İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPILARIN NONLİNEER ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cihat ÇUKUR

Anabilim Dalı : İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ

Programı : YAPI MÜHENDİSLİĞİ

OCAK 2006

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

ÇELİK YAPILARIN NONLİNEER ANALİZİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

İnş. Müh. Cihat ÇUKUR
(501021090)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 9 Aralık 2005
Tezin Savunulduğu Tarih : Ocak 2006

Tez Danışmanı : Doç.Dr. Filiz PİROĞLU

Diğer Jüri Üyeleri Prof.Dr. Erdoğan UZGİDER

Yrd.Doç.Dr Fevzi DANSIK

OCAK 2006

ÖNSÖZ

Çalışmalarım boyunca değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı her aşamada izleyip değerlendirerek yön veren ve her türlü desteği sağlayan danışmanım Sn. Doç Dr. Filiz PİROĞLU' hocama, öneri ve yönlendirici fikirleriyle teze önemli katkıları olan Sn. Profesör Dr. Erdoğan UZGİDER hocama minnet ve şükranlarımı sunarım.Çalışmalarım esnasında bana yardımcı olmaya çalışan bütün arkadaşlarıma, özellikle eleştiri ve önerileri nedeni ile İnş.Yük.Müh. Ayşegül CENGİZ'e teşekkür etmek isterim.Yüksek Lisans Eğitimimde bana inanarak destekleyen ailemin gösterdiği anlayışa müteşekkirim.

Ocak 2006 Cihat ÇUKUR

İÇİNDEKİLER

TABLO LİSTESİ v
ŞEKİL LİSTESİ vı
SEMBOL LİSTESİ vıı
ÖZET xı
SUMMARY xıı

1. GİRİŞ 1
1.1. Lineer Olmayan Hesaba Giriş 2
1.2. Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar 3
1.3. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmama Nedenleri 3
1.3. Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Lineer Olmayan Davranışı 5

2. PLASTİK MAFSAL HİPOTEZİ 8

3.YAPI SİSTEMLERİNDE SINIR DURUMLAR VE SÜNEKLİK 13
3.1. Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar 13
3.2. Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranan Özellikler 14
3.3. Yapı Sistemlerinin Süneklik Düzeyine Göre Sınıflandırılması 15
3.4. Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Lineer Olmayan Davranışları 16

4. SAYISAL UYGULAMA 18
4.1. Genel Sistem Tanıtımı 18
4.2. Sisteme Etkiyen Yükler 19
4.2.1. Spektrum Eğrisi ve Deprem Yükleri 19
4.3. Sistemin Boyutlandırılması ve Kullanılan Yönetmelikler 21
4.4. Nonlineer Çözümler ve Sünekliğin İrdelenmesi 27
4.4.1. Malzeme Kabulü 27
4.4.2. Statik İtme Analizinde Kullanılacak Yatay Deplasmanların Belirlenmesi 28
4.4.3. Davranışın Görülmesi İçin Belirlenen Yatay Öteleme Miktarları 28
4.4.4. Sünekliğin Belirlenmesinde Kullanılacak Yatay Öteleme Miktarlarının Belirlenmesi 30
4.5. Süneklik Ve Dayanım Azaltma Katsayısının İrdelenmesi 31
4.6. Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Göçme Yüklerinin Tayini 34
4.7. Sistemlere Ait gerilme Dağılışları 36

4.8. Zemin Sınıfının R Katsayısına Etkisi **48**

5. SONUÇLAR VE TARTIŞMA **53**

KAYNAKLAR **60**

ÖZGEÇMİŞ **62**

TABLO LİSTESİ

		Sayfa No
Tablo 1.1.	Yapı Sistemlerinin Lineer Olmama Nedenleri …..……...	4
Tablo 4.1.	Sistem Geometrik Boyutları …….	18
Tablo 4.2.	Sisteme Etkiyen Yükler (kar, yan kaplama, çatı kaplama, aşık, rijitlik bağlantısı) ……..	19
Tablo 4.3.	Spektrum Eğrisi Değerleri ……	20
Tablo 4.4.	Sistemlere Etkiyen Deprem Yükleri ve Birinci Doğal Titreşim Periyotları ….....	21
Tablo 4.5.	Basınca Çalışan Elemanların (Sınır Genişlik/Kalınlık) Oranları .	25
Tablo 4.6.	Kesit Boyutları …….	26
Tablo 4.7.	Kompaklık İrdelemesi ……..	26
Tablo 4.8.	Yapı Elemanları Burkulma İrdelemesi …….	27
Tablo 4.9.	Sistemlere Ait Yatay İtme Miktarları ……...	30
Tablo 4.10.	Yatay Öteleme Miktarları …….....	31
Tablo 4.11.	Sistemlere Ait Yatay İtme Miktarları …….……..	31
Tablo 4.12.	Sönüm Oranına Bağlı R_ξ Değerleri ……..	33
Tablo 4.13.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	33
Tablo 4.14.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları ……...	34
Tablo 4.15.	$\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	34
Tablo 4.16.	$\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları …….	34
Tablo 4.17.	Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Bulunan Limit Yükler …..…..	36
Tablo 4.18.	Zemin Karakteristikleri ve Temel Boyutları ……...	49
Tablo 4.19.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	50
Tablo 4.20.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı R Katsayıları ……	50
Tablo 5.1.	Yatay Öteleme Miktarları …….	54
Tablo 5.2.	Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Bulunan Limit Yükler ……...	56
Tablo 5.3.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	56
Tablo 5.4.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları ……...	57
Tablo 5.5.	$\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	57
Tablo 5.6.	$\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları …….	57
Tablo 5.7.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri ……...	58
Tablo 5.8.	$\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı R Katsayıları ……	58

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 1.1 : (ij) Çubuk Elemanının Bağıl Yerdeğiştirmeleri 5
Şekil 1.2 : Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi – Yerdeğiştirme Bağıntıları ……..……... 5
Şekil 2.1 : Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı ……..... 8
Şekil 2.2 : Lineer Olmayan Şekil Değiştirmeler…… 10
Şekil 2.3 : İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı ……... 11
Şekil 3.1 : Yapı Davranış Katsayıları ……..... 15
Şekil 3.2 : Yük Parametresi - Yerdeğiştirme (P-δ) Bağıntıları ……..... 17
Şekil 4.1 : Sistem Geometrisinin Genel Görünümü ……...18
Şekil 4.2 : Spektrum Eğrisi …… 20
Şekil 4.3 : Pekleşen İdeal-Elasto Plastik Malzeme…… 28
Şekil 4.4 : Yatay Deplasmanın Gösterilmesi ……. 29
Şekil 4.5 : Kullanılan Şekildeğiştirme Oranının Gösterilmesi …….. 29
Şekil 4.6 : Malzeme Pekleşme Başlangıcında Kesit Uzama Oranı ……... 30
Şekil 4.7 : Sisteme Ait Mekanizma Durumu ……. 35
Şekil 4.8 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 36
Şekil 4.9 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği ……... 37
Şekil 4.10 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 37
Şekil 4.11 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 38
Şekil 4.12 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği ……... 38
Şekil 4.13 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 38
Şekil 4.14 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 39
Şekil 4.15 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği ……... 39
Şekil 4.16 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 40
Şekil 4.17 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 40
Şekil 4.18 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği ……... 41
Şekil 4.19 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 41
Şekil 4.20 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 42
Şekil 4.21 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği ……... 42
Şekil 4.22 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 43
Şekil 4.23 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 43
Şekil 4.24 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği …….. 44
Şekil 4.25 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 44
Şekil 4.26 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 45
Şekil 4.27 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği …….. 45
Şekil 4.28 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 46
Şekil 4.29 : Geometri ve Kesit Özellikleri …….. 46
Şekil 4.30 : Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği …….. 47
Şekil 4.31 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı ……... 47

Şekil 4.32 : Δ/H ≤ 0,0025' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P- Δ eğrileri …….. 48
Şekil 4.33 : Δ/H ≤ 0,00125' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P- Δ eğrileri …….. 48
Şekil 4.34 : Zeminin yaylarla modellenmesi ……... 49
Şekil 4.35 : Kaya zemin tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği …….. 50
Şekil 4.36 : Sıkı kum çakıl zemin tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği ……... 51
Şekil 4.37 : Kil zemin tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği . 51
Şekil 4.38 : Zemin Türlerine Bağlı Sisth6L20 ye Ait P-Δ Eğrileri ……. 52
Şekil 4.39 : Zemin sınıfı R ilişkisi ……... 52
Şekil 5.1 : Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı…… 55
Şekil 5.2 : Sisteme Ait Mekanizma Durumu ……. 55
Şekil 5.3 : Zemin Türlerine Bağlı Sisth6L20 ye Ait P-Δ Eğrileri ……. 59
Şekil 5.4 : Zemin sınıfı R ilişkisi …….. 59

SEMBOL LİSTESİ

A_y : Yay alanı

A_0 : Etkin yer ivmesi katsayısı

C_m : Yanal tutulmayı ve gerektiğinde uç momentlerini göz önüne alan bir katsayı

d : Kesit yüksekliği

E : Kullanılan çelik malzemenin elastisite modülü

E_t : Teğet modülü

f : Çatı yüksekliği

G : Sabit yük

H : Yapı yüksekliği

I : Yapı önem katsayısı

k : Yay katsayısı

K_o : Yatak katsayısı

K : Katsayı

l_p : Plastik mafsal boyu

M : Moment

M_e : Elastik moment

M_p : Plastik moment

M_x : X ekseni etrafında moment

M_y : Y ekseni etrafında moment

n : Hareketli yük katsayısı

P : Yük

P_{cr} : Dallanma burkulması

P_L : Limit yük

P_{L1} : Birinci mertebe limit yük

P_{L2} : İkinci mertebe limit yük

Q : Hareketli yük

R : Deprem yükü azaltma katsayısı

R_s : Fazla dayanım oranı

R_ξ : Sönüme bağlı katsayı

$\mathbf{R_\mu}$: Süneklik oranı

S : statik moment

S(T) : Spekral ivme

T : Periyot

$\mathbf{T_A}$, $\mathbf{T_B}$: Zemin hakim periyotları

u ,v : Çubuk ucu rölatif deplasmanı

$\mathbf{V_d}$: Dizayn yükü

$\mathbf{V_L}$: Limit yük

$\mathbf{V_t}$: Toplam taban kesme kuvveti

W : Etkin yapı ağırlığı

Z4 :Yerel zemin sınıfı

$\boldsymbol{\alpha}$: Çatı eğimi

$\boldsymbol{\alpha_1}$, $\boldsymbol{\alpha_2}$:Yatay yük parametreleri

$\boldsymbol{\beta}$: Kesit dönme açısı

$\boldsymbol{\Delta}$, $\boldsymbol{\delta}$:Yatay yerdeğiştirme

$\boldsymbol{\Delta_e}$, $\boldsymbol{\delta_e}$: Elastik yatay öteleme

$\boldsymbol{\Delta_m}$: Maksimum öteleme

$\boldsymbol{\Delta_s}$: Çubuk boy değişimi

$\boldsymbol{\varepsilon_e}$: Elastik değiştirme oranı

$\boldsymbol{\varepsilon}$: Şekil değiştirme oranı

$\boldsymbol{\varepsilon^*}$: Akma bölgesinin sonuna karşılık gelen şekil değiştirme oranı

$\boldsymbol{\theta}$: Kesit dönme açısı

$\boldsymbol{\upsilon}$: Poisson oranı

$\boldsymbol{\varphi_p}$: Plastik mafsal dönmesi

$\boldsymbol{\lambda_b}$: Çubuğun eğilme düzlemindeki narinliği

$\boldsymbol{\mu}$: Süneklik oranı

$\boldsymbol{\sigma_a}$: Yapı çeliğinin akma gerilme

$\boldsymbol{\sigma_b}$: Yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan gerilme

$\boldsymbol{\sigma_B}$: Yalnız eğilme momenti etkisi altında izin verilen gerilme

$\boldsymbol{\sigma_{bem}}$: Yalnız basınç kuvveti etkisi altında izin verilen gerilme (basınç güvenlik gerilmesi)

$\boldsymbol{\sigma_{eb}}$: Yalnız eksenel kuvvet etkisi altında hesaplanan gerilme

$\boldsymbol{\sigma'_e}$: Euler kritik gerilmesinin n güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen sınır gerilme

σ_{zem} : Zemin emniyet gerilmesi

χ : Eğrilik

χ_p : Plastik eğrilik

ÇELİK YAPILARIN NONLİNEER ANALİZİ

ÖZET

Bu çalışmada, özellikle sanayi yapıları, depolar ve hal yapıları gibi yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılan büyük açıklıklı kırık çerçevelerin süneklik oranları ve deprem yükü azaltma katsayıları irdelenmiştir.

Genellikle hesap kolaylığı bakımından tercih edilen lineer olmayan şekildeğiştirmelerin sürekli olmaması kabulüne dayalı teoriler (plastik mafsal teorisi) esas alınarak çözümlemeler yapılmakta ve süneklik oranları irdelenmektedir. Bu çalışmada lineer olmayan şekil değiştirmeler sürekli kabul edilerek Ansys sonlu elemanlar programıyla çözümlemeler yapılmıştır. Bu sayede mesnet bölgelerinde oluşan gerilme dağılışlarını da gözlemlemek mümkün olmuştur.

Çözümlemeler sonucunda bulunan nihai yükler ayrıca plastik mafsal teorisine dayalı mekanizma yöntemiyle tahmin edilen mekanizma durumuna bağlı belirlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bilgisayar sonuçları beklendiği gibi bir miktar küçük çıkmıştır. Bunun yanında değerler birbirine yakın çıkmıştır.

Bu çalışmada deprem yükü azaltma katsayısı ($R = R_\mu R_s R_\xi$) süneklik oranı (R_μ), fazla yük oranı (R_s) ve sönüme bağlı katsayı (R_ξ) dikkate alınarak belirlenmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu tür sistemlerde süneklik oranından ziyade fazla yük oranı R sayısı üzerinde daha etkendir.

Ayrıca bu çalışmada tasarımda bulunan göreli ötelemenin yönetmelik sınırından küçük olduğu oranda R sayısını arttırdığı görülmüştür, göreli ötelemenin yarıya düşürülmesiyle yapılan çözümleme bu sonucun irdelenmesi için yapılmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde R katsayılarının bu oran değerinde arttığı görülmüştür.

Sonuç olarak bulunan değerler yönetmelik değerlerine yakın çıkmıştır. Bu sonuç bize yönetmelik değerlerini güvenle kullanabileceğimizi göstermektedir.

Zemin sınıfının R katsayısı üzerine olan etkilerini araştırmak için üç tip zemin cinsi için bir sistem çözümlenmiştir ve zemin kötüleştikçe R katsayısının azaldığı görülmüştür.

NONLINEAR ANALYSIS OF THE STEEL STRUCTURES

SUMMARY

In this study, earthquake response and ductility ratios of the moment frame systems having large widths and heights (especially for industry structures, storage structures and covered wholesale food market structures) have been researched.

Generally, for the simplicity of the needed calculations the theory based on the acceptance of the nonlineer strains which are not continuous (plastic hinge theory) is prefered. And their ductility ratios are determined by using this theory, too. For this study nonlinear strains are accepted continuously and analysis are carried out with Ansys Finite Element computer programme. Thus, it was possible to watch the stress distrubutions in support regions also.

On the other hand, the limit loads determined from the analysis carried out by Ansys software program are compared with the result findings optained from the mechanizm method by regarding their mechanizm figure guessed before. As it is aspected, computer results are a little smaller than the resuls obtained from mechanizm method. Nevertheless, the results are close to each other.

In this study, the earthquake reduction coefficient has been determined by taking into consideration ductility ratio (R_μ), overstrength ratio (R_s) and coefficient related with damping (R_ξ).

Besides in this study the relative displacements obtained in design level increase the coefficient R, if it is smaller than the relative displacement given in the code. To research this relation, the code value is decreased one half of the actual value and the consruction is reanalyzed again. The results obtained have supported this idea.

Depending of the above mentioned studies, the R coefficients determined are close to the values given by the earthquake code. This conclusion shows us that we can use the code values safely.

On the other hand, to see the effects of the soil classes on R coefficient, only one of the moment frames is considered by using three types of soil sorts. Then the static system is analyzed. Depending on the results obtained, it seems that the more soil gets bad, the more R coefficient decreases.

1 GİRİŞ

Zamanla çelik sektöründeki gelişmeler ve çelik boyutlamada geliştirilen teoriler çeliğin yapı malzemesi olarak kullanılmasını arttırmıştır. Ayrıca çelik yapıların inşa sürelerinin kısa oluşu, malzeme özelliklerinin homojen olması, sünek davranışı da çelik kullanımını arttıran etkenler arasındadır.

Sünekliğe bağlı olarak deprem yükleri azaltılır ve daha ekonomik çözümler elde edilir. Fakat kullanılan deprem yükü azaltma katsayılarının kullanılan yapı malzemesine ve yapı taşıyıcı sistemine uygun bir değer olması çok önemlidir. Bilgisayar programlarındaki gelişmeler ve yeni teoriler yardımıyla bu sayılar daha hassas olarak irdelenebilmektedir.

Lineer olmayan davranışı da kapsayan performansa dayalı tasarım yöntemi de dikkate alındığında aslında etkin bir dayanım azaltma katsayısının olmadığı görülmektedir. Çünkü her performans seviyesi için farklı miktarlarda yerdeğiştirmeler öngörülmektedir. Dayanım azaltma katsayısının bir çarpanı olan süneklik bu yerdeğiştirme miktarına direkt olarak bağlıdır.

Yapı sistemleri boyutlandırılırken birkaç aşamalı bir çözümleme yapılarak her sistem için boyutlama aşamasında dayanım azaltma katsayıları belirlenerek deprem yüklerinin o ölçüde azaltılması daha etken ve uygun olabilecektir.

Bu çalışmada, özellikle sanayi yapıları, depolar ve hal yapıları gibi yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılan büyük açıklıklı kırık çerçevelerin süneklik oranları ve dayanım azaltma katsayıları irdelenmiştir. Genellikle hesap kolaylığı bakımından tercih edilen lineer olmayan şekil değiştirmelerin sürekli olmaması kabulüne dayalı çözümlemelerle bu irdelemeler yapılmaktadır. Bu çalışmada lineer olmayan şekil değiştirmeler sürekli kabul edilerek çözümlenmiştir.

1.1 Lineer Olmayan Hesaba Giriş

Bazı özel durumların dışında, yapı sistemleri işletme yükleri altında genellikle lineer davranış gösterirler. Bu genellemenin dışında kalan sistemler arasında narin yapılar, elastik zemine oturan sistemler ile bölgesel zayıflıklar ve stabilite yetersizlikleri içeren yapılar sayılabilir.

Lineer sistem davranışını esas alan analiz yöntemlerinde, malzemenin gerilme-şekildeğiştirme bağıntıları lineer-elastik olarak alınmakta ve yerdeğiştirmelerin çok küçük olduğu varsayılmaktadır.

Buna karşılık, dış etkiler işletme yükü sınırını aşarak yapının taşıma gücüne yaklaştıkça, gerilmeler lineer-elastik sınırı aşmakta ve yerdeğiştirmeler çok küçük kabul edilemeyecek değerler almaktadır.

Günümüzde yapı mühendisliğinde genellikle uygulanmakta olan ve lineer teoriye dayanan tasarım yaklaşımlarda (güvenlik gerilmeleri esasına göre tasarım ve taşıma gücü yöntemine göre tasarım), yapı sisteminin lineer olmayan davranışı çeşitli şekillerde göz önüne alınmaya çalışılmaktadır. Örneğin, ikinci mertebe etkilerini hesaba katmak ve burkulmaya karşı güvenlik sağlamak amacıyla, moment büyütme yönteminden ve burkulma katsayılarından yararlanılmakta, lineer olmayan şekildeğiştirmeler nedeniyle iç kuvvet dağılımının değişmesi yeniden dağılım ilkesi yardımı ile gözönüne alınmaya çalışılmaktadır. Diğer taraftan, deprem etkilerine göre hesapta malzemenin lineer-elastik sınır ötesindeki davranışını hesaba katmak üzere, taşıyıcı sistem davranış katsayısı tanımlanmakta ve elastik deprem yükleri bu katsayıya bağlı bir deprem yükü azaltma katsayısı ile bölünerek küçültülmektedir.

Yapı malzemelerinin lineer-elastik sınır ötesindeki taşıma kapasitesini gözönüne almak, çok küçük olmayan yerdeğiştirmelerin denge denklemlerine ve gerekli olduğu hallerde geometrik uygunluk koşullarına etkilerini hesaba katmak suretiyle, yapı sistemlerinin dış etkiler altındaki davranışlarını daha yakından izlemek ve bunun sonucunda daha gerçekçi ve ekonomik çözümler elde etmek mümkün olabilmektedir.

Lineer olmayan sistem davranışını esas alan hesap yöntemlerinin geliştirilmesinde ve uygulanmasında genel olarak iki durum ile karşılaşılmaktadır. Bunlardan birincisi, yapı sisteminin lineer olmamasına neden olan etkenlerin belirlenerek sistem davranışının gerçeğe yakın bir biçimde temsil eden hesap modelinin oluşturulması, diğeri ise bu hesap modelinin analizi sonucunda elde edilen lineer olmayan denklem sisteminin etkin bir şekilde çözülmesidir[1].

1.2 Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar

Bir yapı sisteminin dış etkiler altında analizi ile elde edilen iç kuvvetler, şekildeğiştirmeler ve yerdeğiştirmelerin çözüm olabilmeleri için aşağıdaki üç koşulu sağlamaları gerekmektedir.

1. Bünye denklemleri, malzemenin cinsine ve özelliklerine bağlı olan gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarına bünye denklemleri denilmektedir.
2. Denge koşullar, sistemi oluşturan elemanların ve bu elemanların birleştiği düğüm noktalarının denge denklemlerinden oluşmaktadır.
3. Geometrik uygunluk koşulları, elemanların ve düğüm noktalarının süreklilik denklemleri ile mesnetlerdeki geometrik koşullardır[1].

1.3 Yapı Sistemlerinin Lineer Olmama Nedenleri

Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının lineer olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

1. Malzemenin lineer-elastik olmaması nedeniyle gerilme-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) lineer olmaması.
2. Geometri değişimleri nedeniyle denge denklemlerinin (ve bazı hallerde geometrik süreklilik denklemlerinin) lineer olmaması.

Yapı sistemlerinin lineer olmamasına neden olan etkenler ve bu etkenleri göz önüne alan teoriler Tablo 1.1 de topluca özetlenmiştir. Denge denklemlerinde yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde denge denklemleri şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılmaktadır.

Geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olmadığı sistemlerde ise, geometrik süreklilik denklemlerinin de şekildeğiştirmiş eksen üzerinde yazılması gerekmektedir.

Tablo 1.1 Yapı Sistemlerinin Lineer Olmama Nedenleri[1]

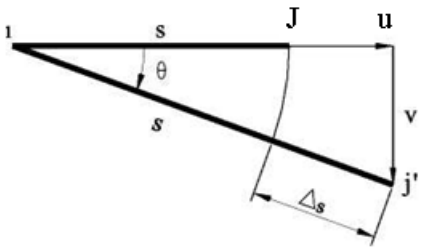
Çözümün Sağlaması Gereken Koşullar	Lineer Sistemler	Lineer Olmayan Sistemler				
		Malzeme Bakımından	Geometri Değişimleri Bakımından		Her İki Bakımdan	
			İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi	İkinci Mertebe Teorisi	Sonlu Deplasman Teorisi
Bünye Denklemleri (Gerilme-Şekildeğiştirme Bağıntıları)	Lineer-elastik	Lineer-elastik değil	Lineer-elastik	Lineer-elastik	Lineer-elastik değil	Lineer-elastik değil
Denge Denklemlerinde Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük değil	küçük değil	küçük değil	küçük değil
Geometrik Uygunluk Koşullarında Yerdeğiştirmeler	küçük	küçük	küçük	küçük değil	küçük	küçük değil

Bir ucunun diğer ucuna göre bağıl yerdeğiştirmeleri *u* ve v olan bir *ij* çubuğunun Δs boy değişmesi,

$$(u+s)^2 + v^2 = (s+\Delta s)^2 \qquad (1.1)$$

$$\Delta s = s[(u/s) + 0.5*(u/s)^2 + 0.5*(v/s)^2] \qquad (1.2)$$

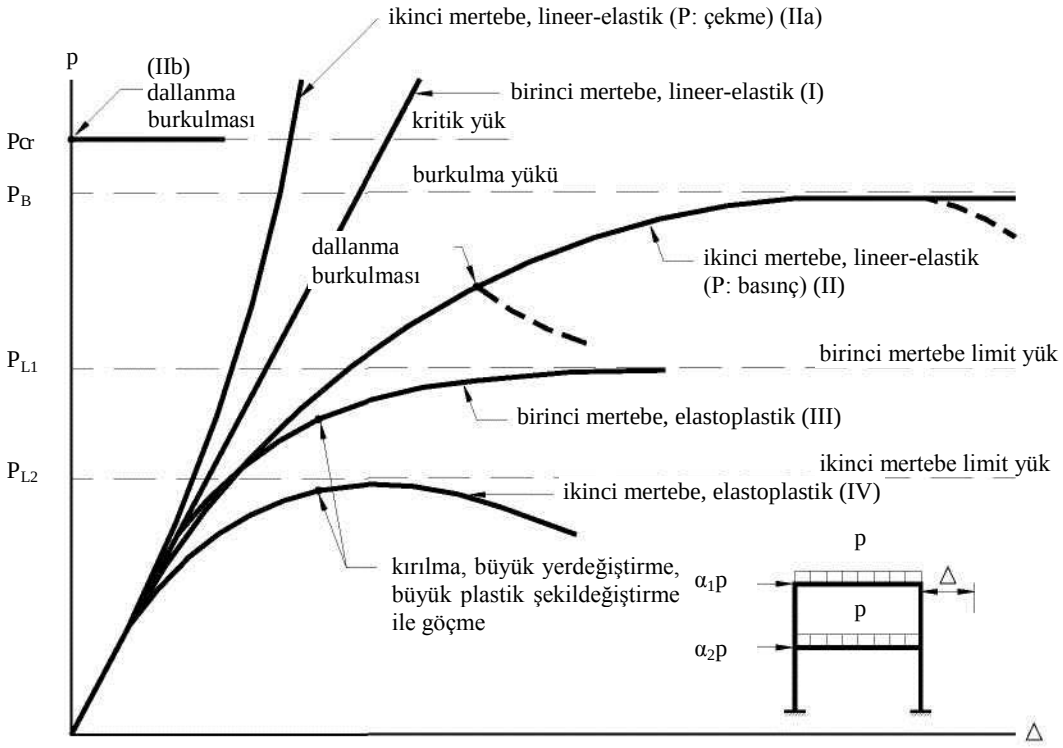
şeklinde ifade edilebilir, Şekil 1.1. (1.2) ifadesinde sadece birinci terimin esas alınması geometrik uygunluk koşullarında yerdeğiştirmelerin küçük olduğu varsayımını ifade etmektedir. Buna karşılık, diğer terimlerin de hesaba katılması geometri değişimlerinin geometrik uygunluk koşullarına etkisi göz önüne alındığını sonlu deplasman teorisine karşı gelmektedir[1].



Şekil 1.1 (ij) Çubuk Elemanının Bağıl Yerdeğiştirmeleri

1.4 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Lineer Olmayan Davranışı

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin lineer ve lineer olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi-yerdeğiştirme (P-Δ) bağıntıları Şekil 1.2 te şematik olarak gösterilmişlerdir.



Şekil 1.2 Çeşitli Teorilere Göre Elde Edilen Yük Parametresi – Yerdeğiştirme Bağıntıları

Malzemenin sınırsız olarak lineer-elastik varsayıldığı bir yapı sisteminin artan dış yükler altında, birinci mertebe teorisine göre elde edilen davranışı şekildeki (I) doğrusu ile temsil edilmektedir. Geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin, diğer bir deyişle, eksenel kuvvetlerden oluşan ikinci mertebe etkilerinin hesaba katıldığı ikinci mertebe teorisinde ise, eksenel kuvvetin basınç veya çekme

olmasına göre farklı sistem davranışları ile karşılaşılabilmektedir.

Örneğin eksenel kuvvetin basınç olması halinde, (II) eğrisinden görüldüğü gibi, artan dış yüklere daha hızla artan yer değiştirmeler karşı gelmektedir. Dış yüklerin şiddetini ifade eden yük parametresi artarak lineer-elastik burkulma yükü adı verilen bir P_B değerine eşit olunca yer değiştirmeler artarak sonsuza erişir ve sistem burkularak göçer. Bazı özel durumlarda, burkulmadan sonra artan yer değiştirmelere azalan yük parametresi karşı gelebilir.

Örneğin asma sistemler gibi eksenel kuvvetin çekme olduğu durumlarda ise, şekilde (IIa) ile gösterilen P-Δ diyagramı pekleşen özellik gösterir. Yanal yük etkisinde olmayan ve bu nedenle burkulmadan önce şekil değiştirmeyen sistemlerde, yük parametresinin bir P_{cr} değerinde dallanma burkulması oluşur ve şekildeki (IIb) diyagramından görüldüğü gibi, yer değiştirmeler birden artarak sonsuza erişir. Dallanma burkulmasına neden olan yüke kritik yük denilmektedir. Kritik yük genellikle burkulma yükünden biraz büyük veya ona eşittir. Dallanma burkulması, bazı hallerde burkulmadan önce şekildeğiştiren sistemlerde de oluşabilir, (II eğrisi).

Lineer olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yüklerle birlikte iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolayında lineer olmayan (plastik) şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Lineer olmayan şekil değiştirmeler genel olarak sistem üzerinde sürekli olarak yayılmaktadır. Buna karşılık, kopma sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranının büyük olduğu sünek malzemeden yapılmış sistemlerde, lineer olmayan şekil değiştirmelerin plastik mafsal (veya genel anlamda plastik kesit*)* adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde ise sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayım plastik mafsal hipotezi olarak isimlendirilmektedir.

Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı bir yapı sisteminin birinci mertebe teorisine göre hesabında (III eğrisi), oluşan plastik mafsallar nedeniyle sistemin tümünün veya bir bölümünün mekanizma durumuna gelmesi taşıma gücünün sona erdiğini ifade eder. Bu yük birinci mertebe limit yük adını alır. Lineerliği bozan her iki etkinin birlikte göz önüne alınması halinde, yani yapı sisteminin ikinci

mertebe elastoplastik teoriye göre hesabı ile elde edilen P-Δ diyagramı şekilde (IV) eğrisi ile gösterilmiştir. Bu diyagram ilk kritik kesitte lineer-elastik sınırın aşılmasına kadar (II) eğrisini izlemekte, daha sonra oluşan plastik şekil değiştirmeler nedeniyle yer değiştirmeler daha hızlı olarak artmaktadır.

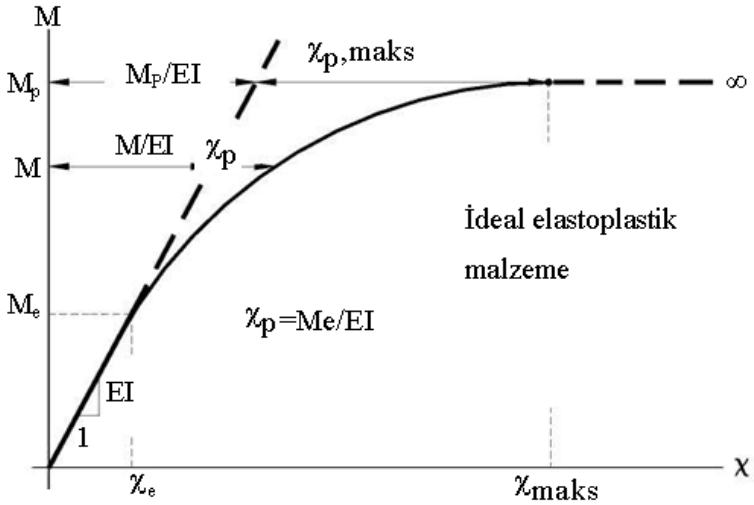
Plastik mafsal hipotezinin esas alındığı yapı sistemlerinde, dış yükler artarak bir P_L2 sınır değerine eşit olunca, meydana gelen plastik mafsallar nedeniyle rijitliği azalan sistemin burkulma yükü dış yük parametresinin altına düşer, diğer bir deyişle, P-Δ diyagramında artan yer değiştirmelere azalan yükler karşı gelir. Sistemin stabilite yetersizliği nedeniyle taşıma gücünü yitirmesine sebep olan bu yük parametresine ikinci mertebe limit yük denilmektedir. Bazı hallerde, dış yükler limit yüke erişmeden önce, meydana gelen büyük yer değiştirmeler, büyük plastik şekil değiştirmeler ile betonarme sistemlerde oluşan çatlaklar ve kırılma yapının göçmesine neden olabilmektedir[1].

2 PLASTİK MAFSAL HİPOTEZİ

Yeterli düzeyde sünek davranış gösteren yapı sistemlerinde (çelik yapılar ve bazı koşullar altında betonarme yapılar), plastik mafsal hipotezi yapılarak sistem hesapları önemli ölçüde kısaltılabilmektedir.

Toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı olarak tanımlanan süneklik oranının büyük olduğu ve lineer olmayan şekil değiştirmelerin küçük bir bölgeye yayıldığı sistemlerde, lineer olmayan eğilme şekil değiştirmelerinin plastik mafsal adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer-elastik davrandığı varsayılabilir. Bu hipoteze plastik mafsal hipotezi adı verilir.

Gerçek eğilme momenti - eğrilik bağıntısı Şekil 2.1 de verilen bir düzlem çubuk elemanın belirli bir bölgesine ait eğilme momenti diyagramı, toplam eğilme şekil değiştirmeleri ve lineer olmayan şekil değiştirmeler Şekil 2.2 de görülmektedir[1].

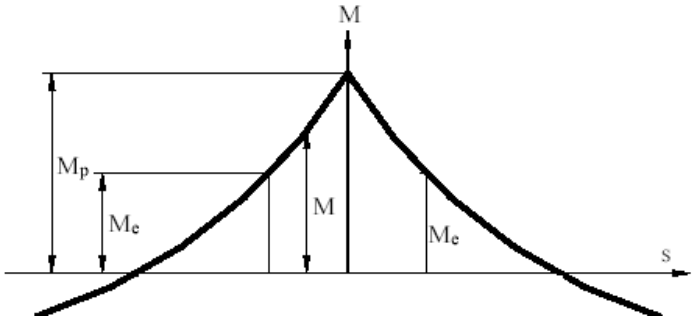


Şekil 2.1 Eğilme Momenti - Eğrilik Diyagramı[1]

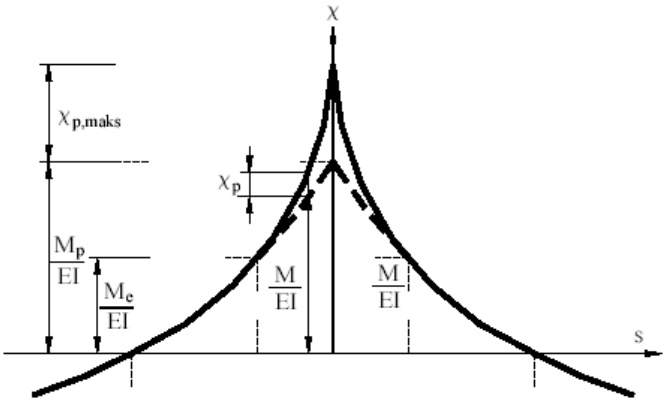
Plastik mafsal hipotezinde, çubuk elemanı üzerinde l_p uzunluğundaki bir bölgede sürekli olarak yayılmış olan lineer olmayan (plastik) şekil değiştirmelerin

$$\varphi_p = \int_{lp} \chi_p ds \tag{2.1}$$

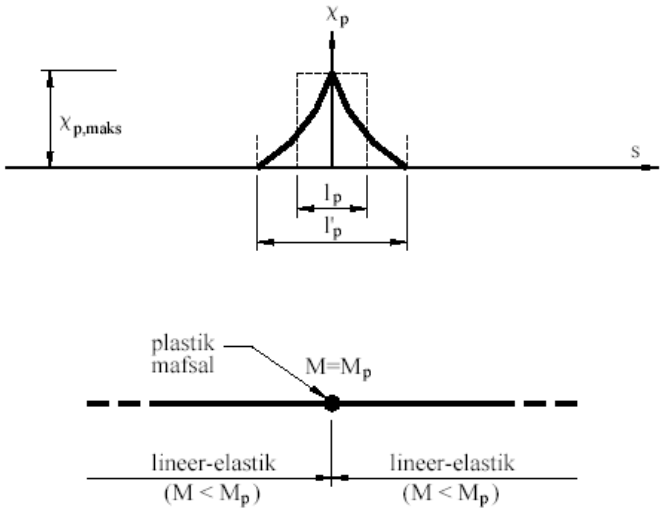
şeklinde, plastik mafsal olarak tanımlanan bir noktada toplandığı varsayılmaktadır. Burada, χ_p plastik mafsalın dönmesini göstermektedir[1].



(a)



(b)



(c)

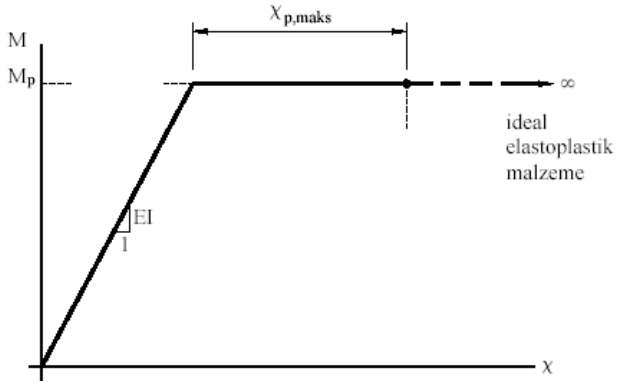
Şekil 2.2 Lineer Olmayan Şekil Değiştirmeler

Plastik mafsal hipotezinin uygulanması, gerçek eğilme momenti - eğrilik bağıntısının

$$M \leq M_P \qquad \text{için} \qquad \chi = M/EI \tag{2.2}$$

$$M = M_P \qquad \text{için} \qquad \chi \rightarrow \chi_p,\text{maks} \tag{2.3}$$

şeklinde iki doğru parçasından oluşacak şekilde idealleştirilmesine karşı gelmektedir, Şekil 2.3.



Şekil 2.3 İdealleştirilmiş Bünye Bağıntısı

Çelik yapı sistemlerinde dönme kapasitesi genellikle büyük değerler alabilmektedir.

Diğer taraftan, performansa dayanan tasarım ve değerlendirme yöntemlerinde, dönme kapasitesinin belirlenmesinde yapıdan beklenen performans düzeyi de etken olmaktadır[1].

Plastik mafsal hipotezinin esasları

1. Bir kesitteki eğilme momenti artarak M_p plastik moment değerine eşit olunca, kesitte bir plastik mafsal oluşur. Daha sonra, kesitteki eğilme momenti $M = M_p$ olarak sabit kalır ve kesit serbestçe döner. Plastik mafsaldaki φ_p plastik dönmesi artarak maks φ_p dönme kapasitesine erişince sistem kullanılamaz duruma gelir; yani göçer.

2. Plastik mafsallar arasında sistem lineer - elastik olarak davranır.

3. Kesite eğilme momenti ile birlikte normal kuvvetin de etkimesi halinde, M_p

plastik momenti yerine, kesitteki N normal kuvvetine bağlı olarak akma koşulundan bulunan indirgenmiş plastik moment (M'_p) değeri kullanılır[1].

3 YAPI SİSTEMLERİNDE SINIR DURUMLAR VE SÜNEKLİK

Deprem bölgelerindeki yapıların yeterli bir güvenlik altında ve ekonomik olarak tasarımı, yapı taşıyıcı sistemlerinin deprem etkileri altındaki lineer olmayan davranışları ve süneklik düzeyleri ile yakından ilgilidir, [2 ,3]. Bu durum, betonarme yapıların yanında, özellikle son yıllarda yoğun bir şekilde gündeme gelen çelik yapılar için de geçerlidir. Yapı malzemelerinin akma sınırından sonraki lineer olmayan davranışını ve geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisini (ikinci mertebe etkisi) gözönüne alan ileri hesap yöntemlerinde meydana gelen gelişmeler, betonarme ve çelik yapı sistemlerinin dış yükler altındaki gerçek davranışlarının daha yakından izlenebilmesine ve göçme güvenliklerinin daha gerçekçi bir şekilde belirlenmesine olanak sağlamışlardır, [3-5].

3.1 Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımında Sınır Durumlar

Depreme dayanıklı yapı tasarımında, depremden hemen sonra yapının işlevine devam edebilmesi, meydana gelen deprem hasarının sınırlı ve onarılabilir olması, yapı içindekilerin can güvenliğinin sağlanması ve göçmenin önlenmesi şeklinde olmak üzere, değişik sınır durumlara karşı belirli düzeylerde güvenlik sağlanması amaçlanmaktadır, [6,7]. Öngörüleri güvenlik düzeyi, yapının önemine, kullanım amacına ve yapıdan beklenen performansa bağlı olarak değişmektedir. Ülkemizde yürürlükte olan 1998 Deprem Yönetmeliğine [8] ve diğer başlıca deprem yönetmeliklerine [9,10] göre, önem katsayısı I = 1,00 olan yapılarda aşağıda açıklanan üç sınır durumun her birine karşı belirli düzeylerde güvenlik sağlanması

öngörülmektedir, [11,12].

a. Kullanılabilirlik sınır durumu

Yapının ömrü boyunca çok sayıda tekrarlanan hafif şiddetteki depremler altında yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda hasar meydana gelmemeli, böylece yapının işlevini aksatmadan sürdürmesi sağlanmalıdır. Bu koşul, deprem etkileri altında elastik sınırın pek aşılmaması ve yerdeğiştirmelerin öngörülen sınır

değerlerden daha küçük olması ile sağlanabilmektedir.

b. Kontrollu hasar sınır durumu

Tekrarlanma olasılığı daha düşük olan orta şiddetteki depremler altında, yapı taşıyıcı sisteminde ve/veya yapısal olmayan elemanlarda onarılması gereken hasarın meydana gelmesine izin verilebilir. Ancak bu hasarın ekonomik olarak onarılabilir düzeyde kalması gerekmektedir.

c. Göçme kontrolü sınır durumu

Yapının ömrü boyunca ancak bir kere meydana gelebilen çok şiddetli depremler altında ise, yapı taşıyıcı sisteminde ve yapısal olmayan elemanlarda büyük hasar oluşabilir. Bazı hallerde bu büyük hasarın onarılması da ekonomik bakımdan mümkün olmayabilir. Bununla beraber, depreme dayanıklı olarak boyutlandırılan ve inşa edilen bir yapı sisteminin çok şiddetli depremler altında dahi göçmemesi ve can kaybının olmaması gerekmektedir. Bu koşulun sağlanabilmesi için yapı sisteminin yeterli bir dayanıma sahip olması ve göçme yükünden önce yeterli düzeyde elastik olmayan şekil değiştirme yapabilmesi istenir. Böylece, deprem enerjisinin bir bölümünün elastik olmayan şekil değiştirmeler yoluyla tüketilmesi amaçlanmaktadır.[14]

3.2 Depreme Dayanıklı Yapılarda Aranan Özellikler

Yukarıda açıklanan üç limit durum için öngörülen güvenli tasarımın elde edilebilmesi için yapının yeter seviyede süneklik, dayanım ve rijitliğe sahip olması gerekmektedir.Aşağıda bu özelliklerle ilgili açıklamalar yapılmıştır.

a- Rijitlik

Düşey ve yatay işletme yükleri (sismik etkiler hariç) altında, yapının yer değiştirmeleri lineer-elastik bölgede kalmalı ve sınırlı olmalıdır. Böylece, kullanılabilirlik sınır durumuna karşı belirli bir güvenlik sağlanabilmektedir.

b- Dayanım

Yapının göçme yükü yeterince büyük olmalı, tasarıma esas olan düşey ve yatay hesap yükleri altında bölgesel ve ani göçmeler meydana gelmemeli, ayrıca sistem burkulmamalıdır. Özellikle çok katlı yapılarda, ikinci mertebe etkilerinin yol açtığı stabilite yetersizliği nedeniyle göçme yükü önemli oranda azalabilmektedir. Tasarım

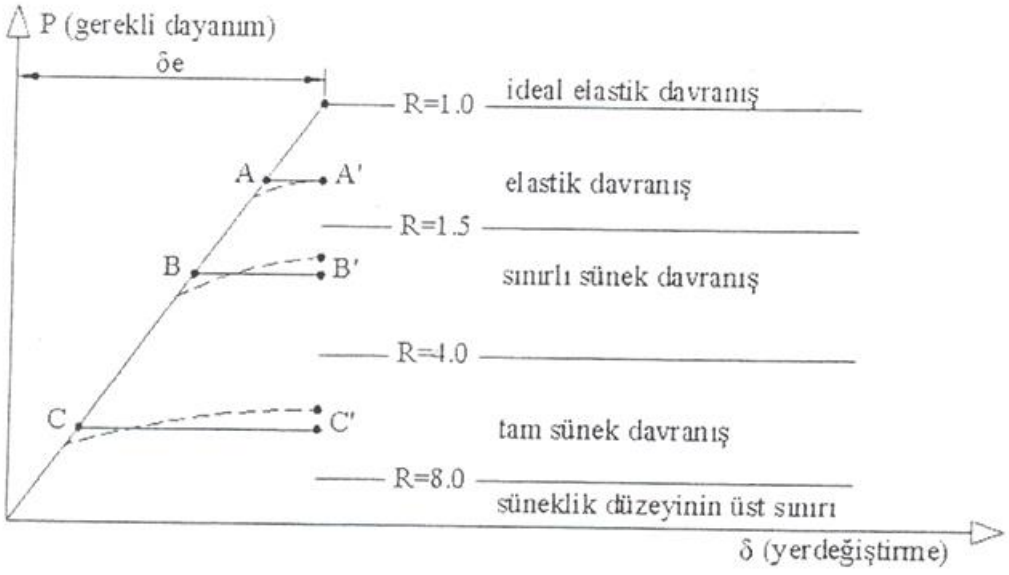
sırasında bu etkilerin de hesaba katılması gerekmektedir.

c- Süneklik

Göçme sırasındaki toplam şekil değiştirmelerin lineer şekil değiştirmelere oranı sistem süneklik oranı olarak tanımlanmaktadır. Göçmeden önce yapı yeterli düzeyde lineer olmayan şekil değiştirme yapabilmeli, yani sistem süneklik oranı büyük değerler almalıdır. Sistem süneklik oranının büyük olması, yüksek şiddetteki depremlerde meydana gelen elastoplastik davranış sırasında yapının tükettiği deprem enerjisinin artmasını, deprem hasarlarının ve ani göçme riskinin azalmasını sağlamaktadır. Görüldüğü üzere, sistem süneklik oranı deprem etkileri altında yapının davranışını belirleyen önemli bir özelliktir. Bu nedenle, modern deprem yönetmeliklerinde sistem süneklik oranına (μ) bağlı olarak bir yapı davranış katsayısı (R) tanımlanmakta ve yapı sisteminin lineer-elastik teoriye göre hesabı ile elde edilen deprem iç kuvvetleri bu davranış katsayısına bölünerek azaltılmaktadır. Bu şekilde, sistemin lineer-elastik sınır ötesindeki davranışı hesaba katılmaya çalışılmaktadır. [13].

3.3 Yapı Sistemlerinin Süneklik Düzeyine Göre Sınıflandırılması

Tasarımda öngörülen ve elastoplastik hesap sonucunda elde edilen sistem süneklik oranı ve buna bağlı olarak belirlenen yapı davranış katsayısı açısından, yapı sistemleri aşağıdaki şekilde sınıflandırılabilirler (Şekil 4.1), [ll].



Şekil 3.1 Yapı Davranış Katsayıları

1. Elastik davranan yapılar

Önemleri nedeniyle, bazı yapılar deprem etkileri altında lineer-elastik davranacak şekilde boyutlandırılırlar. Bu tür yapıların yük parametresi - yerdeğiştirme (P-δ) bağıntıları OAA' gibidir ve süneklik düzeyleri çok düşüktür.

2. Sünek davranan yapılar

Elastik davranan yapıların dışında kalan diğer yapılarda lineer-elastik sınırın ötesindeki şekildeğiştirme ve yerdeğiştirmelere izin verilebilir. Lineer olmayan şekildeğiştirmelerin sağladığı süneklik nedeniyle, sözkonusu yapılar lineer-elastik davranışa karşı gelen deprem kuvvetlerinden daha küçük deprem kuvvetlerine karşı

koyacak şekilde boyutlandırılırlar. Deprem etkileri altında sünek davranış sergileyen bir yapı sisteminin süneklik düzeyi, genelolarak malzeme karakteristiklerine, enkesit geometrisine, sistem özelliklerine, hiperstatiklik derecesine ve süneklik düzeyini arttıracak konstrüktif önlemlere bağlı olarak değişmektedir. Bu bakımdan sünek yapılar ikiye ayrılabilir.

a. Sınırlı sünek yapılar

Bu tür yapıların yük parametresi - yer değiştirme bağıntısı OBB' şeklindedir ve 1998 Deprem Yönetmeliğinde [8] öngörülen yapı davranış katsayısı R = 1,5 - 4 arasında değişmektedir.

b. Tam sünek yapılar

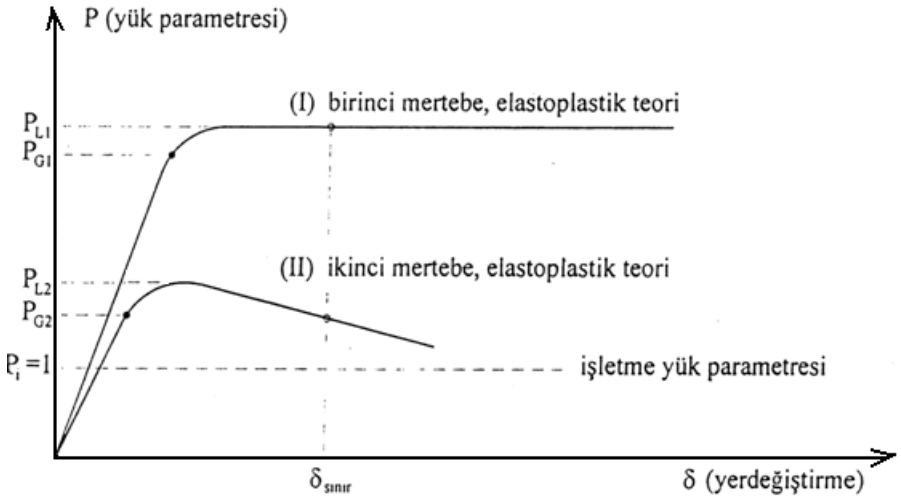
Bu gruba giren yapı sistemleri yüksek bir süne_lik düzeyine sahip olacak şekilde boyutlandırılırlar. Artan deprem etkileri altındaki P-δ bağıntısı şematik olarak OCC' şeklinde olan bu yapılar için, R = 4 - 8 arasında değişen bir davranış katsayısı uygulanmaktadır. Bir yapı sisteminin gerçek göçme güvenliğinin ve süneklik düzeyinin belirlenebilmesi için uygulanan en gerçekçi yöntemlerden biri, artan dış etkiler altındaki lineer olmayan davranışının incelenmesidir[14].

3.4 Yapı Sistemlerinin Dış Yükler Altındaki Lineer Olmayan Davranışları

Düşey ve yatay yükler etkisindeki bir yapı sisteminin lineer olmayan teorilere göre hesabı ile elde edilen yük parametresi – yer değiştirme (P-δ) bağıntıları Şekil 4.2 de şematik olarak gösterilmişlerdir, [1]. Bir yapı sisteminin dış yükler altındaki davranışının lineer olmaması genel olarak iki nedenden kaynaklanmaktadır.

a. Malzemenin lineer-elastik olmaması nedeniyle iç kuvvet-şekildeğiştirme bağıntılarının (bünye denklemlerinin) lineer olmaması,

b. Geometri değişimlerinin etkisi nedeniyle denge denklemlerinin lineer olmamasıdır.



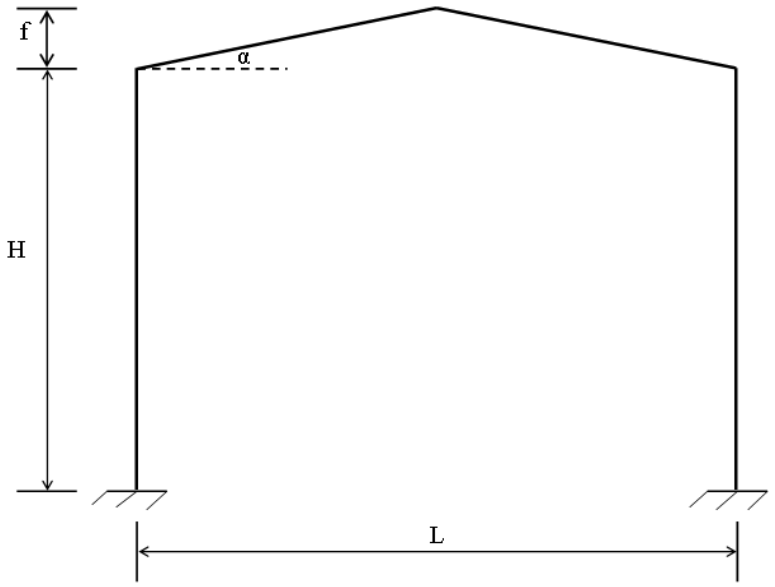
Şekil 3.2 Yük Parametresi - Yerdeğiştirme (P-δ) Bağıntıları

Malzemenin lineer olmayan davranışının gözönüne alındığı teoriye elastoplastik teori, geometri değişimlerinin denge denklemlerine etkisinin gözönüne alındığı teoriye ikinci mertebe teorisi, lineerliği bozan her iki etkinin birlikte gözönüne alındığı teoriye ise ikinci mertebe elastoplastik teori denilmektedir. Lineer olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde, artan dış yükler altında iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde lineer-elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler dolaylarında plastik şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yeterli düzeyde süneklik özelliği gösteren yapılarda plastik şekil değiştirmelerin plastik kesit adı verilen belirli kesitlerde toplandığı, bunun dışındaki bölgelerde sistemin lineer elastik davrandığı varsayılabilir. Bu varsayıma dayanan plastik kesit kavramı ile, tek eksenli basit eğilmenin etkin olduğu düzlem sistemlere uygulanabilen plastik mafsal hipotezi bileşik iç kuvvet durumunu da içerecek şekilde genişletilmiş olmaktadır[14].

P4 SAYISAL UYGULAMA

4.1 Genel Sistem Tanıtımı

Bu çalışmada özellikle sanayi yapıları, hal yapıları, depolar gibi yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılan kırık çerçeveler irdelenmektedir. Taşıyıcı sistem genel görünüşü Şekil 4.1 de verilmektedir. Çerçevelerde çerçeve yüksekliği (H) değişmektedir. Çerçeve açıklığı (L), çatı eğimi (α) sabit tutulmaktadır.



Şekil 4.1 Sistem Geometrisinin Genel Görünümü

Aşağıda Tablo 4.1 de sistemlere ait geometrik büyüklükler verilmiştir. Çalışmanın konusu gereği sistemlerde sadece çerçeve yüksekliği değişmektedir.

Tablo 4.1 Sistem Geometrik Boyutları

SİSTEM	H(m)	L(m)	f(m)	α(derece)
SistH6L20	6	20	1,40	8
SistH8L20	8	20	1,40	8
SistH10L20	10	20	1,40	8
SistH12L20	12	20	1,40	8

4.2 Sisteme Etkiyen Yükler

Bu tarz sistemlerde sabit yük olarak taşıyıcı sistem ağırlığı, aşık ağırlıkları, stabilite bağlantıları, çatı ve yan kaplamalar; hareketli yük olarak kar yükü varsa kren yükleri, deprem yükleri, etken olan bölgelerde rüzgar yükleri dikkate alınır. Bu çalışmada kullanılan sistemde kren yükleri yoktur. Ayrıca rüzgâr etken olmadığından rüzgâr yükleri dikkate alınmamıştır. Çerçeve düğüm noktalarına gelen yükler Tablo 4.2 de gösterilmiştir. Yüklerin belirlenmesinde TS 498 yönetmeliği esas alınmıştır. Taşıyıcı sistemin kendi ağırlığı kullanılan bilgisayar programı tarafından (Sap2000, Ansys) otomatik olarak dikkate alınmıştır. Deprem yüklerinin belirlenmesinde spektrum analizi kullanılmıştır. Yapı birinci doğal titreşim periyodu modal analizle belirlenmiştir.

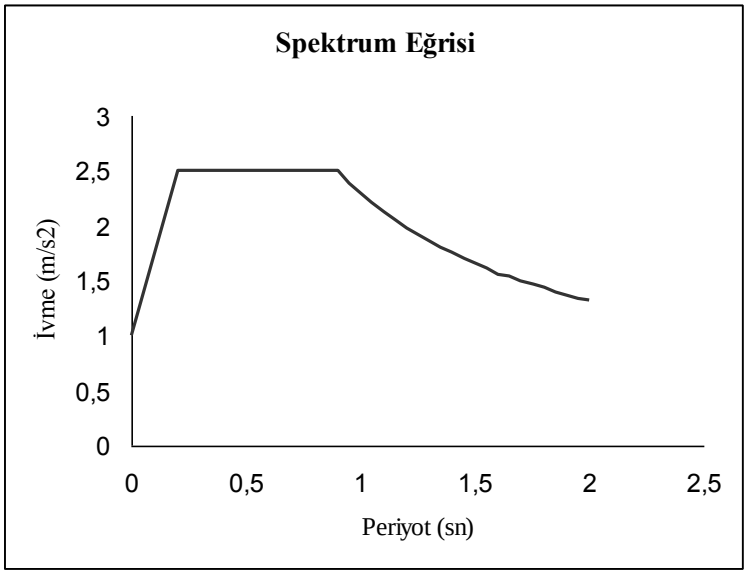
Tablo 4.2 Sisteme Etkiyen Yükler

(kar, yan kaplama, çatı kaplama, aşık, rijitlik bağlantısı)

Düğüm noktası	Kar (N)	Aşık+kaplama+yan kaplama +stabilite bağlantısı (N)	Yan kaplama (N)			
			Çerçeve yük. H (m)			
			6	8	10	12
Kenar düğüm	5050	1600	-	-	-	-
Orta düğüm	10100	3200	-	-	-	-
Kolonun orta noktası	-	-	1800	2400	3000	3600

4.2.1 Spektrum Eğrisi ve Deprem Yükleri

Sistemin deprem yükü spektrum analiziyle, periyotları modal analizle belirlenmiştir. Spektrum analizinde ABYYHY (Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik) deki spektrum eğrisi kullanılmıştır [9], Şekil 4.2. Spektrum eğrisi sayısal değerleri Tablo 4.3 de verilmiştir.



Şekil 4.2 Spektrum Eğrisi

Tablo 4.3 Spektrum Eğrisi Değerleri

Periyot (sn)	İvme (m/sn^2)
0	1
0,2	2,5
0,9	2,5
0,95	2,394
1	2,2974
1,05	2,2099
1,1	2,1292
1,15	2,0548
1,2	1,986
1,25	1,9222
1,3	1,8628
1,35	1,8074
1,4	1,7556
1,45	1,707
1,5	1,6613
1,55	1,6183
1,6	1,5577
1,65	1,5393
1,7	1,503
1,75	1,4686
1,8	1,4358
1,85	1,4047
1,9	1,3751
1,95	1,3468
2	1,3198

Yapı ve bölge deprem karakteristikleri aşağıda verildiği gibidir [9].

- Etkin yer ivmesi katsayısı :A_0 = 0,4 (birinci derece deprem bölgesi)
- Yerel zemin sınıfı : Z4
- Zemin hakim periyotları : T_A = 0,20 sn; T_B = 0,90 sn
- Yapı önem katsayısı : I = 1,00
- Hareketli yük katsayısı : n = 0,30
- Deprem yükü azaltma katsayısı : R = 8

Sistemlere etkiyen deprem yükleri ve birinci doğal titreşim periyotları Tablo 4.4 de verilmiştir.

Tablo 4.4 Sistemlere Etkiyen Deprem Yükleri ve Birinci Doğal Titreşim Periyotları

SİSTEM	Δ/H≤0,0025		Δ/H≤0,00125	
	Periyot (sn)	Deprem yükü (N)	Periyot (sn)	Deprem yükü (N)
SistH6L20	0,425	13634	0,305	16015
SistH8L20	0,569	15724	0,388	18867
SistH10L20	0,720	17528	0,468	21639
SistH12L20	0,775	20478	0,547	24127

4.3 Sistemin Boyutlandırılması ve Kullanılan Yönetmelikler

Sistemlerin, belirlenen yükler altında statik analizleri Sap2000 paket programıyla ABYYHY 1998 esas alınarak yapılmıştır ve TS 648 (Çelik Yapıların Boyutlandırılması Hakkında Yönetmelik) yönetmeliğine göre sistem elemanlarının boyutları belirlenmiştir.

Kullanılan yönetmelik esasları aşağıda kısaca verilmiştir.

1. 1998 Deprem yönetmeliği

Deprem yüklerinin belirlenmesinde eşdeğer deprem yükü kullanılması halinde toplam taban kesme kuvveti,

$$V_t = \frac{A_0 x I x S(T)}{R_a(T)} W \qquad (4.1)$$

bağıntısıyla belirlenmektedir. Denklem 4.1 de kullanılan simgeler aşağıda açıklanmıştır.

A_0 : etkiyen yer ivmesi katsayısı

I : yapı önem katsayısı

S(T) : spekral ivme

$$S(T) = 1 + 1{,}5T / T_A \qquad (0 \le T \le T_A)$$

$$S(T) = 2{,}5 \qquad (T_A \le T \le T_B)$$

$$S(T) = 2{,}5(T_B / T)^{0{,}8} \qquad (T > T_B)$$

T : bina doğal titreşim periyodu (sn)

T_A, T_B : spektrum karakteristik periyotları (sn)

R_a(T) : deprem yükü azaltma katsayısı

$$R_a(T) = 1{,}5 + (R - 1{,}5)T / T_A \qquad (0 \le T \le T_A)$$

$$R_a = R \qquad (T > T_A)$$

R : taşıyıcı sistem davranış katsayısı

R = 4 (süneklik düzeyi normal)

R = 8 (süneklik düzeyi yüksek)

W : etkin yapı ağırlığı (W = G+nQ)

n : hareketli yük katılım katsayısı (n = 0,30)

Sistemin elastik boyutlandırılmasında yanal deplasman şartı,

$\Delta/H \le 0{,}002/R$ (4.2)

R : deprem yükü azaltma katsayısı katsayısı (R = 8),

Δ : maksimum kat rölatif yer değiştirmesi,

H : kat yüksekliği

İfadesiyle belirlenmektedir[9].

2. TS 648 Çelik Yapılar Yönetmeliği

Bu yönetmeliğe göre eğilme momenti ve eksenel kuvvet etkisine maruz taşıyıcı bir elemanda gerilme kontrolü,

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,6x\sigma_a}+\frac{\sigma_b}{\sigma_B}\le 1,00 \qquad (4.3)$$

bağıntısı ile gerçeklenir. Bu bağıntıda,

σ_{eb} : yalnız eksenel kuvvet etkisi altında hesaplanan gerilmeyi,

σ_b : yalnız eğilme momenti etkisi altında hesaplanan gerilmeyi,

σ_a : yapı çeliğinin akma gerilmesini,

σ_B : yalnız eğilme momenti etkisi altında izin verilen gerilmeyi (eğilme güvenlik gerilmesi)

ifade etmektedir. Kirişlerde yanal burkulmanın tutulması halinde eğilme güvenlik gerilmesi $\sigma_B = 0,60x\sigma_a$ değerini almaktadır.

Merkezi olmayan basınç kuvveti veya merkezi basınç kuvvetiyle birlikte bir veya iki doğrultuda (M_x ve/veya M_y) eğilme momenti etkisine maruz bir taşıyıcı elemanda burkulma olması ve olmaması halinde gerilme kontrolleri,

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}}+\frac{C_{mx}x\sigma_{bx}}{\left(1-\dfrac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ex}}\right)x\sigma_{Bx}}+\frac{C_{my}x\sigma_{by}}{\left(1-\dfrac{\sigma_{eb}}{\sigma'_{ey}}\right)x\sigma_{By}}\le 1,00 \qquad (4.4)$$

$$\frac{\sigma_{eb}}{0,60x\sigma_a}+\frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}}+\frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}}\le 1,00 \qquad (4.5)$$

İfadeleriyle yapılır.

$\sigma_{eb}/\sigma_{bem}\le 0,15$ için bu ifadelerin yerine

$$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}}+\frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}}+\frac{\sigma_{by}}{\sigma_{By}}\le 1,00 \qquad (4.6)$$

İfadesi de kullanılabilir.

Yukarıdaki bağıntılarda kullanılan x ve y, kullanıldığı katsayıların ait olduğu eksenleri belirtmektedir. İlaveten

σ_{bem} : yalnız basınç kuvveti etkisi altında izin verilen gerilme (basınç güvenlik gerilmesi),

σ'_e : Euler kritik gerilmesinin n güvenlik katsayısına bölünmesi ile elde edilen sınır gerilme,

$$\sigma'_e = \frac{\pi^2 xE}{nx\lambda_b{}^2} \qquad \text{(n=2,50)} \qquad (4.7)$$

E : kullanılan çelik malzemenin elastisite modülü,

λ_b : çubuğun eğilme düzlemindeki narinliği

C_m : yanal tutulmayı ve gerektiğinde uç momentlerini göz önüne alan bir katsayıdır.

Yanal ötelenmesi önlenmemiş çerçevelerde C_m katsayısı C_m = 0,85 değerini almaktadır.

σ_{bem} basınç güvenlik gerilmesi irdelenen taşıyıcı sistem elemanının her iki doğrultusundaki λ narinliklerinden büyük olanı esas alınarak TS 648 – madde 3.2.2 ye göre belirlenir[15]. Aynı şekilde, σ_B eğilme güvenliği gerilme kontrolü elemanın burkulma güvenliğine bağlı olarak aynı standardın 3.3.4.2 maddesi uyarınca yapılır.

Kesitlerin kompaklık irdelemesi Tablo 4.5 de verilen değerlere bağlı olarak yapılmıştır[16].

Tablo 4.5 Basınca Çalışan Elemanların (Sınır Genişlik/Kalınlık) Oranları[16]

Elemanın Tanımı	(genişlik/ kalınlık) oranı	(sınır genişlik/kalınlık) oranı	
		kompakt	kompakt değil
I kesitli hadde ürünleri ile eğilmeye çalışan U kesitlerin başlıkları	b/t	$17/\sqrt{\sigma_a}$	$25/\sqrt{\sigma_a}$
Eğilmeye çalışan I kesitli kaynaklı yapma kirişlerin başlık elemanları	b/t	$17/\sqrt{\sigma_a}$	$25/\sqrt{\sigma_a}$
Hadde profili kiriş veya kolonların gövdelerinden dışarı taşan levhalar; yapma kirişlerin takviye levhaları	b/t	uygulanmıyor	$25/\sqrt{\sigma_a}$
Korniyerler veya kirişlerin çok parçalı basınç elemanlarının veya diğer basınç elemanlarının gövdelerinden dışarıya doğru uzanan levhalar Yapma kirişlerin basınç başlıkları	b/t	uygulanmıyor	$25/\sqrt{\sigma_a / k_c}$
T profillerin gövde levhaları	d/t	uygulanmıyor	$34/\sqrt{\sigma_a}$
Sadece bir kenarı boyunca basit mesnetli,rijitleştirilmemiş elemanlar, örneğin tek korniyerden oluşan basınç çubuklarının bir kolu, aralarında, aralarında mesafe bulunan ve iki korniyerden oluşan basınç çubuklarının bir kolu	b/t	uygulanmıyor	$20/\sqrt{\sigma_a}$
Eğilmeye veya basınca çalışan kutu kesitlerin başlıkları, birleşim araçlarının yer aldığı çizgiler arasındaki	b/t	$50/\sqrt{\sigma_a}$	$63/\sqrt{\sigma_a}$
Her iki kenarından mesnetli üniform basınç etkisindeki rijitleştirilmiş elemanlar	b/t h/t_w	uygulanmıyor	$67/\sqrt{\sigma_a}$
Eğilme basıncı etkisindeki gövde elemanları	d/t	$170/\sqrt{\sigma_a}$	——
	h/t_w	-----	$202/\sqrt{\sigma_a}$
Eğilme ve eksenel basınç etkisindeki gövde elemanları	d/t_w	$\sigma_b/\sigma_a \le 0{,}16$ olması halinde $\frac{170}{\sigma_a}\cdot\left(1-3{,}74\cdot\frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)$	-------
		$\sigma_b/\sigma_a > 0{,}16$ olması halinde $68/\sqrt{\sigma_a}$	
	h/t_w	------	$202/\sqrt{\sigma_a}$
Eksenel basınç etkisindeki borular	D/t	$232/\sqrt{\sigma_a}$	-----
Eğilme etkisindeki borular			-----

Yukarıdaki yönetmelik esaslarına göre analizi yapılan ve boyutlandırılan sistemlerin kesit boyutları Tablo 4.6 de, kompaklık irdelemesi [16] Tablo 4.7 de, Tablo 4.8 de ise burkulma irdelemesi verilmektedir. Sistemler boyutlandırılırken dört sistemde yanal deplasman şartı $\Delta/H \leq 0,02/R$, diğer dört sistemde ise $\Delta/H \leq 0,02/2R$ olarak alınmıştır.

Tablo 4.6 Kesit Boyutları

SİSTEM	Δ/H≤0,0025		Δ/H≤0,00125	
	Kolonlar	Kirişler	Kolonlar	Kirişler
SistH6L20	HE300B	HE300B	HE400B	HE400B
SistH8L20	HE320B	HE320B	HE450B	HE450B
SistH10L20	HE340B	HE340B	HE500B	HE500B
SistH12L20	HE400B	HE400B	HE550B	HE550B

Tablo 4.7 Kompaklık İrdelemesi

b	t	b/t	kriter	kesit	b/t≤ $17/\sqrt{\sigma_a}$	σb	d	tw	d/tw	σb/σa	$\sigma_b/\sigma_a \leq 0,16$ d/tw≤ $\frac{170}{\sigma_a}\cdot\left(1-3,74\cdot\frac{\sigma_b}{\sigma_a}\right)$
150	19,0	7,89	10,97	HE300B	kompak	0,052	262	11,0	23,82	0,022	65,09
150	20,5	7,32	10,97	HE320B	kompak	0,052	279	11,5	24,26	0,022	65,09
150	21,5	6,98	10,97	HE340B	kompak	0,053	297	12,0	24,75	0,022	64,98
150	24,0	6,25	10,97	HE400B	kompak	0,050	352	13,5	26,07	0,021	65,31
150	24,0	6,25	10,97	HE400B	kompak	0,045	352	13,5	26,07	0,019	65,87
150	26,0	5,77	10,97	HE450B	kompak	0,042	398	14,0	28,43	0,018	66,20
150	28,0	5,36	10,97	HE500B	kompak	0,045	444	14,5	30,62	0,019	65,87
150	29,0	5,17	10,97	HE550B	kompak	0,046	492	15,0	32,80	0,019	65,76

Yapı elemanlarında sistemleri oluşturan eğilmenin yanında normal yüklerde bulunmaktadır. Bu nedenle elemanların burkulma tahkikleri TS 648 gereği eğilmeye maruz normal yük taşıyan elemanların burkulma irdeleme ifadeleri kullanarak yapılmıştır (Denklem 4.6). Sistemde kirişler yanal burkulmaya göre aşıklar hizasında yanal olarak tutulmuştur.

Tablo 4.8 Yapı Elemanları Burkulma İrdelemesi

Sistem	Kesit	Yapı Elemanı			
		Kolon		Kiriş	
		$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \le 1{,}00$	$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \le 0{,}15$	$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} + \frac{\sigma_{bx}}{\sigma_{Bx}} \le 1{,}00$	$\frac{\sigma_{eb}}{\sigma_{bem}} \le 0{,}15$
SistH6L20	HE300B	0,782	0,048	0,651	0,028
SistH8L20	HE320B	0,656	0,050	0,571	0,020
SistH10L20	HE340B	0,606	0,067	0,506	0,015
SistH12L20	HE400B	0,495	0,089	0,381	0,012
SistH6L20	HE400B	0,457	0,034	0,406	0,022
SistH8L20	HE450B	0,392	0,041	0,335	0,016
SistH10L20	HE500B	0,348	0,055	0,278	0,012
SistH12L20	HE550B	0,329	0,078	0,238	0,010

4.4 Nonlineer Çözümler ve Sünekliğin İrdelenmesi

Bu çalışmada kullanılan sistemlerin nonlineer analizleri ANSYS sonlu elemanlar programıyla yapılmıştır. Statik itme analizi olarak tanımlanan bu analiz esnasında düşey yükler sabit tutularak sadece yatay yükler değiştirilmiştir (sıfırdan belirli bir p yüküne kadar). Bu analizde amaç sistemlerin nonlineer davranışlarını da içermek kaydıyla tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiklerini elde etmektir. Bu grafikler yardımıyla sistemlerin yatay itme miktarlarıyla süneklikleri arasındaki ilişki irdelenecektir. Çözümlemede malzeme bakımından nonlineerlik ve aynı zamanda geometri bakımından nonlineerlik (ikinci mertebe etkiler) aynı anda dikkate alınmıştır. Çözümlemede yapılan kabuller aşağıdaki başlıklar altında verilmektedir.

4.4.1 Malzeme Kabulü

Sistemlerde malzeme olarak St37 yapı çeliği kullanılmıştır. Bu malzemeye ait mekanik özellikler,

E : elastisite modülü ($E = 21x10^{10}$ N/m^2),

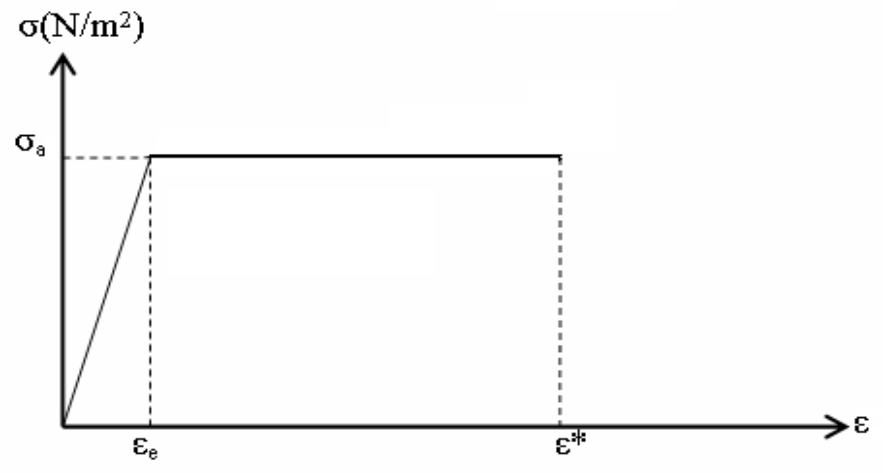
υ : poisson oranı ($\upsilon = 0{,}3$),

ε_e : elastik uzama oranı ($\varepsilon_e = 0{,}0011$),

ε^* : akma bölgesinin sonuna karşılık gelen uzama oranı ($\varepsilon^* = 0{,}014$),

σ_a : akma gerilmesi ($\sigma_a = 24x10^7$ N/m^2)

olarak kullanılmıştır [17].



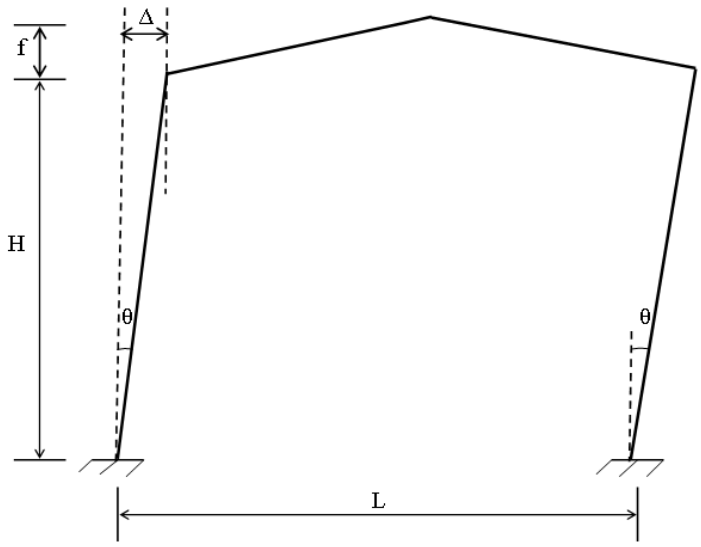
Şekil 4.3 Pekleşen İdeal-Elasto Plastik malzeme

4.4.2 Statik İtme Analizinde Kullanılacak Yatay Deplasmanların Belirlenmesi

Statik itme analizinde Şekil 4.4 de görülen yatay itme miktarı önemli bir parametredir. Bu analiz kullanılarak elde edilen süneklik katsayısı itme miktarına direkt olarak bağlıdır. Sünekliğin belirlenmesinde kullanılan statik itme analizinde yatay öteleme miktarlarının belirlenmesi için kullanılabilecek oranlar yönetmeliklerde verilmektedir. Bu çalışmada FEMA 356 yönetmeliğindeki oran kullanılmıştır. Yapı malzemesine ve taşıyıcı sisteme bağlı olarak verilen bu oranlar Tablo 4.9 de verilmektedir [7].

4.4.3 Davranışın Görülmesi İçin Belirlenen Yatay Öteleme Miktarları

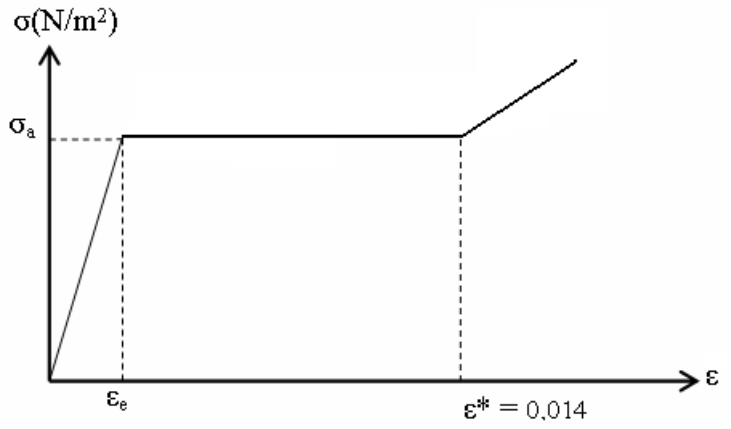
Sistemler, sünekliğin belirlenmesinde kullanılan miktarlardan daha çok ötelenerek bu ötelemelere karşılık gelen davranışın görülmesi sağlanmıştır, yaklaşık olarak mesnet bölgelerindeki uzama oranının 0,014 [17] (pekleşme bölgesi başlangıcı uzama oranı) değerine ulaşmasını sağlayacak miktarda ötelenmiştir. Belirlenen değerler Tablo 4.9 de verilmektedir.



Şekil 4.4 Yatay Deplasmanın Gösterilmesi

Bu çalışmada sistemlerin yatay öteleme miktarlarının bulunmasında aşağıdaki yaklaşımlar yapılmıştır.

a- Sistem itildiğinde plastikleşmenin olduğu kesitlerde şekildeğiştirme oranının pekleşme başlangıcı diğer bir deyişle akma sahanlığının sonuna karşılık gelen uzama oranı değerine ulaşması istenmektedir, Şekil 4.5.

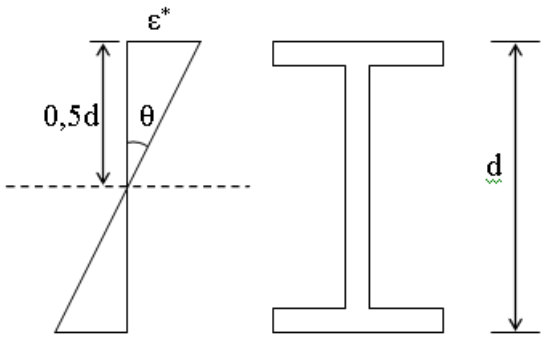


Şekil 4.5 Kullanılan Şekildeğiştirme Oranının Gösterilmesi

b- Bu çalışmadaki kesitlere sistem özelliklerinden dolayı (çerçeve yüksekliğinin büyük olması, dolayısıyla kesitin boyutlandırılmasında yüklerden çok yatay deplasman şartının etken olması) düşey yükler altında kesitlerdeki gerilmeler düşük seviyelerde kalmaktadır. Bundan dolayı kesitlerdeki tarafsız eksenin ötelemesi dikkate alınmamıştır, Şekil 4.6.

Bu yaklaşımlar doğrultusunda yaklaşık yatay öteleme değerleri 4.8 ve 4.9 bağıntıları kullanılarak bulunmuştur. 4.8 bağıntısında kullanılan $\varepsilon^* = 0{,}014$ [17] olarak alınmıştır.

$$\theta = \frac{\varepsilon^*}{0{,}5d} \tag{4.8}$$



Şekil 4.6 Malzeme Pekleşme Başlangıcında Kesit Uzama Oranı

$$\delta = H\theta \tag{4.9}$$

Tablo 4.9 Sistemlere Ait Yatay İtme Miktarları

SİSTEM	Δ/H ≤ 0,00125 R=8		Δ/H ≤ 0,0025 R=8	
	Yatay itme miktarları (Δ)			
	Kesit	Δ (m)	Kesit	Δ (m)
SistH6L20	HEB400	0,42	HEB300	0,56
SistH8L20	HEB450	0,50	HEB320	0,70
SistH10L20	HEB500	0,56	HEB340	0,82
SistH12L20	HEB550	0,61	HEB400	0,84

4.4.4 Sünekliğin Belirlenmesinde Kullanılacak Yatay Öteleme Miktarlarının Belirlenmesi

Sünekliğin belirlenmesinde kullanılacak yatay öteleme miktarları belirlenirken Tablo 4.10 da [7] yapı malzemesine ve taşıyıcı sistem özelliklerine bağlı olarak verilen oranlar kullanılmıştır. Öteleme miktarının bulunması, yapı yüksekliği ile Tablo 4.10 [7] da verilen oranın çarpılmasıyla belirlenmektedir. Bu çalışmada kullanılan oran tabloda koyu renkle yazılarak vurgulanmıştır. Belirlenen yatay öteleme miktarları Tablo 4.11 de verilmektedir.

Tablo 4.10 Yatay Öteleme Miktarları

Yapı Performans Seviyeleri ve Yatay Öteleme Oranları (%)						
Yapı Sistemini Oluşturan Elemanlar	Göçme Güvenliği		Can Güvenliği		Hemen Kullanım	
	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu
Beton Çerçeve	4,00	4,00	2,00	1,00	1,00	önemsiz
Moment Alan Çelik Çerçeve	5,00	5,00	**2,50**	1,00	0,70	önemsiz
Çaprazlı Çelik Çerçeve	2,00	2,00	1,50	0,50	0,50	önemsiz
Beton Duvar	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	önemsiz
Güçlendirilmemiş Taş Duvar (Dolu)	0,60	0,60	0,50	0,30	0,10	önemsiz
Güçlendirilmemiş Taş Duvar	1,00	1,00	0,60	0,60	0,30	0,30
Güçlendirilmiş Taş Duvar	1,50	1,50	0,60	0,60	0,20	0,20
Ahşapla Güçlendirilmiş Duvar	3,00	3,00	2,00	1,00	1,00	0,25

Tablo 4.11 Sistemlere Ait Yatay İtme Miktarları

SİSTEM	$\Delta/H \leq 0{,}00125$ R=8		$\Delta/H \leq 0{,}0025$ R=8	
	Yatay itme miktarları (Δ)			
	Kesit	Δ (m)	Kesit	Δ (m)
SistH6L20	HEB400	0,15	HEB300	0,15
SistH8L20	HEB450	0,20	HEB320	0,20
SistH10L20	HEB500	0,25	HEB340	0,25
SistH12L20	HEB550	0,30	HEB400	0,30

4.5 Süneklik Ve Dayanım Azaltma Katsayısının İrdelenmesi

Bilindiği gibi süneklik yapı sistemlerinin yaptığı lineer olmayan yatay ötelemelerinin lineer yatay ötelemelerine oranı olarak tanımlanmaktadır. Ayrıca süneklik sistemlerin enerji yutma kapasitelerini gösteren önemli bir parametredir. Bu özellik sayesinde

tasarım yükleri sünekliğe bağlı olarak azaltılmakta ve daha ekonomik çözümler üretilebilmektedir.

Yönetmeliklerde kullanılan dayanım azaltma katsayısı sadece sünekliğe bağlı değildir, süneklik ve dayanım azaltma katsayıları aynı şey değillerdir. Dayanım azaltma katsayısı ($R = R_\mu R_s R_\xi$) sünekliğin (R_μ) yanında fazla yük oranı (R_s, göçme yükünün tasarım yüküne oranı) ve sönüm oranına (R_ξ) bağlıdır [18]. Sönüm oranına bağlı R_ξ değerleri Tablo 4.12 de verilmektedir [18].

Bu çalışmada sünekliğin belirlenmesinde izlenen yol aşağıda verilmektedir.

I. Sistemler can güvenliği performans sınırına karşı gelen ($\Delta/H = 0,025$) [7] değere kadar yatay ötelenerek tepe noktası deplasmanı – taban kesme kuvveti eğrileri (P- Δ) elde edilmiştir.

II. Birinci adıma bağlı olarak elde edilen P- Δ eğrilerinden nonlineer deplasmanlar lineer deplasmanlara oranlanarak süneklik oranı katsayıları elde edilmiştir(R_μ).

III. Birinci adıma bağlı olarak elde edilen P- Δ eğrilerinden limit yükler tasarım yüklerine oranlanarak fazla dayanım katsayısı elde edilmiştir (R_s).

IV. Sönüme bağlı katsayı R_ξ Tablo 4.12 [17] dan alınmıştır.

V. Sonuç olarak dayanım azaltma katsayısı ($R = R_\mu R_s R_\xi$) madde II, III, IV deki katsayıların çarpımından elde edilmiştir.

VI. Ayrıca, yönetmelikler gereği boyutlamada boyutlama yükleri altında elastik rölatif deplasmanın kat yüksekliğine (H) oranı ($\Delta/H \leq 0,02/R$) değerinden küçük olmalıdır. Genelde bulunan değer bu orandan küçüktür veya eşit olabilir. Yapıda bu değerlerin küçük çıkması yapının bizim kullandığımız R den daha büyük bir R ye sahip olduğunu göstermektedir. Bu nedenle bulunan dayanım azaltma katsayıları ($0,02/R)/(\Delta/H$) oranına bölünerek küçültülmüş ve bu değerlerde ayrıca verilmiştir.

Yukarıda yapılan yaklaşımlar doğrultusunda süneklik oranları, fazla yük oranları aşağıdaki bağıntılarla belirlenmiştir [18].

$$\mu = \Delta_e / \Delta_m \tag{4.10}$$

$$R_\mu = \sqrt{2\mu - 1} \qquad 0,2 \leq T \leq 0,5 \tag{4.11}$$

$R_\mu = \mu$ $0{,}5 < T \leq 1$ (4.12)

μ : süneklik oranı

T : periyot (sn)

Δ_e : elastik yatay öteleme

Δ_m : maksimum öteleme

R_μ : süneklik oranı

$R_s = V_L / V_d$ (4.13)

V_d : dizayn yükü

V_L : limit yük

R_s : fazla dayanım (over strength) oranı

R_ξ : sönüme bağlı katsayı

$R = R_\mu R_s R_\xi$ (4.14)

Tablo 4.12 Sönüm Oranına Bağlı R_ξ Değerleri [18]

Sönüm Oranı (%)	UBC 1994 (Rξ)	Wu ve Hanson (Rξ)
2	0,8	-
5	1	1
7	-	-
10	1,2	1,19
12	-	-
15	-	1,39
20	1,5	1,56

Yukarıdaki bağıntılardan faydalanılarak dayanım azaltma katsayıları (R) elde edilmiştir.

Tablo 4.13 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

SİSTEM	K=0,0025/Δ/H	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	μ=Δm/ Δe
SistH6L20	1,14	296292	52360	5,66	0,0753	0,15	1,99
SistH8L20	1,14	257420	41380	6,22	0,1147	0,20	1,74
SistH10L20	1,04	234362	34945	6,71	0,1673	0,25	1,49
SistH12L20	1,20	250134	31944	7,83	0,1984	0,30	1,51

Tablo 4.14 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları

SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	$0{,}5 < T \leq 1$ $R_\mu = \mu$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	R/K
SistH6L20	0,425	1,73		0,90	8,81	7,73
SistH8L20	0,569		1,74	0,90	9,74	8,32
SistH10L20	0,720		1,49	0,90	9,00	8,65
SistH12L20	0,775		1,51	0,90	10,64	8,86

Tablo 4.15 $\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

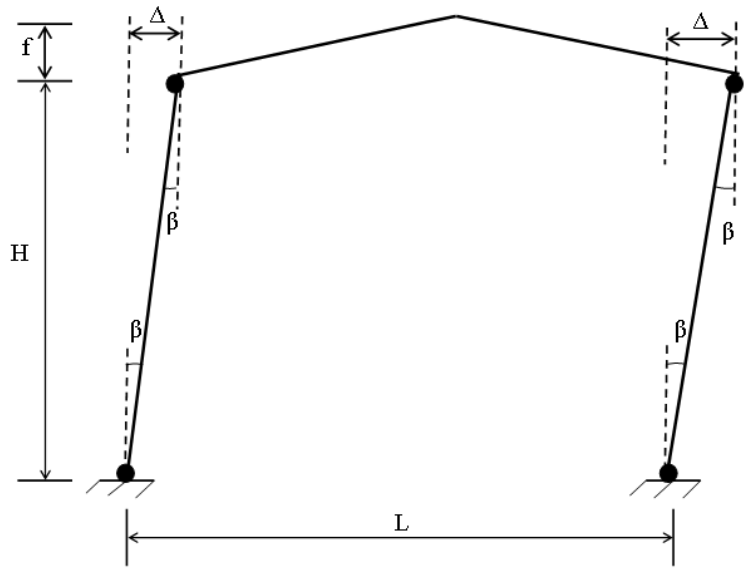
SİSTEM	K=0,0025/(Δ/H)	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	μ=Δm/ Δe
SistH6L20	2,36	519768	55941	9,29	0,0597	0,15	2,51
SistH8L20	2,50	475254	45037	10,55	0,0832	0,2	2,40
SistH10L20	2,51	457112	38966	11,73	0,1028	0,25	2,43
SistH12L20	2,44	439512	35076	12,53	0,1492	0,3	2,01

Tablo 4.16 $\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları

SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	$0{,}5 < T \leq 1$ $R_\mu = \mu$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	R/K
SistH6L20	0,305		2,51	0,90	20,99	8,89
SistH8L20	0,388		2,40	0,90	22,79	9,12
SistH10L20	0,468		2,43	0,90	25,65	10,22
SistH12L20	0,547	1,74		0,90	19,62	8,04

4.6 Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Göçme Yüklerinin Tayini

Sistemlere ait göçme mekanizması Şekil 4.7 de verildiği gibi tahmin edilmiştir. Sistemlerde kolon ve kirişler eşit plastik moment taşıma kapasitelerine sahiptir. Buna rağmen plastik mafsallar kirişler yerine kolonlarda oluşmaktadır. Bunun nedeni kolonlarda bulunan normal kuvvetin kirişlerden büyük olması ve dolayısıyla akma gerilmesine daha çabuk ulaşmasıdır. Sistemlere ait mekanizma yöntemi ve ansys paket programıyla bulunan limit yükler Tablo 4.17 de verilmektedir.



Şekil 4.7 Sisteme Ait Mekanizma Durumu

$$M_p = 2S\sigma_a \tag{4.15}$$

$$\beta = \Delta/H \tag{4.16}$$

$$P_L\Delta = M_p\beta + M_p\beta + M_p\beta + M_p\beta \tag{4.17}$$

$$P_L = 4\ M_p/H \tag{4.18}$$

Bu bağıntılarda,

P_L : limit yükü,

S : statik momenti,

β : plastik mafsal dönmesi

σ_a : akma gerilmesini

göstermektedir.

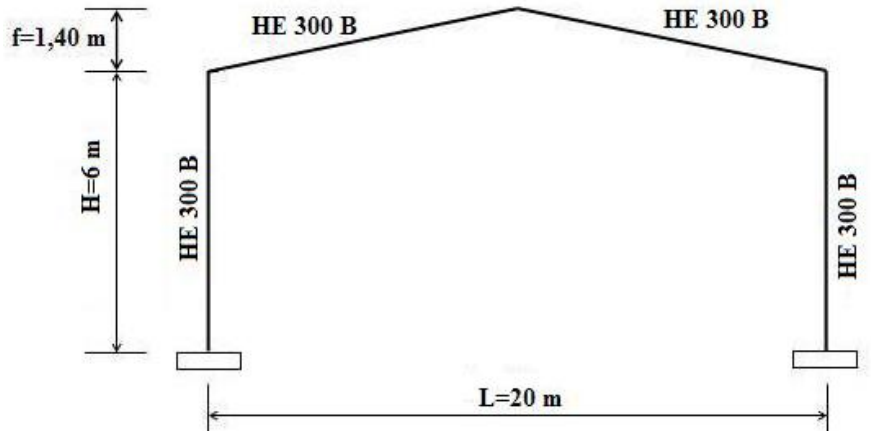
Tablo 4.17 Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Bulunan Limit Yükler

Sistemler ve Kesitler	Tanımlar					Mekanizma yöntemiyle bulunan göçme yükleri	ANSYS de bulunan göçme yükleri
	Sx	2*Sx	σa(N/cm2)	H (cm)	Mp(N*cm)	PL=4*Mp/H (N)	PL
SistH6L20 HE 300 B	934	1868	2,4E+04	600	4,48E+07	298880	284896
SistH8L20 HE 320 B	1070	2140	2,4E+04	800	5,14E+07	256800	247519
SistH10L20 HE 340 B	1200	2400	2,4E+04	1000	5,76E+07	230400	225348
SistH12L20 HE 400 B	1620	3240	2,4E+04	1200	7,78E+07	259200	240513
SistH6L20 HE 420 B	1620	3240	2,4E+04	600	7,78E+07	518400	499777
SistH8L20 HE 450 B	1990	3980	2,4E+04	800	9,55E+07	477600	456975
SistH10L20 HE 500 B	2410	4820	2,4E+04	1000	1,16E+08	462720	439531
SistH12L20 HE 550 B	2800	5600	2,4E+04	1200	1,34E+08	448000	422608

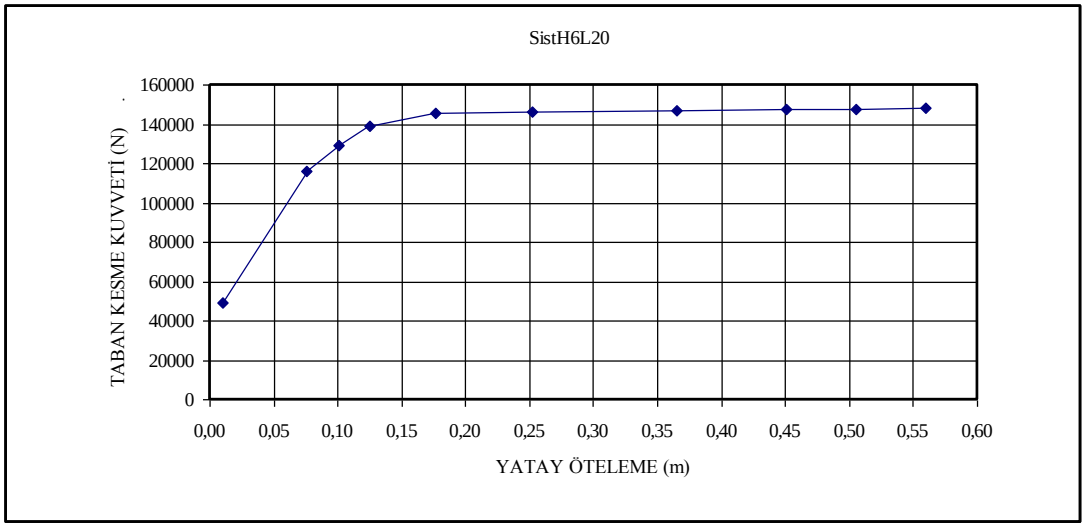
4.7 Sistemlere Ait Gerilme Dağılışları

ANSYS paket programıyla yapılan çözümlemeler sonucunda elde edilen tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafikleri, sistemlerde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışları ve geometrik özellikler sırasıyla aşağıda verilmektedir.

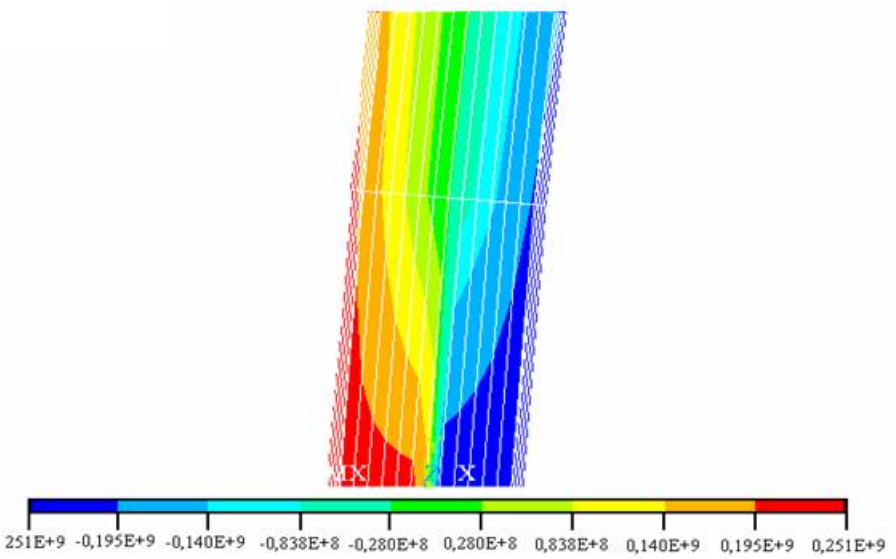
A. Sistem SistH6L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.8, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.9, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.10 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}0025$.



Şekil 4.8 Geometri ve Kesit Özellikleri

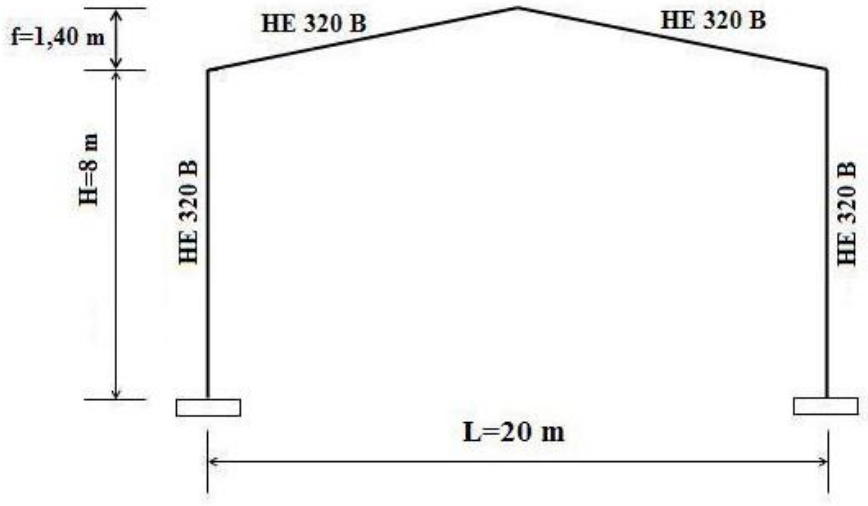


Şekil 4.9 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

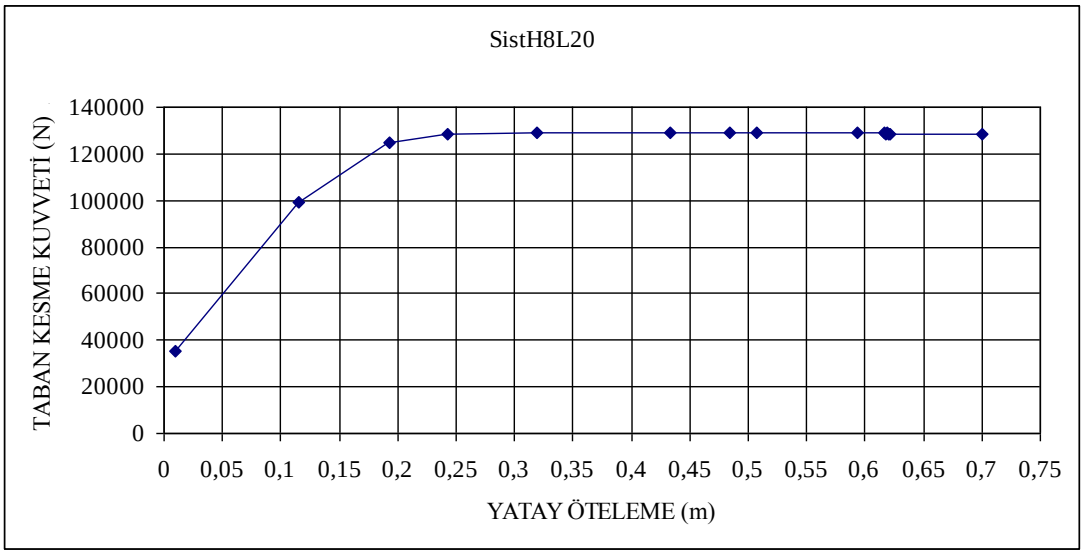


Şekil 4.10 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

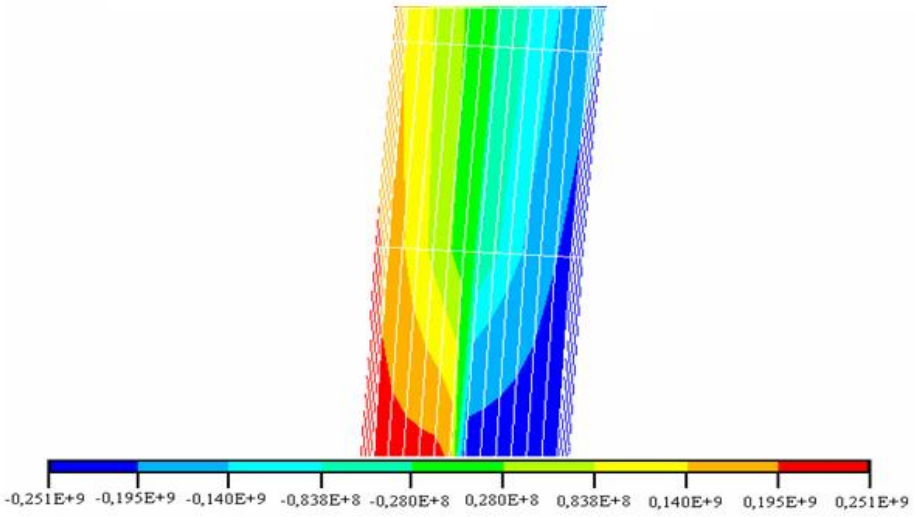
B. Sistem SistH8L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.11, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.12, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.13 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}0025$



Şekil 4.11 Geometri ve Kesit Özellikleri

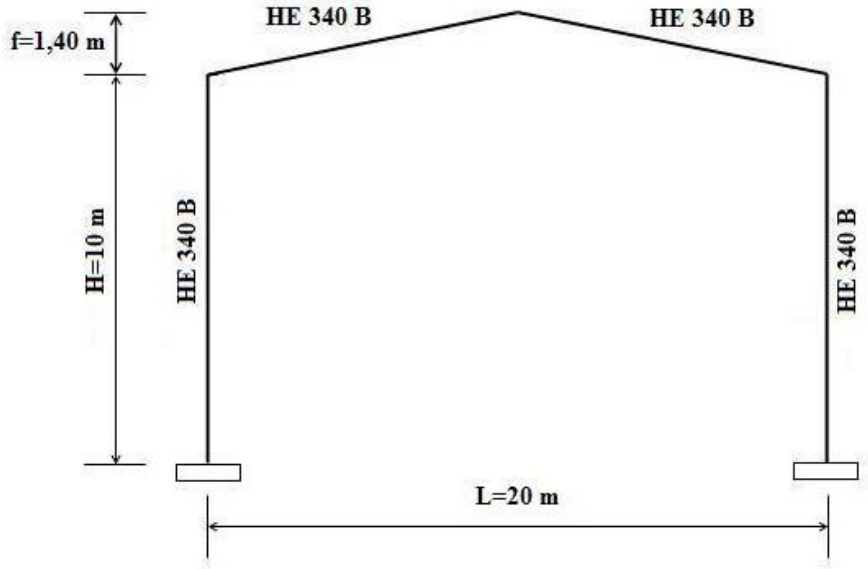


Şekil 4.12 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

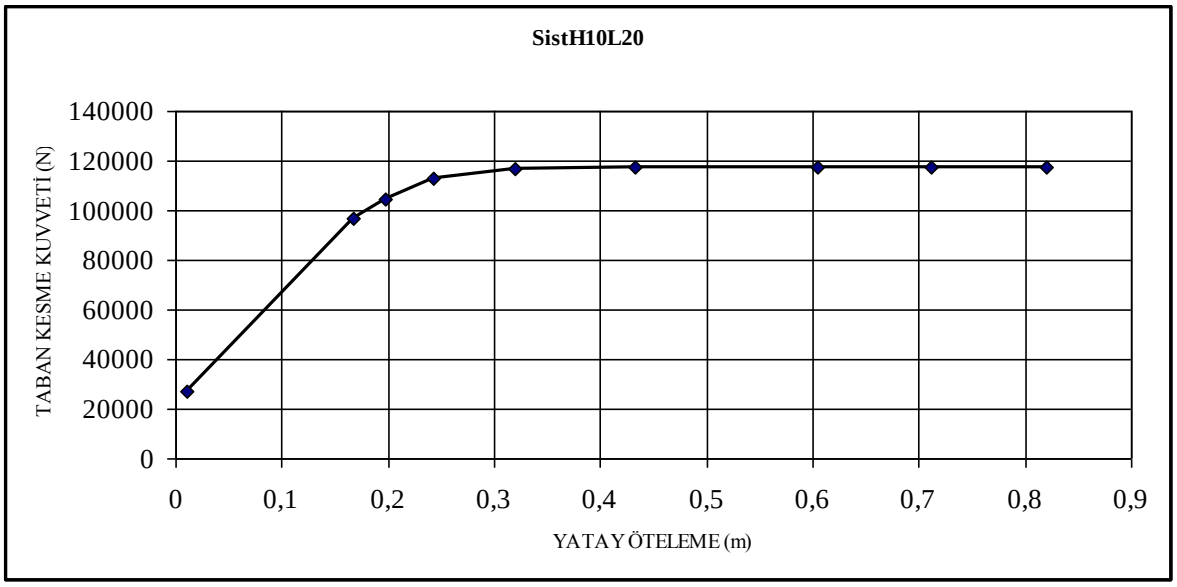


Şekil 4.13 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

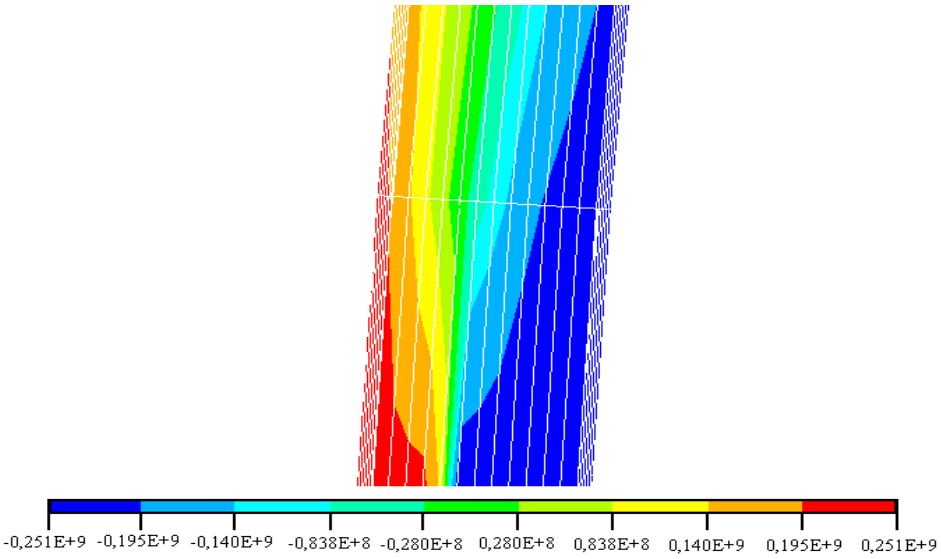
C. Sistem SistH10L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.14, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.15, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.16 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}0025$



Şekil 4.14 Geometri ve Kesit Özellikleri

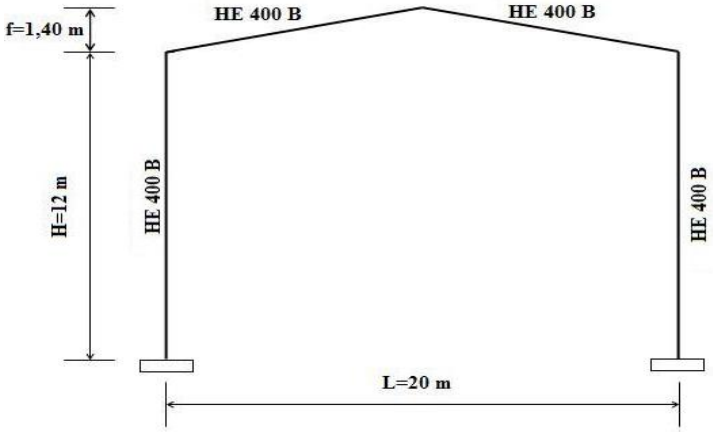


Şekil 4.15 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

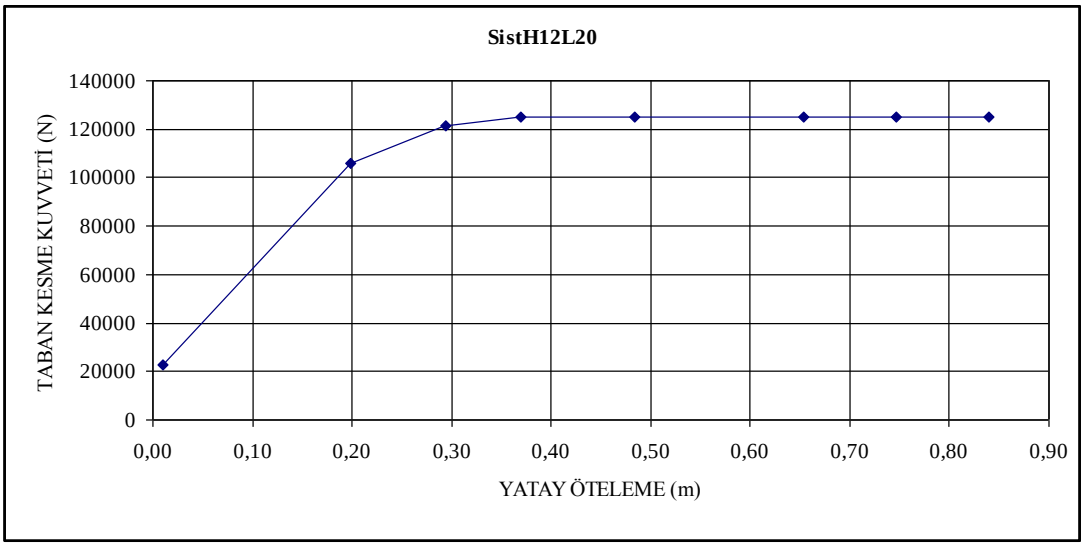


Şekil 4.16 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

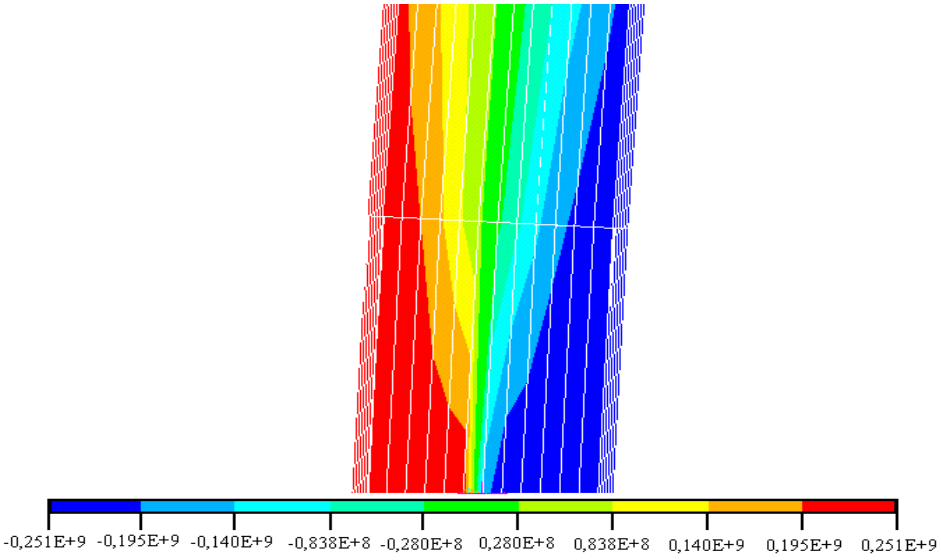
D. Sistem SistH12L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.17, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.18, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.19 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}0025$.



Şekil 4.17 Geometri ve Kesit Özellikleri

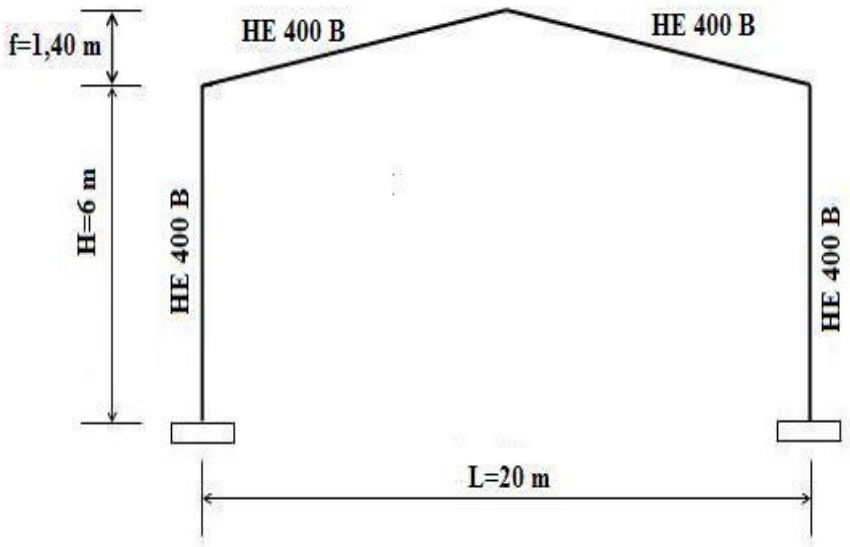


Şekil 4.18 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

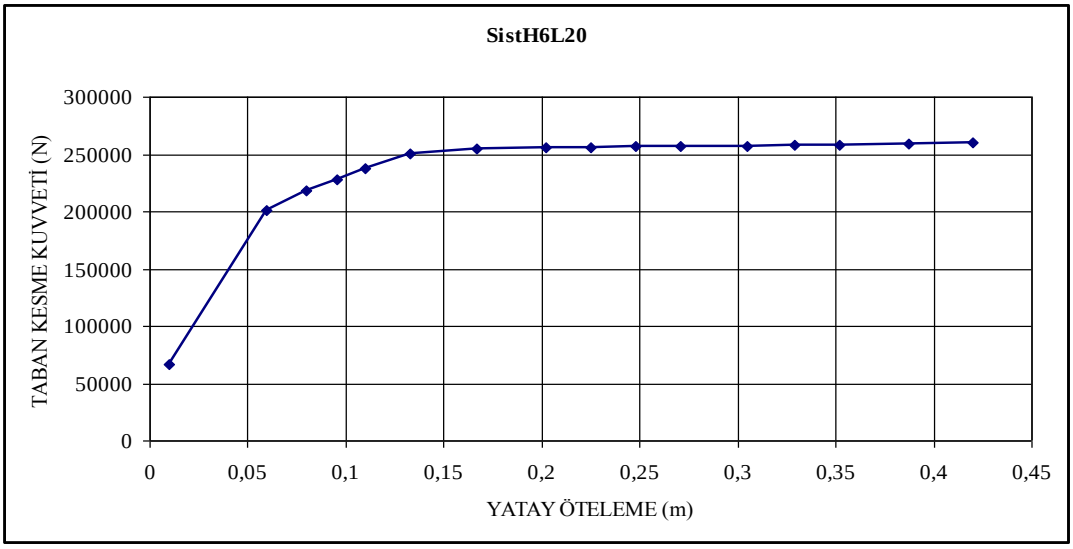


Şekil 4.19 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

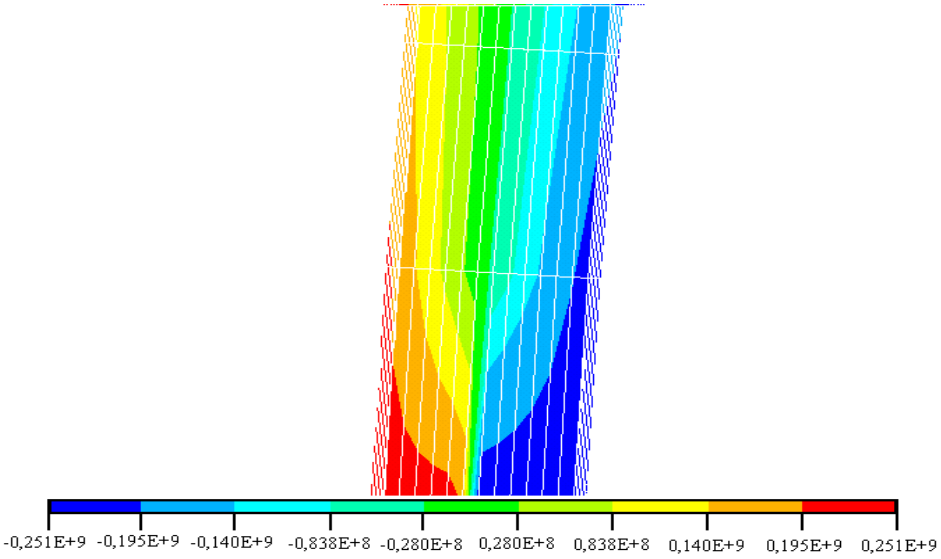
E. Sistem SistH6L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.20, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.21, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.22 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}00125$.



Şekil 4.20 Geometri ve Kesit Özellikleri

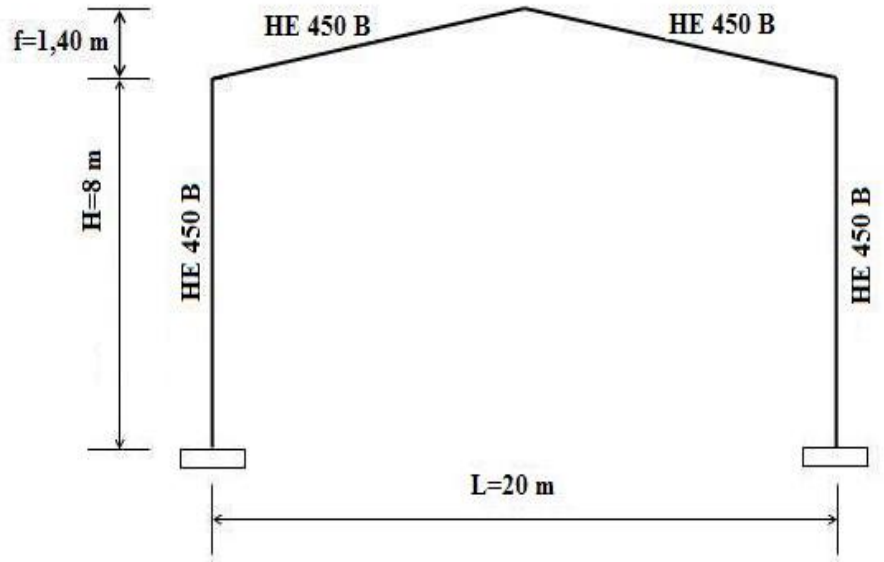


Şekil 4.21 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

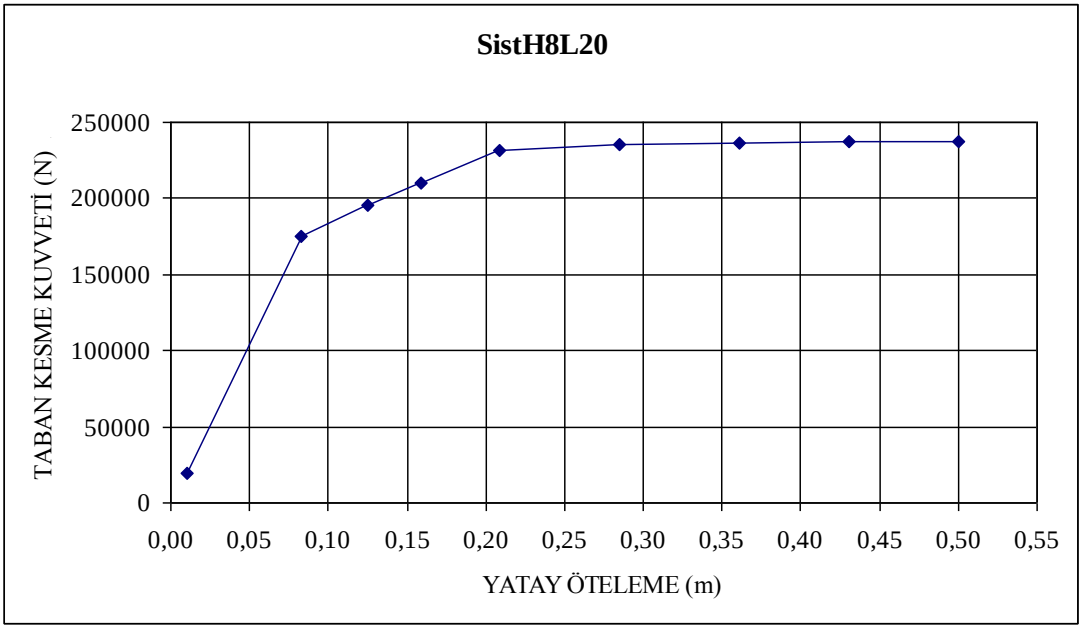


Şekil 4.22 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

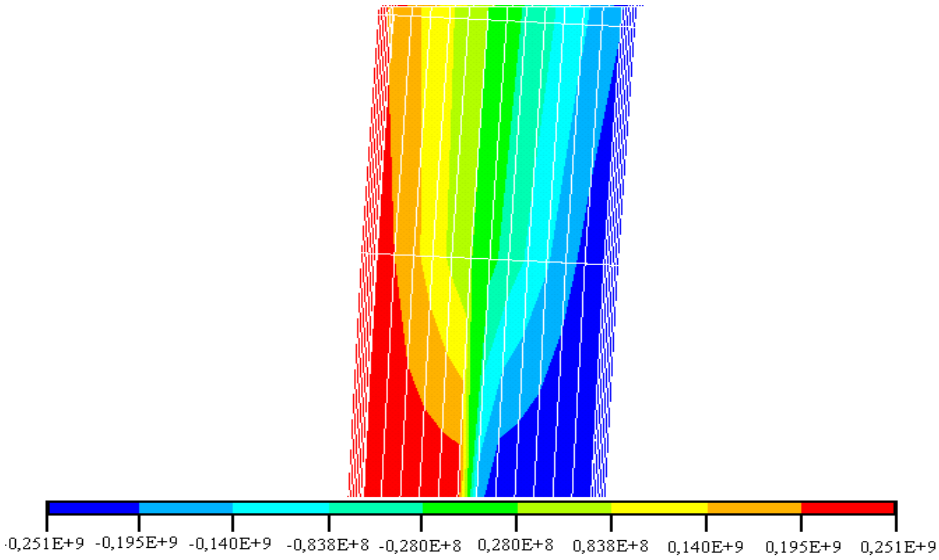
F. Sistem SistH8L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.23, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.24, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.25 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}00125$.



Şekil 4.23 Geometri ve Kesit Özellikleri

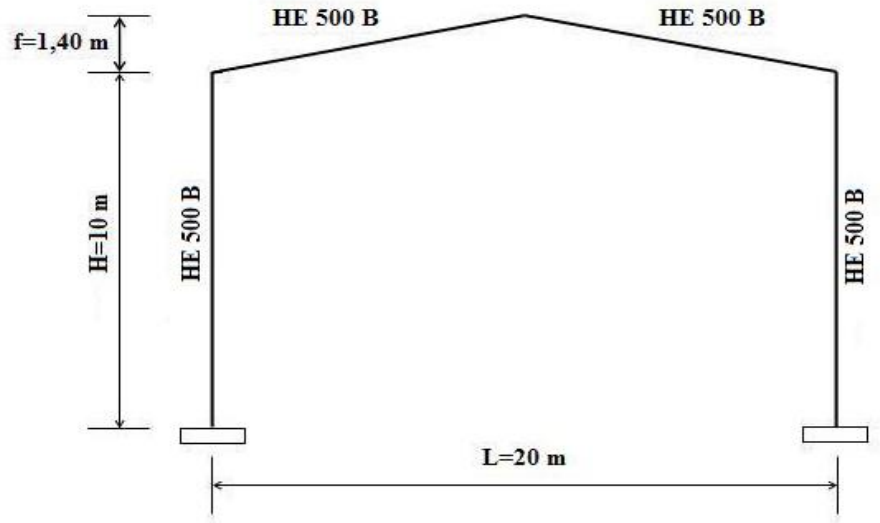


Şekil 4.24 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

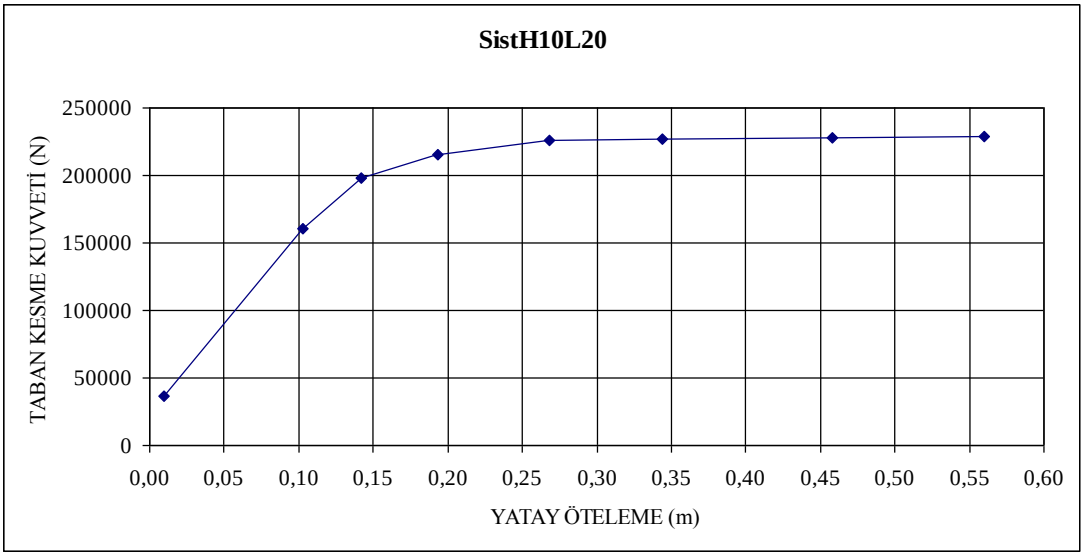


Şekil 4.25 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

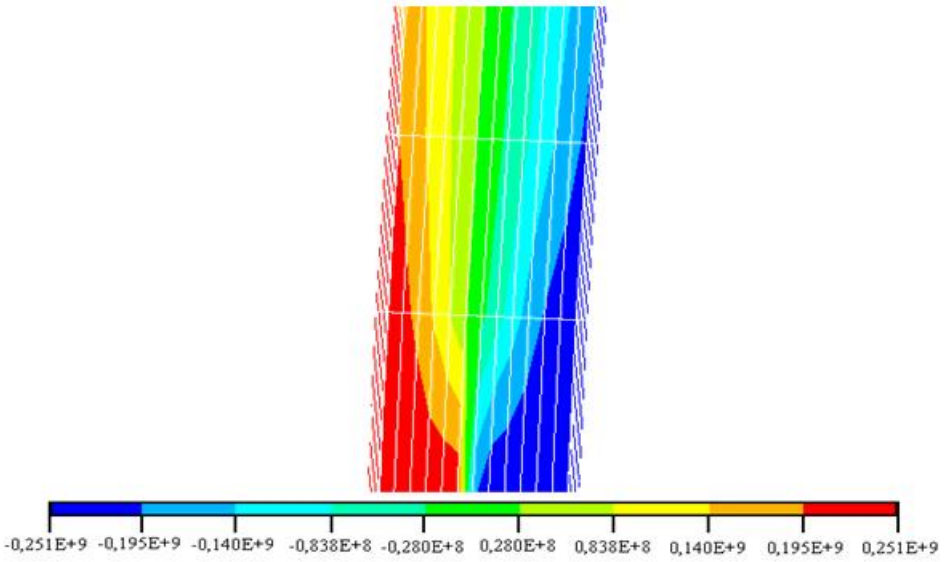
G. Sistem SistH10L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.26, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.27, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.28 de verilmektedir.Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}00125$



Şekil 4.26 Geometri ve Kesit Özellikleri

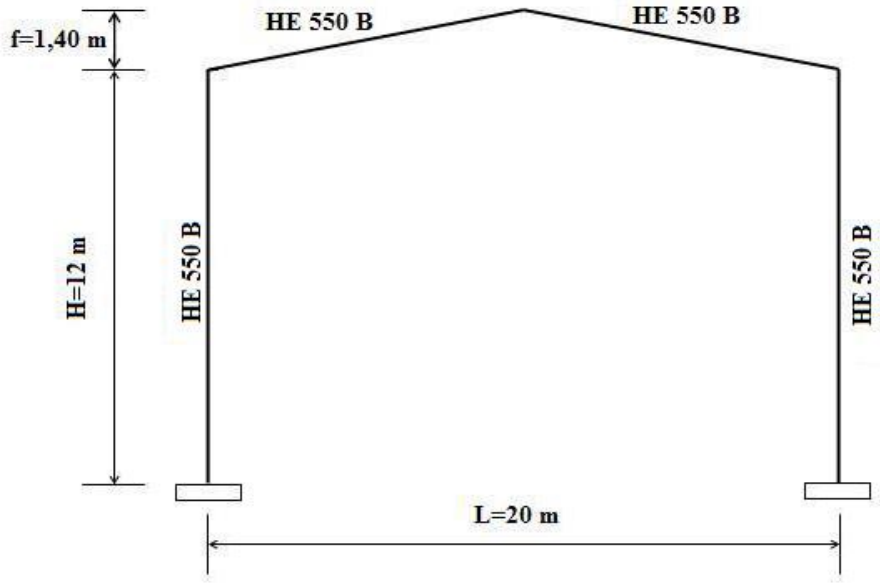


Şekil 4.27 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

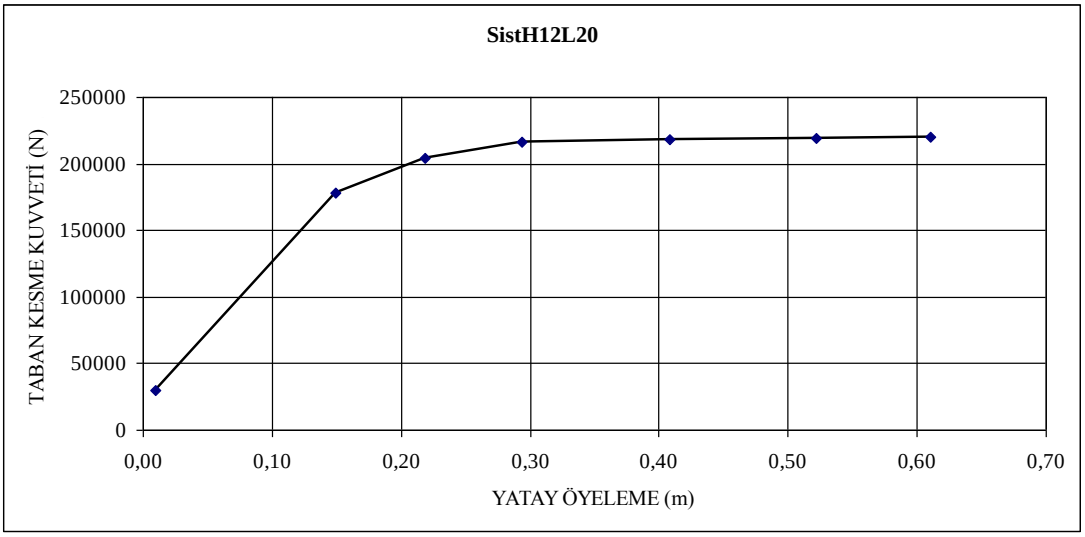


Şekil 4.28 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

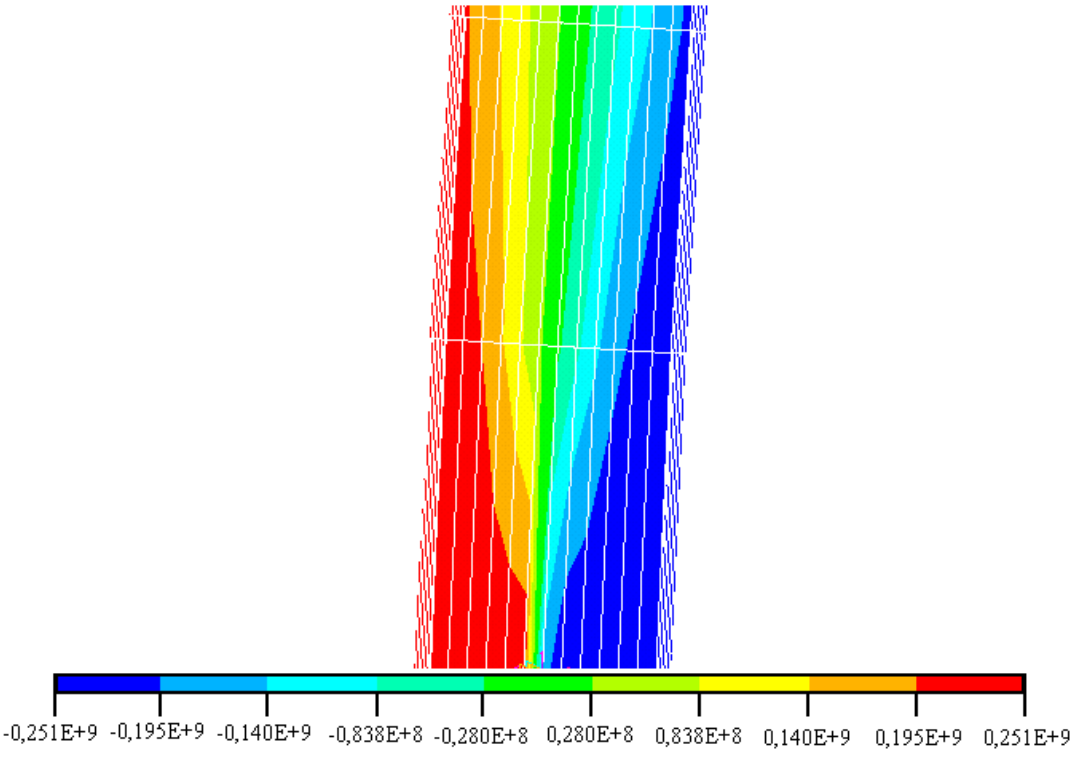
H. Sistem SistH12L20 ye ait geometri ve kesit özellikleri Şekil 4.29, tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafiği Şekil 4.30, sistemde ankastre mesnet bölgesinde oluşan gerilme dağılışı Şekil 4.31 de verilmektedir. Elastik boyutlama göreli öteleme şartı $\Delta/H \leq 0{,}00125$.



Şekil 4.29 Geometri ve Kesit Özellikleri

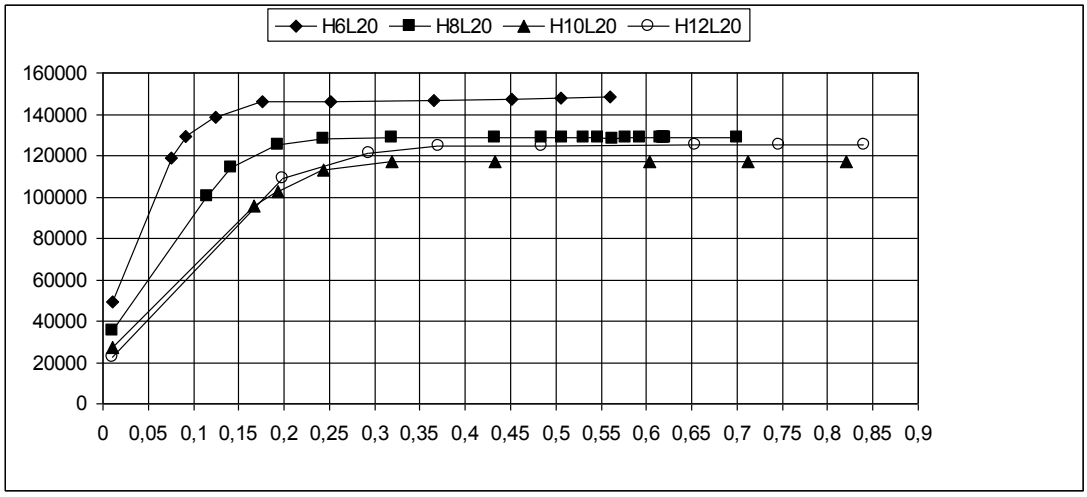


Şekil 4.30 Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

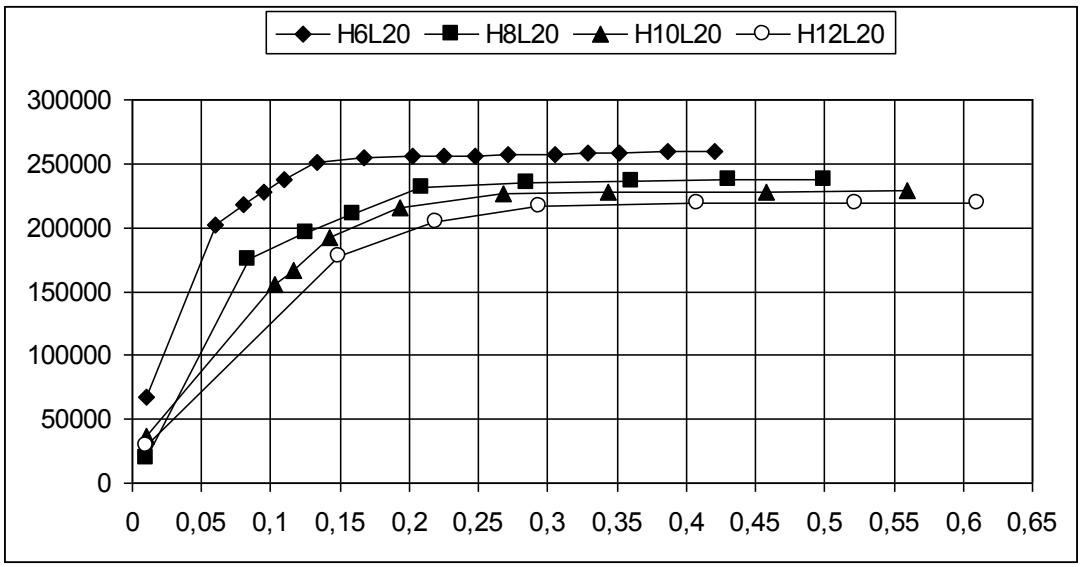


Şekil 4.31 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

Ayrıca aşağıdaki Şekil 4.32 de $\Delta/H \leq 0{,}0025$' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P-Δ eğrileri, Şekil 4.33 de $\Delta/H \leq 0{,}00125$' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P- Δ eğrileri aynı eksen takımında verilmiştir.



Şekil 4.32 $\Delta/H \leq 0{,}0025$' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P- Δ eğrileri

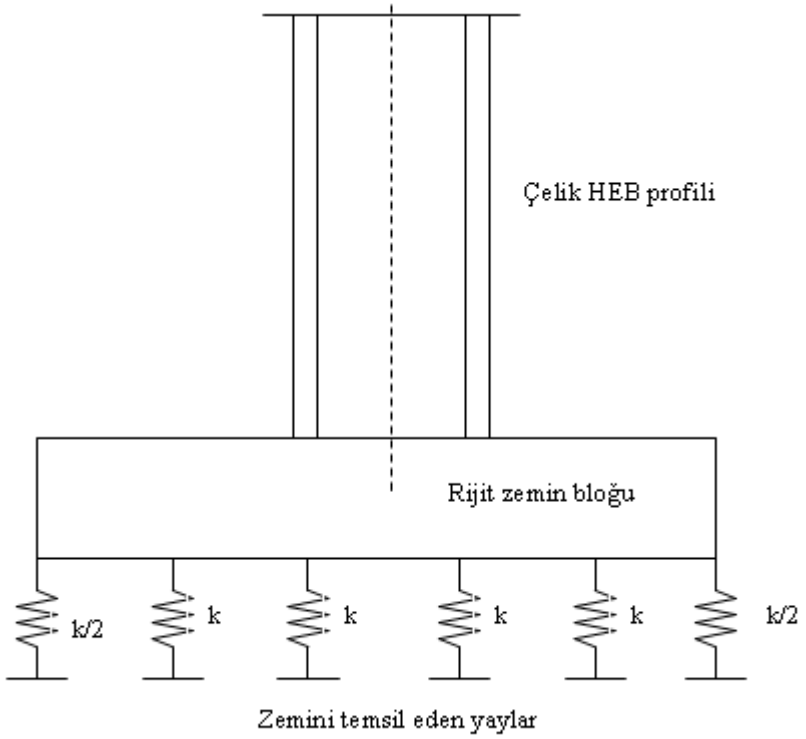


Şekil 4.33 $\Delta/H \leq 0{,}00125$' e göre boyutlandırılan sistemlere ait P- Δ eğrileri

4.8 Zemin Sınıfının R Katsayısına Etkisi

Bilindiği gibi zeminler tek tip olmayıp değişik taşıma gücü ve yatak katsayılarına sahiptir. Özellikle zayıf zeminlerde temel bloğu bir miktar dönebilmektedir. Bu nedenle tam bir ankastre davranış elde edilemeyebilmektedir. Bu kısımda üç tip zemin sınıfı dikkate alınarak SistH6L20 için (Şekil 4.8) zeminlerin deprem azaltma

katsayısı üzerine olan etkileri araştırılmıştır. Zeminler yatak katsayıları ve temel boyutlarına bağlı olarak yaylarla ifade edilmiştir, Şekil 4.34.



Şekil 4.34 Zeminin Yaylarla Modellenmesi

Tablo 4.18 Zemin Karakteristikleri [19] ve Temel Boyutları

Zemin Cinsi	Zemin Emniyet Gerilmesi, $\sigma_{zem(N/m2)}$	Yatak Katsayısı, Ko(N/m3)	Temel Boyutları, m	Yay Alanı, Ay(m2)		Yay Katsayısı, k=Ko*Ay (N/m)	
				Orta	Kenar	Orta	Kenar
Kaya	1000000	2,00E+09	1,5x1	0,3	0,15	6,00E+08	3,00E+08
Sıkı kum çakıl	600000	1,5E+08	2x1	0,4	0,2	6,00E+07	3,00E+07
Sert kil	200000	3,00E+07	2,5x1,5	0,75	0,375	2,25E+07	1,13E+07

Tablo 4.18 de belirtilen karakteristiklere bağlı olarak deprem yükü azaltma katsayıları belirlenmiştir.

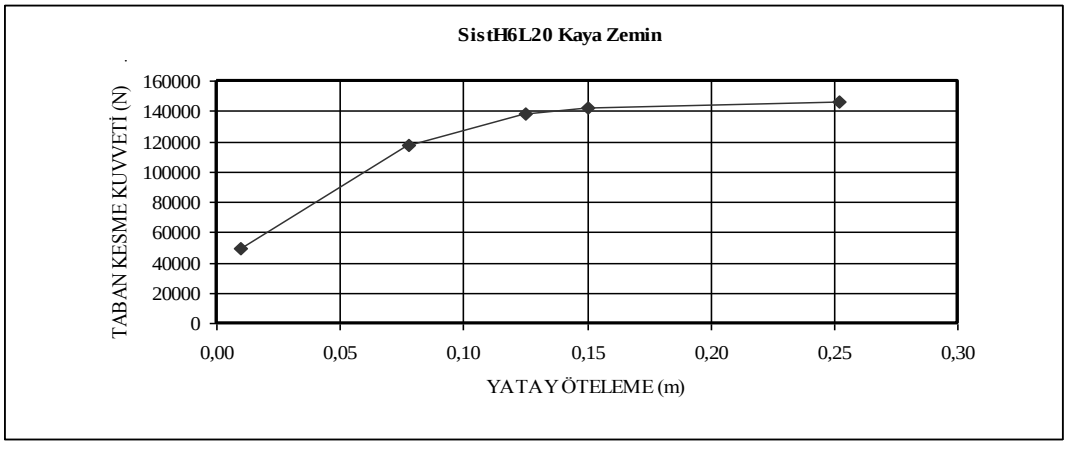
Tablo 4.19 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

ZEMİN	SİSTEM	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	$\mu=\Delta m/ \Delta e$
Kaya	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,078	0,15	1,92
Sıkı Kum Çakıl	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,095	0,15	1,58
Sert Kil	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,112	0,15	1,34

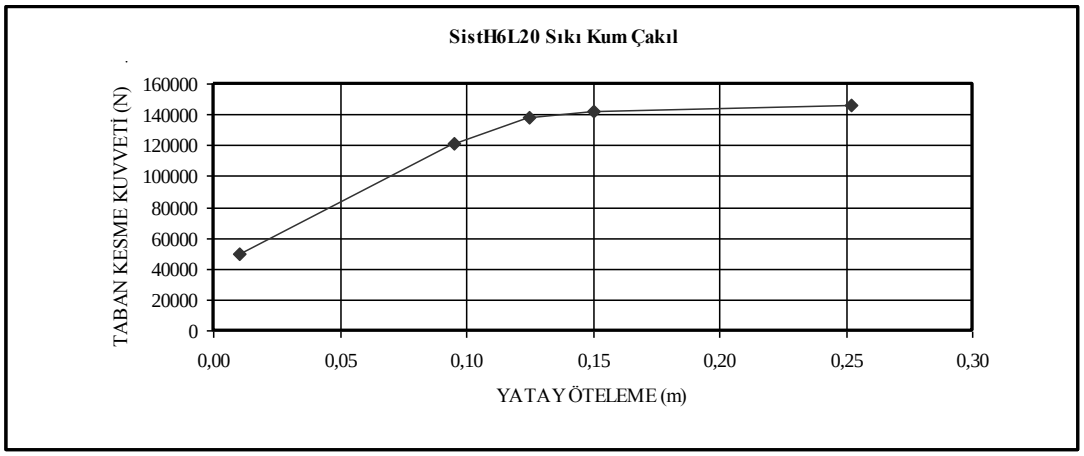
Tablo 4.20 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı R Katsayıları

ZEMİN	SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	Ankastre Kabule Göre Azalma (%)
Kaya	SistH6L20	0,430	1,69	0,90	8,58	2,58
Sıkı Kum Çakıl	SistH6L20	0,462	1,47	0,90	7,49	15,16
Sert Kil	SistH6L20	0,496	1,30	0,90	6,60	25,29

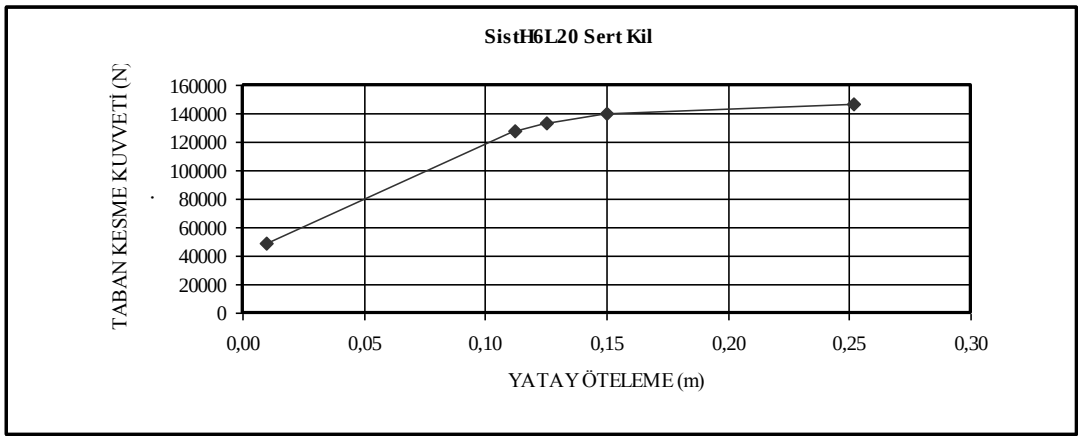
Tablo 4.18 ve Tablo 4.19 da ki değerlerden de görüldüğü gibi zeminlerin taşıma gücü azaldıkça deprem yükü azaltma katsayıları (R) yatak katsayılarına bağlı olarak azalmaktadır. Bunun en önemli sebebi, zeminler zayıflaştıkça temel bloğunun bir miktar dönmesi de mümkün olabilmektedir. Buda sistemin daha büyük bir yatay öteleme değerinde nonlineer davranışa geçmesi anlamına gelmektedir. Böylece nonlineer yerdeğiştirmenin lineer yerdeğiştirmeye oranı olan süneklik oranının (μ) azalmasına yol açmaktadır. Deprem yükü azaltma katsayısının ($R = R_\mu R_s R_\xi$) bir çarpanı olan süneklik oranının azalması R katsayısının azalmasıyla sonuçlanmaktadır.



Şekil 4.35 Kaya Zemin Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

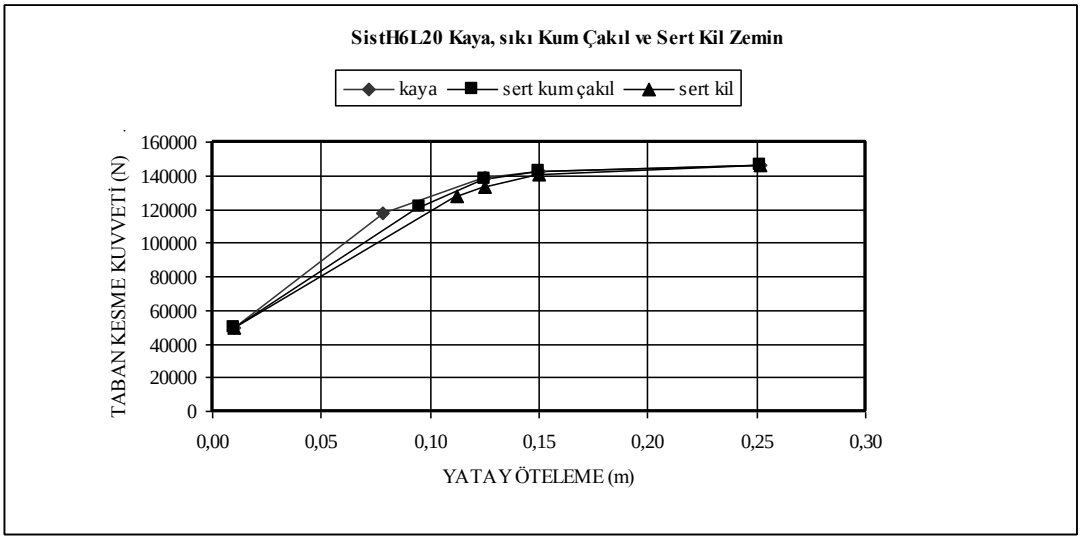


Şekil 4.36 Sıkı Kum Çakıl Zemin Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

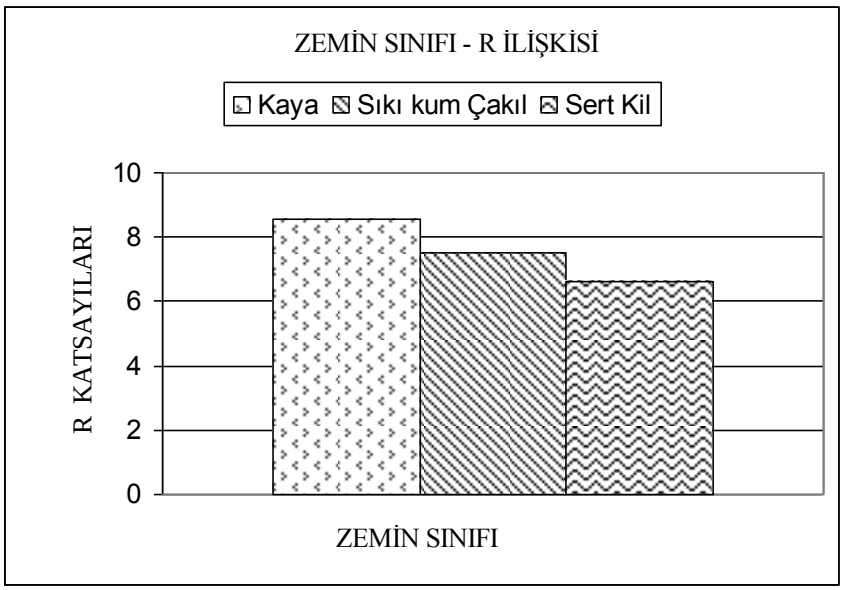


Şekil 4.37 Sert Kil Zemin Tepe Noktası Ötelemesi – Taban Kesme Kuvveti Grafiği

Şekil 4.35, Şekil 4.36 ve Şekil 4.37 de sisteme ait zemin sınıflarına bağlı tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafikleri verilmektedir. Bu grafiklerden de görüldüğü üzere sistemin rijitliği zemin sınıfına bağlı olarak azalmaktadır. Şekil 4.38 de tepe noktası ötelemesi – taban kesme kuvveti grafikleri aynı eksen takımı üzerinde verilmiştir. Ayrıca Şekil 4.40 da zemin sınıfı R ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 4.38 Zemin Türlerine Bağlı Sisth6L20 ye Ait P-Δ Eğrileri



Şekil 4.39 Zemin Sınıfı R İlişkisi

5 SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Zamanla çelik sektöründeki gelişmeler ve çelik boyutlamada geliştirilen teoriler çeliğin yapı malzemesi olarak kullanılmasını arttırmıştır. Ayrıca çelik yapıların inşa sürelerinin kısa oluşu, malzeme özelliklerinin homojen oluşu, sünek davranışı ve mekanik özelliklerinin küçük kesitli çözümler sunmaya uygun oluşu da yapı malzemesi olarak çeliğin kullanımını arttıran etkenler arasındadır.

Sistemlerin sünekliğine bağlı olarak deprem yükleri azaltılır ve daha ekonomik çözümler elde etmek mümkün olur. Fakat kullanılan deprem yükü azaltma katsayılarının, kullanılan yapı malzemesine ve yapı taşıyıcı sistemine uygun bir değer olarak seçilmesi çok önemlidir.

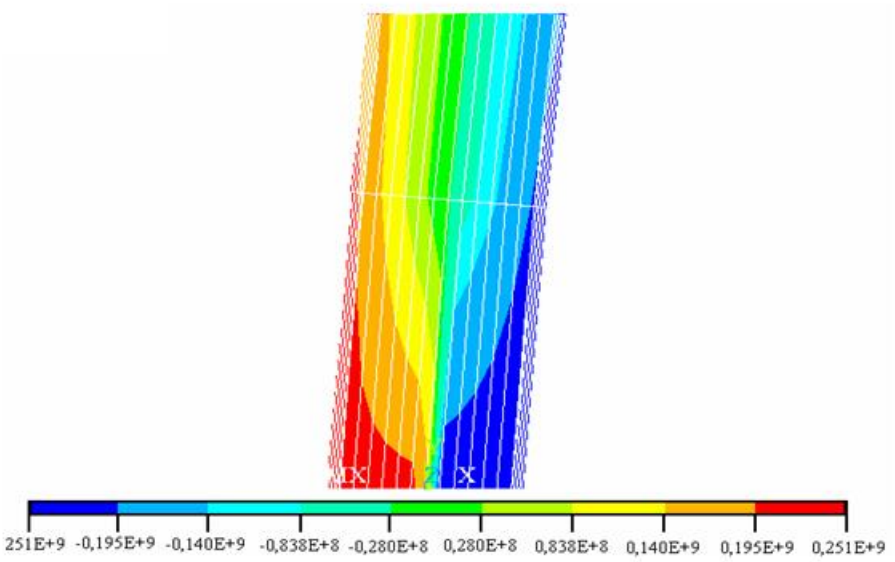
Bilgisayar programlarındaki gelişmeler ve yeni teoriler yardımıyla bu sayılar daha hassas olarak irdelenebilmektedir. Lineer olmayan davranışı da kapsayan performansa dayalı tasarım yöntemi de dikkate alındığında aslında etkin bir deprem yükü azaltma katsayısının olmadığı görülmektedir. Çünkü tasarlamak istediğimiz her bir performans seviyesi için farklı miktarlarda tepe noktası yatay yerdeğiştirmesi öngörülmektedir. Tepe noktası deplasmanları yapı yüksekliğine bağlı olarak, her bir performans seviyesi, malzeme cinsi ve taşıyıcı sistemine bağlı olarak FEMA 356 da gösterilmektedir Tablo 5.1. Dayanım azaltma katsayısının ($R = R_\mu R_s R_\xi$) bir çarpanı olan süneklik oranı (μ, R_μ) bu yerdeğiştirme miktarına direkt olarak bağlıdır.

Yapı sistemleri boyutlandırılırken birkaç aşamalı bir çözümleme yapılarak her sistem için boyutlama aşamasında dayanım azaltma katsayıları belirlenerek deprem yüklerinin o ölçüde azaltılması daha etken ve uygun olabilecektir. Örneğin bir sistem için yönetmeliklerce uygun görülen bir deprem yükü azaltma katsayısı, büyük oranlarda olmasa da farklı uygulamalar için farklılıklar gösterebilmektedir.

Tablo 5.1 Yatay Öteleme Miktarları

Yapı Performans Seviyeleri ve Yatay Öteleme Oranları (%)						
Yapı Sistemini Oluşturan Elemanlar	Göçme Güvenliği		Can Güvenliği		Hemen Kullanım	
	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu	Kalıcı Olmayan Yatay Yük Durumu	Kalıcı Yatay Yük Durumu
Beton Çubuk	4,00	4,00	2,00	1,00	1,00	önemsiz
Moment Alan Çelik Çubuk	5,00	5,00	**2,50**	1,00	0,70	önemsiz
Çaprazlı Çelik Çubuk	2,00	2,00	1,50	0,50	0,50	önemsiz
Beton Duvar	2,00	2,00	1,00	0,50	0,50	önemsiz
Güçlendirilmemiş Taş Duvar (Dolu)	0,60	0,60	0,50	0,30	0,10	önemsiz
Güçlendirilmemiş Taş Duvar	1,00	1,00	0,60	0,60	0,30	0,30
Güçlendirilmiş Taş Duvar	1,50	1,50	0,60	0,60	0,20	0,20
Ahşapla Güçlendirilmiş Duvar	3,00	3,00	2,00	1,00	1,00	0,25

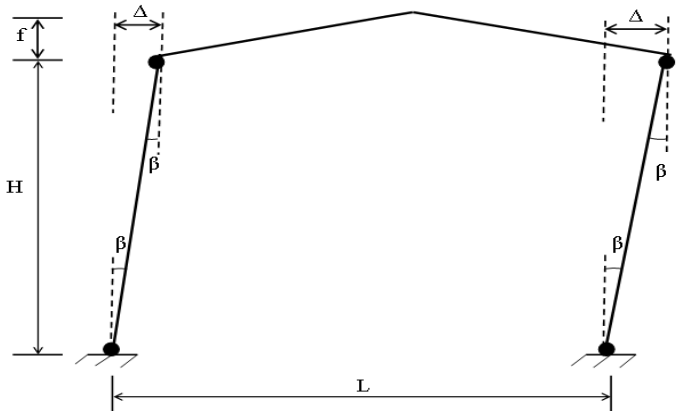
Bu çalışmada, özellikle sanayi yapıları, depolar ve hal yapıları gibi yapılarda taşıyıcı sistem olarak kullanılan büyük açıklıklı kırık çerçevelerin süneklik oranları ve deprem yükü azaltma katsayıları irdelenmiştir. Genellikle hesap kolaylığı bakımından tercih edilen lineer olmayan şekil değiştirmelerin sürekli olmaması kabulüne dayalı teoriler (plastik mafsal teorisi) esas alınarak çözümlemeler yapılmakta ve süneklik oranları irdelenmektedir. Bu çalışmada lineer olmayan şekil değiştirmeler sürekli kabul edilerek Ansys sonlu elemanlar programıyla çözümlemeler yapılmıştır. Bu sayede mesnet bölgelerinde oluşan gerilme dağılışlarını da gözlemlemek mümkün olmuştur, örneğin Şekil 5.1 de sistH6L20 ye ait gerilme dağılışı görülmektedir.



Şekil 5.1 Ankastre Mesnet Bölgesinde Oluşan Gerilme Dağılışı

Gerilme dağılışları plastik mafsal teorisinde ki kabule benzerdir fakat plastik mafsal boyu olarak öngörülen 0,5d (d, kesit yüksekliği) değerinin daha büyük değerler alabildiği görülmüştür. Bununla birlikte plastik şekil değiştirmelerin 0,5d mertebesinde daha yoğun olduğu ve çok yanlış bir kabul olmadığı görülmüştür.

Çözümlemeler sonucunda bulunan nihai yükler ayrıca plastik mafsal teorisine dayalı mekanizma yöntemiyle tahmin edilen mekanizma durumuna bağlı belirlenerek sonuçlar karşılaştırılmıştır Tablo 5.2. Sistemlerde kolon kiriş boyutları aynı olmasına rağmen sistemlerde mekanizma durumu Şekil 5.2 de görüldüğü gibidir. Bunun nedeni kolonlardaki normal kuvvetlerin daha fazla olması, dolayısıyla kesitlerde akma gerilmesine daha çabuk ulaşılmasıdır.



Şekil 5.2 Sisteme Ait Mekanizma Durumu

Bilgisayar sonuçları beklendiği gibi bir miktar küçük çıkmıştır. Bunun yanında değerler birbirine yakın çıkmıştır.

Tablo 5.2 Ansys ve Mekanizma Yöntemiyle Bulunan Limit Yükler

Sistemler ve Kesitler	Tanımlar				Mekanizma yöntemiyle bulunan göçme yükleri	ANSYS de bulunan göçme yükleri
	$Sx(m^3)$	σa(N/cm2)	H (m)	Mp(N*m)	P_L=4*Mp/H (N)	P_L
SistH6L20 HE 300 B	934E-6	2,4E+08	6	4,48E+05	298880	284896
SistH8L20 HE 320 B	107E-5	2,4E+08	8	5,14E+05	256800	247519
SistH10L20 HE 340 B	120E-5	2,4E+08	10	5,76E+05	230400	225348
SistH12L20 HE 400 B	162E-5	2,4E+08	12	7,78E+05	259200	240513
SistH6L20 HE 420 B	162E-5	2,4E+08	6	7,78E+05	518400	499777
SistH8L20 HE 450 B	199E-5	2,4E+08	8	9,55E+05	477600	456975
SistH10L20 HE 500 B	241E-5	2,4E+08	10	1,16E+05	462720	439531
SistH12L20 HE 550 B	280E-5	2,4E+08	12	1,34E+05	448000	422608

Yapılan çözümlemeler sonucunda elde edilen tepe noktası yatay deplasmanı taban kesme kuvveti grafikleri elde edilerek süneklik oranı, fazla yük oranı ve deprem yükü azaltma katsayıları irdelenmiştir. Öncelikle açıklık sabit tutularak sistemin kat yüksekliği (6m, 8m, 10m, 12m) değiştirilmiş ve sonuçlar irdelenmiştir Tablo 5.3 ve Tablo 5.4.

Tablo 5.3 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

SİSTEM	K=0,0025/Δ/H	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	μ=Δm/ Δe
SistH6L20	1,14	296292	52360	5,66	0,0753	0,15	1,99
SistH8L20	1,14	257420	41380	6,22	0,1147	0,20	1,74
SistH10L20	1,04	234362	34945	6,71	0,1673	0,25	1,49
SistH12L20	1,20	250134	31944	7,83	0,1984	0,30	1,51

Tablo 5.4 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları

SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	$0{,}5 < T \leq 1$ $R_\mu = \mu$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	R/K
SistH6L20	0,425	1,73		0,90	8,81	7,73
SistH8L20	0,569		1,74	0,90	9,74	8,32
SistH10L2	0,720		1,49	0,90	9,00	8,65
SistH12L2	0,775		1,51	0,90	10,64	8,86

İkinci olarak boyutlamada kullanılan tasarım yükleri altında $\Delta/H \leq 0{,}02/R$ değeri yarıya düşürülerek $\Delta/H \leq 0{,}02/2R$ değeri için boyutlama ve çözümleme yapılmıştır elde edilen değerler Tablo 5.5 ve Tablo 5.6 de verilmektedir.

Tablo 5.5 $\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait K,V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

SİSTEM	K=0,0025/(Δ/H)	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	μ=Δm/ Δe
SistH6L20	2,36	519768	55941	9,29	0,0597	0,15	2,51
SistH8L20	2,50	475254	45037	10,55	0,0832	0,2	2,40
SistH10L20	2,51	457112	38966	11,73	0,1028	0,25	2,43
SistH12L20	2,44	439512	35076	12,53	0,1492	0,3	2,01

Tablo 5.6 $\Delta/H \leq 0{,}00125$ İçin Sistemlere Ait R Katsayıları

SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	$0{,}5 < T \leq 1$ $R_\mu = \mu$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	R/K
SistH6L20	0,305		2,51	0,90	20,99	8,89
SistH8L20	0,388		2,40	0,90	22,79	9,12
SistH10L20	0,468		2,43	0,90	25,65	10,22
SistH12L20	0,547	1,74		0,90	19,62	8,04

Bu çalışmada deprem yükü azaltma katsayısı ($R = R_\mu R_s R_\xi$) süneklik oranı (R_μ), fazla yük oranı (R_s) ve sönüme bağlı katsayı (R_ξ) dikkate alınarak belirlenmiştir. Sonuçlardan görüldüğü gibi bu tür sistemlerde süneklik oranında ziyade fazla yük oranı R sayısı üzerinde daha etkendir. Bunun nedeni bu tarz yapılarda açıklıkların ve çerçeve yüksekliklerinin büyük olması buna bağlı olarak sistemin rijitliğinin azalmasıdır. Rijitlik azalınca sistem daha fazla lineer öteleme yapabilmektedir buda lineer olmayan deplasmanların lineer deplasmanlara oranı olan süneklik oranının azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Fazla yük oranını etken kılan diğer sebep, bu sistemlerin elastik öteleme yapma kabiliyetleri fazladır diğer yandan yönetmelikler gereği bu deplasmanlar sınırlandırılmaktadır. Bu sınırlama, boyutlamada kesit etkilerinden ziyade göreli öteleme ölçütünün etken olmasına sebep olur ve kesitler

tasarım yüklerine bağlı boyutlama değerinden büyük olur. Böylece limit yükün tasarım yüküne oranı olan fazla yük oranı artarak daha etken olmaktadır. Sistemlerde kullanılan yapı malzemesi değişmediğinden sönüm oranı (0,035) sabittir, R_ξ (0,90) değeri sönüm oranına bağlı olarak ilgili yönetmelikten alınmıştır.

Ayrıca bu çalışmada tasarımda bulunan göreli ötelemenin yönetmelik sınırından küçük olduğu oranda R sayılarını artırdığı görülmüştür, göreli ötelemenin yarıya düşürülmesiyle yapılan çözümleme bu sonucun irdelenmesi için yapılmıştır. Sonuçlar irdelendiğinde R katsayılarının bu oran değerinde arttığı görülmüştür.

Tablolardaki değerlerden de görüldüğü gibi bulunan değerler yönetmelik değerlerine yakın çıkmıştır. Bu sonuç bize yönetmelik değerlerini güvenle kullanabileceğimizi göstermektedir.

Zemin taşıma gücünün dolayısıyla yatak katsayısının R katsayısı üzerindeki etkisini araştırmak için bir sistemde üç tip zemin çeşidi kullanılarak sistemin statik itme analizi yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.7 ve Tablo 5.8 de verilmektedir.

Tablo 5.7 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı V_L, V_d, R_s, Δe, Δ_m, μ Değerleri

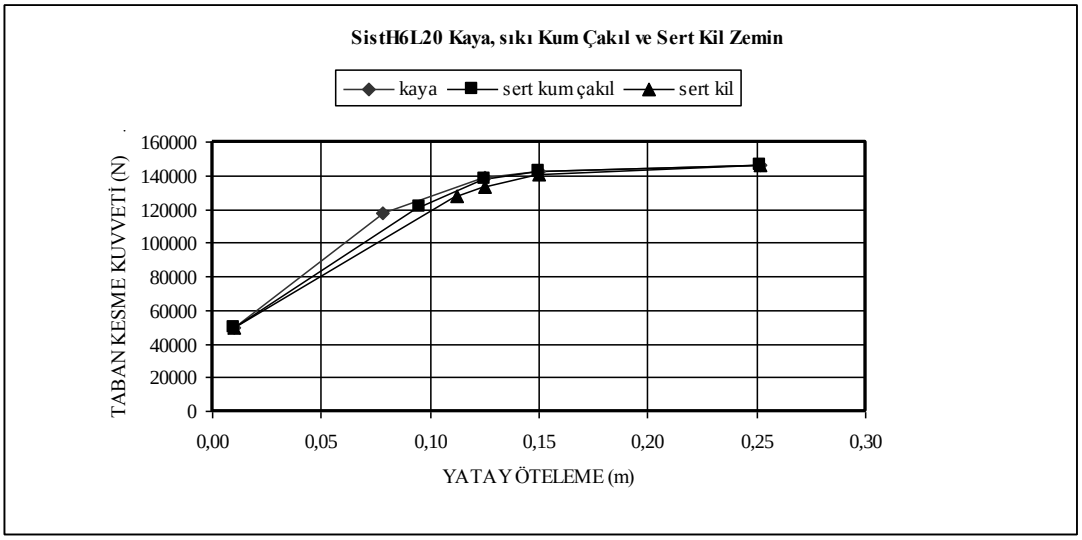
ZEMİN	SİSTEM	V_L (N)	Vd (N)	$R_s = V_L / (V_d)$	Δe (m)	Δ_m (m)	$\mu=\Delta m/ \Delta e$
Kaya	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,078	0,15	1,92
Sıkı Kum Çakıl	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,095	0,15	1,58
Sert Kil	SistH6L20	296292	52360	5,66	0,112	0,15	1,34

Tablo 5.8 $\Delta/H \leq 0{,}0025$ İçin SistH6L20 ye Ait Zemin Cinsine Bağlı R Katsayıları

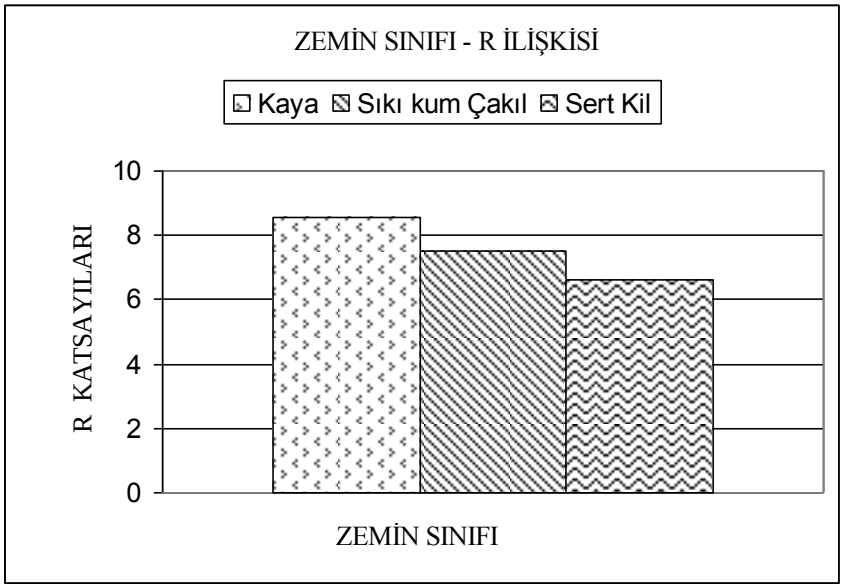
ZEMİN	SİSTEM	T (sn)	$0{,}12 \leq T \leq 0{,}5$ $R_\mu = \sqrt{2\mu - 1}$	R_ξ	$R = R_\mu R_s R_\xi$	Ankastre Kabule Göre Azalma (%)
Kaya	SistH6L20	0,430	1,69	0,90	8,58	2,58
Sıkı Kum Çakıl	SistH6L20	0,462	1,47	0,90	7,49	15,16
Sert Kil	SistH6L20	0,496	1,30	0,90	6,60	25,29

Tablo 5.7 ve Tablo 5.8 da ki değerlerden de görüldüğü gibi zeminlerin taşıma gücü azaldıkça deprem yükü azaltma katsayıları (R) yatak katsayılarına bağlı olarak azalmaktadır. Bunun en önemli sebebi, zeminler zayıflaştıkça temel bloğunun bir miktar dönmesi de mümkün olabilmektedir. Buda sistemin daha büyük bir yatay öteleme değerinde nonlineer davranışa geçmesi anlamına gelmektedir. Böylece

nonlineer yerdeğiştirmenin lineer yerdeğiştirmeye oranı olan süneklik oranının (μ) azalmasına yol açmaktadır. Deprem yükü azaltma katsayısının ($R = R_\mu R_s R_\xi$) bir çarpanı olan süneklik oranının azalması R katsayısının azalmasıyla sonuçlanmaktadır. Şekil 5.3 de zemin türlerine bağlı sistH6L20 ye ait P-Δ eğrileri toplu olarak verilmiştir. Ayrıca Şekil 5.4 de Zemin Sınıfı R İlişkisi gösterilmektedir.



Şekil 5.3 Zemin Türlerine Bağlı Sisth6L20 ye Ait P-Δ Eğrileri



Şekil 5.4 Zemin Sınıfı R İlişkisi

KAYNAKLAR

[1] Özer, E., 2004. Yapı Sistemlerinin Lineer Olmayan Hesabı, Ders Notları, İ.T.Ü. İnşaat Mühendisliği Fakültesi, İstanbul.

[2] Özer, E., İrtem, E., Orakdöğen, E., Girgin, K., Doğaner, S. Ve Kurtuldu, S., 1994. Çok katlı çelik yapıların deprem kuvvetleri altında gerçek göçme güvenliklerinin belirlenmesi ve depreme dayanıklı yapı tasarımı, TeknikRapor,**İNTAG 505**, TÜBİTAK, Ankara.

[3] Karacan, M. A., 1999. Boşluklu perdeler içeren çok katlı betonarme yapı sistemlerinin lineer olmayan davranışlarının incelenmesi ve süneklik düzeylerinin belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fenbilimleri Enstitüsü, stanbul.

[4] Özer, E., 1987. Determination of second-order limit load by a method of load increments, Bulletion of the Technical University of İstanbul, **40, 4,** 815-836.

[5] İrtem, E., 1991. Uzay çubuk sistemlerde ikinci mertebe limit yükün hesabı için bir yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. . Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[6] Girgin, K., 1996. Betonarme yapı sistemlerinde ikinci mertebe limit yükün ve göçme güvenliğinin belirlenmesi için yük artımı yöntemi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[7] FEMA 273, 1997. NEHRP Guidelines fort the Seismic Rehabilitation of Buildings, Applied Technology Council, Washington.

[8] ATC 40, 1996. Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Applied Technology Council, California.

[9] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik, 1998. İmar ve İskan Bakanlığı Deprem Araştırma Enstitüsü Başkanlığı, Ankara.

[10] UBC97, Uniform Building Code Volume 2, 1997. International Conference of Building Officials, California.

[11] Eurocode 8, Earthquake Resistant Design of Stuructures, 1993. European Committee For Standartization, Brussels.

[12] Paulay, T. And Priestley, N., 1992. Seismic Designe of Reinforced Concrete and Masonry Buildings, John Wiley & Sons Inc., New York.

[13] Celep, Z. ve Kumbasar, N., 2000. Deprem Mühendisliğine Giriş ve Depreme Dayanıklı Yapı Tasarımı, İstanbul.

[14] Özcihan, B., 2002.Merkezi ve Dışmerkez Çaprazlı Çelik Yapı Sistemlerinde Lineer Olmayan Davranışın İncelenmesi ve Süneklik Düzeyinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fenbilimleri Enstitüsü, İstanbul.

[15] TS 648, 1998. Çelik Yapıların Hesap ve Yapım Kuralları, Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[16] Afet Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik Taslağı, 2005. TASLAK-1.

[17] Çakıroğlu, A., Özer, E. 1980. Malzeme ve Geometri Değişimi Bakımından Lineer Olmayan Sistsmler, Cilt I, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.

[18] ATC 19, 1995. Structural Response Modification Factors, Applied Technology Council, California.

[19] UZUNER, BA., 1998. Çözümlü Problemlerle Temel Zemin Mekaniği, Teknik Yayın Evi, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

01.01.1979 Trabzon doğumlu. İlk, orta ve lise eğitimini Sakarya da tamamladı. Lisans eğitimine 1998–1999 eğitim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde başladı. 2001–2002 eğitim yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden bahar yarıyılında mezun oldu. 2003–2004 eğitim yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı Yapı Bölümünde yüksek lisansa başladı.