayrı ayrı birbirlerinin aynıdır ve iki katta bir değişmektedir.
- iv) Kiriş ve kolon enkesitleri alt katlara doğru küçülemezler.

2.2. Yapı Sistemlerinin Düşey ve Yatay Yüklere Göre Hesabı

Yapı sisteminin Bölüm 2.1 de belirtilen düşey ve yatay yüklere göre hesabı için Matris Deplasman Yönteminden [12] ve bu yöntemin sayısal uygulamaları için hazırlanan bilgisayar programlarından yararlanılmaktadır.

2.3. Burkulma Boylarının Belirlenmesi

Bilindiği gibi, çeşitli yönetmeliklere göre yapılan kesit hesaplarında, eksenel kuvvetin basınç olduğu elemanların burkulma boylarına gerek olmaktadır. Bu çalışmada kolon burkulma boylarının belirlenmesi için iki ayrı yol uygulanmıştır.

Bu yollardan birincisinde, TS 648 [13] ve AISC-ASD [14] yönetmeliklerinde verilen nomogramlar esas alınmaktadır. Ancak kullanım kolaylığı açısından, bu nomogramlar yerine, onların hazırlanmasına esas olan lineer olmayan denklemlerden [15] yararlanılmakta ve bu denklemlerin ardışık yaklaşım yöntemi ile çözümü suretiyle kolon burkulma boyları bulunmaktadır.

İkinci yolda sistemin II. mertebe rijitlik matrisi oluşturularak, bu matrisin determinant değerini sıfır yapan en küçük düşey yük parametresi ; yani burkulma yükü bulunur. Daha sonra, bu değerden yararlanılarak kolonların burkulma boyları,

$$s_k = \pi \sqrt{\frac{EI}{P_{cr}}} \quad (2.1)$$

Euler formülü ile hesaplanır. Görüldüğü gibi, ikinci yol ile burkulma boylarının kesin değerleri elde edilebilmektedir.

Nomogramlar yardımı ile burkulma boylarının hesabı

Yapı sistemindeki basınç çubuklarının çerçeve düzlemi içindeki burkulma boyu katsayısı çerçevenin yanal hareketinin önlenip önlenmemesi durumuna göre belirlenir. Basınç çubuğunun A ve B uçlarında ait G katsayıları,

$$G = \frac{\sum I_c / s_c}{\sum I_g / s_g} \quad (2.2)$$

formülü ile elde edilir. Burada,

G : burkulma boyu hesabında kullanılan yardımcı katsayıyı,

I_c : gözönüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki atalet momentlerini,

I_g : gözönüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin burkulma boyunun hesaplanacağı düzlemdeki atalet momentlerini,

s_c : gözönüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kolonların boylarını,

s_g : gözönüne alınan noktaya rijit olarak bağlanmış kirişlerin boylarını,

göstermektedir.

Kolon temele rijit olarak bağlı ise kolon alt ucunda $G=1.00$ alınmalıdır.

Kolon temele tamamen sürtünmesiz bir mafsalla bağlı ise $G=10.00$ alınmalıdır.

Kolonun her iki ucundaki G_A ve G_B değerleri hesaplandıktan sonra TS 648 de verilen (Çizelge-4 veya Çizelge-5) nomogramlardan veya [15] de verilen denklemlerin çözümünden k değeri elde edilir. Burkulma boyu s_k ,

$$s_k = k.s \quad (2.3)$$

olarak bulunur. Burada s , kolon boyunu göstermektedir.

2.4. Boyutlandırma Yöntemleri

2.4.1. Güvenlik Gerilmeleri Esasına Göre Boyutlandırma

Güvenlik gerilmeleri esasına göre boyutlandırmada düşey ve yatay işletme yüklerinden oluşan ve lineer teori ile hesaplanan gerilmeler, sınır gerilmenin (çelik yapılarda akma gerilmesi) bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen güvenlik gerilmesini aşmayacak şekilde sistem boyutlandırılır.

Çelik yapıların boyutlandırılmasında yararlanılan çeşitli yönetmelikler, güvenlik katsayılarının seçimi ve basınç kuvveti altındaki elemanların

boyutlandırılmasında kullanılan bağıntılar bakımından birbirlerinden farklılıklar gösterirler.

Aşağıda, güvenlik gerilmeleri esasına dayanan TS 648, AISC-ASD ve DIN 1050, 4114 yönetmeliklerine göre kesit hesapları özetlenecektir.

2.4.1.1. TS648 Yönetmeliği [13]

Çekme güvenlik gerilmesi ($\sigma_{\text{çem}}$)

Çekme güvenlik gerilmesi faydalı enkesitte en çok

$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.6 \sigma_a \quad (2.4)$$

olmalıdır. Ayrıca bu değer çekme dayanımının (σ_d) yarısını aşmamalıdır.

$$\sigma_{\text{çem}} \leq 0.5 \sigma_d \quad (2.5)$$

Basınç güvenlik gerilmesi (σ_{bem})

Eksenel basınç etkisindeki bir çubuğun narinliği λ_p sınır değerinden küçük ise ($\lambda < \lambda_p$) basınç güvenlik gerilmesi,

$$\sigma_{\text{bem}} = \frac{[1 - \frac{1}{2}(\frac{\lambda}{\lambda_p})^2] \sigma_a}{n} \quad (2.6)$$

çubuğun narinliği $\lambda \geq \lambda_p$ ise basınç güvenlik gerilmesi,

$$\sigma_{\text{bem}} = \frac{2 \pi^2 E}{5 \lambda^2} \quad \text{veya} \quad \sigma_{\text{bem}} = \frac{829000}{\lambda^2} \quad (2.7)$$

formülleri kullanılarak hesap edilir. Bu formüllerde,

λ : çubuğun x ve y doğrultularındaki $\lambda_x = s_{kx}/i_x$ veya $\lambda_y = s_{ky}/i_y$
narinlik değerlerinden büyük olanı

i : burkulma düzlemindeki atalet yarıçapı

s_k : burkulma düzlemindeki çubuk burkulma boyu

n : güvenlik katsayısı ≥ 1.67

$$n = 1.67 \quad \lambda < 20$$

$$n = 1.5 + 1.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right) - 0.2\left(\frac{\lambda}{\lambda_p}\right)^3 \quad \lambda_p \geq \lambda \geq 20$$

$$n = 2.5 \quad \lambda \geq \lambda_p$$

E : elastisite modülü (MPa),

σ_a : çeliğin akma sınırı (MPa),

λ_p : plastik narinlik sınırı (kritik narinlik),

$$\lambda_p = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_a}} = \frac{2036}{\sqrt{\sigma_a}} \quad (2.8)$$

σ_{bem} : basınç güvenlik gerilmesi (MPa) dir.

Bileşik iç kuvvet halinde gerilme kontrolü

Dışmerkez basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile birlikte M_x ve/veya M_y eğilme momentleri etkisindeki çubuklarda burkulmalı ve burkulmasız gerilme kontrolü,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{C_{mx}\sigma_{bx}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ex}})\sigma_{Bx}} + \frac{C_{my}\sigma_{by}}{(1 - \frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{ey}})\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (2.9)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0.60\sigma_a} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (2.10)$$

formülleri ile yapılır. Eğer,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \leq 0.15$$

ise, yukarıdaki formüller yerine,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} + \frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}} \leq 1.0 \quad (2.11)$$

formülü kullanılabilir.

Yukarıdaki formüllerde x ve y indisleri gerilmenin veya ilgili katsayıların uygulandığı eksenini göstermektedir. Bu bağıntılarda,

σ_{bem} : yalnız basınç kuvveti etkisi altında müsaade edilecek gerilme,

σ_B : yalnız eğilme momenti etkisi altında müsaade edilecek basınç eğilme gerilmesi ($\sigma_B \leq 0.60\sigma_a$) (MPa),

$$\sigma'_e = \frac{\pi^2 E}{(k \frac{s_b}{i_b})^2} \frac{1}{2.5} = \frac{829000}{(k \frac{s_b}{i_b})^2} \quad (2.12)$$

s_b : mesnetler arasındaki yanal desteksiz mesafe,

i_b : eğilmenin olduğu düzleme dik eksene göre atalet yarıçapı,

k : eğilmenin olduğu düzlemdeki burkulma boyunu elde etmek için kullanılan katsayı,

σ_{eb} : yalnız basınç kuvvet etkisi altında hesaplanan gerilme (MPa),

σ_b : yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan basınç gerilmesidir.

C_m : Uç momentlerini ve yanal desteklemeyi gözönüne alan bir katsayıdır ve

- yanal yerdeğiştirmenin mümkün olduğu çerçevelerde $C_m=0.85$,
- düğüm noktalarının ötelenmesine müsaade edilmeyen çerçevelerde ve burkulma düzleminde yük olmayan çubuklarda,

$$C_m = 0.6 - 0.4 \frac{M_1}{M_2} \geq 0.4 \quad (2.13)$$

formülü ile bulunabilir. M_1 / M_2 çubuğun iki ucundaki eğilme momentlerinin küçüğünün büyüğüne oranı olup, çubuğun ucundaki eğilme momentleri aynı yönlü ise pozitif, zıt yönlü ise negatiftir.

TS 648 yönetmeliği Türk Deprem Yönetmeliği ile birlikte uygulandığında güvenlik gerilmeleri,

" HZ " yüklemesi için %15 oranında,

" HD " yüklemesi için %33 oranında

arttırılmaktadır.

2.4.1.2. AISC-ASD yönetmeliği [14]

Çekme güvenlik gerilmesi (F_t)

Perçin veya bulon delikleri bulunmayan çubukların faydalı enkesit alanında en çok

$$F_t = 0.60F_y \quad (2.14)$$

olmalıdır. Ayrıca bu değer çekme dayanımının (F_u) yarısını aşmamalıdır.

$$F_t \leq 0.50F_u \quad (2.15)$$

Burada,

F_y : akma gerilmesini (MPa),

F_u : kopma gerilmesini (MPa)

göstermektedir.

Basınç güvenlik gerilmesi (F_a)

Eksenel basınca maruz çubukların brüt enkesitlerinde, en büyük etkin Kl/r narinliği C_c den küçükse basınç güvenlik gerilmesi

$$F_x = \frac{1 - \frac{(Kl / r)^2}{2C_c^2}}{\frac{5}{3} + \frac{3(Kl / r)}{8C_c} - \frac{(Kl / r)^3}{8C_c^3}} F_y \quad (2.16)$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad (2.17)$$

fomülü ile hesap edilir.

Eksenel basınca maruz elemanların brüt enkesitlerinde , Kl/r narinliği C_c den büyükse basınç güvenlik gerilmesi

$$F_a = \frac{12\pi^2 E}{23(Kl / r)^2} \quad (2.18)$$

formülü ile hesaplanır.

Bu formüllerde,

l : elemanın serbest boyu ,

K : etkin burkulma boyu katsayısı,

r : atalet yarıçapı,

C_c : plastik narinlik sınırı (kritik narinlik),

E : elastisite modülüdür, (MPa).

Eğilme güvenlik gerilmesi (F_b)

Simetri eksenini oluşturan zayıf asal eksenin bulunduğu düzlemde yüklenmiş, hadde profili veya çok parçalı elemanların kenar liflerindeki çekme ve basınç güvenlik gerilmesi,

$$F_b = 0.66F_y \quad (2.19)$$

şeklinde hasaplanır.

Bu elemanlar aşağıdaki koşulları sağlamış olmalıdırlar :

- Başlıklar gövdeye sürekli olarak birleştirilmiş olmalıdır ve basınç başlığının " genişlik/kalınlık " oranı

$$b / t_f \leq 172 / \sqrt{F_y} \quad (2.20)$$

olmalıdır. I enkesitli profiller için $b = b_f / 2$ olarak alınacaktır.

- Basınç başlığının yanal destekleri, aralarındaki mesafeler aşağıdaki değerleri aşmayacak şekilde konulmalıdır :

$$\frac{201b_f}{\sqrt{F_y}} \quad \text{ve} \quad \frac{140600}{(d / A_f)F_y}, \quad (\text{cm}) \quad (2.21)$$

b_f : başlık genişliği (cm)

t_f : başlık kalınlığı (cm)

d : kiriş yüksekliği (cm)

A_f : kasınç başlığının alanı (cm^2)

Yukarıdaki koşullara uymayan çubuk ve enkesitler için eğilme güvenlik gerilmesi :

$$F_b \leq 0.60F_y \quad (2.22)$$

olarak alınır.

Bileşik iç kuvvet halinde gerilme kontrolü

Dışmerkez basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile birlikte M_x ve/veya M_y eğilme momentleri etkisindeki çubuklarda burkulmalı ve burkulmasız gerilme kontrolleri :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{C_{mx} \cdot f_{bx}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ex}}) \cdot F_{bx}} + \frac{C_{my} \cdot f_{by}}{(1 - \frac{f_a}{F_{ey}}) \cdot F_{by}} \leq 1.00 \quad (2.23)$$

$$\frac{f_a}{0.60 F_y} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00 \quad (2.24)$$

formülleri ile yapılır. Eğer $\frac{f_a}{F_a} \leq 0.15$ ise yukarıdaki (2.23) ve (2.24) formülleri yerine aşağıdaki (2.25) formülü kullanılabilir :

$$\frac{f_a}{F_a} + \frac{f_{bx}}{F_{bx}} + \frac{f_{by}}{F_{by}} \leq 1.00 \quad (2.25)$$

(2.23),(2.24) ve (2.25) formüllerindeki x, y endisleri,etraflarında eğilmenin meydana geldiği asal eksenleri göstermektedir. Bu bağıntılarda,

F_a : sadece aksenal kuvvetin bulunması halindeki güvenlik gerilmesi (MPa)

F_b : sadece eğilme momentinin bulunması halindeki eğilme-basınç güvenlik gerilmesi (MPa)

$F'_e = \frac{12 \pi^2 E}{23 (K l_b / r_b)^2}$: güvenlik katsayısına bölünmüş *Euler* gerilmesi

l_b : eğilme düzlemindeki gerçek serbest boy

r_b : eğilmenin meydana geldiği düzleme dik eksene göre atalet yarıçapı

f_a : aksenal kuvvete göre hesaplanan basınç gerilmesi

f_b : eğilme momentine göre hesaplanan eğilme-basınç gerilmesidir.

C_m : Uç momentlerini ve yanal yerdeğiştirmeleri göz önüne alan bir katsayıdır ve

- Yanal yerdeğiştirmenin mümkün olduğu çerçevelerde $C_m=0.85$
- Düğüm noktalarının ötelenmesine müsaade edilmeyen çerçevelerde ve burkulma düzleminde yük olmayan çubuklarda,

$$C_m = 0.60 - 0.40 \frac{M_1}{M_2} \quad (2.13)$$

formülü ile bulunabilir. M_1 / M_2 çubuğun iki ucundaki eğilme momentlerinin küçüğünün büyüğüne oranı olup, çubuğun eğilme momentleri aynı yönlü ise pozitif, zıt yönlü ise negatiftir.

AISC-ASD yönetmeliği, Türk deprem yönetmeliği ve Amerikan ANSI yönetmeliği [16] ile birlikte uygulandığında, güvenlik gerilmeleri "HZ" ve "HD" yüklemeleri için % 33.33 oranında arttırılmaktadır.

2.4.1.3 DIN 1050, 4114 yönetmelikleri [17] [18]

TS 648 Standardına paralel olarak, ülkemizde geniş olarak uygulanmakta olan Alman DIN normları ve Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti, (T.K.İ.C.) Çelik Şartnamesinin esasları aşağıda kısaca açıklanmıştır, [17] [18] [19].

Çekme güvenlik gerilmesi (σ_{em})

Akma sınırına (σ_F) karşı güvenlik katsayısı ϑ_F ile gösterilirse, çeliğin güvenlik gerilmesi

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_F}{\vartheta_F} \quad (2.26)$$

olarak tanımlanır. T.K.İ.C. Çelik Şartnamesinde, ϑ_F güvenlik katsayısı için

" H " yüklemesinde : $\vartheta_F = 1.71$

" HZ " yüklemesinde : $\vartheta_F = 1.50$

değerleri öngörülmüştür..

Türk Deprem Yönetmeliğine göre, "HD" yüklemesi için güvenlik gerilmesi olarak,

$$\sigma_{em}^{HD} = 1.33. \sigma_{em}^{HD} \quad (2.27)$$

alınmaktadır.

Basınç güvenlik gerilmesi (σ_{dem})

Eksenel basınca maruz çubukların brüt enkesitlerinde, en büyük etkin narinliğe bağlı olarak basınç güvenlik gerilmesi,

$$\sigma_{dem} = \frac{\sigma_{em}}{\omega} \quad (2.28)$$

şeklinde tanımlanır. Gerilme kontrolü ise,

$$\sigma = \frac{\omega \cdot S}{F} \leq \sigma_{em} \quad (2.29)$$

formülü ile yapılır. ω burkulma sayısı değerleri λ narinlik değerlerine bağlı olarak yönetmeliklerde verilmiştir.

Bileşik iç kuvvet hali

Dışmerkez basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile birlikte M_x ve/veya M_y eğilme momentleri etkisindeki çubuklarda, enkesitlerinin ağırlık merkezleri eğilme-çekme ve eğilme-basınç kenarlarından aynı uzaklıkta bulunuyorsa, burkulmalı ve burkulmasız gerilme kontrolleri,

$$\omega \frac{S}{F} + 0.90 \left(\frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \right) \leq \sigma_{em} \quad (2.30)$$

$$\frac{S}{F} + \frac{M_x}{W_x} + \frac{M_y}{W_y} \leq \sigma_{em} \quad (2.31)$$

formülleri ile yapılır. Burada,

S : çubukta meydana gelen en büyük basınç kuvveti,

F : çubuğun brüt enkesit alanı,

W_x : kesitin "x-x" eksenine göre mukavemet momenti,

W_y : kesitin "y-y" eksenine göre mukavemet momenti,

σ_{em} : incelenen yüklemeye göre çekme güvenlik gerilmesidir.

Bilindiği gibi, Alman DIN 1050 normunda [17] stabilite problemlerinin bulunmadığı hallerde çekme ve eğilmede çekme ve basınç gerilmeleri için güvenlik katsayıları,

$$\text{"H"} \text{ yüklemesi için } \vartheta_F = 1.50$$

$$\text{"HZ"} \text{ yüklemesi için } \vartheta_F = 1.33$$

değerlerini almaktadır. Bununla beraber bu çalışmada, ülkemizde uygulandığı şekilde, T.K.İ.C. Türk Çelik Şartnamesinde [19] verilen güvenlik katsayıları kullanılmıştır.

2.4.2. Taşıma Gücü Esasına Göre Boyutlandırma

Taşıma gücü teorisine göre boyutlandırmada düşey ve yatay işletme yüklerinin bu yükler için öngörülen yük güvenlik katsayıları ile çarpımından oluşan hesap yükleri altında lineer veya lineer olmayan teoriye göre hesap sonucunda bulunan gerilmeler, sınır gerilmenin (çelik yapılarda akma gerilmesi) malzeme güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen hesap dayanımını aşmayacak şekilde sistem boyutlandırılır.

Bölüm 2.4.2.1. de taşıma gücü esasına dayanan Amerikan AISC-LRFD [20] yönetmeliğine göre kesit hesapları geniş olarak özetlenecektir.

2.4.2.1 AISC-LRFD yönetmeliği [20]

Yükler ve Yük Kombinasyonları

Hesaplarda gözönüne alınması gereken yükler :

D : yapının öz ağırlıkları ve yapı üzerindeki sabit yükler

L : yapı üzerindeki ilave ve hareketli yükler

L_r : çatı ilave yükleri

W : rüzgar yükleri

S : kar yükleri

E : deprem yükleri

Bu yönetmelikte öngörülen yük katsayıları ve değişik türdeki yüklerin birlikte etkidikleri durumlarda dikkate alınması gereken yük kombinasyonları aşağıda verilmiştir :

$$1.4 D$$

$$1.2 D + 1.6 L + 0.50 (L_r \text{ veya } S)^*$$

$$1.2 D + 1.6 (L_r \text{ veya } S) + (0.50 L \text{ veya } 0.8 W)$$

$$1.2 D + 1.3 W + 0.5 L + 0.5 (L_r \text{ veya } S)^*$$

$$1.2 D + 1.5 E + (0.5 L \text{ veya } 0.2 S)^*$$

$$0.9 D + (1.3 W \text{ veya } 1.5 E)^*$$

Bu çalışmada, taşıyıcı sistem modelinin boyutlandırılmasında yalnız (*) işareti ile gösterilen yük kombinasyonları dikkate alınmıştır.

Çelik enkesitlerin sınıflandırılması

Çelik enkesitler kompakt, kompakt olmayan ve narin basınç elemanı enkesiti olarak sınıflandırılırlar.

a) *Kompakt enkesit* : Başlıkları gövdeye sürekli olarak birleştirilmiş ve basınç başlığının " genişlik/kalınlık " oranı,

$$b / t \leq \lambda_p$$

şartını sağlayan kesitlerdir.

b) *Kompakt olmayan enkesit* : Basınç başlığının " genişlik/kalınlık " oranı,

$$\lambda_p \leq b / t \leq \lambda_r ,$$

sınırları arasında olan kesitlerdir.

c) *Narin basınç elemanı* : Basınç başlığının " genişlik/kalınlık " oranı,

$$b / t \geq \lambda_r$$

olan elemanlar *narin basınç elemanı* olarak adlandırılır.

Bu ifadelerde b genişliği I enkesitli profiller için

$$b = b_f / 2$$

olarak alınmalıdır.

Yukarıdaki ifadelerde :

$\lambda_p = 172 / \sqrt{F_y}$, kompakt enkesitler için sınır narinlik parametresi

$\lambda_r = 374 / \sqrt{F_y - 70}$, kompakt olmayan enkesitler için sınır narinlik parametresi

b_f : Başlık genişliği (mm)

t : Başlık kalınlığı (mm)

F_y : Akma gerilmesi (MPa)

İzleyen paragraflarda, özellikle I enkesitli çubukların basit veya bileşik mukavemet durumlarında uygulamak üzere, bu yönetmeliğin öngördüğü bağıntılar verilecektir.

Eksenel basınç durumu

Eksenel basınca maruz prizmatik çubuklar için başlığın " genişlik/kalınlık" oranı λ_r den küçükse, hesap basınç dayanımı

$$P_d = \phi_c \cdot P_n \quad (2.32)$$

$$P_n = A_g F_{cr} \quad (2.33)$$

$\lambda_c \leq 1.5$ için

$$F_{cr} = (0.658^{\lambda_c^2}). F_y \quad (2.34)$$

$\lambda_c \geq 1.5$ için

$$F_{cr} = \left(\frac{0.877}{\lambda_c^2} \right) F_y \quad (2.35)$$

şeklinde belirlenir. Burada,

ϕ_c : basınç dayanımı için azaltma faktörüdür ve $\phi_c = 0.85$ değerini alır.

$$\lambda_c : \text{çubuğun narinlik parametresi, } \lambda_c = \frac{Kl}{\pi r} \sqrt{\frac{F_y}{E}} \quad (2.36)$$

A_g : çubuğun brüt enkesit alanı (mm²)

F_y : malzemenin akma gerilmesi (MPa)

E : elastisite modülü (MPa)

K : etkin burkulma boyu katsayısı

l : elemanın serbest boyu (mm)

r : burkulma düzlemi etrafında hakim olan atalet yarıçapı (mm)

P_d : hesap basınç dayanımı (N)

P_n : nominal basınç dayanımı (N)

Basit eğilme durumu

Tek veya çift simetri eksenli olan tek veya çok parçalı elemanların eğilme hesap dayanımı

$$M_d = \phi_b M_n \quad (2.37)$$

olarak tanımlanır.

Burada eğilme dayanımı azaltma katsayısı $\phi_b = 0.90$ olup M_n nominal eğilme dayanımı ise aşağıdaki şekilde belirlenir.

- $L_b \leq L_r$ olan kompakt enkesitli elemanlar için :

Güçlü eksen etrafında eğilen, yanal desteksiz kompakt enkesitli elemanlar için,

$$M_n = C_n \cdot (M_p - (M_p - M_r) \cdot (\frac{L_b - L_p}{L_r - L_p})) \leq M_p \quad (2.38)$$

Burada,

$M_p = F_y Z$: plastik moment, (Z = kesitin plastik mukavemet momenti)

$$C_b = 1.75 + 1.05 (M_1 / M_2) + 0.3 (M_1 / M_2)^2 \leq 2.3 \quad (2.39)$$

Burada M_1 ve M_2 sırasıyla eleman uçlarındaki eğilme momentlerinin mutlak değerce küçüğü ve büyüğünü göstermektedir.

M_1/M_2 oranı çift yönlü eğilmede pozitif, tek yönlü eğilmede ise negatif alınacaktır.

Eleman serbest boyunun herhangi bir noktasındaki eğilme momenti eleman uç momentlerinden mutlak değerce büyükse $C_b = 1.0$ alınacaktır.

L_b : Basınç başlığının dönmeye ve yanal harekete karşı tutulmuş olduğu enkesitler arasındaki uzaklık (mm),

L_p : $C_b = 1.0$ iken, M_n nominal eğilme dayanımının M_p plastik momentine eşit alınabilmesi için yanal desteklerin konulabileceği maksimum aralık (mm),

Güçlü eksen etrafında eğilen tek veya çok parçalı I enkesitli elemanlar için,

$$L_p = \frac{795 \cdot r_y}{\sqrt{F_{yf}}} \quad (2.40)$$

L_r : Elastik olmayan burkulma sınırına karşı gelen yanal desteksiz mesafenin limit değeri, (mm). Yanal destekler arasındaki uzaklığın bu değerden daha büyük olduğu durumlarda, elastik yanal burkulma durumu irdelenmelidir.

Yanal desteksiz aralık " L_r " nin ve buna karşı gelen burkulma momenti " M_r " nin sınırlandırılması aşağıdaki gibi yapılır.

Basınç başlığı alanı çekme başlığı alanından büyük olan " I " enkesitli elemanlar için :

$$L_r = \frac{r_y \cdot X_1}{(F_{yw} - F_r)} \sqrt{1 + \sqrt{1 + X_2 (F_{yw} - F_r)^2}} \quad (2.41)$$

$$M_r = (F_{yw} - F_r) \cdot S_x \quad (2.42)$$

Burada,

$$X_1 = \frac{\pi}{S_x} \sqrt{\frac{EGJA}{2}} \quad (2.43)$$

$$X_2 = 4 \frac{C_w}{I_y} \left(\frac{S_x}{GJ} \right)^2 \quad (2.44)$$

A : çubuğun enkesit alanı, (mm²)

J : burulma sabiti, (mm⁴)

S_x : güçlü eksene göre mukavemet momenti (mm³)

E : elastisite modülü (MPa)

G : kayma modülü (MPa)

F_{yw} : gövdenin akma gerilmesi (MPa)

F_{yf} : başlığın akma gerilmesi (MPa)

F_r : başlıklarda artık basınç gerilmesi (MPa)

(hadde profilleri için, $F_r = 70$ MPa önerilmektedir)

I_y : zayıf eksene göre atalet momenti (mm^4)

r_y : zayıf eksen etrafındaki atalet yarıçapı (mm)

C_w : Çarpılma katsayısı (mm^6)

- $L_b \geq L_r$ olan kompakt enkesitli elemanlar

Güçlü eksen etrafında eğilen, yanal desteksiz kompakt enkesitli elemanlar için nominal eğilme dayanımı M_n :

$$M_n = M_{cr} \leq C_b M_r \quad (2.45)$$

Burada M_{cr} kritik elastik moment olup aşağıdaki şekilde belirlenir.

Basınç başlığı alanı çekme başlığı alanından büyük olan I enkesitli veya gövde levhası düzleminde yüklenmiş U enkesitli elemanlar için :

$$\begin{aligned} M_{cr} &= C_b \frac{\pi}{L_b} \sqrt{EI_y GJ + \left(\frac{\pi E}{L_b}\right)^2 I_y C_w} \\ &= \frac{C_b S_x X_1 \sqrt{2}}{L_b / r_y} \sqrt{1 + \frac{X_1^2 X_2}{2(L_b / r_y)^2}} \end{aligned} \quad (2.46)$$

Bileşik eğilme (eğilme momenti + normal kuvvet) durumu

Dışmerkez basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvveti ile birlikte M_x ve/veya M_y eğilme momenti etkisindeki simetrik enkesitli elemanlarda, taşıma gücü tahkikleri aşağıdaki formüllerle yapılır :

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \geq 0.2 \quad \text{için}$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} + \frac{8}{9} \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.00 \quad (2.47)$$

$$\frac{P_u}{\phi_c P_n} \leq 0.2 \quad \text{için}$$

$$\frac{P_u}{2\phi_c P_n} + \left(\frac{M_{ux}}{\phi_b M_{nx}} + \frac{M_{uy}}{\phi_b M_{ny}} \right) \leq 1.00 \quad (2.48)$$

Burada,

P_u : hesap yükleri altında hesaplanan basınç kuvvetini,

M_u : " $P-\Delta$ " etkisini içeren ve hesap yükleri altında hesaplanan eğilme momentini göstermektedir.

Birinci mertebe elastik analiz esas alınarak boyutlandırılan yapılarda " $P-\Delta$ " etkisini içeren M_u eğilme momenti aşağıda açıklanan şekilde belirlenebilir.

$$M_u = B_1 M_{nt} + B_2 M_{lt} \quad (2.49)$$

Burada,

M_{nt} : yanal ötelenmenin önlenmiş olması kabulü altında düşey yüklerden oluşan eğilme momenti,

M_{lt} : yalnız çerçevenin yanal ötelenmesine neden olan yükler (deprem ve rüzgar yükleri) altında hesaplanan eğilme momenti,

$$B_1 = \frac{C_m}{\left(1 - \frac{P_u}{P_e}\right)} \geq 1.00 \quad (2.50)$$

B_1 : düşey yük momentlerine uygulanacak moment büyütme katsayısı,

$P_e = A_g F_y / \lambda_c^2$: çerçevenin yanal ötelenmesinin önlenmiş olması durumuna göre belirlenen Euler yüküdür. Bu bağıntıdaki λ_c ise eğilme düzlemi içindeki etkin burkulma katsayısı $K \leq 1.0$ alınarak formül (2.36) ile hesaplanan narinlik parametresidir.

$C_m = 0.6 - 0.4(M_1 / M_2)$ katsayısının tanımı AISC-ASD yönetmeliğinin aynıdır.

$$B_2 = \frac{1}{1 - \Sigma P_u \left(\frac{\Delta_{oh}}{\Sigma H \cdot L} \right)} \quad \text{veya} \quad B_2 = \frac{1}{1 - \frac{\Sigma P_u}{\Sigma P_e}} \quad (2.51)$$

B_2 : yatay yük momentlerine uygulanacak moment büyütme katsayısı

$P_e = A_g F_y / \lambda_c^2$: çerçevenin yanal ötelenmesine müsaade edilmiş durumuna göre belirlenen *Euler* burkulma yüküdür. Bu bağıntıda λ_c ise eğilme düzlemi içinde etkin burkulma katsayısı $K \geq 1.0$ alınarak, formül (2.36) ile hesaplanan narinlik parametresidir.

ΣP_u : bir kattaki kolon normal kuvvetlerinin toplamı (N)

Δ_{oh} : yatay kuvvetler altında, katın rölatif ötelenmesi (mm)

ΣH : Δ_{oh} rölatif ötelenmesini oluşturan kat kesme kuvveti , (N)

L : kat yüksekliği (mm)

2.5. Bilgisayar Programları

Bu çalışmada, taşıyıcı sistem modelinin güvenlik gerilmeleri esasına göre boyutlandırılması için, çok katlı düzlem çelik çerçevelerin doğrudan doğruya tasarımı amacıyla geliştirilmiş bilgisayar programından [21] yararlanılmıştır. Bu program yardımı ile, düşey yükler ve yatay deprem, rüzgar kuvvetleri altındaki düzlem çelik çerçevelerin TS 648, DIN 1050, 4114 ve AISC-ASD yönetmeliklerine göre tasarımı yapılmaktadır.

Birbirini izleyen sistem hesabı ve boyutlandırma adımlarından oluşan bir ardışık yaklaşım yönteminin uygulandığı programda, ardışık iki adımda bulunan enkesit profillerinin birbirinin aynı olması halinde ardışık yaklaşıma son verilmektedir.

Programın giriş bilgileri, yapıya ait şu bigilerden oluşmaktadır :

- a- yapının geometrik özellikleri, mesnet koşulları,
- b- çubuklara ve düğüm noktalarına etkiyen düşey yapı yükleri ve

ilave (faydalı) yükler,

- c- deprem yüklerinin hesaplanması için gerekli bilgiler, (deprem bölge katsayısı, yapı tipi ve önem katsayıları, deprem yüklerinin hesabı için ilave yük azaltma katsayıları, zemin hakim periyodu), rüzgâr yükleri, ilave yük azaltmaları,
- d- malzeme özellikleri,
- e- çerçeve elemanlarının enkesitlerinin içinden seçilmesi istenen profil grupları (IPE, HD gibi).

Programda ayrıca kiriş ve kolon enkesitlerinin seçiminde öngörülen yapısal kısıtlamalar da gözönüne alınabilmektedir.

Bilgisayar programının çıkış bilgileri arasında,

- a- kiriş ve kolon enkesitleri,
- b- düşey ve yatay yük kombinasyonlarından oluşan iç kuvvetler ve gerilmeler,
- c- boyutlandırılan sistemin özellikleri (özel periyot, burkulma yükü parametresi, işletme yüküne karşı gelen yerdeğiştirmeler, yapı ağırlığı) bulunmaktadır.

Taşıyıcı sistem modelinin taşıma gücü esasına dayanan AISC-LRFD yönetmeliğine göre boyutlandırılmasında, sistem hesabı için, Matris Deplasman Yönteminin uygulandığı bir bilgisayar programından yararlanılmıştır. Kesit hesapları ise bilgisayar programı kullanılmaksızın yapılmıştır.

Bölüm 3. YAPI SİSTEMLERİNİN LİNEER OLMAYAN TEORİYE GÖRE HESABI

3.1. İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi

Bu çalışmada, çeşitli boyutlandırma kriterleri ve yönetmelikler esas alınarak boyutlandırılan çok katlı çelik yapı sistemlerinin artan düşey ve yatay yükler altındaki lineer olmayan davranışının incelenmesi ve göçme güvenliklerinin belirlenmesi amacıyla, düzlem ve uzay çubuk sistemlerde II. mertebe limit yükün hesabı için geliştirilen bir yük artımı yönteminden ve bu yöntemin sayısal uygulamaları için hazırlanan bilgisayar programından yararlanılmıştır, [1] [22].

Aşağıda, bu yöntemin dayandığı kabuller, yöntemin esasları, matematik formülasyonu ve uygulanması kısaca açıklanacaktır.

3.1.1. Kabuller

Düzlem ve uzay çubuk sistemlerde II. mertebe limit yükün hesabı için geliştirilen yük artımı yönteminin dayandığı kabuller aşağıda sıralanmıştır, [2], [22].

- a) Bernoulli-Navier hipotezi geçerlidir.
- b) Malzeme ideal elastoplastiktir.
- c) Lineer olmayan şekildeğiştirmelerin *plastik kesit* adı verilen küçük bir bölgede toplandığı, bunun dışında kalan tüm kesitlerde sistemin lineer-elastik davrandığı kabul edilmiştir.
- d) Akma koşullarının, akma yüzeyinin düzlem parçalarından oluşacak şekilde idealleştirilmesi ile elde edilebileceği gözönünde tutulmuştur.

- e) Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini gözönüne alan, buna karşılık geometrik uygunluk şartlarına olan etkisini terk eden II. mertebe teorisi uygulanmaktadır.
- f) Çubukların asal düzlemleri içindeki yerdeğiştirmelere ait II. mertebe etkileri gözönüne alınmakta, buna karşılık burulma doğrultusunda ve enkesit içindeki II. mertebe etkileri terkedilmektedir.
- g) Sistemin şekildeğiştirmesi sırasında dış yüklerin doğrultuları değişmemektedir.
- h) Sistemi oluşturan çubuklar doğru eksenli, sabit kesitlidir ve normal kuvvet çubuk boyunca sabittir.

3.1.2. Yöntemin Esasları

Bölüm 1.1 de açıklandığı şekilde, yapı çeliği gibi kopma sırasındaki toplam şekildeğiştirmelerin lineer şekildeğiştirmelere oranının büyük olduğu, sünek malzemeden yapılan sistemlerde plastik şekildeğiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı kabul edilebilmektedir.

Bu kabulün geçerli olduğu düzlem ve uzay çubuk sistemlerin II. mertebe teorisine göre hesabında karşılaşılan ve çözömlenmesi gereken durumlar şunlardır:

- a) Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinden dolayı süperpozisyon prensibi geçerli değildir.
- b) Her plastik kesitin oluşumundan sonra, rijitliği değişen sistemin dış etkiler altındaki davranışı da değişmektedir. Bu durumda, yeni sisteme ait denklem takımının yeniden kurulması ve çözöümü gerekmektedir.
- c) Bileşik iç kuvvet durumunun gözönüne alınması halinde, artan yüklerle birlikte plastik kesitlerdeki iç kuvvetler de sürekli olarak değişmekte; yani plastik kesitlerdeki iç kuvvet durumunun her yük artımı için yeniden, ardışık yaklaşımla belirlenmesi gerekmektedir.

Geliştirilen yöntemde, düşey yükler bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı ile çarpılarak sisteme etkitilmekte ve aralarındaki oran sabit kalacak şekilde artan yatay yükler için elastoplastik hesap yapılarak, II. mertebe limit yüke ait yatay yük parametresi ve göçme güvenlik katsayısı belirlenmektedir.

Sisteme etkiyen düşey yüklerin bilinmesi halinde, büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olan çubuk normal kuvvetleri başlangıçta kolaylıkla tahmin edilebilmekte ve bu normal kuvvetler için hesaplanan II. mertebe çubuk rijitlik ve yükleme matrisleri yardımıyla II. mertebe etkileri lineerleştirilebilmektedir. Böylece süperpozisyon prensibi geçerli olduğundan her plastik kesitin meydana geldiği yük parametresinin hesabı için ardışık yaklaşım yapılmasına gerek kalmamaktadır.

Uygulanan yük artımı yönteminde, hesap sonucunda bulunan normal kuvvetler başlangıçta tahmin edilen değerlere yeterince yakın değilse, sonuç normal kuvvetler kullanılarak hesap tekrarlanabilir. Ancak normal kuvvetler büyük ölçüde denge denklemlerine bağlı olduklarından, özellikle çok katlı düzlem ve uzay çerçeve sistemlerde, genellikle hesabın tekrarlanmasına gerek kalmamaktadır.

Artan yükler altında plastik kesitlerdeki iç kuvvetler akma koşullarını sağlayacak şekilde değişebilmekte, buna karşılık iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekildeğiştirme bileşenleri meydana gelmektedir. Plastikleşen herhangi bir kesitteki sonlu plastik şekildeğiştirme bileşenleri, akma vektörünün akma düzlemine dik olması nedeniyle, tek bir plastik şekildeğiştirme bileşenine bağlı olarak ifade edilebilmektedir.

Geliştirilen bu yöntemde, her plastik kesitin oluşumundan sonra o kesitteki seçilen bir bağımsız şekildeğiştirme bileşeninin bilinmeyen olarak alınması ve bu kesitteki iç kuvvet durumunun akma yüzeyi üzerinde kaldığını ifade eden yeni bir denklemin denklem takımına eklenmesi öngörülmektedir. Ayrıca, akma yüzeyinin düzlemlerden oluşacak şekilde idealleştirilmesi suretiyle, ilave edilen denklemin lineer olması da sağlanabilmektedir.

Bir önceki yük artımına ait denklem takımı indirgenmiş olduğundan, o adımdaki yük artımına ait çözüm, sadece yeni bilinmeyene ait satır ve kolonun indirgenmesi yoluyla elde edilebilir.

Sonuç olarak, esasları yukarıda açıklanan yük artımı yöntemi ile bir yapı sisteminin II. mertbe limit yükünün hesabı, plastik kesitlerdeki plastik şekildeğiştirme bileşenlerini de içeren genişletilmiş bir lineer denklem sisteminin kurulması ile bu denklem sisteminin ve alt sistemlerinin çözümüne indirgenmiş olmaktadır.

3.1.3. Akma Koşulları

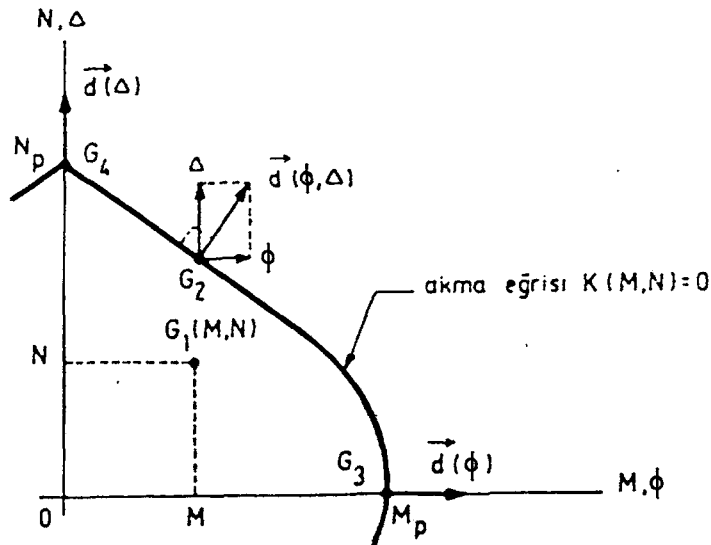
İdeal elastoplastik malzemeden yapıldığı kabul edilen sistemlerde, bir kesitteki iç kuvvetler artarak akma koşulunun belirlediği sınır değerlere eşit olunca birim şekildeğiştirmeler sonsuza erişir ve kesitin taşıma gücü sona erer.

Kesme kuvvetinin etkisinin terkedildiği düzlem çubuk sistemlerde akma koşulu

$$K(M, N) = 0 \quad (3.1)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada M ve N kesite etkiyen eğilme momenti ve normal kuvveti, $K(M, N)$ ise kesit şekline bağlı olarak belirlenen lineer olmayan bir fonksiyonu göstermektedir.

(3.1) denkleminin belirlediği akma eğrisi Şekil 3.1 de şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.1 : Akma Eğrisi

Şekildeki dik koordinat sisteminde, bir iç kuvvet durumu $G(M, N)$ noktası ile temsil edilmektedir. Lineer olmayan şekildeğiştirmelerin plastik kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik olduğu kabul edildiğinden, akma eğrisi içindeki bir iç kuvvet durumu için (G_1 noktası) şekildeğiştirmeler lineer-elastiktir. İç kuvvet durumu akma eğrisi üzerinde ise (G_2 noktası) kesit plastikleşir ve iç kuvvetler doğrultularında sonlu plastik şekildeğiştirmeler meydana gelebilir.

Değişen dış etkiler altında G_2 noktası akma eğrisi üzerinde hareket edebilir veya içeri doğru yönelebilir; fakat akma eğrisinin dışına çıkamaz.

Plastik bir kesitteki iç kuvvet durumunun akma eğrisinin üzerinde kalma özelliği,

$$dK = \frac{\partial K}{\partial M} dM + \frac{\partial K}{\partial N} dN = 0 \quad (3.2)$$

bağıntısı ile ifade edilir. Burada $\frac{\partial K}{\partial M}$ ve $\frac{\partial K}{\partial N}$ terimleri sırasıyla, $K(M, N)$ fonksiyonunun M ve N değişkenlerine göre kısmi türevlerini göstermektedir.

Plastik kesitte toplandığı kabul edilen plastik şekildeğiştirmeler, $d(\phi, \Delta)$ akma vektörü ile tanımlanır. Akma vektörüne ait ϕ ve Δ bileşenleri sırasıyla M eğilme momenti ve N normal kuvveti doğrultularındaki sonlu plastik şekildeğiştirmeleri göstermektedirler.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış sistemlerde d akma vektörünün akma eğrisine dik olduğu bilinmektedir, [23], [24]. Diklik özelliği nedeniyle akma vektörünün bileşenleri,

$$\phi = \mu \frac{\partial K}{\partial M} \quad , \quad \Delta = \mu \frac{\partial K}{\partial N} \quad (3.3)$$

şeklinde $K(M, N)$ fonksiyonuna bağlı olarak ifade edilebilirler. Burada μ , d akma vektörünün şiddetini belirleyen bir katsayıyı göstermektedir.

Normal kuvvetin sıfır olduğu veya terkedildiği kesitlerde, akma koşulu

$$K(M) = |M| - M_p = 0 \quad (M_p = \sigma_a W_p) \quad (3.1a)$$

şeklindedir. Burada M_p , kesitin elastoplastik olarak taşıyabileceği en büyük eğilme momentidir ve plastik moment adını alır. Eğilme momentinin M_p değerine eşit olduğu kesitlere (G_3 noktası) plastik mafsall denir.

Eğilme momentinin sıfır olduğu kesitlerde ise, akma koşulu

$$K (N) = |N| - N_p = 0 \quad (N_p = \sigma_a F) \quad (3.1b)$$

şeklini alır. Burada N_p , kesitin elastoplastik olarak taşıyabileceği en büyük normal kuvveti göstermektedir. Normal kuvvetin N_p değerine eşit olduğu kesitlerde (G_4 noktası) yalnız Δ plastik boydeğişmeleri meydana gelir.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış kesitler için (3.1) akma koşulu, yaklaşık olarak

$$K (M, N) = M + a.N + b = 0 \quad (3.4)$$

şeklinde lineerleştirilebilmektedir. Burada a ve b , malzeme ve kesit karakteristiklerine bağlı sabit katsayılarıdır.

Akma koşulunun (3.4) lineer bağıntısı ile idealleştirilmesi halinde, iç kuvvet durumunun akma eğrisi üzerinde kalması özelliği

$$\Delta K = \Delta M + a.\Delta N = 0 \quad (3.5)$$

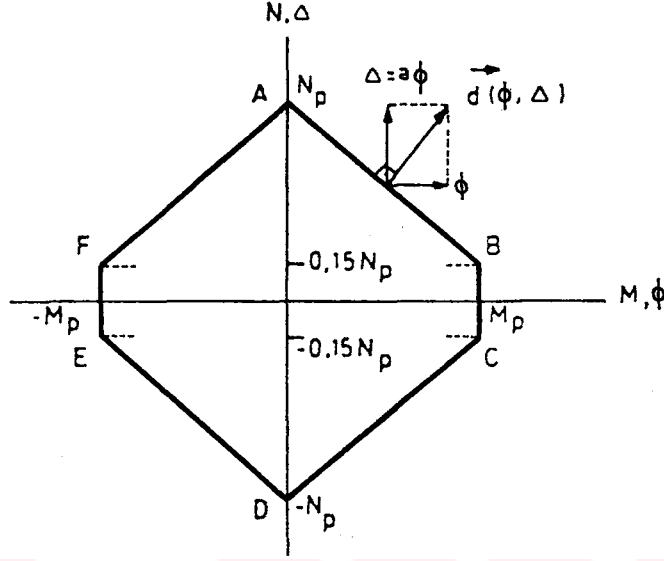
şeklinde ifade edilir. Burada ΔM ve ΔN sırasıyla, bir yük artımına karşı gelen eğilme momentini ve normal kuvveti göstermektedir.

Buna göre, (3.3) ve (3.5) te uygun düzenlemeler yapılırsa, plastik şekildeğiştirme bileşenleri,

$$\phi = \mu , \Delta = a.\mu = a.\phi \quad (3.6)$$

şeklinde tek bir ϕ değişkenine bağlı olarak ifade edilebilirler.

İdeal elastoplastik malzemeden yapılmış sistemlerde, I kesitleri ve dikdörtgen kutu kesitlere ait lineerleştirilmiş akma koşullu Şekil 3.2 de verilmiştir.



Şekil 3.2 : Lineerleştirilmiş Akma Koşulu

3.1.4 Matematik Formülasyon

Bölüm 3.1.2 de de belirtildiği gibi, geliştirilmiş olan bu yöntemin her adımında, birçok plastik kesiti içeren sistem bir yatay yük artımı için hesap edilmektedir.

Sistemin hesabında Matris Deplasman Yöntemi uygulanmaktadır, [12] [25]. Bu yöntemde, plastik kesitlerin varlığının gerekli kıldığı değişiklikler yapıldığında, bilinmeyenler iki grupta toplanabilir :

- 1- Düğüm noktalarının yerdeğiştirme bileşenleri.
- 2- Bağımsız sonlu plastik şekildeğiştirme bileşenleri.

Denklemler de iki gruptan oluşurlar :

- 1- Düğüm noktalarının denge denklemleri,
- 2- Plastik kesitlerdeki akma koşulları.

3.1.4.1. Denge Denklemleri

Sistem eksenlerinde yazılan denge denklemlerinin matris gösterimi,

$$S_{dd}d + S_{d\phi}\phi + p_o = q \quad (3.7)$$

şeklindedir. Burada,

d : düğüm noktalarının yerdeğiştirmelerinden oluşan kolon matrisi,

q : düğüm noktalarına etkiyen dış yüklere ait kolon matrisi,

p_o : çubukların üzerine etkiyen dış yüklerden oluşan uç kuvvetlerine ait kolon matrisi göstermektedir.

Sistemdeki düğüm noktası sayısı n ile gösterildiğinde, d , q ve p_o vektörleri uzay sistemlerde $6n$, düzlem sistemlerde ise $3n$ boyutundadır.

S_{dd} : Üzerinde plastik kesitler oluşmamış sisteme ait sistem rijitlik matrisidir.

Bu matrisin boyutu uzay sistemlerde $6n \times 6n$, düzlem sistemlerde ise $3n \times 3n$ dir. Sistem rijitlik matrisi sistemdeki çubuklara ait rijitlik matrislerinden oluşur. II. mertebe teorisine göre hesapta S_{dd} sistem rijitlik matrisinin ve p_o yükleme matrisinin elemanları, düzlem sistemlerde

$$\psi = L \sqrt{\frac{N}{EI}}$$

değerlerine bağlı olarak hesaplanır. Burada N , eksenel basınç kuvvetini, I ve L , prizmatik çubuğun atalet momentini ve boyunu, E ise elastisite modülünü göstermektedir.

ϕ : Plastik kesitlerdeki bilinmeyen plastik şekildeğiştirme bileşenlerinden oluşan bir kolon matristir.

Oluşan plastik kesitlerin sayısı m ile gösterilirse bu matris,

$$\phi = \begin{bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \vdots \\ \phi_m \end{bmatrix}$$

şeklinde ifade edilebilir.

$S_{d\phi}$: Plastik kesitlerdeki sonlu plastik şekildeğiştirmelerin denge denklemlerine etkisini ifade eden bir matristir.

Matrisin boyutu uzay sistemlerde $6n \times m$, düzlem sistemlerde ise $3n \times m$ dir.

Şekil 3.3 de $S_{d\phi}$ matrisi ve bu matrisin $[p_{\phi k}]_{ix}$, $[p_{\phi k}]_{jx}$ alt vektörlerini içeren tipik bir kolonu görülmektedir.

Burada $p_{\phi k}$, üzerinde k sayılı plastik kesit bulunan ij çubuğunda, plastik kesitteki bağımsız sonlu plastik şekildeğiştirme bileşeni doğrultusundaki birim yerdeğiştirmeden meydana gelen uç kuvvetleri matrisidir.

$[S_{d\phi}] =$

1	2	.	k	.	.	m	
			0				1
			0				2
			0				.
			$[p_{\phi k}]_{ix}$				i
			0				.
			0				.
			$[p_{\phi k}]_{jx}$				j
			0				.
			0				.
			0				n

Şekil 3.3 : $S_{d\phi}$ Matrisinin Elemanları

3.1.4.2. Plastik Kesitlerdeki Akma Koşulları

Yukarıda verilen (3.5) bağıntısından görüleceği gibi, plastikleşen bir kesitte iç kuvvetler cinsinden ifade edilebilen iç kuvvet durumu, yük artımı sırasında akma yüzeyi üzerinde kalmaktadır.

Bu özellik matris formunda yazılırsa,

$$S_{\phi d}d + S_{\phi\phi}\phi + p_{\phi o} = 0 \quad (3.8)$$

şeklini alır. Burada,

$S_{\phi d}$: üzerinde plastik kesitler bulunan sistemde, sadece düğüm noktalarının yerdeğiştirme bileşenlerinden dolayı plastik kesitlerde oluşan iç kuvvetlerin akma koşuluna etkisini ifade eden bir matristir.

Bu matris uzay sistemlerde $m \times 6n$, düzlem sistemlerde ise $m \times 3n$ boyutundadır. Betti karşılıklı teoremi uyarınca, $S_{d\phi}$ ve $S_{\phi d}$ matrisleri arasında

$$[S_{\phi d}] = [S_{d\phi}]^T \quad (3.9)$$

bağıntısı geçerlidir.

$S_{\phi\phi}$: $m \times m$ boyutunda bir kare matristir ve bu matrisin k sayılı kolonu, dış yüksüz sistemde düğüm noktalarının yerdeğiştirme bileşenleri sıfır iken, k sayılı plastik kesitteki birim plastik şekildeğiştirmeden dolayı tüm plastik kesitlerdeki iç kuvvet değişimlerini göstermektedir.

$S_{\phi\phi}$ matrisini meydana getiren elemanların hesabı için, düzlem sistemlerde

$$\phi = 1, \Delta = a$$

plastik şekildeğiştirme bileşenlerinden dolayı ij çubuğunun herhangi bir kesitinde oluşan ΔM , ΔN iç kuvvetlerinin belirlenmesi gerekir.

$p_{\phi o}$: m elemanlı bir kolon matristir.

Bu matrisin elemanları, düğüm noktalarının yerdeğiştirme bileşenleri ve plastikleşen kesitlerdeki plastik şekildeğiştirme bileşenleri sıfır iken, yalnız çubuklara etkiyen dış yüklerden dolayı plastik kesitlerdeki

$$\Delta M + \Delta N a$$

iç kuvvet değişimlerinden meydana gelirler. Bu terimler plastik kesitin bulunduğu çubuk üzerine etkiyen dış yüklere bağlı olarak hesaplanırlar.

Yukarıda açıklanan denge denklemleri ve akma şartları birarada yazıldığında, sisteme ait denklem takımı,

$$\begin{bmatrix} [S_{dd}] & [S_{d\phi}] \\ [S_{\phi d}] & [S_{\phi\phi}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [d] \\ [\phi] \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} [p_o] \\ [p_{\phi o}] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} [q] \\ [0] \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

şeklinde elde edilir.

3.1.5. Hesapta İzlenen Yol

Geliştirilen bu yük artımı yöntemi ile bir yapının sabit düşey yükler ve artan yatay yükler altında II. mertebe elastoplastik hesabında izlenen yol aşağıda verilmiştir. Bu yöntem kullanılarak, yapı sistemlerinin davranışı başlangıçtan II. mertebe limit yüke kadar izlenebilmektedir. Sistemde artan yerdeğiştirmelere azalan yatay yük parametresi karşı gelmesi II. mertebe limit yüke erişildiğini göstermektedir.

Hesapta izlenen yol şu adımlardan oluşmaktadır:

1- Düşey işletme yükleri bu yükler için öngörülen bir güvenlik katsayısı (DYP) ile çarpılarak düşey hesap yükleri elde edilir.

2- Sistemdeki tüm çubuklar için, düşey hesap yüklerinden meydana gelen normal kuvvetler tahmin edilir. Her çubuk için II. mertebe rijitlik ve yükleme matrisleri hesaplanır.

3- Düşey hesap yükleri için II. mertebe hesaba başlanır. Herhangi bir kritik kesitte plastikleşme olursa, düşey hesap yüküne ulaşıncaya kadar 5-9 sayılı adımlarda verilen yol tekrarlanır.

4- Sistem yatay yük parametresinin birim değeri için II. mertebe teorisine göre hesaplanır.

5- Sistemdeki tüm kritik kesitlerde iç kuvvet durumları kontrol edilerek, plastik kesit oluşturan en küçük yatay yük parametresi bulunur.

6- Yeni meydana gelen plastik kesitteki ϕ_k plastik dönmesi bilinmeyen olarak alınır. Plastik kesitteki akma şartını ifade eden yeni denklem ve yeni bilinmeyen bir önceki adımdaki denklem takımına satır ve kolon olarak ilave edilerek genişletilmiş denklem takımı elde edilir.

7- Genişletilmiş denklem takımının stabilitesi kontrol edilir. Eğer katsayılar matrisinin determinant değeri sıfır veya negatif ise,

$$\det(S) \leq 0$$

sistemin burkulduğu anlaşılır. Bu adımdan önceki toplam yük parametresi, II. mertebe limit yük ($\mathcal{P}_{L2}$) olarak alınır ve hesaba son verilir.

8- Genişletilmiş lineer denklem takımı indirgenir ve söz konusu yük artımına ait olan bilinmeyenler bulunur. Bir önceki yük artımına ait denklem takımı çözülmüş olduğundan, yeni çözüm sadece eklenen satır ve kolonun indirgenmesinden ibaret olmaktadır.

9- Uç kuvvetleri ve iç kuvvetler hesaplanır.

10- II. mertebe limit yüke erişilinceye kadar 5 - 9 numaralı adımlar tekrar edilir.

3.2. Bilgisayar Programları

Çeşitli boyutlandırma kriterlerine ve yönetmeliklere göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin II. mertebe elastoplastik hesabı ve II. mertebe limit yükünün bulunması için iki ayrı bilgisayar programından yararlanılmıştır.

Birinci program esasları yukarıda açıklanan yöntemin sayısal uygulamaları için hazırlanmıştır, [22]. Bölüm 3.1.5 te özetlenen hesap adımlarının uygulandığı bu program yardımı ile, geometrisi, işletme yükleri, düşey yük parametresi (DYP) ve malzeme karakteristikleri verilen bir sistemin lineer olmayan davranışı, plastik kesitlerin oluşumları izlenerek belirlenmekte ve II. mertebe limit yükü hesaplanmaktadır. Bilgisayar programı ile ayrıca, her plastik kesitin oluşumuna ait bütün büyüklükler (kesit zorları, yer-değiştirmeler, plastik şekildeğiştirmeler) elde edilebilmektedir.

İkinci bilgisayar programı, klasik plastik mafsallı teorisine dayanmaktadır. Bilindiği gibi klasik plastik mafsallı teorisinde, bir plastik kesitin (plastik mafsallı) oluşumundan sonra, bu kesitteki iç kuvvet durumunun değişmediği kabul edilmektedir. Bu kabul nedeniyle, her plastik mafsallı meydana geldiği yük parametreleri ve bunun sonucunda II. mertebe limit yük için, gerçek değerlerden bir oranda daha büyük değerler elde edilmektedir.

Bu çalışmada iki ayrı bilgisayar programının kullanılmasının amacı, iki yöntemin sonuçlarının birbirileri ile kontrol edilerek karşılaştırılmasını sağlamaktır.

Bölüm 4. BİR TAŞIYICI SİSTEM MODELİ ÜZERİNDE SAYISAL İNCELEME

4.1. Taşıyıcı Sistem Modelinin Özellikleri

Bu bölümde, çok katlı çelik yapıların pratikteki olası uygulamalarını geniş olarak temsil etmek üzere seçilen, üç açıklıklı, yirmi katlı bir taşıyıcı sistem modelinin Bölüm 2 de açıklanan yönetmeliklerle boyutlandırılmasına ve boyutlandırılan sistemlerin düşey yükler ile yatay rüzgar ve deprem kuvvetleri altındaki lineer olmayan davranışına ait sayısal sonuçlar verilecektir.

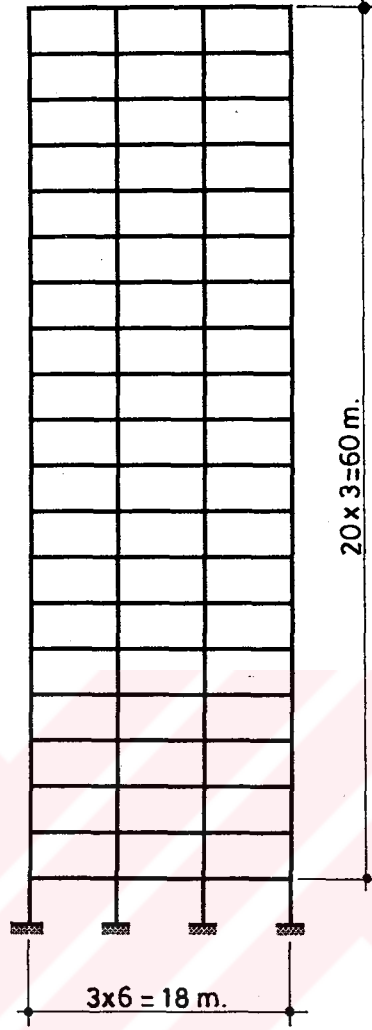
Seçilen taşıyıcı sistem modeli, geometrisi ve düşey işletme yükleri bakımından büro olarak kullanılan çok katlı yapılar için bir örnek oluşturmaktadır.

Taşıyıcı sistem modelinin geometrisi, malzeme karakteristikleri, düşey ve yatay işletme yükleri ile bu yüklerin belirlenmesine esas olan yönetmelikler Şekil 4.1 de gösterilmiştir.

Yapının birinci deprem bölgesinde ve etkin periyodu $T_0 = 0.40$ sn olan temel zemini üzerinde inşa edileceği gözönünde tutulmuştur.

Yapı taşıyıcı sisteminin malzemesi, akma gerilmesi $\sigma_R = 235$ MPa olan Fe 37 yapı çeliğidir.

Yapı sisteminin çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırılmasında Bölüm 2.1 de açıklanan ortak boyutlandırma kriterleri esas alınmıştır.



Çerçeve aralığı	:	6.0	m
Yapı yükleri :			
çatı katı	:	4.0	kN/m ²
normal kat	:	3.5	kN/m ²
İlave yükler :			
çatı katı	:	2.0	kN/m ²
normal kat	:	3.5	kN/m ²
Dış duvar yükleri	:	20.0	kN
Çatı parapeti yükü	:	15.0	kN
Deprem özellikleri	:	$C_o = 0.10$, $I=K= 1.00$, $T_o=0.40$ sn	
Rüzgar yükleri	:	TS 498 Yönetmeliği'ne göre	
Malzeme	:	Fe 37 Akma gerilmesi, $\sigma_a = 235$ MPa	

Şekil 4.1 : Taşıyıcı Sistem Modelinin Özellikleri

4.2. TS 648 Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma

Taşıyıcı sistem modelinin TS 648 Çelik Yapılar Standardına göre boyutlandırılması sonucunda elde edilen taşıyıcı sistemin enkesitleri, sistem özellikleri ve lineer olmayan davranışına ait sayısal sonuçlar aşağıdaki bölümlerde açıklanmıştır.

4.2.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri

TS 648 yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin kiriş ve kolon enkesitleri ile bu enkesitlerin seçiminde etkin olan yükleme durumları Tablo 4.1 de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.1 : Kiriş ve Kolon Enkesitleri (TS 648)

Kat	Kiriş	Etkin Yük	Dış kolon	Etkin Yük	İç kolon	Etkin Yük
19 - 20	IPE . 360	"H+HD"	HD 210*071	"H+HD"	HD 210*059	" HD "
17 - 18	IPE A 450	" HD "	HD 260*080	" HD "	HD 310*097	" HD "
15 - 16	IPE . 450	" HD "	HD 310*097	" HD "	HD 310*117	" HD "
13 - 14	IPE A 500	" HD "	HD 310*117	" HD "	HD 360*134	" HD "
11 - 12	IPE . 500	" HD "	HD 360*134	" HD "	HD 360*162	" HD "
9 - 10	IPE . 500	" HD "	HD 360*162	" HD "	HD 360*179	" HD "
7 - 8	IPE A 550	" HD "	HD 360*179	" HD "	HD 400*216	" HZ "
5 - 6	IPE A 550	" HD "	HD 400*216	" HD "	HD 400*237	" HZ "
3 - 4	IPE A 550	" HD "	HD 400*237	" HD "	HD 400*262	" HZ "
1 - 2	IPE A 550	" HD "	HD 400*262	" HD "	HD 400*288	" HZ "

Tablodan görüldüğü gibi, enkesitlerin seçiminde genellikle "HD" (düşey yükler + deprem) yüklemesi etkin olmaktadır. Buna karşılık, 1 - 8 nci kat iç kolonlarının boyutlandırılmasında "HZ" (düşey yükler + rüzgar) yüklemesinin, en üst kat kiriş ve dış kolonlarında ise "H" (düşey yükler) yüklemesinin etkin olduğu görülmektedir.

Boyutlandırılan sistemin taşıyıcı sistem ağırlığı, işletme yüklerine karşı gelen oransal yatay yerdeğiştirmeleri (çerçevenin toplam yatay yerdeğiştirmesinin yapı yüksekliğine oranı), yapı özel periyodu ve burkulma yükü parametresi Tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2 : Sistemin Özellikleri (TS 648)

Yapı ağırlığı	Kiriş ağırlığı	Kolon ağırlığı	Özel periyot	Oransal yerdeğiştirme (δ / H)	Burkulma Yüklü Parametresi
69.630 ton	29.912 ton	39.718 ton	2.7128 sn	deprem : 0.00303 rüzgar : 0.00163	$P_{cr} = 18.174$

Bu sonuçlara göre :

- a) Boyutlandırılan yapının burkulma güvenliği

$$e = 18.174$$

değerini almaktadır.

- b) Yapı özel periyodu Deprem yönetmeliğinin (13.4) ve (13.5) numaralı yaklaşık denklemleri ile bulunan değerleri % 35.5 oranında aşmaktadır.
- c) Bazı kolon enkesitlerinin seçiminde etkin olmakla birlikte rüzgar yüklemesinden oluşan yatay yerdeğiştirmeler, deprem yüklemesine oranla yaklaşık % 50 oranında daha küçüktür.

4.2.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi

TS 648 yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılan yapı sisteminin, Bölüm 3 te esasları açıklanan yöntem ile, rüzgar ve deprem yüklemeleri için ayrı ayrı olmak üzere,

- a) II. mertebe elastoplastik, DYP = YYP (orantılı olarak artan düşey ve yatay yükler)
- b) II. mertebe elastoplastik, DYP = 1.50 ($e_d = 1.50$ güvenlik katsayısı ile arttırılmış sabit düşey yükler altında artan yatay yükler)
- c) II. mertebe elastoplastik, DYP = 1.20 ($\sigma_s = 0.9 \sigma_a$ sınır gerilmesi esas alınarak, $e_d = 1.20$ güvenlik katsayısı ile arttırılmış sabit düşey yükler altında artan yatay yükler)
- d) II. mertebe elastoplastik, DYP = 1.00 (düşey işletme yükleri altında artan yatay yükler)
- e) I. mertebe elastoplastik, DYP = YYP
- f) I. mertebe elastoplastik, DYP = 1.50

f) I. mertebe elastoplastik, DYP = 1.50

analizleri yapılmış ve elde edilen sayısal sonuçlar tablo ve şekiller ile aşağıda özetlenmiştir.

4.2.2.1 Göçme Güvenlikleri

Boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin, rüzgar ve deprem yüklemeleri için ayrı ayrı olmak üzere, yukarıda açıklanan altı farklı şekilde analizi ile elde edilen göçme güvenlikleri Tablo 4.3 te toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.3 : Göçme Güvenlikleri (TS 648)

ANALİZ	DEPREM		RÜZGAR	
	DYP	YYP	DYP	YYP
II. mertebe elasto - plastik	1.580	1.580	1.815	1.815
II. mertebe elasto - plastik	1.500	1.717	1.500	2.609
II. mertebe elasto - plastik	1.200 *	1.805	1.200 *	2.629
II. mertebe elasto - plastik	1.000	2.189	1.000	3.145
I. mertebe elasto - plastik	1.763	1.763	2.015	2.015
I. mertebe elasto - plastik	1.500	2.119	1.500	3.260

Tablonun incelenmesinden elde edilen bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

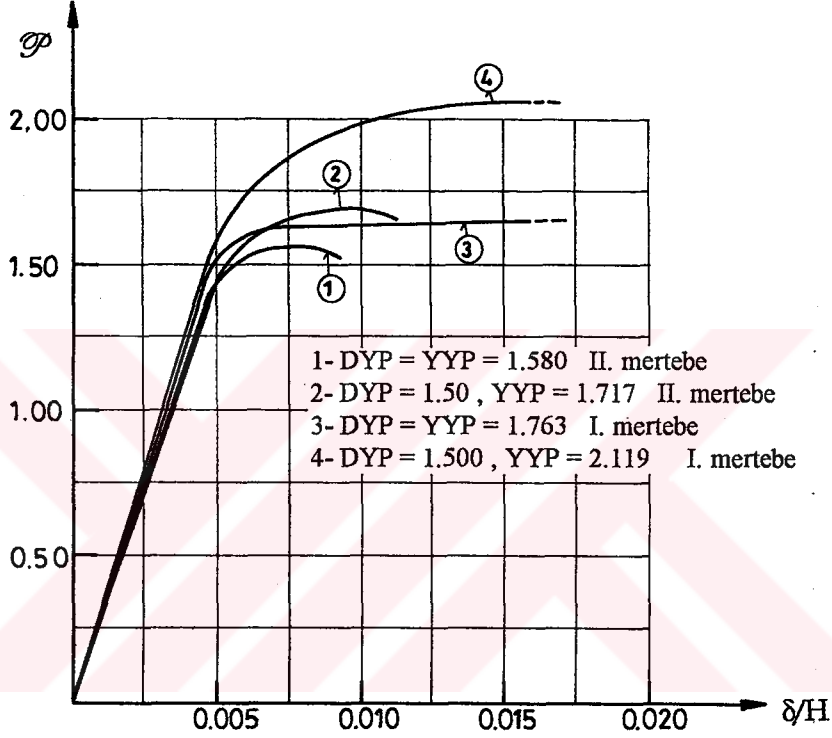
a) Yapı sisteminin deprem güvenliği, taşıma gücü esasına dayanan yönetmelikler tarafından genellikle öngörülen 1.50 değerinin üstünde kalmaktadır.

b) Bazı kolonların boyutlandırılmasında rüzgar yüklemesi daha etkin olduğu halde, yapının rüzgar yükleri altındaki göçme güvenliği deprem yüklemesine oranla daha büyük değer almaktadır, (orantılı yüklemelerde %15).

c) İkinci mertebe etkileri nedeniyle yapının göçme güvenliği orantılı yüklemelerde %11.5, DYP = 1.50 için orantısız yüklemelerde %23 oranında azalmaktadır.

4.2.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıları

Düşey yükler için öngörülen $DYP=1.50$ güvenlik katsayısı altında artan yatay deprem yükleri için ve orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri için I. ve II. mertebe teorisine göre elde edilen yük parametresi - yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta/H$) diyagramları Şekil 4.2 de toplu olarak verilmişlerdir.

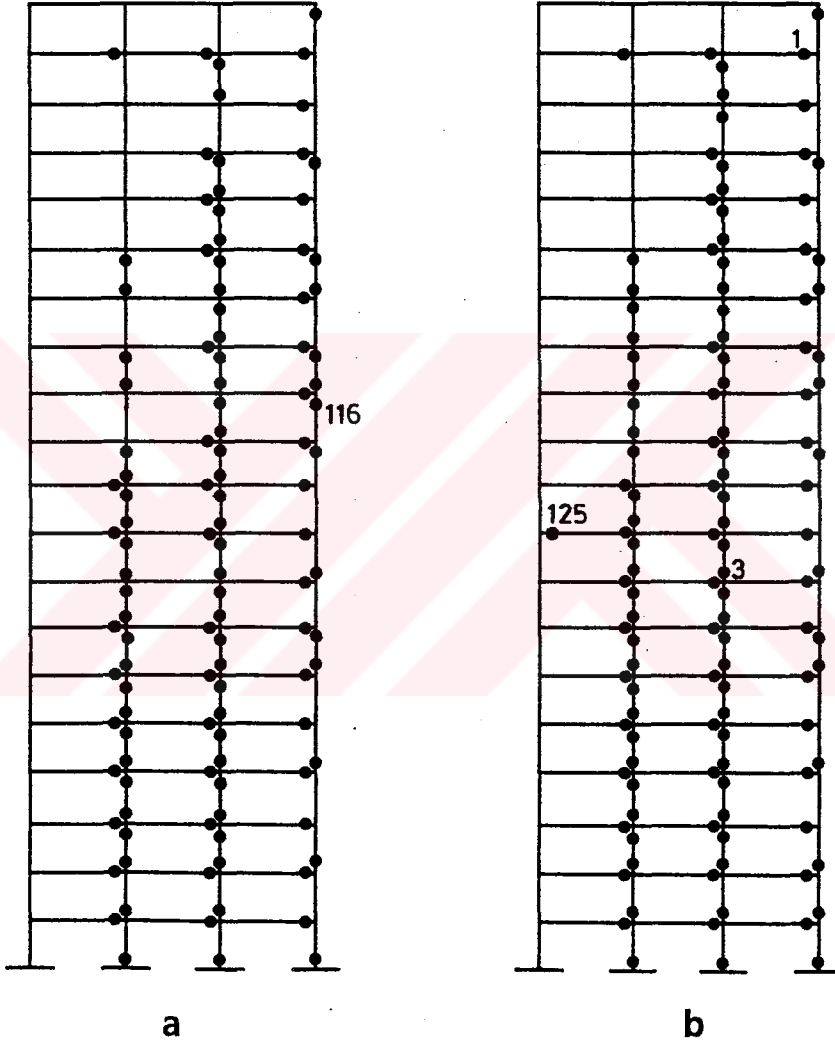


Şekil 4.2 : Deprem Yükleme İçin Yük Parametresi - Yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta/H$) Diyagramları (TS 648)

Görüldüğü gibi, $DYP=1.50$ için I. mertebe limit yük $YYP=2.119$ iken, ikinci mertebe etkilerinin gözönüne alınması halinde $YYP=1.717$ değerine düşmektedir. Orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri altında ise, göçme yükü parametresi I. mertebe elastoplastik analizde $DYP=YYP=1.763$ iken, ikinci mertebe etkilerin gözönüne alınması halinde $DYP=YYP=1.580$ değerine düşmektedir.

4.2.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu

Boyutlandırılan sistemin deprem ve rüzgar yüklemeleri için II. mertebe elastoplastik analizleri sonucunda elde edilen plastik kesit yerleri sırasıyla Şekil 4.3, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5, Şekil 4.6 da verilmiştir.

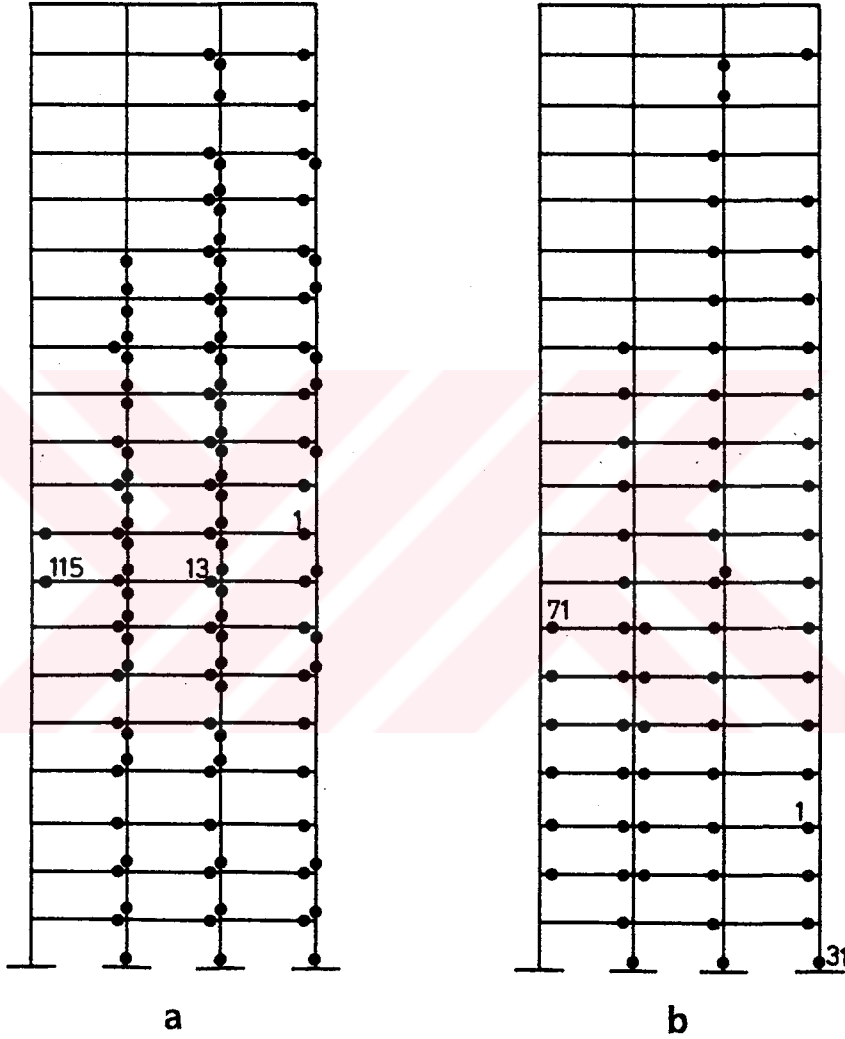


Şeki 4.3 : Deprem Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu (I)

a) DYP = YYP = 1.580	b) DYP=1.50, YYP=1.717
Σ pl. kesit : 116	Σ pl. kesit : 125
kirişlerde : 44	kirişlerde : 48
kolonlarda : 72	kolonlarda : 77

Şekillerde ayrıca,

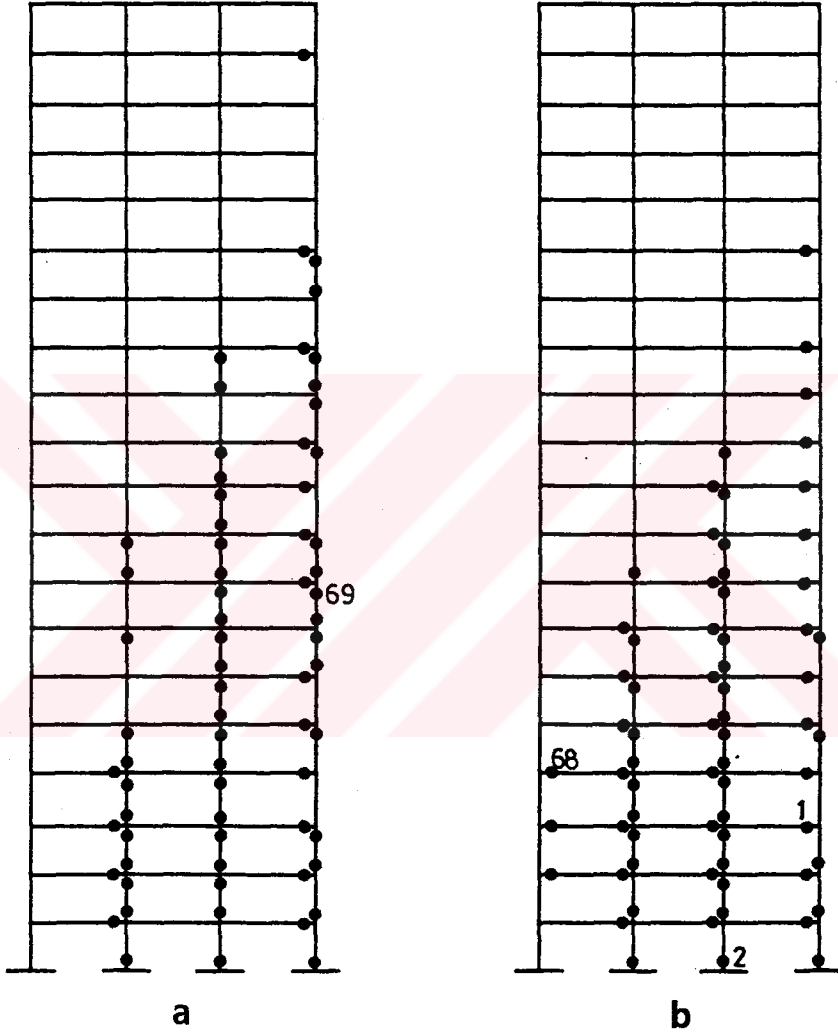
- son plastik kesitin yeri,
- toplam plastik kesit sayısı ve bunların kiriş ve kolonlara dağılımı,
- sabit düşey yükler ve orantılı olarak artan yatay yükler için, kiriş ve kolonlarda oluşan ilk plastik kesitlerin oluşum sıraları da belirtilmiştir.



Şekil 4.4 : Deprem Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu (II)

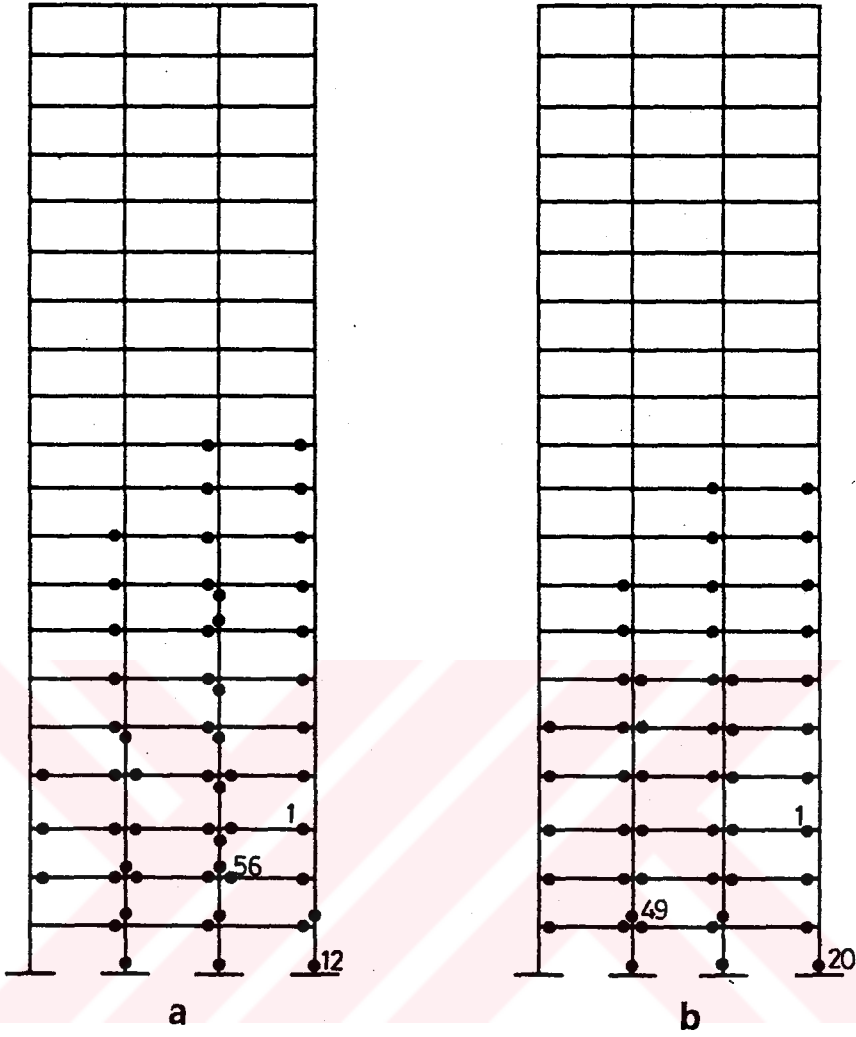
a) DYP=1.20, YYP=1.805	b) DYP=1.00, YYP=2.189
Σ pl. kesit : 115	Σ pl. kesit : 71
kirişlerde : 51	kirişlerde : 65
kolonlarda : 64	kolonlarda : 6

ve toplam sayıları karşılaştırıldığında, rüzgar yüklemesinden oluşan plastik kesitlerin sayısının daha az olduğu ve yapının alt katlarında toplandığı görülmektedir. Bu durum, rüzgar yüklerinin yapı yüksekliği boyunca dağılımının boyutlandırmada genellikle etkin olan deprem yüklerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır.



Şekil 4.5 : Rüzgar Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu (I)

a) $DYP = YYP = 1.815$	b) $DYP=1.50, YYP=2.609$
Σ pl. kesit : 69	Σ pl. kesit : 68
kirişlerde : 17	kirişlerde : 34
kolonlarda : 52	kolonlarda : 34



Şekil 4.6 : Rüzgar Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu (II)

a) DYP=1.20, YYP=2.629

Σ pl. kesit : 56

kirişlerde : 40

kolonlarda : 16

b) DYP=1.00, YYP=3.145

Σ pl. kesit : 49

kirişlerde : 44

kolonlarda : 5

4.2.2.4. İkinci Mertebe Etkileri

Çok katlı bir yapı sisteminin birinci ve ikinci mertebe teorilerine göre hesabı sonucunda elde edilen kolon eğilme momentleri karşılaştırıldığında,

$$\phi_i = \frac{(\Sigma M'')_i}{(\Sigma M')_i} \quad (4.1)$$

şeklinde tanımlanan katsayı ikinci mertebe etkilerini temsil etmektedir.

Burada,

$(\Sigma M^II)_i$: ikinci mertebe teorisine göre hesap sonucunda elde edilen,
(i) sayılı kat kolonlarının uç momentlerinin toplamını,

$(\Sigma M^I)_i$: birinci mertebe teorisine göre hesap sonucunda elde edilen,
(i) sayılı kat kolonlarının uç momentlerinin toplamını,

göstermektedir. Bilindiği gibi $(\Sigma M^I)_i$ değeri, (i) sayılı kattaki kat kesme kuvveti ile kat yüksekliğinin çarpımına eşittir.

Taşıyıcı sistem modelinin deprem ve rüzgar yüklemeleri için birinci mertebe lineer-elastik ve ikinci mertebe elastoplastik analizleri sonucunda,

- a) işletme yükleri için,
- b) orantılı yüklemeye (DYP = YYP) ait göçme yükleri için,
- c) orantısız yüklemeye (DYP = 1.50) ait göçme yükleri için,

yukarıdaki tanım uyarınca elde edilen ikinci mertebe etkilerinin katlara göre dağılımı Şekil 4.7 de gösterilmiştir.

ϕ katsayısının yukarıdaki tanımı ile β moment büyütme katsayısının

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{P}{P_{cr}}} \quad (4.2)$$

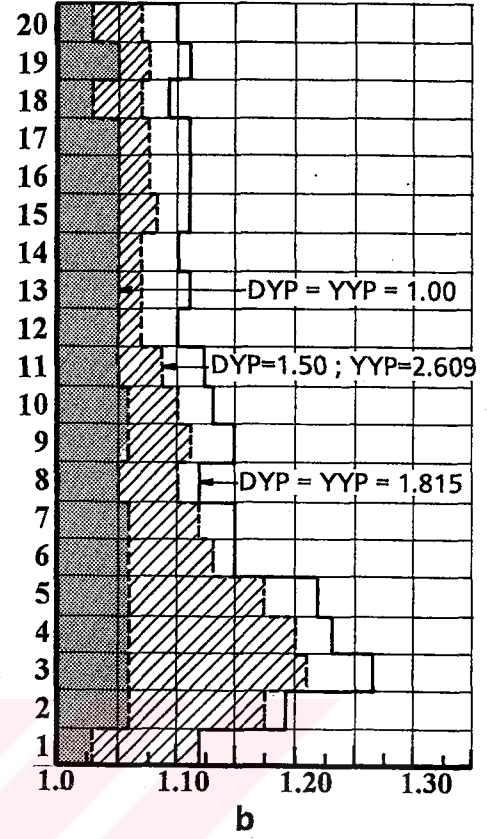
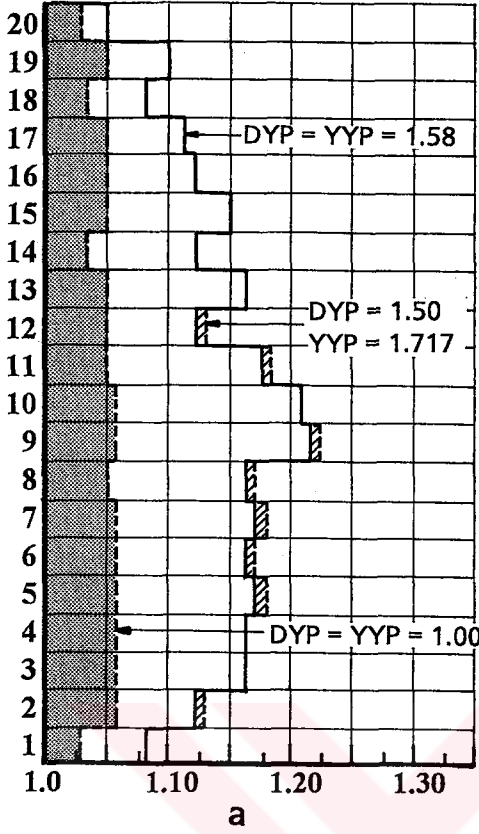
tanımı paralellik göstermektedir. Nitekim, Şekil 4.7 ye göre, işletme yükleri seviyesindeki ϕ katsayısı ortalama olarak,

$$\phi = 1.0533$$

değerini almakta, Tablo 4.2 de verilen P_{cr} burkulma yükü parametresi yardımı ile de

$$\beta = \frac{1}{1 - \frac{1.00}{18.174}} = 1.058$$

değeri elde edilmektedir.



Şekil 4.7 : İkinci Mertebe Etkileri (TS 648)
a) deprem yüklemesi
b) rüzgar yüklemesi

4.3. AISC-ASD Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma Sonuçları

Taşıyıcı sistem modelinin *Specification for Structural Steel Buildings - Allowable Stress Design* yönetmeliğine göre boyutlandırılması sonucunda elde edilen taşıyıcı sistem enkesitleri, sistem özellikleri ve sistemin lineer olmayan davranışına ait sayısal sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

Boyutlandırılan yapı sisteminin kiriş hesaplarında, yönetmelik uyarınca eğilme güvenlik gerilmesi için $F_b = 0.66 F_y$ değeri kullanılmıştır.

4.3.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri

AISC-ASD yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin kiriş ve kolon enkesitleri ile bu enkesitlerin seçiminde etkin olan yükleme durumları Tablo 4.4 de toplu olarak verilmiştir.

Tablo 4.4 : Kiriş ve Kolon Enkesitleri (AISC-ASD)

Kat	Kiriş	Etkin Yük	Dış kolon	Etkin Yük	İç kolon	Etkin Yük
19 - 20	IPE . 360	"H+HD"	HD 210*071	"H+HD"	HD 210*059	" HD "
17 - 18	IPE . 400	" HD "	HD 260*080	" HD "	HD 310*097	" HD "
15 - 16	IPE A 450	" HD "	HD 310*097	" HD "	HD 310*117	" HD "
13 - 14	IPE . 450	" HD "	HD 310*117	" HD "	HD 360*134	" HD "
11 - 12	IPE A 500	" HD "	HD 360*134	" HD "	HD 360*148	" HD "
9 - 10	IPE A 500	" HD "	HD 360*148	" HD "	HD 360*179	" HD "
7 - 8	IPE . 500	" HD "	HD 360*179	" HD "	HD 360*196	" HD "
5 - 6	IPE . 500	" HD "	HD 360*196	" HD "	HD 400*216	" HD "
3 - 4	IPE . 500	" HD "	HD 400*237	" HD "	HD 400*237	" HD "
1 - 2	IPE . 500	" HD "	HD 400*262	" HD "	HD 400*288	" HD "

Tablodan görüldüğü gibi, en üst kat kirişleri ve dış kolonları dışındaki tüm enkesitlerin seçiminde "HD" (düşey yükler + deprem) yüklemesi etkin olmaktadır.

HZ (düşey yükler + rüzgar) yüklemesi hiçbir enkesitin seçiminde etkin olmamıştır. Bunun sebebi bu yönetmeliğin rüzgarlı ve depremli yükleme durumları için aynı güvenlik gerilmelerini öngörmesinden kaynaklanmaktadır.

Boyutlandırılan sistemin taşıyıcı sistem ağırlığı, işletme yüklerine karşı gelen oransal yatay yerdeğiştirmeleri, yapı özel periyodu ve burkulma yükü parametresi Tablo 4.5 de verilmiştir.

Bu sonuçlara göre :

- a) Boyutlandırılan yapının burkulma güvenliği

$$e = 14.629$$

değerini almaktadır.

Tablo 4.5 : Sistemin Özellikleri (AISC-ASD)

Yapı ağırlığı	Kiriş ağırlığı	Kolon ağırlığı	Özel periyot	Oransal yerdeğiştirme (δ / H)	Burkulma Yüğü Parametresi
66.799 ton	28.484 ton	38.315 ton	2.9731 sn	deprem : 0.00359 rüzgar : 0.00195	$P_{cr} = 14.629$

- b) Yapı özel periyodu Deprem yönetmeliğinin (13.4) ve (13.5) numaralı yaklaşık denklemleri ile bulunan değerleri % 38.9 oranında aşmaktadır.

4.3.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi

Sistemin artan yükler altındaki davranışı, lineer olmayan teoriyi esas alan ve Bölüm 3 te açıklanan yöntem ile ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.3.2.1. Göçme Güvenlikleri

Boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin rüzgar ve deprem yüklemeleri için ayrı ayrı olmak üzere, altı farklı şekilde analizi ile elde edilen göçme güvenlikleri Tablo 4.6 te toplu olarak verilmişlerdir.

Tablo 4.6 : Göçme Güvenlikleri (AISC-ASD)

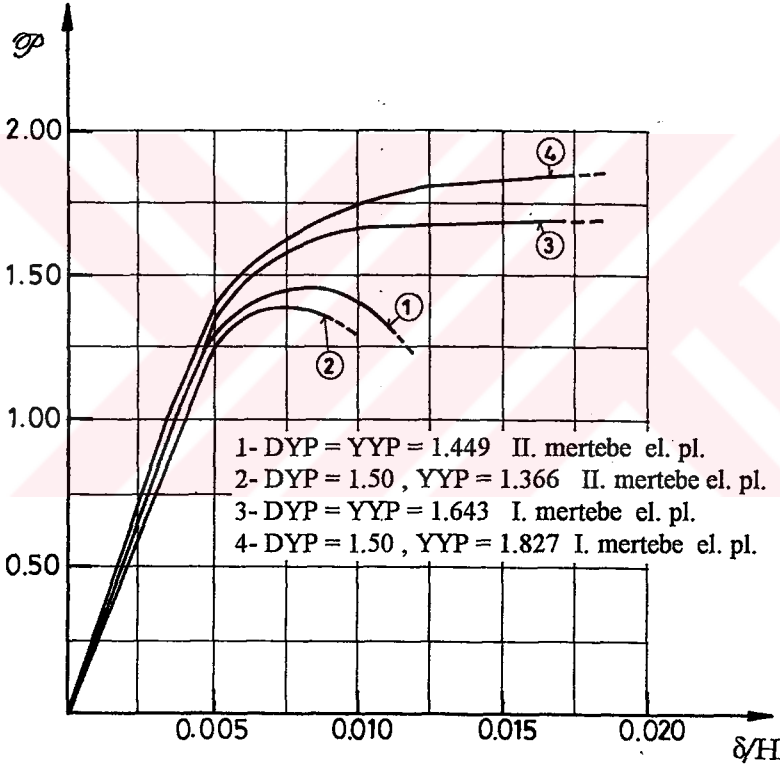
ANALİZ	DEPREM		RÜZGAR	
	DYP	YYP	DYP	YYP
II. mertebe elasto - plastik	1.449	1.449	1.665	1.665
II. mertebe elasto - plastik	1.500	1.366	1.500	2.046
II. mertebe elasto - plastik	1.200*	1.498	1.200*	2.214
II. mertebe elasto - plastik	1.000	1.914	1.000	2.763
I. mertebe elasto - plastik	1.643	1.643	1.875	1.875
I. mertebe elasto - plastik	1.500	1.827	1.500	2.823

Tablonun incelenmesinden elde edilen bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

b) İkinci mertebe etkileri nedeniyle yapının göçme güvenliği orantılı yüklemde %13.4, DYP = 1.50 için orantısız yüklemde %33 oranında azalmaktadır.

4.3.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağlılıkları

Düşey yükler için öngörülen DYP=1.50 güvenlik katsayısı altında artan yatay deprem yükleri için ve orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri için I. ve II. mertebe teorisine göre elde edilen yük parametresi - yerdeğiştirme ($\mathcal{P}$ - δ/H) diyagramları Şekil 4.8 de toplu olarak verilmişlerdir.



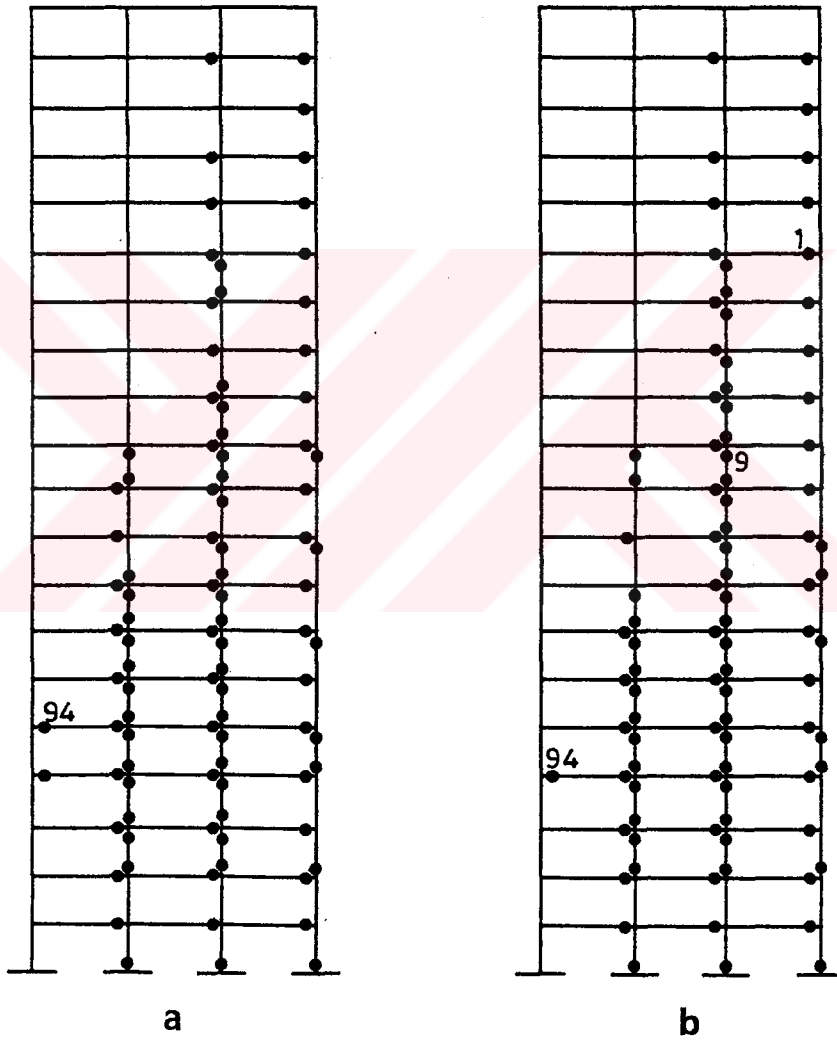
Şekil 4.8 : Deprem Yükleme İçin Yük Parametresi - Yerdeğiştirme ($\mathcal{P}$ - δ/H) Diyagramları (AISC-ASD)

Şekil 4.8 den görüldüğü gibi, DYP=1.50 için I. mertebe limit yük YYS=1.827 iken, ikinci mertebe etkilerinin gözönüne alınması halinde YYS=1.366 değerine düşmektedir. Orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri altında ise, göçme yükü parametresi I.mertebe

analizde $DYP=YYP=1.643$ iken, ikinci mertebe etkilerin gözönüne alınması halinde $DYP=YYP=1.449$ değerine düşmektedir.

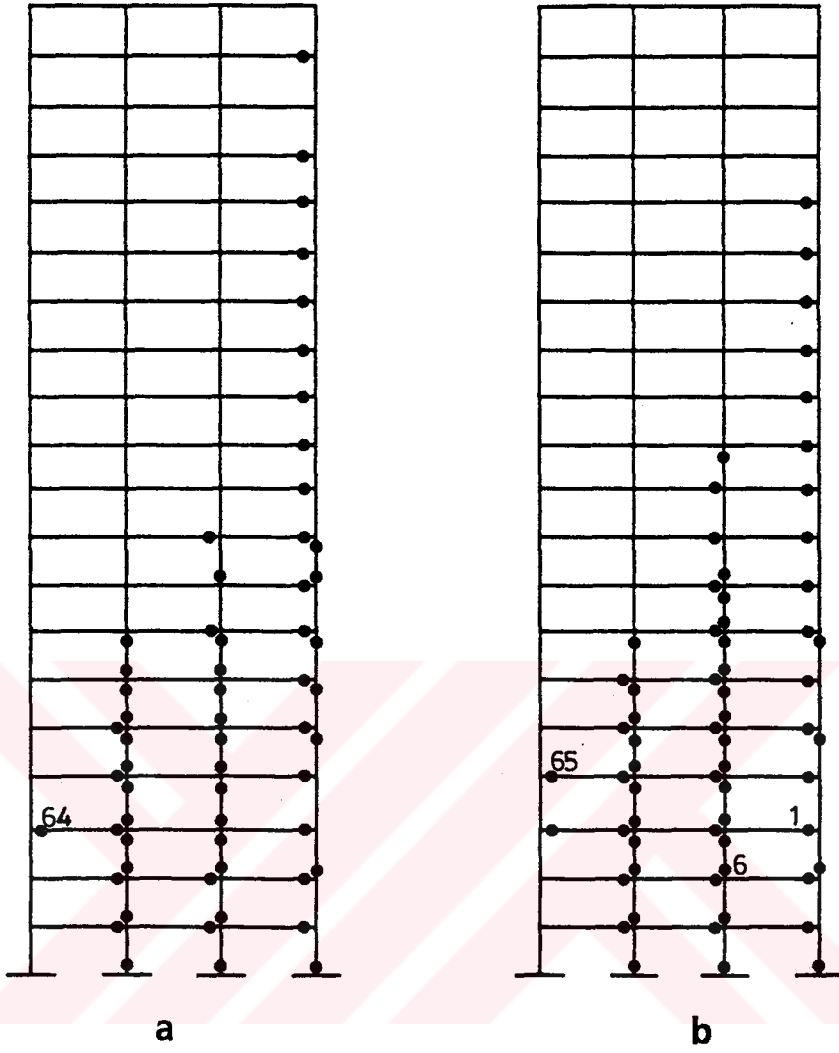
4.3.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu

Boyutlandırılan sistemin deprem ve rüzgar yüklemeleri için II. mertebe elastoplastik analizleri sonucunda elde edilen plastik kesit yerleri sırasıyla Şekil 4.9 ve Şekil 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.9 : Deprem Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) $DYP = YYP = 1.449$	b) $DYP=1.50, YYP=1.366$
Σ pl. kesit : 94	Σ pl. kesit : 94
kirişlerde : 49	kirişlerde : 46
kolonlarda : 45	kolonlarda : 48



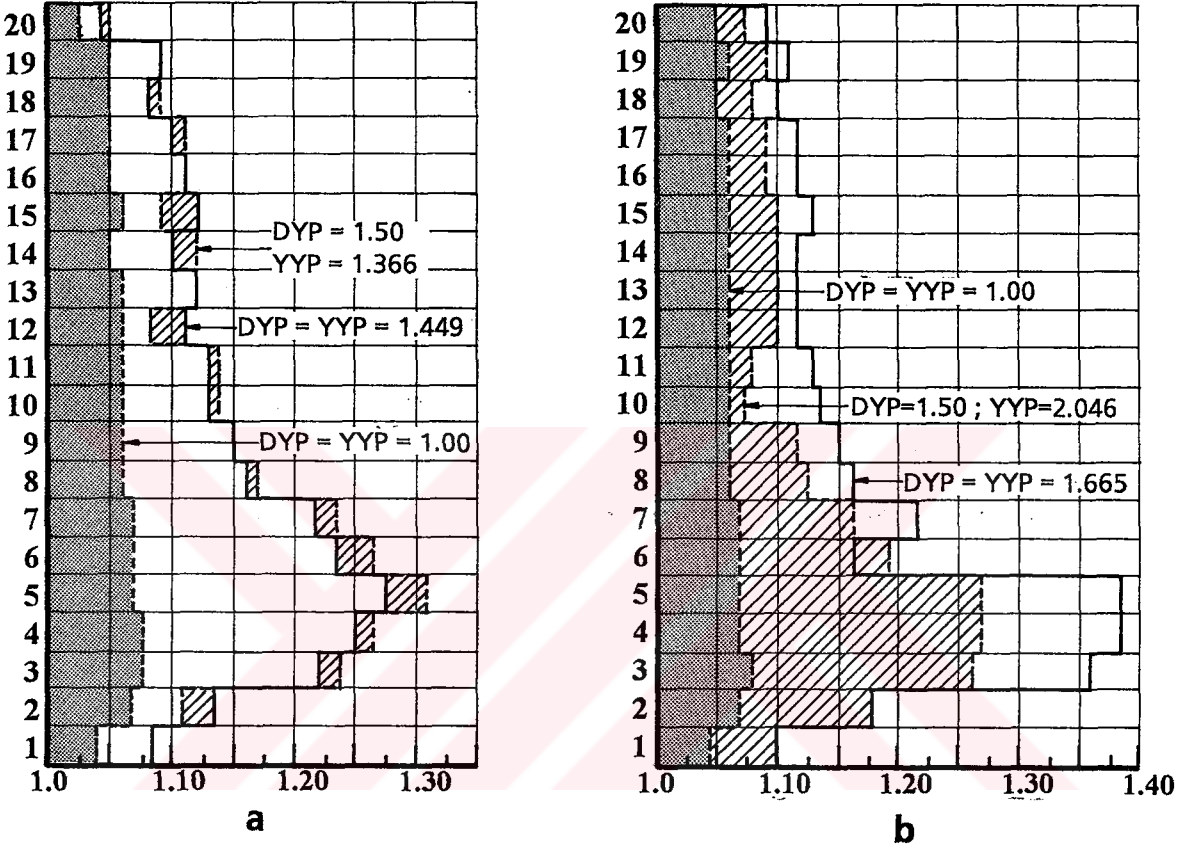
Şekil 4.10 : Rüzgar Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) DYP = YYP = 1.665	b) DYP=1.50, YYP=2.046
Σ pl. kesit : 64	Σ pl. kesit : 65
kirişlerde : 27	kirişlerde : 34
kolonlarda : 37	kolonlarda : 31

Deprem ve rüzgar yüklemeleri için elde edilen plastik kesitlerin yerleri ve toplam sayıları karşılaştırıldığında, rüzgar yüklemesinden oluşan plastik kesitlerin sayısının daha az olduğu ve yapının alt katlarında toplandığı görülmektedir.

4.3.2.4. İkinci Mertebe Etkileri

İşletme yükleri ve göçme yükleri altındaki II. mertebe etkilerinin (bir kat-taki II. mertebe eğilme momentleri toplamının I. mertebe eğilme momentleri toplamına oranı) katlara göre değişimi Şekil 4.11 de gösterilmiştir.



Şekil 4.11 İkinci Mertebe Etkileri (AISC-ASD)

a) depremli hal

b) rüzgarlı hal

4.4. DIN 1050, 4114 Yönetmeliklerine Göre Boyutlandırma

Taşıyıcı sistem modelinin DIN 1050, 4114 yönetmeliklerinin ülkemizde uygulandıkları şekline göre boyutlandırılması sonucunda elde edilen taşıyıcı sistemin enkesitleri, sistem özellikleri ve lineer olmayan davranışına ait sayısal sonuçlar aşağıdaki bölümlerde verilmiştir.

4.4.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri

Boyutlandırılan taşıyıcı sistemin kiriş ve kolon enkesitleri ile bu enkesitlerin seçiminde etkin olan yükleme durumları Tablo 4.7 de gösterilmiştir.

Tablo 4.7 : Kolon ve Kiriş Enkesitleri (DIN 1050, 4114)

Kat	Kiriş	Etkin Yük	Dış kolon	Etkin Yük	İç kolon	Etkin Yük
19 - 20	IPE A 400	"H+HD"	HD 210*071	" HD "	HD 210*059	" HD "
17 - 18	IPE A 450	" HD "	HD 260*073	" HD "	HD 310*097	" HD "
15 - 16	IPE . 450	" HD "	HD 310*097	" HD "	HD 310*117	" HD "
13 - 14	IPE A 500	" HD "	HD 310*117	" HD "	HD 360*134	" HD "
11 - 12	IPE . 500	" HD "	HD 360*134	" HD "	HD 360*162	" HD "
9 - 10	IPE . 500	" HD "	HD 360*148	" HD "	HD 360*179	" HD "
7 - 8	IPE A 550	" HD "	HD 360*162	" HD "	HD 400*216	" HZ "
5 - 6	IPE A 550	" HD "	HD 400*187	" HD "	HD 400*237	" HZ "
3 - 4	IPE A 550	" HD "	HD 400*216	" HD "	HD 400*262	" HZ "
1 - 2	IPE A 550	" HD "	HD 400*262	" HD "	HD 400*288	" HZ "

Tablodan görüldüğü gibi, enkesitlerin seçiminde genellikle "HD" (düşey yükler + deprem) yüklemesi etkin olmaktadır. Buna karşılık, 1 - 8 nci kat iç kolonlarının boyutlandırılmasında "HZ" (düşey yükler + rüzgar) yüklemesinin, en üst kat kiriş ve dış kolonlarında ise "H" (düşey yükler) yüklemesinin etkin olduğu görülmektedir.

Boyutlandırılan sistemin taşıyıcı sistem ağırlığı, işletme yüklerine karşı gelen oransal yatay yerdeğiştirmeleri, yapı özel periyodu ve burkulma yükü parametresi Tablo 4.8 de verilmiştir.

Tablo 4.8 : Sistemin Özellikleri (DIN 1050, 4114)

Yapı ağırlığı	Kiriş ağırlığı	Kolon ağırlığı	Özel periyot	Oransal yerdeğiştirme (δ / H)	Burkulma Yüğü Parametresi
68.575 ton	29.923 ton	38.652 ton	2.7274 sn	deprem : 0.00305 rüzgar : 0.00165	$P_{cr} = 17.996$

Bu sonuçlara göre :

- Boyutlandırılan yapının burkulma güvenliği

$$e = 17.996$$

değerini almaktadır.

- b) Yapı özel periyodu Deprem yönetmeliğinin (13.4) ve (13.5) numaralı yaklaşık denklemleri ile bulunan değerleri % 35.7 oranında aşmaktadır.
- c) Bazı kolon enkesitlerinin seçiminde etkin olmakla birlikte rüzgar yüklemesinden oluşan yatay yerdeğiştirmeler, deprem yüklemesine oranla % 54 oranında daha küçüktür.

4.4.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi

Sistemin artan yükler altındaki davranışı, lineer olmayan teoriyi esas alan ve Bölüm 3 te açıklanan yöntem ile ayrıntılı olarak incelenmiştir.

4.4.2.1. Göçme Güvenlikleri

İncelenen taşıyıcı sistemin deprem ve rüzgar yüklemelerine ait göçme güvenlikleri karşılaştırılmalı olarak Tablo 4.9 da verilmiştir.

Tablo 4.9 : Göçme Güvenlikleri (DIN 1050, 4114)

ANALİZ	DEPREM		RÜZGAR	
	DYP	YYP	DYP	YYP
II. mertebe elasto - plastik	1.550	1.550	1.775	1.775
II. mertebe elasto - plastik	1.500	1.642	1.500	2.482
II. mertebe elasto - plastik	1.200 *	1.731	1.200 *	2.592
II. mertebe elasto - plastik	1.000	2.181	1.000	3.136
I. mertebe elasto - plastik	1.720	1.720	1.972	1.972
I. mertebe elasto - plastik	1.500	2.037	1.500	3.032

Tablonun incelenmesinden elde edilen bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

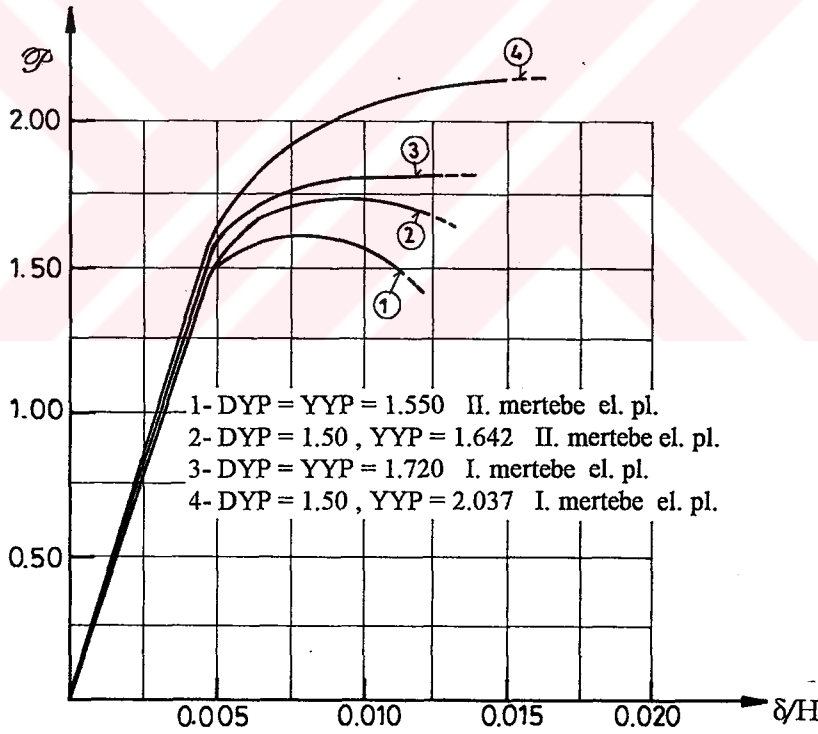
- a) Yapı sisteminin deprem güvenliği 1.50 değerinin üstünde kalmaktadır.

b) Bazı kolonların boyutlandırılmasında rüzgar yüklemesi daha etkin olduğu halde, yapının rüzgar yükleri altındaki göçme güvenliği deprem yüklemesine oranla daha büyük değer almaktadır, (orantılı yüklemelerde %14.5).

c) İkinci merteye etkileri nedeniyle yapının göçme güvenliği orantılı yüklemelerde %11, DYP = 1.50 için orantısız yüklemelerde %24 oranında azalmaktadır.

4.4.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağıntıları

Düşey yükler için öngörülen DYP=1.50 güvenlik katsayısı altında artan yatay deprem yükleri için ve orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri için I. ve II. merteye teorisine göre elde edilen yük parametresi - yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta/H$) diyagramları Şekil 4.12 de toplu olarak verilmişlerdir.



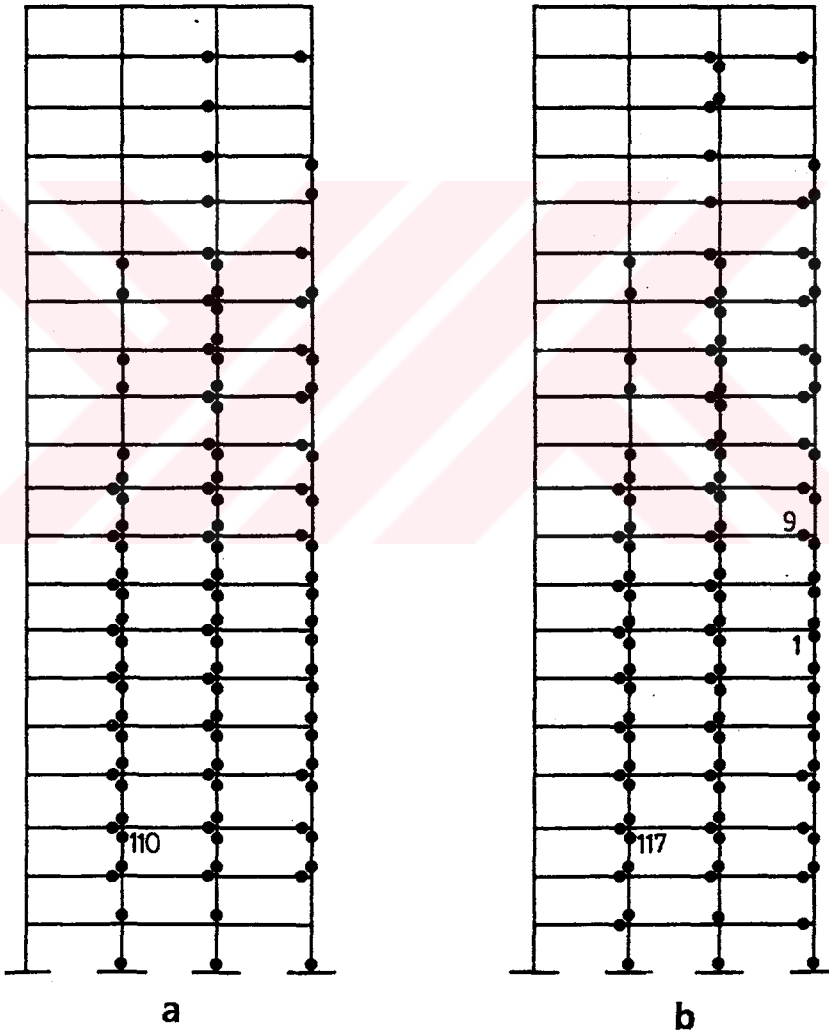
Şekil 4.12 : Deprem Yükleme İçin Yük Parametresi - Yerdeğiştirme ($\mathcal{P} - \delta/H$) Diyagramları (DIN 1050, 4114)

Görüldüğü gibi, DYP=1.50 için I. merteye limit yük YYP=2.037 iken, ikinci merteye etkilerinin gözönüne alınması halinde YYP=1.642 değerine düşmek-

tedir. Orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri altında ise, göçme yükü parametresi I.mertebe elastoplastik analizde $DYP=YYP=1.72$ iken, ikinci mertebe etkilerin gözönüne alınması halinde $DYP=YYP=1.55$ değerine düşmektedir.

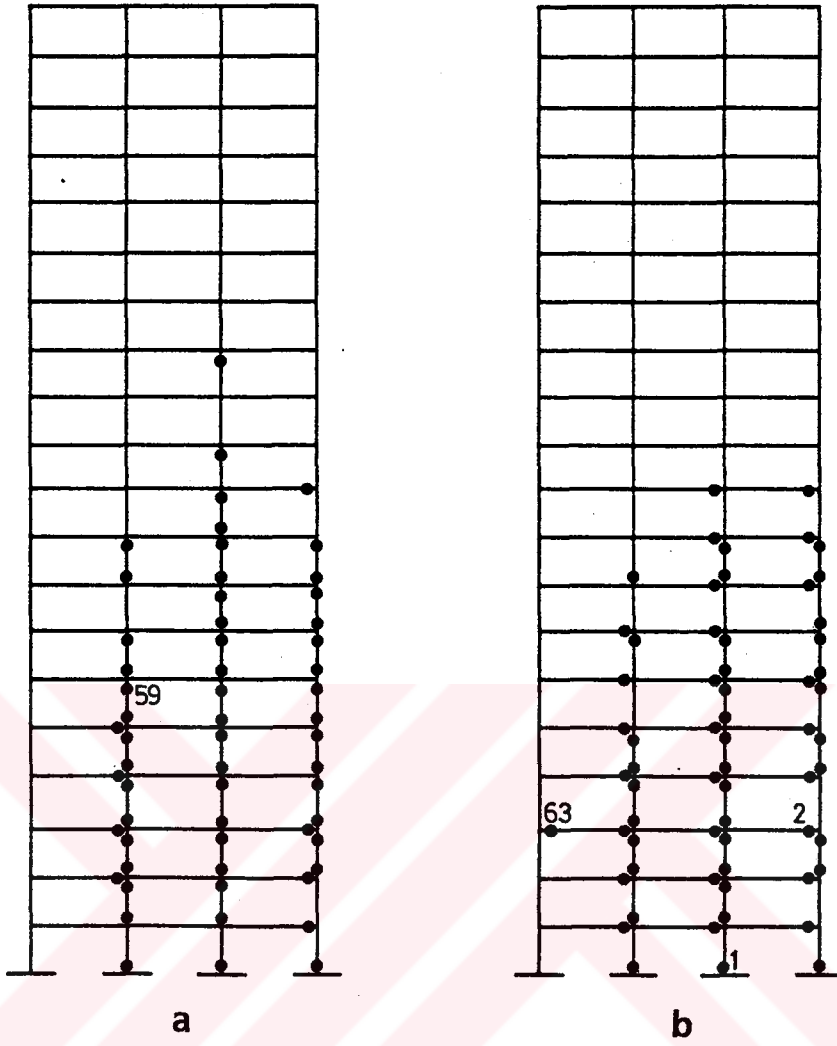
4.4.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu

Boyutlandırılan sistemin deprem ve rüzgar yüklemeleri için II. mertebe elastoplastik analizi sonucunda elde edilen plastik kesit yerleri sırasıyla Şekil 4.13 ve Şekil 4.14 de verilmiştir.



Şekil 4.13 : Deprem Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) $DYP = YYP = 1.550$	b) $DYP=1.50, YYP=1.642$
Σ pl. kesit : 110	Σ pl. kesit : 117
kirişlerde : 38	kirişlerde : 41
kolonlarda : 72	kolonlarda : 76



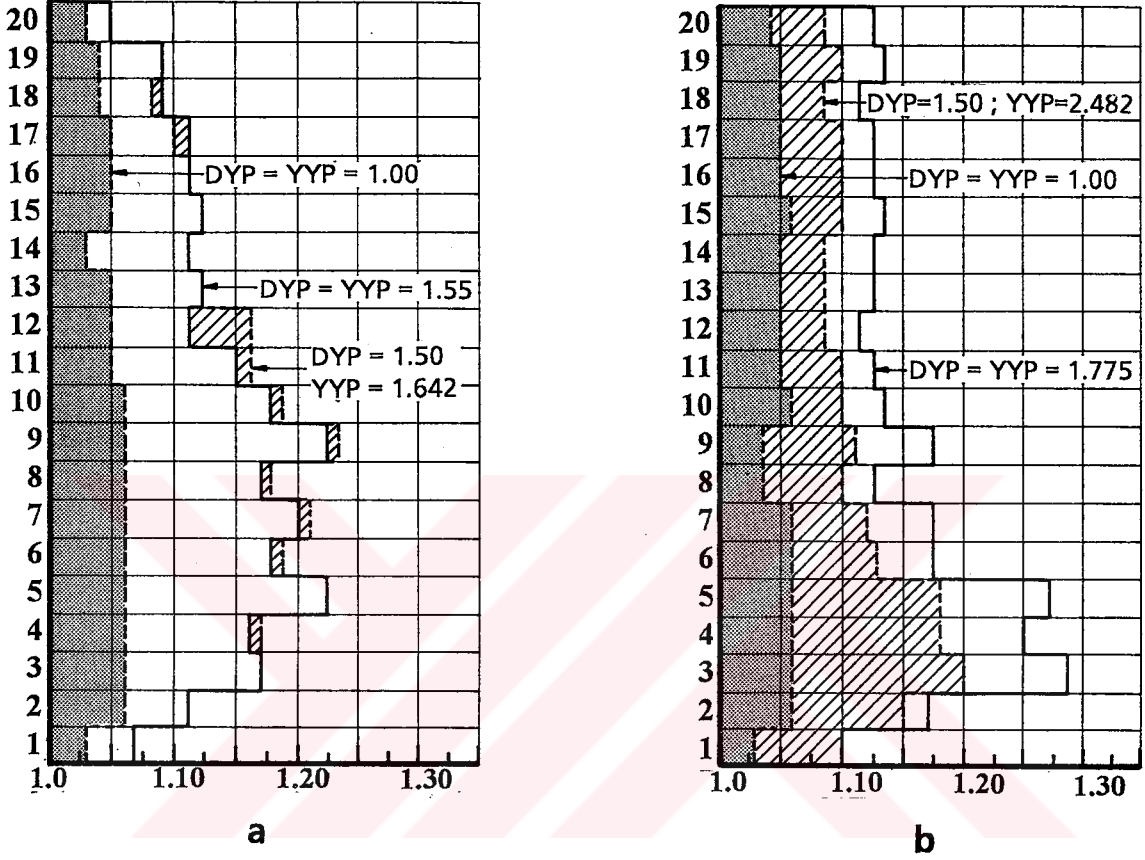
Şekil 4.14 : Rüzgar Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) $DYP = YYP = 1.775$	b) $DYP=1.50, YYP=2.482$
Σ pl. kesit : 59	Σ pl. kesit : 63
kirişlerde : 8	kirişlerde : 27
kolonlarda : 51	kolonlarda : 36

Deprem ve rüzgar yüklemeleri için elde edilen plastik kesitlerin yerleri ve toplam sayıları karşılaştırıldığında, rüzgar yüklemesinden oluşan plastik kesitlerin sayısının daha az olduğu ve yapının alt katlarında toplandığı görülmektedir. Diğer bir önemli husus da ilk plastik kesitlerin her iki yükleme durumunda da kolonlarda oluşmasıdır.

4.4.2.4. İkinci Mertebe Etkileri

İşletme yükleri ve göçme yükleri altındaki II. mertebe etkilerinin katlara göre değişimi Şekil 4.15 de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 İkinci Mertebe Etkileri (DIN 1050, 4114)

a) depremli hal

b) rüzgarlı hal

4.5. AISC-LRFD Yönetmeliğine Göre Boyutlandırma

AISC- Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Steel Buildings yönetmeliği, taşıma gücü yöntemi ilkelerine göre boyutlandırmayı esas almaktadır. Bu yöntem, kesitlerin taşıma gücünün yanı sıra taşıyıcı sistemin plastik davranışlarının da hesapta gözönüne alınabilmesiyle, hem daha gerçekçi hem de ekonomik boyutlandırma açısından daha etkin sonuçlar vermektedir.

Boyutlandırılan yapı sisteminin tüm enkesitleri için nominal eğilme dayanımı, $M_n = M_p$ olarak bulunmuştur.

4.5.1. Boyutlandırılan Sistemin Enkesitleri ve Özellikleri

Boyutlandırılan taşıyıcı sistemin kiriş ve kolon enkesitleri ile bu enkesitlerin seçiminde etkin olan yükleme durumları toplu olarak Tablo 4.10 da gösterilmiştir.

Tablo 4.10 : Kolon ve Kiriş Enkesitleri (AISC-LRFD)

Kat	Kiriş	Etkin Yük	Dış kolon	Etkin Yük	İç kolon	Etkin Yük
19 - 20	IPE A 360	"H+HD"	HD 210*059	"H+HD"	HD 210*052	" HD "
17 - 18	IPE A 400	" HD "	HD 260*073	" HD "	HD 260*089	" HD "
15 - 16	IPE A 450	" HD "	HD 260*089	" HD "	HD 310*117	" HD "
13 - 14	IPE . 450	" HD "	HD 310*117	" HD "	HD 360*134	" HD "
11 - 12	IPE A 500	" HD "	HD 360*134	" HD "	HD 360*148	" HD "
9 - 10	IPE A 500	" HD "	HD 360*148	" HD "	HD 360*179	" HD "
7 - 8	IPE . 500	" HD "	HD 360*179	" HD "	HD 360*196	" HD "
5 - 6	IPE . 500	" HD "	HD 360*196	" HD "	HD 400*216	" HD "
3 - 4	IPE . 500	" HD "	HD 400*216	" HD "	HD 400*237	" HD "
1 - 2	IPE . 500	" HD "	HD 400*288	" HD "	HD 400*288	" HD "

Tablodan görüldüğü gibi, en üst kat kirişleri ve dış kolonları dışındaki tüm enkesitlerin seçiminde "HD" (düşey yükler + deprem) yüklemesi etkin olmaktadır.

HZ (düşey yükler + rüzgar) yüklemesi hiçbir enkesitin seçiminde etkin olmamıştır.

Burada, Bölüm 2.4.2.1 de açıklanan yük kombinasyonlarından etkin olanları aşağıda belirtilmiştir.

$$" H " = 1.2D + 1.6L \quad : \text{düşey yük kombinasyonu}$$

$$" HD " = 1.2D + 0.5L + 1.5E \quad : \text{depremli yük kombinasyonu}$$

$$" HZ " = 1.2D + 0.5L + 1.3W \quad : \text{rüzgarlı yük kombinasyonu}$$

Boyutlandırılan sistemin taşıyıcı sistem ağırlığı, işletme yüklerine karşı gelen oransal yatay yerdeğiştirmeler, yapı özel periyodu ve burkulma yükü parametresi Tablo 4.11 de verilmiştir

Tablo 4.11 : Sistemin Özellikleri (AISC-LRFD)

Yapı ağırlığı	Kiriş ağırlığı	Kolon ağırlığı	Özel periyot	Oransal yerdeğiştirme (δ / H)	Burkulma Yükü Parametresi
65.778 ton	27.916 ton	37.862 ton	3.7543 sn	deprem : 0.00353 rüzgar : 0.00189	$P_{cr} = 14.618$

Bu sonuçlara göre :

- Boyutlandırılan yapının burkulma güvenliği
 $e = 14.618$
değerini almaktadır.
- Yapı özel periyodu deprem yönetmeliğinin (13.4) ve (13.5) numaralı yaklaşık denklemleri ile bulunan değerleri % 88 oranında aşmaktadır..
- Rüzgar yüklemesinden oluşan yatay yerdeğiştirmeler, deprem yüklemesine oranla % 53.5 oranında daha küçüktür.

4.5.2. Boyutlandırılan Sistemin Lineer Olmayan Davranışının İncelenmesi

AISC-LRFD yönetmeliğine uygun olarak boyutlandırılan yapı sisteminin, Bölüm 3 te esasları açıklanan yöntem ile, rüzgar ve deprem yüklemeleri için ayrı ayrı olmak üzere analizleri yapılmış ve elde edilen sayısal sonuçlar tablo ve şekiller ile aşağıda özetlenmiştir.

4.5.2.1. Göçme Güvenlikleri

Boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin rüzgar ve deprem yüklemeleri için ayrı ayrı olmak üzere altı farklı şekilde analizi ile elde edilen göçme güvenlikleri Tablo 4.12 te toplu olarak verilmişlerdir.

Tablo 4.12 : Göçme Güvenlikleri (AISC-LRFD)

ANALİZ	DEPREM		RÜZGAR	
	DYP	YYP	DYP	YYP
II. mertebe elasto - plastik	1.440	1.440	1.656	1.656
II. mertebe elasto - plastik	1.500	1.321	1.500	2.021
II. mertebe elasto - plastik	1.200 *	1.483	1.200 *	2.196
II. mertebe elasto - plastik	1.000	1.913	1.000	2.772
I. mertebe elasto - plastik	1.643	1.643	1.850	1.850
I. mertebe elasto - plastik	1.500	1.717	1.500	2.779

Tablonun incelenmesinden elde edilen bazı sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

a) Yapı sisteminin deprem güvenliği, genellikle 1.50 değerinin altında kalmaktadır.

b) Yapının rüzgar yükleri altındaki göçme güvenliği deprem yüklemesine oranla daha büyük değer almaktadır, (orantılı yüklemelerde %15).

c) İkinci mertebe etkileri nedeniyle yapının göçme güvenliği orantılı yüklemelerde %14, DYP = 1.50 için orantısız yüklemelerde %30 oranında azalmaktadır.

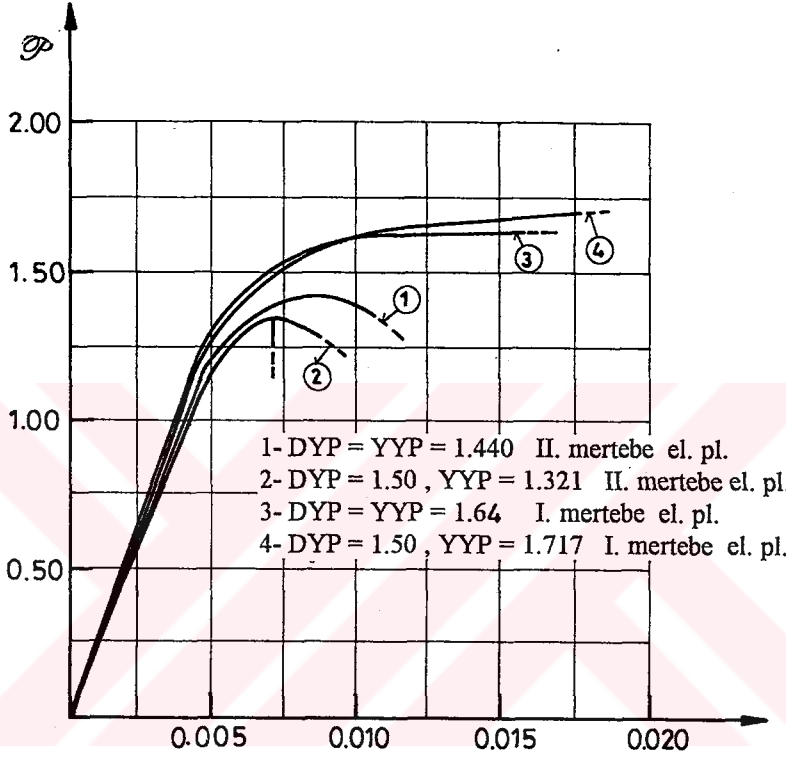
4.5.2.2. Yük Parametresi - Yerdeğiştirme Bağıntıları

Düşey yükler için öngörülen DYP=1.50 güvenlik katsayısı altında artan yatay deprem yükleri için ve orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri için I. ve II. mertebe teorisine göre elde edilen yük parametresi - yerdeğiştirme ($\mathcal{P}$ - δ/H) diyagramları Şekil 4.16 da toplu olarak verilmişlerdir.

Düşey yükler için öngörülen DYP=1.50 güvenlik katsayısı altında artan yatay deprem yükleri için ve orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri için I. ve II. mertebe teorisine göre elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme ($\mathcal{P}$ - δ/H) diyagramları incelendiğinde, DYP=1.50 için I. mertebe limit yük YYP=1.717 iken, ikinci mertebe etkilerinin gözönüne alınması halinde YYP=1.321 değerine düşmektedir.

Orantılı olarak artan düşey yükler ve yatay deprem yükleri altında ise

göçme yükü parametresi I. mertebe elastoplastik analizde $DYP=YYP=1.643$ iken, ikinci mertebe etkilerin gözönüne alınması halinde $DYP=YYP=1.44$ değerine düştüğü görülmektedir.



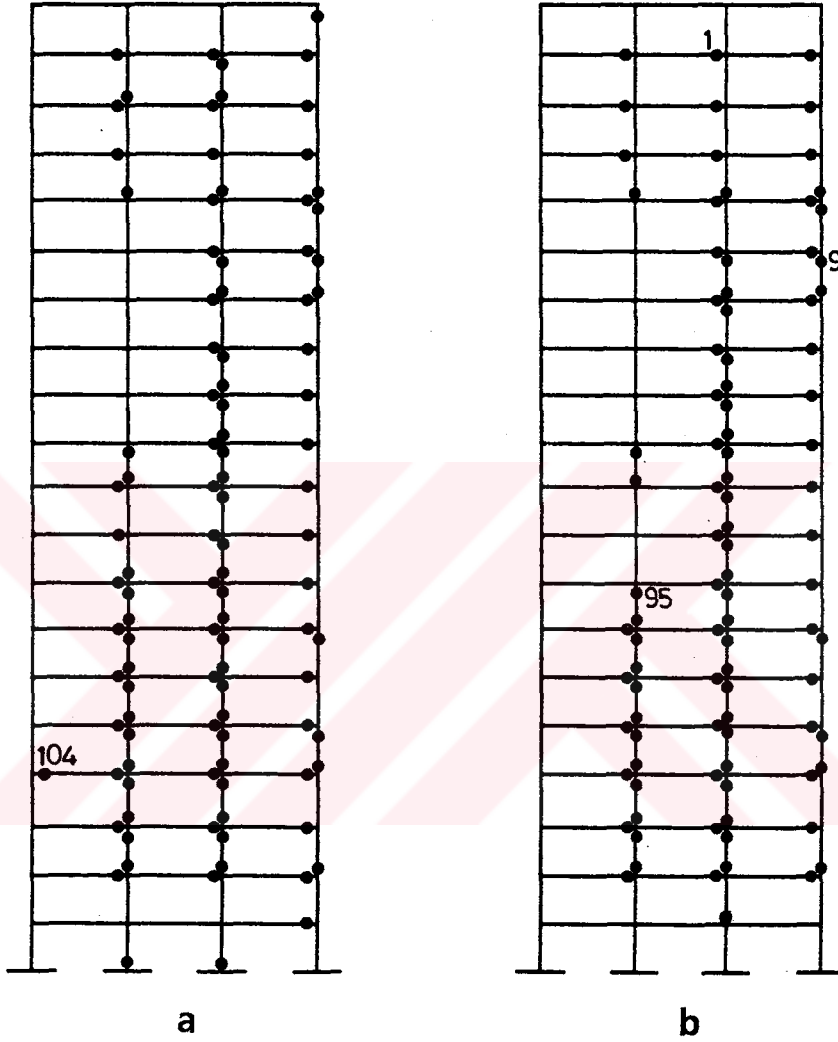
Şekil 4.16 : Deprem Yükleme İçin Yük Parametresi- Yerdeğiştirme ($\phi - \delta/H$) Diyagramları (AISC-LRFD)

4.5.2.3. Plastik Kesitlerin Oluşumu

Boyutlandırılan sistemin deprem ve rüzgar yüklemeleri için II. mertebe elastoplastik analizleri sonucunda elde edilen plastik kesit yerleri sırasıyla Şekil 4.17 ve Şekil 4.18 da verilmiştir.

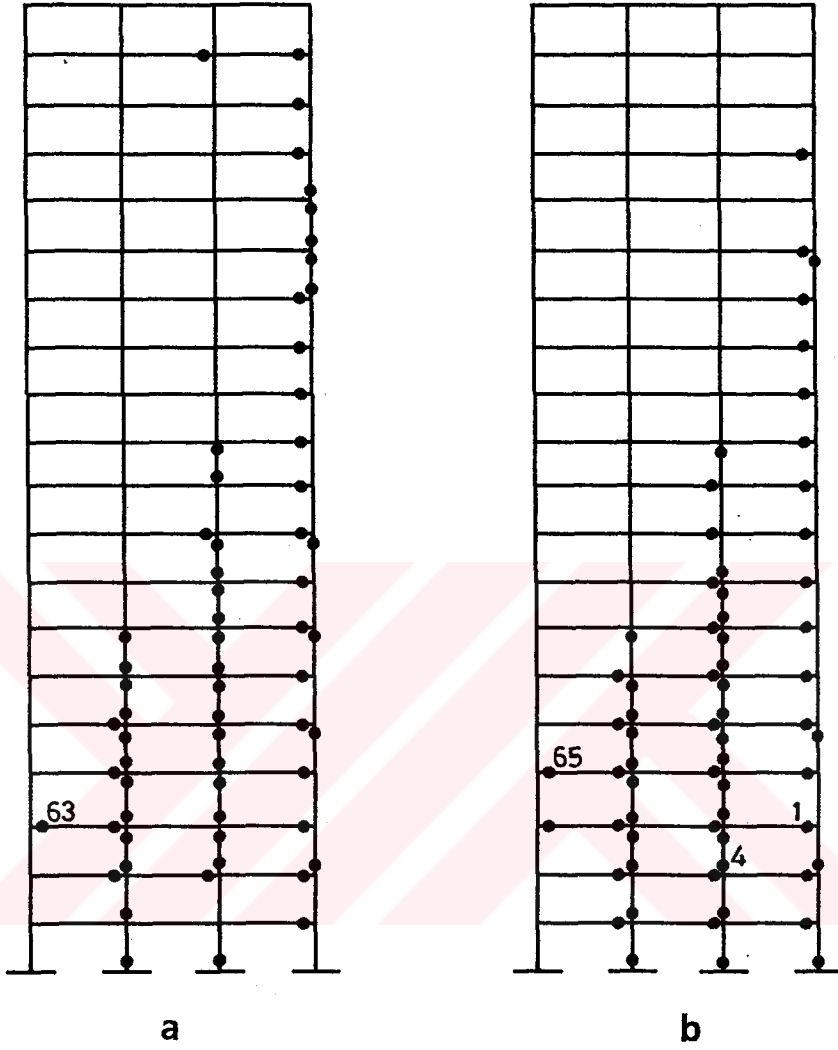
Deprem ve rüzgar yüklemeleri için elde edilen plastik kesitlerin yerleri

ve toplam sayıları karşılaştırıldığında, rüzgar yüklemesinden oluşan plastik kesitlerin sayısının daha az olduğu ve yapının alt katlarında toplandığı görülmektedir.



Şekil 4.17 : Deprem Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) DYP = YYP = 1.440	b) DYP=1.50, YYP=1.321
Σ pl. kesit : 104	Σ pl. kesit : 95
kirişlerde : 50	kirişlerde : 45
kolonlarda : 54	kolonlarda : 50

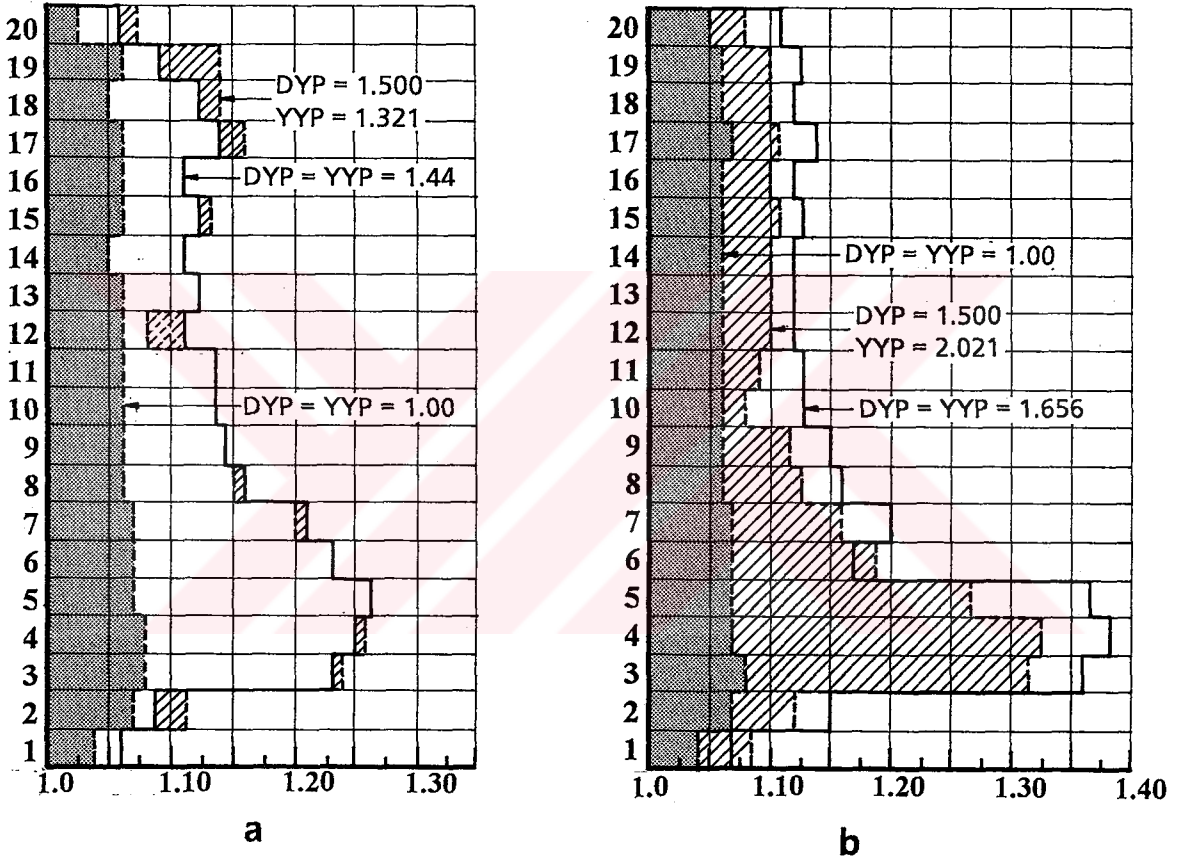


Şekil 4.18 : Rüzgar Yüklemesinde Plastik Kesitlerin Oluşumu

a) DYP = YYP = 1.656	b) DYP=1.50, YYP=2.021
Σ pl. kesit : 63	Σ pl. kesit : 65
kirişlerde : 25	kirişlerde : 34
kolonlarda : 38	kolonlarda : 31

4.5.2.4. İkinci Mertebe Etkileri

İşletme yükleri ve göçme yükleri altındaki II. mertebe etkilerinin (bir kattaki II. mertebe eğilme momentleri toplamının I. mertebe eğilme momentleri toplamına oranı) katlara göre değişimi Şekil 4.19 da gösterilmiştir.



Şekil 4.19 İkinci Mertebe Etkileri (AISC-LRFD)

a) depremli hal

b) rüzgarlı hal

Bölüm 5. SAYISAL SONUÇLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Aşağıdaki bölümlerde, Bölüm 4 te çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin özellikleri, göçme güvenlikleri, plastik kesitlerin oluşumları ve ikinci mertebe etkileri topluca karşılaştırılmıştır.

5.1. Boyutlandırılan Sistemin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Bölüm 2 de özetlenen yönetmeliklere göre boyutlandırılan taşıyıcı sistemin özellikleri karşılaştırılmalı olarak Tablo 5.1 de verilmiştir.

Tablo 5.1 : Boyutlandırılan Sistemin Özelliklerinin Karşılaştırılması

Yönetmelik	TS 648	AISC-ASD	DIN	AISC-LRFD
Yapı ağırlığı, (ton)	69.630	66.799	68.575	65.778
Kiriş ağırlığı, (ton)	29.912	28.484	29.923	27.916
Kolon ağırlığı, (ton)	39.718	38.315	38.652	37.862
Özel periyod, T_n (sn)	2.7128	2.9731	2.7274	3.7543
(δ / H) oranı	0.00303	0.00359	0.00305	0.00353
B.Y. parametresi - P_{cr}	18.174	14.629	17.996	14.618

Tablo 5.1 de özetlenen sistem özelliklerinin karşılaştırılmasında şu sonuçlar elde edilmektedir :

a) En küçük yapı ağırlığı AISC-LRFD taşıma gücü yönetmeliği ile elde edilmektedir. Böylece, taşıma gücü yöntemi ile boyutlandırma sonucunda toplam taşıyıcı sistem ağırlığı % 5.5 oranında azalmaktadır.

b) TS 648 ve AISC-ASD yönetmelikleri ile elde edilen yapı ağırlıkları karşılaştırıldığında, AISC-ASD yönetmeliği ile boyutlandırma sonucunda yapı ağırlığının % 4.1 oranında azaldığı gözlenmektedir. Bu fark genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır :

- i) AISC-ASD yönetmeliğinde, yanal burkulması önlenmiş eğilme elemanları (kirişler) için güvenlik gerilmesinin

$$F_b = 0.66 F_y$$

olarak alınması,

- ii) HZ yüklemesi için güvenlik gerilmesinin % 33.33 oranında arttırılması.

c) Yapı ağırlığının azalmasına paralel olarak, beklenildiği gibi, işletme yükü yatay yerdeğiştirmeleri ve özel periyot değeri artmakta, buna karşılık burkulma yükü parametresi azalmaktadır.

5.2. Göçme Güvenliklerinin Karşılaştırılması

Çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin göçme güvenlikleri Tablo 5.2 de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.2 : Göçme Güvenliklerinin Karşılaştırılması

Yönetmelik		TS-648	AISC-ASD	DIN	AISC-LRFD
DEPREM	DYP = YYP =	1.580	1.449	1.550	1.440
	DYP = 1.50, YYP =	1.717	1.366	1.642	1.321
	DYP = 1.20, YYP =	1.805	1.498	1.731	1.483
	DYP = 1.00, YYP =	2.189	1.914	2.181	1.913
RÜZGAR	DYP = YYP =	1.815	1.665	1.775	1.656
	DYP = 1.50, YYP =	2.609	2.046	2.482	2.021
	DYP = 1.20, YYP =	2.629	2.214	2.592	2.196
	DYP = 1.00, YYP =	3.145	2.763	3.136	2.772

Bu tabloda özetlenen sonuçlara göre :

a) Yapının rüzgar yüklemelerine karşı güvenliğinin, tüm yönetmelikler için, deprem yüklemelerine karşı güvenlikten daha büyük olduğu gözlenmektedir.

b) Amerikan AISC-ASD ve AISC-LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistemin, deprem göçme güvenlikleri birbirine yakın değerler

almaktadır. Bu değerler, çok katlı yapılara uygulanmasına müsaade edilmeyen TS 4561 Çelik Yapılar Plastik Hesap Yönetmeliğinin [26] öngördüğü $e = 1.50$ göçme güvenliğinin yaklaşık % 4 oranında altında kalmaktadır. Buna karşılık Amerikan plastik hesap yönetmeliğinin öngördüğü $DYP = 1.20$ için $YYP = 1.50$ değerine yaklaşık olarak ulaşılmaktadır.

c) TS 648 ve DIN 1050, 4114 yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistemlerin göçme güvenlikleri genellikle $e = 1.50$ değerinin üstünde kalmaktadır.

5.3. Plastik Kesitlerin Oluşumlarının Karşılaştırılması

Taşıyıcı sistem modelinin dört farklı yönetmeliğe göre boyutlandırılması ile elde edilen yapı sistemlerinin $DYP = 1.50$ için elastoplastik hesabı sonucunda elde edilen plastik kesitlerin yerleri Şekil 5.1 de karşılaştırılmıştır.

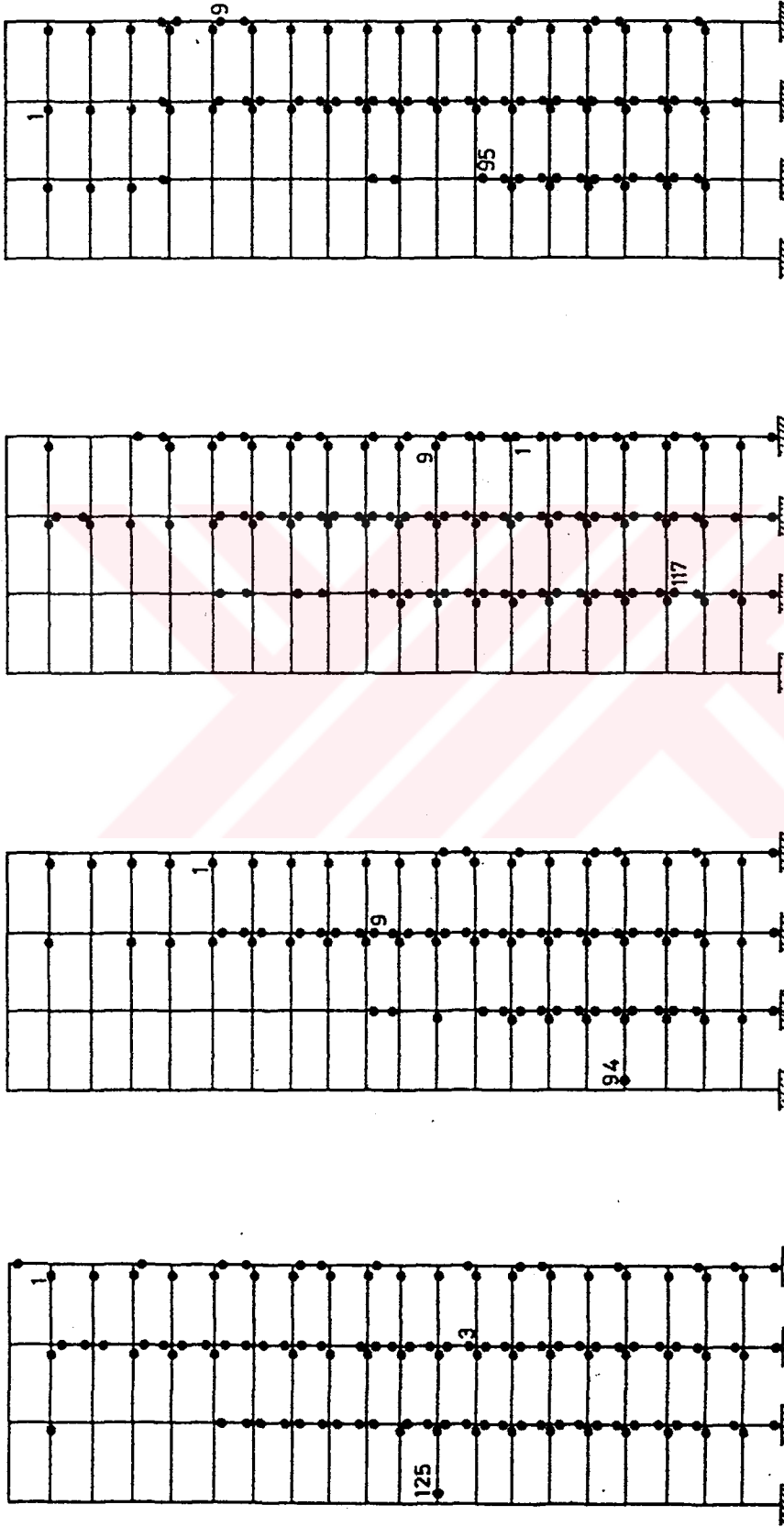
Bu karşılaştırılmadan görüldüğü gibi,

a) Oluşan plastik kesitlerin sayısı yapının göçme yükü değerine bağlı olarak artmaktadır.

b) Plastik kesitlerin yapı yüksekliği boyunca dağılımı açısından, yönetmelikler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

c) DIN ve TKİC Çelik Şartnamelerine göre boyutlandırılan sistemlerde, diğer yönetmeliklerden farklı olarak, ilk plastik kesit kolonda oluşmaktadır,

d) Amerikan AISC-ASD ve AISC-LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistemlerde kolon ve kirişlerdeki plastik kesitlerin sayısı yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu halde, diğer iki yönetmeliğe göre boyutlandırılan sistemlerde kolonlardaki plastik kesitlerin sayısı kirişlere oranla % 60 - % 85 oranında daha fazladır.



Şekil 5.1 : Yönetmeliklere Göre Plastik Kesit Oluşumları (DYP = 1.50, YYP = göçme)

5.4. İkinci Mertebe Etkilerin Karşılaştırılması

Bölüm 4 de elde edilen sayısal sonuçlara dayanarak, işletme yükleri ve göçme yükleri düzeyindeki ikinci mertebe etkilerinin maksimum ve ortalama değerlerinin yönetmeliklere göre karşılaştırılması Tablo 5.3 te yapılmıştır.

Tablo 5.3 : İkinci Mertebe Etkilerinin Karşılaştırılması

			İKİNCİ MERTEBE ETKİLERİ, %			
YÜK	ANALİZ		TS 648	AISC-ASD	DIN	AISC-LRFD
DEPREM	DYP = 1.00	maksimum	6.00	8.00	6.00	8.00
	YYP = 1.00	ortalama	5.33	6.17	5.28	6.33
	DYP = 1.500	maksimum	24.00	31.00	23.00	26.00
	YYP = göçme	ortalama	15.30	15.83	15.22	15.83
	DYP = YYP	maksimum	22.00	27.00	22.00	27.00
	= göçme	ortalama	14.83	14.94	14.72	15.33
RÜZGAR	DYP = 1.00	maksimum	6.00	8.00	6.00	8.00
	YYP = 1.00	ortalama	5.39	6.33	5.33	6.44
	DYP = 1.500	maksimum	21.00	27.00	20.00	33.00
	YYP = göçme	ortalama	11.11	13.78	11.94	14.61
	DYP = YYP	maksimum	27.00	39.00	29.00	38.00
	= göçme	ortalama	14.39	17.89	15.78	17.77

Bu sonuçlara göre,

a) Deprem yükleri altında ikinci mertebe etkileri, tüm yönetmelikler için ortak olarak, işletme yükleri düzeyinde

$$\phi_{ort} = \% 5 - \% 6 ,$$

göçme yükleri düzeyinde

$$\phi_{ort} = \% 15 - \% 16$$

arasında değerler almaktadır.

b) Bu değerler, rüzgar yükleri altında, işletme yükleri düzeyinde değişmemekte buna karşılık göçme yükleri düzeyinde daha geniş bir alana dağılarak

$$\phi_{ort} = \% 11 - \% 18$$

arasında değişmektedir.

5.5. Göçme Yüğü Hesabında Kullanılan Kesin ve Yaklaşık Hesap Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Bölüm 3.2 de açıklanan yaklaşık ve kesin hesap yöntemleri ile elde edilen sonuçları karşılaştırmak amacı ile, TS 648 yönetmeliğine göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin bu iki yöntem ile analizi sonucunda elde edilen göçme yükleri Tablo 5.4 te özetlenmiştir.

Tablo 5.4 : Kesin ve Yaklaşık Hesap Yöntemlerinin Yarşılaştırılması

Yön	ANALİZ	KESİN YÖNTEM		YAKLAŞIK YÖNTEM	
		DYP	YYP	DYP	YYP
TS 648	II. mertebe elastoplastik	1.580	1.580	1.595	1.595
	II. mertebe elastoplastik	1.500	1.717	1.500	1.746
	II. mertebe elastoplastik	1.200*	1.805	1.200*	1.814
	II. mertebe elastoplastik	1.000	2.189	1.000	2.191
	I. mertebe elastoplastik	1.763	1.763	1.778	1.778
	I. mertebe elastoplastik	1.500	2.119	1.500	2.151

Tablodan görüldüğü gibi, yaklaşık yöntem ile bulunan II. mertebe limit yük değerleri gerçek değerlerden bir oranda daha büyüktür. Bunun nedeni, klasik plastik mafsallı teorisinde (yaklaşık yöntem), bir plastik kesitin (plastik mafsallı) oluşumundan sonra, bu kesitteki iç kuvvet durumunun değişmediğinin kabul edilmesinden kaynaklanmaktadır.

Bölüm 6. SONUÇLAR

" Boyutlandırma Kriterlerinin Çok Katlı Çelik Yapıların Lineer Olmayan Davranışına Etkisi " konusunda hazırlanan bu çalışmada elde edilen sonuçlar aşağıda sıralanmıştır.

1. Bu çalışmada, çeşitli boyutlandırma kriterlerine ve bu kriterlere dayanan yönetmeliklere uygun olarak boyutlandırılan çok katlı, çelik düzlem yapı sisteminin düşey yükler ve yatay deprem, rüzgar kuvvetleri altındaki gerçek davranışı, malzeme ve geometri değişimlerinin lineer olmayan etkilerini gözönüne alan bir II. mertebe elastoplastik hesap yöntemi ile incelenmiştir. Böylece, güvenlik gerilmeleri ve taşıma gücü ilkelerine dayanan çeşitli yönetmeliklerin güvenlik ve ekonomi açılarından irdelenmesine ve alternatif boyutlandırma kriterlerinin geliştirilmesine sağlanmaktadır.

2. Amerikan AISC-ASD ve AISC-LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılan taşıyıcı sistem modelinin deprem göçme güvenlikleri birbirine yakın değerler almaktadır. Bu güvenlikler,

a- orantılı yükleme için $DYP = YYP = 1.44 - 1.45$,

b- $DYP = 1.50$ güvenlik katsayısı ile arttırılmış düşey yükler altında, yatay deprem kuvvetleri için $YYP = 1.32 - 1.37$,

c- Akma gerilmesinin % 10 azaltılması halinde ve $DYP = 1.20$ düşey yükleri altında, yatay deprem kuvvetleri için $YYP = 1.48 - 1.50$, değerlerini almaktadır. Bu güvenlik, çeşitli plastik hesap yönetmelikleri tarafından yeterli kabul edilmektedir.

3. TS 648 ve DIN 1050, 4114 yönetmeliklerine boyutlandırma sonucunda elde edilen gerçek deprem güvenliği, TS 4561 standardında öngörülen $e = 1.50$ güvenliğinin üstünde kalmaktadır.

Bu değer orantılı yüklemede $DYP = YYP = 1.55 - 1.58$, $DYP = 1.50$ için orantısız yüklemede $YYP = 1.62 - 1.72$ arasında değişmektedir.

4. Taşıyıcı sistem modelinin rüzgar yüklemesine karşı güvenliği, tüm yönetmelikler için, deprem güvenliğinden daha fazladır. Aradaki fark orantılı yükleme için % 15, orantısız yükleme için % 50 dolaylarındadır. Bu sonuç, incelenen çok katlı yapılarda, deprem yüklerinin rüzgar yüklerine oranla daha etkin olduğunu vurgulamaktadır.

5. En küçük taşıyıcı sistem ağırlığı AISC-LRFD taşıma gücü yönetmeliği ile elde edilmektedir. Bu gözlem, taşıma gücü ilkesine dayanan yönetmeliklerin daha ekonomik sonuç verdiğini kanıtlamaktadır.

6. TS 648 ve AISC-ASD yönetmelikleri ile elde edilen yapı ağırlıkları karşılaştırıldığında, AISC-ASD yönetmeliği ile boyutlandırma sonucunda yapı ağırlığının % 4.1 oranında azaldığı gözlenmektedir. Bu fark genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır :

- i) AISC-ASD yönetmeliğinde, yanal burkulması önlenmiş eğilme elemanları (kirişler) için güvenlik gerilmesinin

$$F_b = 0.66 F_y$$

olarak alınması,

- ii) HZ yüklemesi için güvenlik gerilmesinin % 33.33 oranında artırılması.

7. Yapı ağırlığının azalmasına paralel olarak, beklenildiği gibi, işletme yükü yatay yerdeğiştirmeleri ve özel periyot değeri artmakta, buna karşılık burkulma yükü parametresi azalmaktadır.

8. Çeşitli yönetmeliklere göre boyutlandırılan yapıların elastik burkulma güvenliği $e = 14.6 - 18.2$ arasında değişmektedir.

9. TS 648 ve DIN yönetmeliklerine göre boyutlandırmada bazı alt kolonlarının enkesitlerinin seçiminde (HZ) yüklemesi etkin olduğu halde, AISC yönetmeliklerinde tüm enkesitlerin seçiminde (HD) yüklemesi etkin olmaktadır. Bunun nedeni, HZ ve HD yüklemeleri için farklı güvenlik katsayısı arttırmalarının uygulanmasıdır.

10. Rüzgar yüklemesi için elastoplastik hesap sonucunda, plastik kesitlerin yapının alt bölümünde yoğunlaştığı görülmektedir. Bu durum,

rüzgar yüklerinin yapı yüksekliği boyunca dağılımının boyutlandırmada etkin olan deprem yüklerinden farklı olmasından kaynaklanmaktadır.

11. Oluşan plastik kesitlerin sayısı yapının göçme yükü değerine bağlı olarak artmaktadır.

12. Plastik kesitlerin yapı yüksekliği boyunca dağılımı açısından, yönetmelikler arasında önemli bir fark gözlenmemiştir.

13. DIN ve TKİC yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistemde, diğer yönetmeliklerden farklı olarak, ilk plastik kesit kolonda oluşmaktadır.

14. Amerikan AISC-ASD ve AISC-LRFD yönetmeliklerine göre boyutlandırılan sistemlerde kolon ve kirişlerdeki plastik kesitlerin sayısı yaklaşık olarak birbirine eşit olduğu halde, diğer iki yönetmeliğe göre boyutlandırılan sistemlerde kolonlardaki plastik kesitlerin sayısı kirişlere oranla % 60 - % 85 oranında daha fazladır.

15. Deprem yükleri altında ikinci mertebe etkileri, tüm yönetmelikler için ortak olarak, işletme yükleri düzeyinde $\phi_{ort} = \% 5 - \% 6$, göçme yükleri düzeyinde $\phi_{ort} = \% 15 - \% 16$ arasında değerler almaktadır. Bu değerler, rüzgar yükleri altında, işletme yükleri düzeyinde değişmemekte buna karşılık göçme yükleri düzeyinde daha geniş bir alana dağılarak $\phi_{ort} = \% 11 - \% 18$ arasında değişmektedir.

KAYNAKLAR

- [1] ÖZER, E., Determination of Second-Order Limit Load by a Method of Load Increment, Bulletin of the Technical University of Istanbul, Vol. 40, No. 4, pp. 815-836, (1987).
- [2] İRTEM, E., Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı için Bir Yük Artımı Yöntemi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (1991).
- [3] ORAKDÖĞEN, E., İkinci Mertebe Limit Yük İçin Yapı Ağırlığını Minimum Yapan Bir Boyutlandırma Yöntemi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, (1994).
- [4] LU, L.W., ÖZER, E., DANIELS, J.H., ÖKTEN, Ö.S., MORINO, S., Strength and Drift Characteristics of Steel Frames, Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 103, No. ST11, November, pp. 2225-2241, (1977).
- [5] LU, L.W., ÖZER, E., DANIELS, J.H., ÖKTEN, Ö.S., MORINO, S., Frame Stability and Design of Columns in Unbraced Multistorey Steel Frames, Fritz Engineering Laboratory Report No. 375.2, Lehigh University, (1975).
- [6] ÖZER, E., İRTEM, E., ORAKDÖĞEN, E., GİRGİN, K., Çok Katlı Çelik Bina Çerçevelerinin Gerçek Göçme Güvenliklerinin Belirlenmesi, Yüksek Binalar II. Ulusal Sempozyumu, Sa. 269-278, İ.T.Ü. Mimarlık Fakültesi, (4-5-6 Kasım 1992).
- [7] KIM, S.W., Elastic-Plastic Analysis of Unbraced Frames, Ph. D. Dissertation, Lehigh University, (1971).
- [8] MOY, F.C., ÖZER, E., LU, L.W., Strength of Steel Frames Under Gravity Loads, Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 103, No. ST6, pp. 1223-1235, (1977).
- [9] TS 498 Yapı Elemanlarının Boyutlandırılmasında Alınacak Yüklerin Hesap Değerleri, (1987).
- [10] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, Bayındırlık ve İmar Bakanlığı, (1975).

- [11] ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN G., Yapıların Özel Periyotlarının Tayini ve Modların Süperpozisyonu Yöntemi, Uluğ Kitabevi, İstanbul, (1977)
- [12] ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN G., ÖZDEN, E., Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt II, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayını, (1992).
- [13] TS 648 Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara, (1980).
- [14] Specification for Structural Steel Buildings - Allowable Stress Design and Plastic Design (AISC-ASD), American Institute of Steel Construction, (1989).
- [15] GALAMBOS, T.V., Structural Members and Frames, Prentice-Hall, New York, (1968).
- [16] Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ANSI-A58.1), American National Standards Institute, (1982).
- [17] DIN 1050 : Stahl im Hochbau Berechnung und Bauliche Durchbildung, (1968).
- [18] DIN 4114 : Stahlbau, Stabilitätsfälle (Knickung, Kippung, Beulung), Berechnungsgrundlagen, Teil 1 - Teil 2, (1952 - 1953).
- [19] Türkiye Köprü ve İnşaat Cemiyeti, Çelik Şartnamesi, (1953).
- [20] Load and Resistance Factor Design for Structural Steel Buildings (AISC-LRFD), American Institute of Steel Construction, (1986).
- [21] GİRĞİN K., ÖZER, E., Çok Katlı Çelik Çerçevelerin Bilgisayar ile Tasarımı, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı III. Sempozyumu, Sa. 77-82, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi, (15-18 Haziran, 1992).
- [22] İRTEM, E., ÖZER, E., Uzay Çubuk Sistemlerde İkinci Mertebe Limit Yükün Hesabı İçin Bir Yük Artımı Yöntemi, İnşaat Mühendisliğinde Bilgisayar Kullanımı III. Sempozyumu, Sa. 95-106, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi (15-18 Haziran, 1992).
- [23] ÇAKIROĞLU, A., ÖZER, E., Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistemler, Cilt I, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayını, (1980).
- [24] HODGE, P.G., Plastic Analysis of Structures, Mc. GrawHill, (1959).
- [25] ÇAKIROĞLU, A., ÖZMEN G., ÖZDEN, E., Yapı Sistemlerinin Hesabı İçin Matris Metotları ve Elektronik Hesap Makinası Programları, Cilt I, İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Yayını, (1992).

- [26] TS 4561 Çelik Yapıların Plastik Teoriye Göre Hesap Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, (1985).



ÖZGEÇMİŞ

Sezgin KURTULDU, 1967 yılında Kırcaali'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Kırcaali'de tamamladı. 1986 yılında Kırcaali İnşaat ve Mimarlık Teknik Lisesini bitirdi. Aynı yıl, Sofya Mimarlık ve İnşaat Yüksek Enstitüsünün İnşaat Fakültesine kayıt yaptırmaya hak kazandı. 22 Haziran 1989 yılında Türkiye'ye göçmen olarak geldi ve aynı yıl İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümüne yatay geçiş hakkı kazandı. 1991 yılında, yaz dönemi mezunları içinde bölüm birincisi olarak mezun oldu.

1991-1992 kış yarıyılında, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'na bağlı, Yapı Mühendisliği Yapı Analizi ve Boyutlandırma programında yüksek lisans öğrenimine başladı. Bir özel kuruluştaki çalışmakta olan Sezgin KURTULDU Rusça, Bulgarca ve İngilizce bilmektedir.