

**PREFABRİKE BETONARME KOLONLARDAN DÜZ YÜZEYLİ  
YUVALI TEMELLERE AKTARILAN YÜKLEMENİN SONLU  
ELEMENLAR YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

**Burak UYAROĞLU**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TEMMUZ 2011**

**ANKARA**

Burak UYAROĞLU tarafından hazırlanan “PREFABRİKE BETONARME KOLONLARDAN DÜZ YÜZEYLİ YUVALI TEMELLERE AKTARILAN YÜKLEMENİN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Özgür ANIL

Tez Danışmanı, İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Tekin GÜLTOP

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Özgür ANIL

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Mehmet Emin KARA

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, ASÜ

Tarih:06/07/2011

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Burak UYAROĞLU

**PREFABRİKE BETONARME KOLONLARDAN DÜZ YÜZEYLİ YUVALI  
TEMELLERE AKTARILAN YÜKLEMENİN SONLU ELEMANLAR  
YÖNTEMİ İLE DOĞRUSAL OLMAYAN ANALİZİ**

**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Burak UYAROĞLU**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**Temmuz 2011**

**ÖZET**

90'lı yılların başından itibaren, ülkemizin sanayi sektöründe yaşanan büyümeye bağlı olarak ilave üretim alanlarına ihtiyaç duyulmuş, buna paralel olarak da fabrika binası inşaatlarında artış yaşanmıştır. Sanayi yapıları, taşıyıcı sistemleri bakımından incelendiğinde çelik ve prefabrike betonarme sistemlerin kullanıldığı görülmektedir. Prefabrike betonarme bina maliyetinin çelik binalara göre daha düşük olması, yatırımcıları prefabrike betonarme yapılara yöneltmektedir. Prefabrike yapı elemanları çoğunlukla depremde zarar görmeyecek kadar yüksek dayanımlı olmalarına karşın birleşim bölgelerindeki zayıflıklar, bu yapıların depremde beklenmedik hasarlar görmesine neden olmaktadır. Bu konu ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, yapı elemanlarının birbirleri ile olan bağlantılarıyla ilgili çok sayıda deneysel ve analitik çalışma bulunmasına karşın yuvalı kolon – temel bağlantısının incelendiği çalışma yok denecek kadar azdır. Bu çalışma kapsamında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, çok sayıda bilgisayar modeli oluşturulması ve kolon ile soket duvarı arasındaki gerilme transfer mekanizmasının incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda akademik alanda sıklıkla kullanılan ANSYS yazılımı kullanılmıştır. Öncelikle, Canha ve arkadaşları (2004) tarafından yürütülen, yuvalı temel kolon bağlantısının yatay ve düşey yükler altındaki davranışının incelendiği deneysel çalışmanın sonlu eleman modeli oluşturulmuş

ve elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılmış, oluşturulan sonlu eleman modelinin gerçeğe uygunluğu belirlenmiştir. Uygun analiz parametrelerinin tespitinden sonra, uygulamada sıklıkla kullanılan 400, 450, 500, 550 ve 600mm boyutlarındaki kare kesitli kolonlara ait yuva boyutları baz alınarak oluşturulan modellerin analizleri yapılmıştır. Modellere etkiyen yatay ve düşey yüklerin belirlenmesinde DBYYHY2007 ve TS498 hükümleri uygulanmıştır. Sonuç olarak; analizi yapılan 5 farklı boyuttaki modelin orta kesitindeki gerilme dağılımı incelenmiş, gerilmenin yuvanın alt ve üst ucunda, yaklaşık yuva derinliğinin yarısı yüksekliğinde bir bölgede ve üçgen biçiminde etkili olduğu görülmüştür. Elde edilen bu dağılım biçimi prefabrike betonarme yapılar yönetmeliğimizde (TS9967) önerilen gerilme aktarım mekanizması ile karşılaştırılmış, dağılımın TS9967’de verildiği gibi yuva derinliğinin üçte birinde ve düzgün yayılı biçimde olmadığı, yuva duvarının yaklaşık yarısında ve üçgen yayılı biçimde olduğu görülmüştür. Ayrıca çalışma sonucunda TS9967, DIN1045, Japon AIJ yönetmelikleri ile Canha vd. tarafından önerilen tasarım kuvvetleri, analizler neticesinde elde edilen gerilme değerleri ile karşılaştırılmış ve yuva tasarımında kullanılabilecek bir kuvvet formülü önerilmiştir. Gelecekte yapılacak olan çalışmalarda bu farklılığın olumlu ya da olumsuz yönlerinin tartışılması, varsa yönetmeliğimizin eksikliklerinin giderilmesi açısından faydalı olacaktır.

**Bilim Kodu** : 911.1.144  
**Anahtar Kelimeler** : kolon-temel birleşimi, yuvalı temel, ansys, sonlu elemanlar analizi, prefabrik  
**Sayfa Adedi** : 71  
**Tez Yöneticisi** : Doç. Dr. Özgür ANIL

**NONLINEAR FINITE ANALYSIS OF LOADING TRANSFERED FROM  
REINFORCED PRECAST CONCRETE COLUMNS TO SMOOTH  
INTERFACED SOCKET BASES  
(M.Sc. Thesis)**

**Burak UYAROĞLU**

**GAZI UNIVERSITY  
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
July 2011**

**ABSTRACT**

Since the beginning of 90s, depending on the growth of the industrial sector in Turkey, the need for more production areas have been emerged, in conjunction to this, factory constructions has been increased. If it is needed to classify the structural systems of industrial buildings, it can be seen that most common used ones are steel and precast concrete systems. The cost of precast concrete buildings is lower than the steel ones and this orients investors to the precast structural systems. Precast concrete structural elements are mostly as strong as not to have damage in the earthquake but weakness of connections between elements causes unexpected damages of structure during earthquake. While looking at the previous researches, it can be seen that there is a lack of investigations about socket type base connections although there were many experimental and analytical studies about the connections of precast structural elements. The aim of this thesis is to investigate the stress transfer mechanism between column and the socket wall with finite element method. For the finite element analysis ANSYS software was used which is commonly used in the academic area. First of all, a finite element model was created which is the simulation of experimental research executed by Canha et al (2004) under vertical and horizontal forces. Results of experimental research and finite element analysis were compared to create a successful simulation of

experimental program. After determining the acceptable parameters, models of socket bases were created. Model dimensions were chosen according to square section column sizes 400, 450, 500, 550 and 600mm which were mostly used in industrial buildings. Horizontal and vertical loads were calculated due to the regulations of earthquake code 2007 and TS498. As a result of this study, stress distribution at center section of the models were observed and it is found that the stress had been effected in a triangular distribution at the half of socket bottom and top. Obtained stress distribution type was compared with the distribution offered by the TS9967 and it is seen that the obtained stress distribiton is different than the offered one. Obtained distirubition is triangular at the half although offered by TS9967 is uniform at the 1/3 of socket depth. Also as a result of this study, the design forces given by TS9967, DIN1045, Japan AIJ and Canha et al were compared by the stress values obtained from the computer analysis and a force formulation had been offered to be used in design. The difference between obtained distirubiton and TS9967 offer may be discussed in the future studies to improve Turkey's precast concrete building regulations.

**Science Code : 911.1.144**

**Key Words : column-base connection, socket base, ansys, finite element analysis, precast**

**Page Number: 71**

**Advisor : Assoc. Prof. Özgür ANIL**

## TEŞEKKÜR

Bu tez alıőması sűresince benden yardımlarını esirgemeyen ve beni motive ederek yűnlendiren deęerli tez danıőmanım Doç. Dr. Őzgűr Anıl'a, beni yetiőtirip bugűnlere kadar getiren ve hiçbir zaman desteklerini esirgemeyen çok sevgili anne ve babama, yűksek lisans eęitimimin ve bu çalıőmanın her safhasında yanımda olan deęerli eőtım Yűk. Mimar İlkey Uyaroęlu'na ve bu çalıőmayı hazırlayabilmek için betonarme prefabrikasyon alanındaki bilgi birikimimi borçlu olduęum İnő. Yűk. Műh. A. Avni Őahin'e teőtakkűr ederim. Bu alıőma sevgili kızım Bilge'ye ithaf olunur.

## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
ÖZET .....	iv
ABSTRACT .....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER .....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ .....	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xvii
1. GİRİŞ .....	1
2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI .....	4
3. TEORİ.....	9
3.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Tarihçesi.....	9
3.2. Doğrusal Olmayan Davranış .....	11
3.3. Betonarmede Doğrusal Olmayan Davranış.....	12
3.4. Sonlu Elemanlar Modeli .....	12
3.4.1. Kullanılan sonlu eleman tipleri ve özellikleri .....	13
3.4.2. Kullanılan malzeme modelleri ve özellikleri .....	17
3.4.3. Etkiyen yükler ve hesap esasları .....	20
3.4.4. Yuva boyutları, donatı detayları ve hesap esasları.....	23
4. YÜRÜTÜLEN SONLU ELEMAN ANALİZLERİ.....	26
4.1. Doğrulama Amaçlı Yürütülen Analizler .....	26
4.1.1. Deney çalışmasının tanıtımı .....	26

	<b>Sayfa</b>
4.1.2. Deney numunesinin sonlu elemanlar modeli .....	27
4.2. Gerilme Aktarım Mekanizmasının Belirlenmesi Amacı İle Yürütülen Analizler .....	32
4.2.1. Tasarım yüklerinin belirlenmesi .....	32
4.2.2. Yuva boyutları ve donatı detayları .....	39
4.2.3. Sonlu eleman modellerinin genel özellikleri.....	45
4.3. Analizlerin Yürütülmesi ve Çözüm Opsiyonları.....	49
5. ANALİZ SONUÇLARI .....	51
5.1. Doğrulama Amaçlı Yürütülen Analiz Sonuçları.....	51
5.2. Gerilme Aktarım Mekanizmasının Belirlenmesi Amacıyla Yürütülen Analiz Sonuçları .....	54
5.2.1. Model 1 analiz sonuçları .....	54
5.2.2. Model 2 analiz sonuçları .....	55
5.2.3. Model 3 analiz sonuçları .....	56
5.2.4. Model 4 analiz sonuçları .....	57
5.2.5. Model 5 analiz sonuçları .....	58
5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi.....	59
5.4. Analiz Sonuçlarının Daha Önce Yapılan Çalışma Ve Yönetmeliklerle Karşılaştırılması .....	60
5.4.1. TS9967 Formülasyonu .....	61
5.4.2. Japon AIJ formülasyonu .....	61
5.4.3. Canha ve arkadaşları tarafından önerilen formülasyon.....	61
5.4.4. Sonuçların karşılaştırılması .....	62
5.5. Soket Üst Ucuna Etkiyen Kuvvetin Formülasyonu .....	63

	<b>Sayfa</b>
6. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	65
6.1. Sonuçlar.....	65
6.2. Öneriler .....	67
KAYNAKLAR .....	69
ÖZGEÇMİŞ.....	71

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.1. Deney numunesi modeli yuva betonu özellikleri .....	29
Çizelge 4.2. Deney numunesi modeli kolon betonu özellikleri .....	29
Çizelge 4.3. Deney numunesi modeli dolgu betonu özellikleri .....	30
Çizelge 4.4. Deney numunesi modeli $\phi 6.3$ çaplı donatı özellikleri .....	30
Çizelge 4.5. Deney numunesi modeli $\phi 8.0$ çaplı donatı özellikleri .....	31
Çizelge 4.6. Deney numunesi $\phi 10.0$ çaplı donatı özellikleri .....	31
Çizelge 4.7. <i>Solid65</i> elemanları için tanımlanan gerçek sabit setleri.....	31
Çizelge 4.8. <i>Conta174</i> elemanı için tanımlanan gerçek sabit seti.....	31
Çizelge 4.9. Model 1 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı .....	34
Çizelge 4.10. Model 2 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı .....	35
Çizelge 4.11. Model 3 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı .....	36
Çizelge 4.12. Model 4 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı .....	37
Çizelge 4.13. Model 4 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı .....	38
Çizelge 4.14. B/2 aksı kolonu mesnet reaksiyonları .....	39
Çizelge 4.15. Model 1-5 yuva betonu özellikleri.....	47
Çizelge 4.16. Model 1-5 kolon betonu özellikleri .....	47
Çizelge 4.17. Model 1-5 dolgu betonu özellikleri .....	48
Çizelge 4.18. Model 1-5 donatı özellikleri.....	48
Çizelge 4.19. Model 1 ve 2 <i>Solid65</i> elemanları için gerçek sabit setleri .....	49
Çizelge 4.20. Model 3,4 ve 5 <i>Solid65</i> elemanları için gerçek sabit setleri .....	49
Çizelge 4.21. Model 1-5 <i>Conta174</i> elemanı için gerçek sabit seti.....	49

<b>Çizelge</b>	<b>Sayfa</b>
Çizelge 4.22. Yürütülen analizlere ait sayısal veriler .....	50
Çizelge 5.1. Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması .....	52
Çizelge 5.2. Yuva üst ucu gerilme dağılım tablosu .....	59
Çizelge 5.3. Yuva alt ucu gerilme dağılım tablosu .....	59
Çizelge 5.4. Yuva tabanı gerilme dağılım tablosu .....	59
Çizelge 5.5. Soket üst ucuna etkiyen $V_0$ kuvvetleri (N) .....	62

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Osanai vd. tarafından soket yüzünde elde edilen gerilme dağılımı .....	4
Şekil 2.2. Alyavuz ve Anıl tarafından önerilen gerilme aktarım mekanizması .....	6
Şekil 2.3. Canha ve arkadaşları tarafından önerilen gerilme aktarım mekanizması ....	8
Şekil 3.1. Doğrusal ve doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme ilişkisi .....	11
Şekil 3.2. <i>Solid65</i> elemanının geometrisi .....	14
Şekil 3.3. <i>Targe170</i> hedef yüzey elemanı geometrisi .....	15
Şekil 3.4. <i>Targe170</i> hedef yüzey elemanı tipleri .....	16
Şekil 3.5. <i>Conta174</i> temas yüzey elemanı geometrisi .....	17
Şekil 3.6. Hognestad beton modeli .....	19
Şekil 3.7. Donatı çeliği $\sigma$ - $\epsilon$ grafiği.....	20
Şekil 3.8. TS9967'ye göre gerilme aktarım mekanizması .....	23
Şekil 3.9. TS9967 Tarafından önerilen yuva donatı yerleşimi.....	25
Şekil 4.1. Deney düzeneği.....	26
Şekil 4.2. IL1 deney numunesi boyutları ve donatı detayı.....	27
Şekil 4.3. Sonlu eleman modeli genel görünüşü, yükleme şekli ve mesnet koşulları	28
Şekil 4.4. Yuva ve kolon hedef - temas yüzeyleri ve donatılı <i>Solid65</i> elemanları ....	28
Şekil 4.5. Prefabrike betonarme sanayi yapısı çatı planı ve aks ölçüleri .....	33
Şekil 4.6. Çerçeve statik hesabında kullanılan sonlu eleman modeli .....	33
Şekil 4.7. Model 1 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti.....	34
Şekil 4.8. Model 2 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti.....	35
Şekil 4.9. Model 3 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti.....	36

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 4.10. Model 4 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti.....	37
Şekil 4.11. Model 5 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti.....	38
Şekil 4.12. Model 1 yuva boyutları ve donatı detayı .....	40
Şekil 4.13. Model 2 yuva boyutları ve donatı detayı .....	41
Şekil 4.14. Model 3 yuva boyutları ve donatı detayı .....	42
Şekil 4.15. Model 4 yuva boyutları ve donatı detayı .....	43
Şekil 4.16. Model 5 yuva boyutları ve donatı detayı .....	44
Şekil 4.17. Donatılı <i>Solid65</i> elemanları ve gerçek sabit seti numaraları .....	45
Şekil 4.18. Modellere uygulanan yüklemenin şekli.....	46
Şekil 5.1. Deney numunesinde deplasman ölçerlerin konum ve numaraları.....	51
Şekil 5.2. Analiz - deney karşılaştırmalı deplasman grafiği .....	52
Şekil 5.3. Deney modeli yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	53
Şekil 5.4. Deney modeli için yuva orta kesiti gerilme dağılımı.....	53
Şekil 5.5. Model 1 Yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	54
Şekil 5.6. Model 1 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı .....	54
Şekil 5.7. Model 2 Yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	55
Şekil 5.8. Model 2 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı.....	55
Şekil 5.9. Model 3 yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	56
Şekil 5.10. Model 3 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı.....	56
Şekil 5.11. Model 4 için yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	57
Şekil 5.12. Model 4 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı .....	57
Şekil 5.13. Model 5 için yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı.....	58
Şekil 5.14. Model 5 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı.....	58

<b>Şekil</b>	<b>Sayfa</b>
Şekil 5.15. Gerilme aktarım mekanizması .....	60

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler	Açıklama
$A(T)$	Spektral ivme katsayısı
$A_o$	Etkin yer ivmesi katsayısı
$A_s$	Donatı alanı
$b_1$	Yuva iç boyutu
BiComp-St	Nihai iki eksenli basınç gerilmesi
C	Yuvalı temelde diyagonal basınç kuvveti
$d_{fi}$	i'inci düğüm noktasının yer değiştirmesi
$E_c$	Beton elastisite modülü
EMIS	Yayım kabiliyeti katsayısı
EX	Malzeme elastisite modülü
F	Asal gerilme fonksiyonu
$f_1, f_2$	Beton 3 eksenli nihai basınç dayanımı değişkenleri
FACT	Statik/dinamik oranı
$F_b$	Bileşke yatay kuvvet
$f_c$	Beton nihai eksenel basınç dayanımı
$f_{cb}$	Beton nihai iki eksenli basınç dayanımı
$f_{ck}$	Beton karakteristik basınç dayanımı
$F_{fi}$	i'inci düğüm noktasına etkiyen fiktif yük
FKN	Normal penaltı rijitlik faktörü
FKOP	Açılma rijitliği
FKT	Tanjant penaltı rijitlik faktörü
$f_t$	Beton nihai eksenel çekme dayanımı
FTOLN	Girişim toleransı faktörü
$f_u$	Uygulanan yatay kuvvet
$f_y$	Donatı çeliği akma gerilmesi

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$f_{yk}$	Donatı çeliği karakteristik akma dayanımı
$g$	Yerçekimi ivmesi ( $9,81m/sn^2$ )
$h_1$	Yuva duvar kalınlığı
HydroPrs	Üç eksenli basınç gerilme durumu
$I$	Bina önem katsayısı
$k$	Büyütme katsayısı
$K$	Kilobyte
$l$	Yuva hesap uzunluğu
$l_b$	Kolonun yuva içinde kalan kısmının boyu
$M$	Kolondan yuvalı temele aktarılan moment
MAT	Malzeme
$M_d$	Hesap momenti
$m_i$	$i$ 'inci düğüm noktasının kütlesi
MU	Sürtünme katsayısı
$n$	Hareketli yük katılım katsayısı
$N$	Kolondan yuvalı temele aktarılan normal kuvvet
$N_b$	Bileşke normal kuvvet
$n_u$	Uygulanan normal kuvvet
PHI	X-Y düzlemi dışındaki açı
PRXY	Malzeme poison oranı
$q_{beton}$	Beton birim hacim ağırlığı
$q_{kaplama}$	Birim alandaki kaplama yükü
$q_{kar}$	Birim alandaki kar yükü
$R$	Taşıyıcı sistem davranış katsayısı
$R_a(T)$	Deprem yükü azaltma katsayısı
$S$	Göçme yüzeyi
$S(T)$	Spektrum katsayısı
ShrCf-CI	Kapalı çatlak için kesme kuvveti transfer katsayısı
ShrCf-Op	Açık çatlak için kesme kuvveti transfer katsayısı
$T$	Binanın doğal titreşim periyodu

<b>Simgeler</b>	<b>Açıklama</b>
$T_1$	Binanın birinci doğal titreşim periyodu
$T_a, T_b$	Spektrum karakteristik periyotları
TAUMAX	En büyük sürtünme gerilmesi
TenCrFac	Çatlamış çekme durumu için rijitlik çarpanı
THETA	X-Y düzlemi içindeki açı
$T_y$	Yuvalı temelde çekme kuvveti
UnComp-St	Nihai eksenel basınç gerilmesi
UnTens-St	Nihai eksenel çekme gerilmesi
V	Kolondan yuvalı temele aktarılan kesme kuvveti
$V_o$	Yuvalı temel üst ucu tasarım kuvveti
VR	Hacim oranı
$V_t$	Taban kesme kuvveti
$V_u$	Yuvalı temel alt ucu tasarım kuvveti
$V_y$	Yuvalı temel tasarım kirişi mesnet kuvveti
W	Binanın toplam ağırlığı
$w_i$	i'inci düğümün ağırlığı
$\varepsilon$	Birim şekil değiştirme
$\varepsilon_c$	Beton birim şekildeğiştirme
$\varepsilon_{co}$	Beton nihai birim kısalması
$\gamma_{mc}$	Beton için malzeme katsayısı
$\gamma_{ms}$	Donatı için malzeme katsayısı
$\mu$	Sürtünme katsayısı
$\rho$	Donatı oranı
$\sigma$	Gerilme
$\sigma_c$	Beton gerilmesi
$\sigma_{xp}, \sigma_{yp}, \sigma_{zp}$	Asal gerilme

<b>Kısaltmalar</b>	<b>Açıklama</b>
AIJ	Architectural Institute of Japan
ASCE	American Society of Civil Engineers
DBYYHY	Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Yönetmelik
DIN	Deutsches Institut für Norming
IBM	International Business Machines
TS	Türk Standardı
TÜİK	Türkiye İstatistik Kurumu

## 1. GİRİŞ

90'lı yılların başından itibaren, ülkemizin sanayi sektöründe hızlı bir büyüme yaşanmıştır. Sanayi sektöründeki büyümeye bağlı olarak ilave üretim alanlarına ihtiyaç duyulmuştur. Buna paralel olarak fabrika binası inşaatlarında artış yaşanmıştır. Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, 1997 yılı baz alındığında, 1992 yılı aylık ortalama sanayi endeksi 79,2 iken, 1997 yılı 100, 2008 yılı ise 141,8 olmaktadır [1]. Buna göre 1992 ile 2008 yılları arasındaki 16 yıllık dönemde, aylık ortalama sanayi endeksinin %79 oranında arttığı görülmektedir.

Sanayi yapıları, taşıyıcı sistemleri bakımından incelendiğinde çelik ve prefabrike betonarme sistemlerin kullanıldığı görülmektedir. Bunun başlıca nedenleri, geniş açıklıkların geçilebiliyor olması, inşaat süresinin kısa olması, fabrikasyon imalat olması nedeni ile inşaat sürecinin mevsim şartlarından etkilenmiyor olması ve kat yüksekliklerinin fazla olması olarak sıralanabilir.

Çelik ve betonarme taşıyıcı sistemler, karkas maliyeti açısından karşılaştırıldığında, aynı özelliklerdeki çelik binanın, betonarme binaya göre %96 daha pahalı olduğu görülmektedir [2]. Bu da yatırımcıların sistem seçiminde tercihlerini prefabrike betonarme sistemlerden yana kullanmalarına neden olmaktadır.

Prefabrike betonarme yapılar, fabrika ortamında üretilen kolon, kiriş, döşeme gibi yapı elemanlarının şantiye sahasında birleştirilmesi ile inşa edilirler. Üretimde yapılan kontroller, standardizasyon, kür uygulamaları, geleneksel betonarme sistemlere göre yüksek dayanımlı beton kullanılması ve öngerme tekniği ile büyük açıklıkların geçilebilmesi bu sistemin önemli avantajlarıdır.

Ülkemiz yüzölçümünün %96'sı deprem bölgesi olup %42'si ise 1.derece deprem bölgesi sınırları içerisinde yer almaktadır [3]. Yüksek dayanımlı beton kullanılarak üretilen bu yapı elemanları çoğunlukla depremde zarar görmeyecek kadar dayanımlı olmalarına karşın birleşim bölgelerindeki zayıflıklar, onların depremde beklenmedik hasarlar görmesine neden olmaktadır [4].

Prefabrike betonarme yapı elemanlarının birleşim bölgeleri ile ilgili geçmişte yapılan çalışmalar incelendiğinde, kolon-kiriş birleşim bölgesinde uygulanan bağlantı tipleri ile ilgili çok sayıda deneysel ve analitik çalışma bulunmasına karşın kolon-temel birleşimi ile ilgili çalışma yok denecek kadar azdır.

Prefabrike betonarme yapıların kolon-temel bağlantıları için uygulanan farklı alternatifler olmakla beraber ülkemizde yaygın olarak kullanılan bağlantı şekli yuvalı temellerdir. Bu sistemde şantiye sahasında, yerinde dökme olarak imalatı yapılan temel pabucu üzerinde, sömel ile monolitik bağlı, soket adı verilen yuvalar bulunmaktadır. Yuvalar 4 tarafı perde duvarlarla teşkil edilmiş, üstü açık kutu şeklindeki betonarme yapılardır. Fabrikada üretimi tamamlanarak şantiye sahasına sevkiyatı yapılmış prefabrike kolonlar, soket içerisine yerleştirilerek, ahşap kamalar yardımıyla sabitlenmektedir. Dikliği ve aks kaçıklıkları ayarlanan kolonlar ile soket arasında kalan boşluğa beton dökülerek, kolonun sabitlenmesi sağlanmaktadır. Soket ile kolon arasındaki boşlukta donatı bulunmamaktadır.

Yuvalı temel tipi aynı zamanda çelik kolonların da temel bağlantıları için yenilikçi bir tasarım önerisi olarak kabul edilmektedir [5].

1998 Adana – Ceyhan ve 1999 Kocaeli depremlerinde, prefabrike betonarme yapılar ile ilgili olarak en çok gözlemlenen hasar tipi, kolon üst ucunun deplasmanı sonucu kolon-kiriş birleşim bölgelerinin zarar görmesidir. Bu tip yapılarda genellikle kolonlar tabanda ankastre, üst ucu ise mafsalı olarak teşkil edilmektedir. Bu nedenle kat yükseklikleri diğer yapılara oranla fazla olan prefabrike betonarme yapıların, kolon temel bağlantısında meydana gelebilecek hareketler, kolon üst ucunda büyük deplasmanlara neden olabilecektir. Temel kolon birleşim bölgesinde kolonlardan temele aktarılan yatay deprem kuvvetlerinin nasıl bir mekanizma ile iletildiği ve temele aktarılan gerilmenin dağılımı ile geometrisi doğru olarak belirlenmelidir [6].

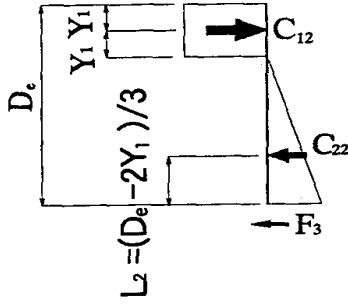
Yuvalı temeller ile ilgili yapılan sınırlı sayıdaki deneysel ve analitik çalışma incelendiğinde, kolondan soket duvarına aktarılan gerilmenin transfer mekanizması ile ilgili farklı öneriler olduğu görülmüştür. Buna bağlı olarak, bu çalışma

kapsamında, sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak, bir bilgisayar modeli oluşturulmasına ve kolon ile soket duvarı arasındaki gerilme transfer mekanizmasının incelenmesine karar verilmiştir. Bu amaçla, öncelikle daha önceden yapılmış bir deneysel çalışmanın verileri kullanılarak, bir kontrol modeli oluşturulması düşünülmüştür. Bu modelin sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçların, deney verileri ile karşılaştırılması planlanmış olup, bu sayede sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek gerçeğe en yakın sonlu eleman modeli elde edilmeye çalışılacaktır. Yapılan bu çalışma deneyi yapılmamış sonlu eleman modellerinin analizinden elde edilen sonuçların doğruluğunun hangi limitler dahilinde olduğunun bilinmesi açısından faydalı olacaktır. Yapılan sonlu eleman analizleri sonucunda birçok yuvalı temel örneği, deney yapılmadan, bilgisayar yardımı ile çözümlenerek, gerilme transfer mekanizması ile ilgili yorum yapılabilecektir.

Bu tez çalışması kapsamında, öncelikle, Canha ve arkadaşları (2004) tarafından gerçekleştirilen, yuvalı temel kolon bağlantısının yatay ve düşey yükler altındaki davranışının incelendiği deneysel çalışmanın sonlu eleman modeli oluşturulacaktır. Kolon ile yuva çeperi arasındaki davranış, iki farklı nitelikteki beton kütesinin birbirine teması sonucu yük aktarımıdır. Bu da doğrusal olmayan bir yüzey-yüzey teması probleminin çözümünü gerektirmektedir. Bu amaçla, akademik alanda sıklıkla kullanılan, bünyesinde beton ve yüzey teması elemanları da dahil olmak üzere çok sayıda özel eleman tipini barındıran, doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri yapabilen ANSYS yazılımı kullanılacaktır. Yazılımda temas yüzeyi, beton, donatı ve yükleme özellikleri gibi gerekli tanımlamalar yapıldıktan sonra doğrusal olmayan sonlu eleman analizleri yürütülecek ve bu analizlerden elde edilen sonuçlar, deney sonuçları ile karşılaştırılacaktır. Bu sayede oluşturulan sonlu eleman modelinin doğruluğu sorgulanacak, eksik ve avantajlı tarafları ortaya koyulacaktır. Uygun analiz parametrelerinin belirlenmesinden sonra, uygulamada sıklıkla kullanılan kolon ve temel boyutları baz alınarak oluşturulacak modellerin analizleri yapılacaktır. Çok sayıda modelin analizinden elde edilen sonuçlar değerlendirilerek prefabrik betonarme kolon ile yuvalı temel bağlantısının gerilme transfer mekanizması yorumlanacaktır.

## 2. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Kolon yuvalı temel bağlantısının gerilme aktarım mekanizmasına dair Osanai, Watanabe ve Okamoto (1996) tarafından yapılan çalışmada Alman DIN 1045 ve Japon AIJ Recommendations. yönetmeliklerinde yer alan yük aktarma mekanizmasına alternatif olan ve soket ile kolon yüzü arasındaki sürtünme kuvvetlerini de teorik formülasyona dahil eden bir yaklaşım irdelenmektedir. Daha sonra formülasyonun kontrolü amaçlı deneysel bir çalışma da yapılmıştır. Bu deneysel çalışmada kolon yüzü ve soket yanakları arasında sürtünmenin daha iyi oluşabilmesi için kesme kilidi kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Elde edilen teorik formülasyon sonuçları ile deney sonuçlarının benzeşim gösterdiği görülmüştür. Bu çalışmadan elde edilen genel sonuçlar soket gömülme boyu kolonun en büyük boyutunun 1,5 katına eşit veya büyük olduğu zaman iyi kenetlenme olduğu ve kesme kilidi olsun veya olmasın kolonun eğilme kapasitesine ulaşarak kırıldığı, yani bağlantının bir rijitlik sorunu çıkartmadığı sonucuna varılmıştır. Bu değer 1,25'e kadar indirilebileceği; fakat bu değer altına inildiği zaman sorun olmaması için kesme kilidi kullanılması önerilmiştir [7].



Şekil 2.1. Osanai vd. tarafından soket yüzünde elde edilen gerilme dağılımı [7]

Özmen ve Zorbozan (1997) tarafından yapılan çalışmada genel olarak kolon yuvalı temel bağlantısının gerilme aktarım mekanizması incelenmemiştir. Piyasada soket temellerin boyutlandırılması ve donatı alanlarının belirlenmesi amacıyla yönelik olarak kolay ve gerçeğe yakın sonuçlar elde edebilmek için sonlu eleman modellemesi ve buna ek olarak 3 farklı yöntemle analiz yapılmış ve sonuçları

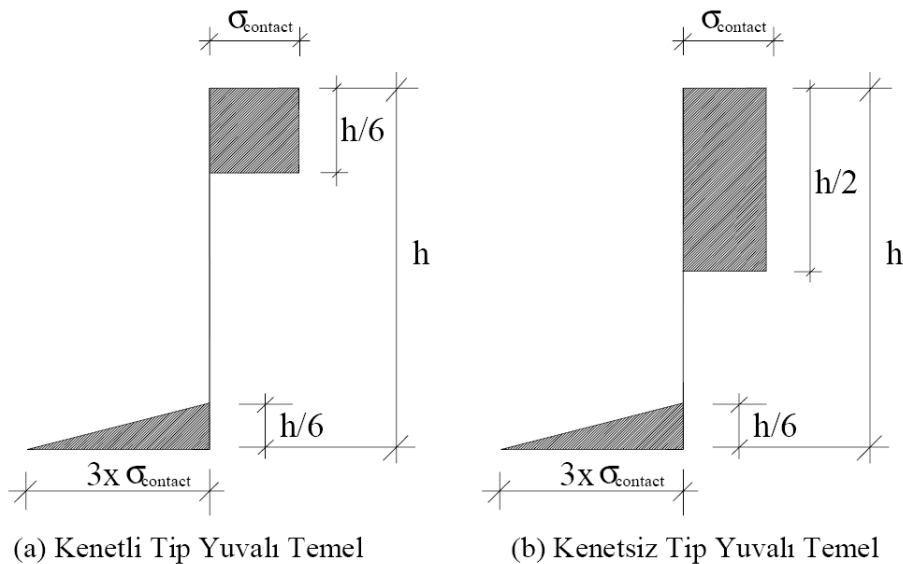
karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak sonlu eleman modellemesinden elde edilen sonuçlar kullanılarak analizcilerin kullanımına yönelik tablo ve grafikler verilmiştir [8].

Ataköy (1994) tarafından yapılan bir diğer çalışmada da kolon yuvalı temel bağlantısının gerilme aktarım mekanizması incelenmemiştir. Fakat soket temeller ile ilgili TS9967 ile ilgili bazı yararlı öneriler ve uygulamacılara yönelik olarak bazı yanlış anlamaları gidermek için açıklamalara yer verilmiştir. Ayrıca kenetli ve kenetsiz tip soket temellerde zımbalama analizi için yönetmelikte bir düzeltme ve ek önerisi de bu çalışmada yer almaktadır [9]

Karadoğan ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan çalışmada yuvalı temellere yerleştirilen prefabrike betonarme kolonların üst noktası deplasman sınırları ve tam ankastre olarak davranış gösterip göstermedikleri incelenmiş ve deneysel sonuçlar, kuramsal sonuçlar ile karşılaştırılmıştır. Bu çalışma sonucunda yuva içine yerleştirilen prefabrike betonarme kolonlarla benzeri geleneksel kolonların tek yönlü yatay yükler etkisindeki davranışları arasında önemli hiç bir fark gözlenmemiştir. Prefabrike kolon ve yuvalı temel bağlantısı için kullanılan harç ve uygulanan detaylar prefabrike kolonların geleneksel kolonlardan davranış yönünden farklı görmek için bir neden olmadığına değinilmiştir. Dolayısıyla da görelî kat deplasmanlarının prefabrike kolonlar için daha da kısıtlanmasına gerek olmadığı gibi prefabrike kolonların kullanıldıkları binaların işlevlerine göre geleneksel kolonlara uygulananlardan daha büyük deplasman yapabilmelerine izin verilebileceği söylenmiştir. Bu durumun gerek öngörülen süneklik gerekse dayanım yönünden hiçbir sakıncası olmayacağı düşünülmektedir. Prefabrike kolonları çanağa bağlayan harç ile çanak arasında ortaya çıkan düşey ve yatay deplasmanların yok sayılacak düzeyde olduğu belirtilmiş, pratik olarak harçta da hasar gözlenmemiştir [10].

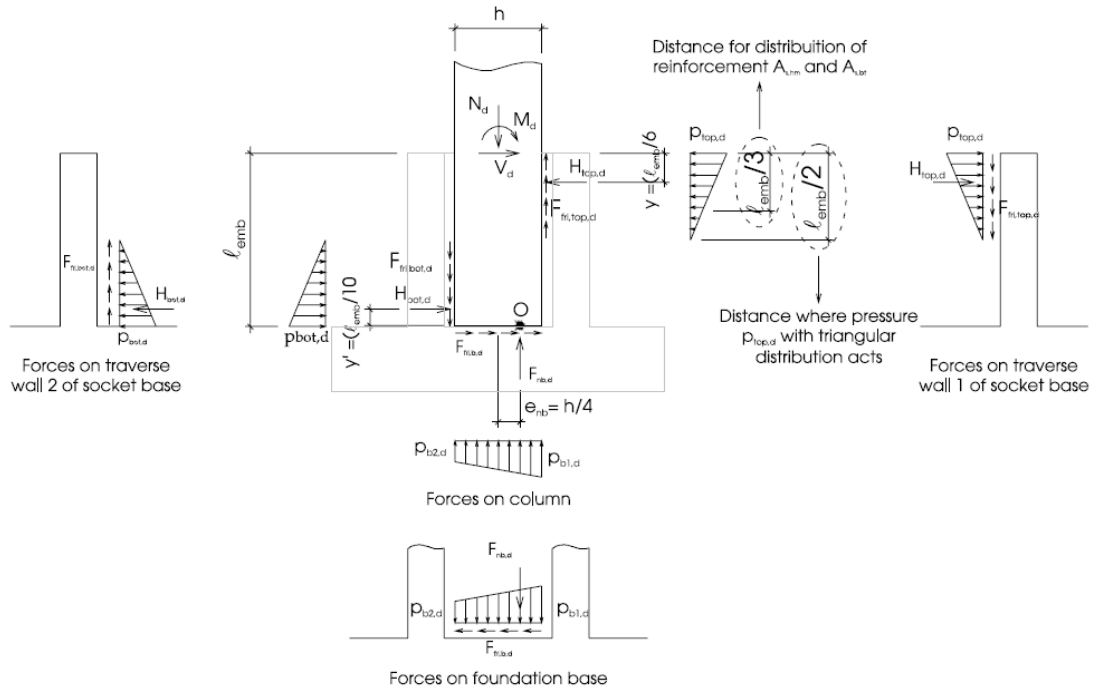
Karadoğan ve arkadaşları (1997) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise genel olarak soket temellerin kolon uç noktasının tek yönlü ve çift yönlü yüklemeler altında yaptığı deplasman miktarı ve bu deplasmanı etkileyen faktörler incelenmiştir. Elde edilen sonuçların prefabrik yapılar için istenen deformasyon sınırlarının içinde kalıp kalmadığı kontrol edilmiştir [11].

Alyavuz ve Anıl (2007) tarafından yapılan çalışmada ise daha önce yapılan çalışmalarda, yuvalı temel kolon birleşim bölgesindeki yük aktarım mekanizmasının hesaplanabilmesi için basitleştirici kabuller yapılmış olduğu vurgulanmış, bu nedenle kolon ve yuvalı temel birleşim bölgesinde oluşan yük aktarım mekanizmasının gerçeğe uygun olarak analiz edilebilmesi için bir çalışma yapılmıştır. Kolon ve yuvalı temel arasındaki birleşimde üst yapıdan yuvalı temele iletilen yüklemenin zamanla değişen temas yüzeyi ve yükleme dağılımı nedeniyle doğrusal olmayan sonlu elemanlar ile ANSYS programı kullanılarak analizi yapılmıştır. Yapılan sonlu eleman analizi sonuçları yüklemenin temas yüzeyi yüksekliğinin yarısına dağıldığını göstermiştir. Literatürde önerilen basitleştirilmiş gerilme dağılımlarının şekil olarak doğrusal olmayan sonlu eleman analiz sonuçlarına benzediği ancak temas yüzeylerinde oluşan gerilmelerin dağılım gösterdiği uzunluklarda farklılıklar olduğu görülmüştür. Sonuç olarak bu çalışmada oluşturulan modellerin 2 boyutlu olmaları nedeniyle perde veya panolar gibi daha rijit düşey taşıyıcı elemanların birleştiği sürekli yuvalı temeller için daha gerçekçi sonuç vereceğine değinilmiş olup, bu konu ile ilgili kesin yargılara varılabilmesi için analiz sayısının artırılması ve üç boyutlu modellerin de oluşturularak analizlerin tekrarlanması gerektiği belirtilmiştir [6].



Şekil 2.2. Alyavuz ve Anıl tarafından önerilen gerilme aktarım mekanizması [6]

Canha ve arkadaşları (2009) tarafından yapılan çalışmada da yuvalı temel kolon birleşim bölgesindeki yük aktarım mekanizması açıklanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla deneysel çalışma yürütülmüş, kenetli ve kenetsiz tip yuvalı temeller için, deney sonuçları ile uyumlu, 2 farklı yük aktarım mekanizması önerilmiştir. Çalışma kapsamında 6 adet numune kullanılmış olup, bunlardan ilk 4 tanesi kenetsiz, kalan 2 tanesi de kenetli tipte numunelerdir. Numuneler 1/1 ölçekli olup, boyutların belirlenmesinde uygulamada sıklıkla kullanılan kolon boyutu olan 400x400 mm seçilmiştir. Kenetsiz tip 1, 2 ve 3 numaralı numunelerin yuva derinliği 2x400 mm, 4 numaralı için ise 1,6x400 mm olarak seçilmiştir. Kenetli tip 1 ve 2 numaralı numuneler için yuva derinliği 1,6x400 mm, 3 numaralı numune için ise 1,2x400 mm olarak seçilmiştir. Kolon üst ucundan normal kuvvet ve moment uygulanarak deneyler yapılmış, numunelerin göçme yükleri, soket duvarlarındaki çatlaklar, dikey donatıların davranışı, yan yuva duvarlarının üst uçlarının eğilme davranışı, ön yuva duvarının üst ucundaki ile arka yuva duvarının alt ucundaki yatay donatıların davranışı incelenmiştir. Deneysel veriler ile teorik sonuçların karşılaştırılması sonucu, deneysel verilerle örtüşen sonuçlar veren bir dizayn modeli önerilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda, kenetsiz tip 2 ve 3 numaralı numunelerin yan duvarları, kısa konsol davranışı sergilediği görülmüş, ancak derinliği düşürülmüş olan 4 numaralı numunede aynı davranış görülmemiştir. Kenetli tip 1 ve 2 numaralı numuneler, monolitik davranış sergilemiş olup derinliği düşürülmüş 3 numaralı numunenin diğerlerine göre dayanımında %23 azalma gözlemlenmiştir. Tüm numunelerin ön duvarlarının üst ucunda eğilme çekmesi görülmüş olup kenetli numunelerin arka duvarlarının da üst uçlarında eğilme çekmesi gözlemlenmiştir. Kenetsiz tip için önerilen dizayn modelinin 2 ve 3 numaralı numunelerden elde edilen sonuçlara çok yakın olduğu görülmüştür [12].



Şekil 2.3. Canha ve arkadaşları tarafından önerilen gerilme aktarım mekanizması

[12]

### 3. TEORİ

Sonlu elemanlar metodunda yapı davranışı daha önce belirlenmiş olan bir çok elemana bölünür. Elemanlar düğüm adı verilen noktalarda tekrar birleştirilirler. Bu şekilde matematiksel bir denklem takımı elde edilir. Bu denklemler düğüm noktalarındaki denge denklemleridir. İncelenen probleme bağlı olarak bu şekilde yüzlerce hatta binlerce denklem elde edilir. Bu denklem takımının çözümü ise bilgisayar kullanımını zorunlu kılmaktadır.

Sonlu elemanlar yöntemi enerjinin korunumu prensibine dayanmaktadır. Sistemi deformasyona zorlayan kuvvetin yaptığı iş, yapının şekil değiştirme enerjisine eşittir. Enerjinin korunabilmesi için deformasyonların da geri dönebilmesi yani doğrusal davranış göstermesi gerekir. Ancak gerçek hayatta büyük deformasyonlar, plastikleşme ile enerji sönmüleyen ve geri dönüşü olmayan olaylardır. Bu nedenle sonlu elemanlar yöntemini gerçek hayat problemlerinin çözümünde kullanabilmek için doğrusal olmayan davranışın tanımlanması gerekmektedir.

#### 3.1. Sonlu Elemanlar Metodunun Tarihçesi

1952 den önce yapısal analiz, uzayda sadece 2 noktaya bağlı elemanlar ile sınırlıydı. Mühendisler, yapının membran ve plak davranışı gösteren kısımlarını modellemek için Hrennikoff ve McHenry tarafından geliştirilen kafes analogisini kullanıyorlardı. Ancak bu analogi dikdörtgen olmayan alanlara uygulanamıyordu. Ray Clough bu problemle ilk defa 1952 ve 1953 yıllarının yazında katıldığı Boeing yaz fakülte programında karşılaştı. Bu dönem içerisinde yapı dinamiği bölüm başkanı Jon Turner ile çalıştı. Turner, Clough'tan düşük oranlı kanatların eğilme ve burulma rijitliği etki katsayılarını hesaplamasını istedi. Clough, uçları arkaya doğru 45 derece açı ile uzanan kutu kanat konstrüksiyonu üzerinde yapılmış deney sonuçları ile sadece tek boyutlu elemanların kullanıldığı yapısal analiz modelinden elde edilen sonuçların uyuşmadığını gördü. Clough tarafından yapılan ve ayrıntılı bir şekilde belgelenen bu önemli tarihi çalışma Turner'a doğrusal üçgen elemanın (constant strain triangle) geliştirilmesi için ana fikri verdi. Turner bu çalışmasını 1954 yılında Havacılık

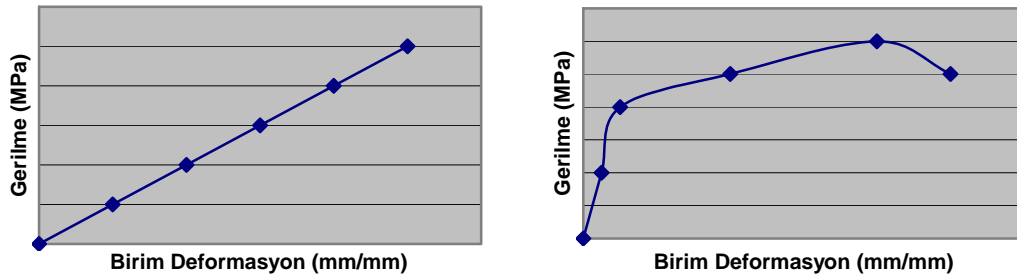
Bilimi Enstitüsü toplantısında sundu. Çalışma ancak Eylül 1956'da yayınlanabildi [13]. Böylece bu çalışma ile sonlu elemanlar metodu olarak anılan prosedür ilk defa yayınlanmış oldu. Bu çalışmada üçgen, dörtgen ve dikdörtgen olmak üzere 3 farklı sonlu eleman geliştirilmişti [14]. Sonlu elemanlar yöntemi isim olarak ilk defa yine Clough tarafından 2. ASCE elektronik hesaplamalar konferansında Eylül 1960'ta yayınlanan *Düzlem Gerilme Analizi İçin Sonlu Elemanlar Yöntemi* isimli bildiriye kullanılmıştır.

Sonlu elemanlar metodu, bilgisayar destekli yapı analizinde, ilk defa Clough tarafından kullanılmıştır. 1957 yılında Berkeley Üniversitesi'nde yapısal analiz araştırma programına katılan Clough, yapıların bilgisayar ile analizi konusunda çalışmalar yürütmüştür. 1956 yılında Mühendislik Fakültesi'ne kurulan, 4K 16 bit belleğe sahip IBM 701 dijital bilgisayarın en fazla 40 denklem çözebilme yeteneği bulunuyordu. Clough kampüsteki bilgisayar grubu ile çalışarak bir matris hesap yazılımı geliştirdi. Bu yazılım sayesinde öğrenciler programlama bilmeden de sonlu eleman problemlerini bilgisayar yardımı ile çözebileceklerdi. Geliştirilen alt matris teknikleri ve teyp kayıt sistemi kullanımıyla da daha büyük sistemlerin çözümü sağlanarak sonlu elemanlar yönteminin, bilgisayarlı yapısal analizlerde kullanımı yolunda ilk adım atılmış oldu.

Doğrusal olmayan ilk bilgisayarlı sonlu eleman analizi ise 1959 yılında Berkeley Üniversitesi kampüsüne kurulan IBM 704 bilgisayar ile yapılmıştır. 32K 32 Bit belleği ve aritmetik işlemcisi IBM 701'e göre 100 kat daha hızlı olması nedeni ile uygun sonlu eleman ağları kullanarak gerçek yapıların modellenmesine imkan tanıyordu. Yapısal analiz araştırma programında, Clough yönetiminde çalışan Wilson, klasik doğrusal olmayan Ramburg-Osgood moment eğrilik ilişkisi denklemini kullanarak, 2 boyutlu bir çerçeve analiz programı yazdı. Bu yazılımda yükler artımsal olarak uygulanıyor ve bir itme analizi oluşturulmuş oluyordu. Bu çalışmanın sonucunda artımsal yük yaklaşımının genel olduğu ve tüm sonlu eleman sistemlerine uygulanabileceği görülmüş oldu [13].

### 3.2. Doğrusal Olmayan Davranış

Yükleme boyunca gerilme şekil değiştirme ilişkisinin belirli bir oranda sabit kalması doğrusal davranış olarak isimlendirilir. Mekanik özellikleri bilinen birçok malzeme, uygulanan küçük gerilmeler altında doğrusal davranış göstermesine karşın, artan gerilmeler etkisi altında, şekil değiştirmelerin de aynı oranda artmadığı ve değişkenlik gösterdiği bilinmektedir. Bu davranış biçimine de doğrusal olmayan davranış denir.



a) Doğrusal davranış

b) Doğrusal olmayan davranış

Şekil 3.1. Doğrusal ve doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme ilişkisi

Yapı sistemlerinin dış yükler altındaki davranışının doğrusal olmaması genel olarak malzemeden ve geometri değişiminden kaynaklanmaktadır. Doğrusal olmayan malzemeden yapılmış sistemlerde artan dış yüklerle birlikte, iç kuvvetler de artarak bazı kesitlerde doğrusal elastik sınırı aşmakta ve bu kesitler civarında doğrusal olmayan şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Bazı yapı sistemlerinde, sistemin özelliklerinden kaynaklanan nedenlerle, geometrik uygunluk koşulları sağlanmayabilir. Bu durumda, sistemde geometrik süreksizlikler meydana gelir. Özellikle sistemi oluşturan elemanların sınır koşullarındaki bu süreksizlikler nedeniyle, sistemde doğrusal davranışı meydana gelmez. Bu tür sistemlere, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemler denir ve bu sistemler malzeme bakımından doğrusal olmayan sistemler gibi incelenebilir. Kayıcı bulonlu düğüm noktaları içeren çelik yapı sistemleri, geometrik süreksizlikler bakımından doğrusal olmayan sistemlere bir örnek oluşturmaktadır.

### 3.3. Betonarmede Doğrusal Olmayan Davranış

Basit eğilme etkisi altındaki dikdörtgen bir kesitteki moment-eğrilik ilişkisinde, düşük eğilme momenti değerlerinde betonda çekme ve basınç gerilmeleri oluşurken, donatı elastik davranış sergiler. Beton kesitin tamamı davranışta etkili olduğu için donatının katkısı bu süreçte sınırlı olur. Beton kesitin brüt atalet momenti ve malzemenin elastisite modülü kesitin eğilme rijitliğinde etkilidir. Eğilme momenti değerinin artmasıyla çekme bölgesindeki beton çatlaklar ve çatlak tarafsız eksene doğru hareket eder. Betonun çatlamasıyla doğrusal davranıştan doğrusal olmayan davranışa geçilmiş olur ve artan gerilmelerle yavaş yavaş daha da belirgin duruma gelir. Eğilme momenti artarken, beton basınç gerilmeleri dağılışı doğrusal olmayan bir değişimle oluşur ve donatı akma gerilmesine ulaşır. Bu moment değeri akma momenti olarak isimlendirilir. Artan moment etkisi altında donatı plastik uzama yaparken, betonda da doğrusal olmayan gerilme şekil değiştirme değişimi çok daha belirgin bir hal alır. Donatının uzama kapasitesi büyük olduğu için, betonun en büyük kısılma kapasitesine ulaşmasıyla güç tükenmesi oluşur ve kesit taşıma gücüne ulaşmış olur [15].

### 3.4. Sonlu Elemanlar Modeli

Sonlu elemanlar analizinde doğru sonuçlar elde edebilmek için modeli oluşturan elemanların ve malzemenin davranışı kadar, oluşturulan sonlu eleman ağı, düğüm noktası sınır koşulları, mesnet şartları, hesap yükü ve uygulanma şekli, analiz için seçilen yazılımın sonuçlarının güvenilirliği de matematiksel modelin tamamının davranışı ve kusursuz bir model oluşturulması açısından önemlidir.

Bu amaçla, bu tez çalışmasında yürütülen sonlu eleman analizlerinde, 1970 yılından bu yana yapı mekaniği, fizik, akışkanlar dinamiği, dinamik ve elektromanyetik gibi bir çok alanda kullanılan ANSYS yazılımının 10.0 UP20050718 versiyonu kullanılmıştır. ANSYS yazılımının akademik çalışmalarda sıklıkla kullanılıyor olması, bünyesinde beton ve betonarme davranışını da içeren birçok sonlu eleman tipini barındırması, doğrusal olmayan malzeme modellerinin kullanılabilmesi, 3

boyutlu yüzey-yüzey teması problemlerinin çözümüne imkan tanıyor olması ve analiz sonuçlarının birçok akademik çalışmada deneysel veriler ile doğrulanmış olması analizler için ANSYS yazılımının seçilmesinin nedenlerinden bazılarıdır.

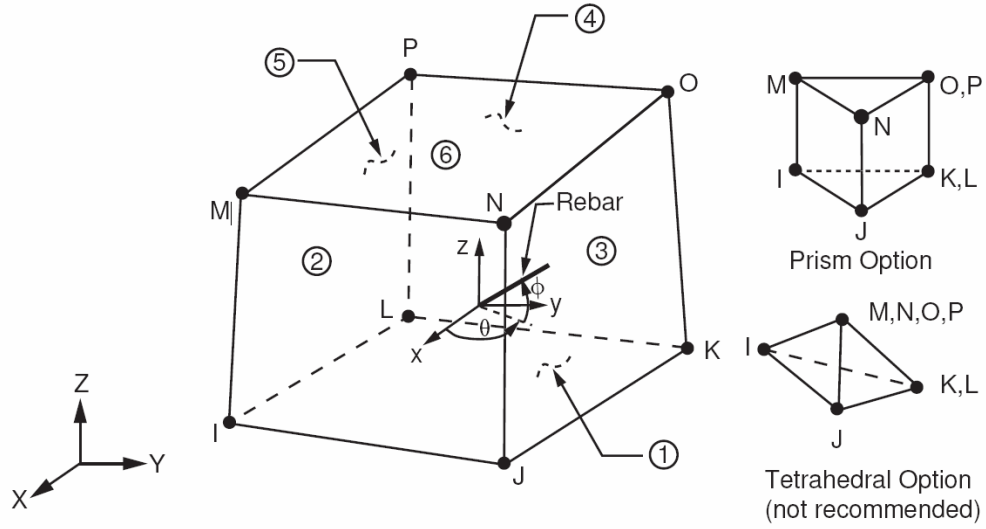
### 3.4.1. Kullanılan sonlu eleman tipleri ve özellikleri

Yuvalı temellerin sonlu eleman modelleri, ANSYS eleman kütüphanesindeki *Solid65*, *Targe170* ve *Conta174* elemanları kullanılarak hazırlanmıştır. Yuvalı temelin betonarme kısımlarında, donatılı ve donatısız beton davranış özelliklerinin tanımlanabildiği *Solid65* elemanı, kolonun yuva içerisinde kalan kısmının yüzeyinin modellenmesinde, yüzey temas elemanı olarak *Conta174*, yuva dolgu betonunun kolon ile temas ettiği yüzeyin modellenmesinde ise hedef elemanı olarak *Targe170* elemanı kullanılmıştır.

#### Solid65 elemanı

*Solid65* elemanı, betonun donatılı ya da donatısız olarak modellenmesine imkan tanıyan, 3 boyutlu katı cisim elemanıdır. Çekme gerilmeleri altında çatlama, basınç gerilmeleri altında da ezilme özelliklerine sahiptir. Sabit setleri kullanılarak eleman içinde, X, Y ve Z yönlerinde, her yön için ayrı oranlarda donatı tanımlanmasına imkan verir. Donatı miktarı hacimsel oran ile ifade edilir. Tanımlanan donatılar çekme ve basınca çalıştırılabilir ancak kesme kuvveti almazlar. 8 düğüm noktasına sahip elemanın her düğüm noktasında X, Y ve Z yönlerinde hareket olmak üzere 3 serbestlik derecesi bulunmaktadır. Bu elemanın en önemli özelliği, doğrusal olmayan eleman özelliklerinin ANSYS kütüphanesindeki benzer özelliklerdeki elemanlara göre daha üstün olmasıdır.

*Solid65* elemanın plastisite, sünme, rötre, büyük deformasyonlara izin verme, büyük zorlanmalara izin verme, gerilmeye bağlı rijitlik gibi bazı kendine has özellikleri de bulunmaktadır.



Şekil 3.2. *Solid65* elemanın geometrisi [16]

*Solid65* elemanı, betonun göçme parametrelerinin tanımlanmasına imkan verdiği için, sistemin davranışını kontrol edebilme imkanı da sunmaktadır. Yazılım hesaplamalarda Willam – Warnke göçme kriterini kullanmaktadır.

Bilindiği üzere Willam – Warnke göçme kriteri betonun 3 eksenli gerilme altındaki davranışının Eş. 3.1 ile ifade edildiği, 5 parametrelili temel bir modeldir.

$$\frac{F}{f_c} - S \geq 0 \quad (3.1)$$

Burada F asal gerilmenin ( $\sigma_{xp}$ ,  $\sigma_{yp}$ ,  $\sigma_{zp}$ ) bir fonksiyonu, S asal gerilme terimleri ve 5 parametre ile ifade edilen göçme yüzeyidir. Bu parametreler  $f_c$ ,  $f_t$ ,  $f_{cb}$ ,  $f_1$ ,  $f_2$  dir.

$$f_{cb} = 1.2f_c \quad (3.2)$$

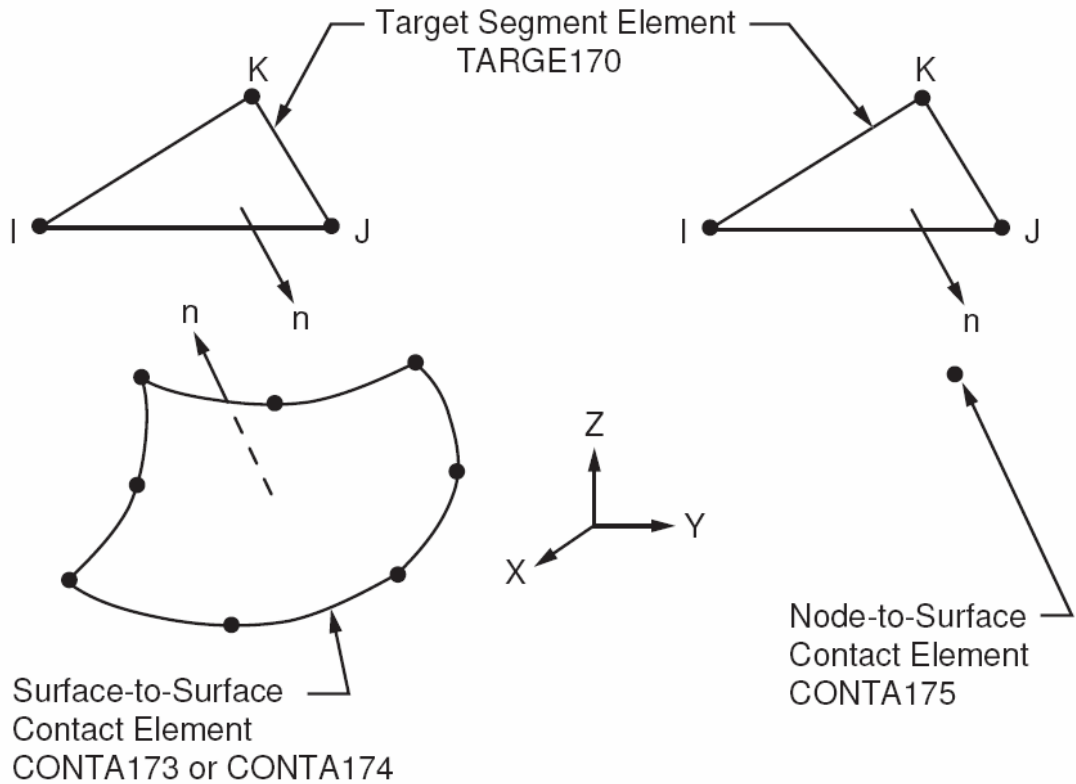
$$f_1 = 1.45f_c \quad (3.3)$$

$$f_2 = 1.725f_c \quad (3.4)$$

Görüldüğü üzere aslında göçme yüzeyi sadece betonun çekme ve basınç dayanımı ile ifade edilmekte olup diğer parametreler Willam - Warnke tarafından bu iki parametrenin birer fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

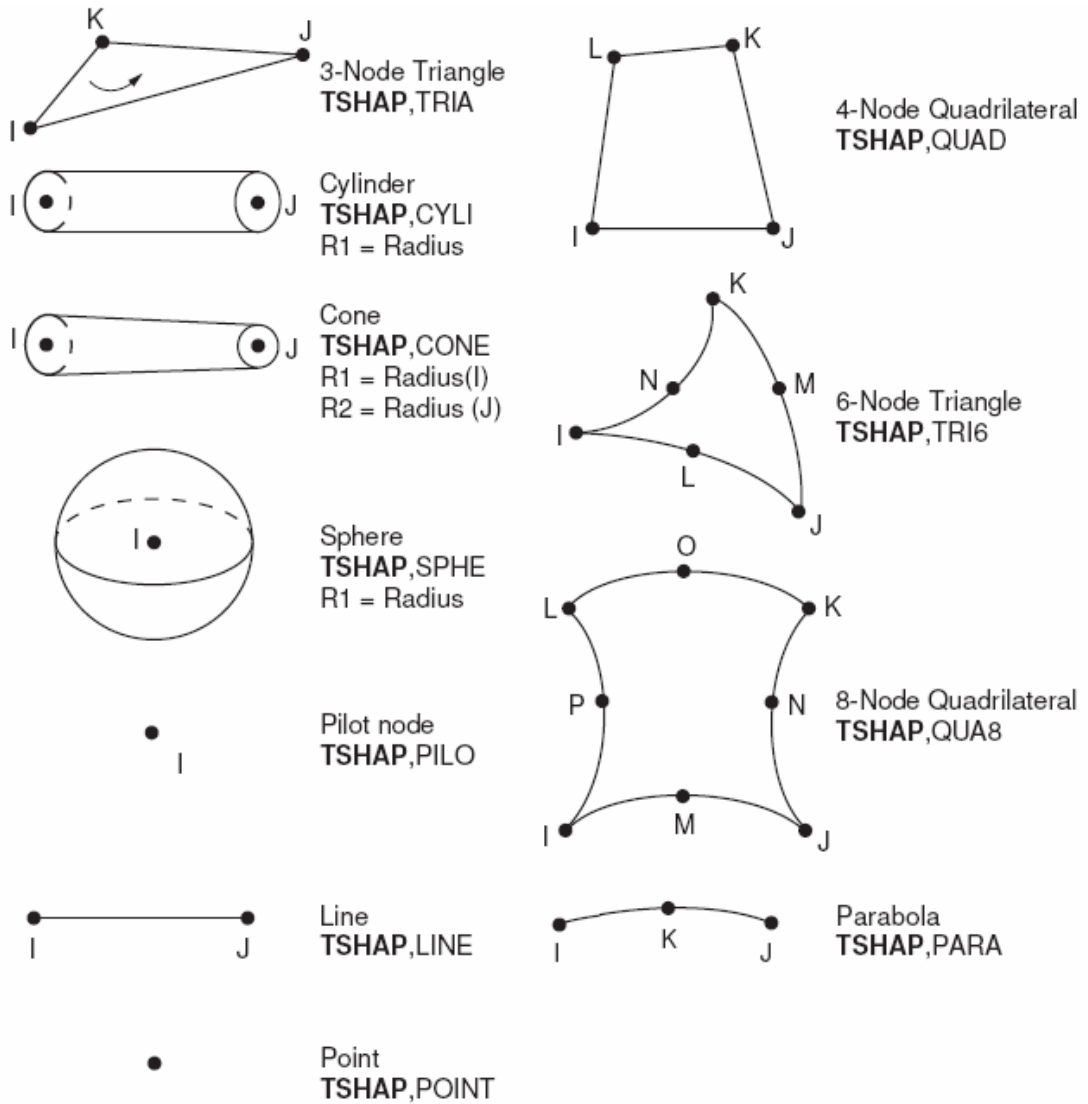
### Targe170 elemanı

*Targe170* elemanı, 3 boyutlu temas analizlerinde kullanılan hedef yüzeyi elemanıdır. Temas elemanları, *Solid65* gibi 3 boyutlu elemanları sararak deforme olabilen gövdenin sınırlarını belirler ve imkan dahilinde *Targe170* elemanı ile oluşturulan hedef yüzeyi ile temas halindedir. Bu hedef yüzey, *Targe170* hedef yüzey elemanları ve *Conta174* temas yüzeyi elemanları ile bir temas çifti oluşturur ve özelliklerin birlikte kontrol edildiği bir gerçek sabit seti ile yönetilir.



Şekil 3.3. *Targe170* hedef yüzey elemanı geometrisi [16]

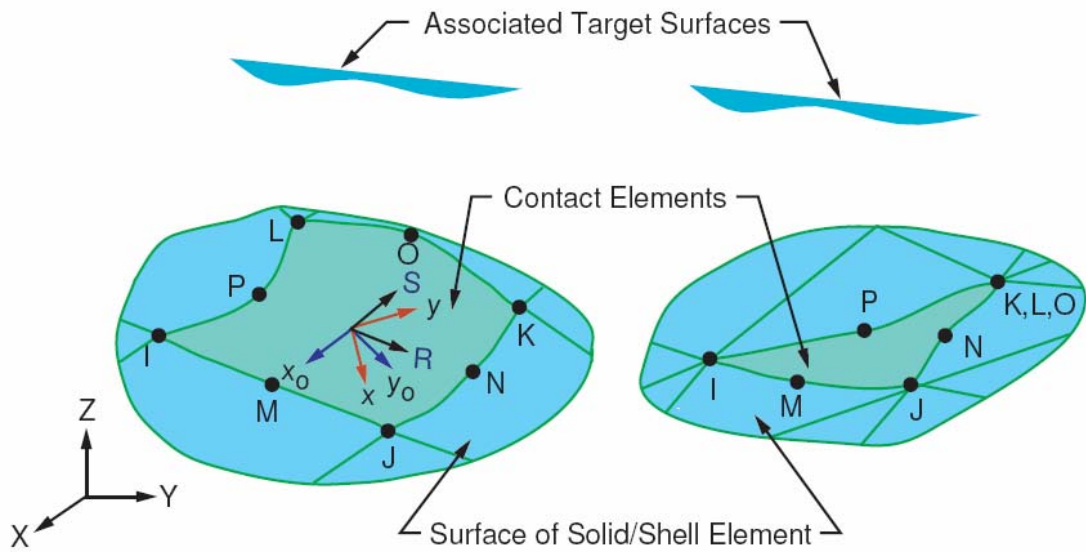
*Targe170* elemanına düzlemsel ya da rotasyonel deplasmanlar, sıcaklık farkı, elektrik ve manyetik potansiyel uygulanabildiği gibi kuvvet ve momentler de uygulanabilir. 1, 2, 3, 4, 6 ve 8 düğüm noktalı ve çeşitli geometrik şekillerdeki yapısı sayesinde karmaşık hedef yüzeyler *Targe170* elemanları ile kolaylıkla oluşturulabilir. Oluşturulan yüzeyler rijit ya da esnek olabilir. Şekil 3.4'te *Targe170* elemanı tipleri yer almaktadır.



Şekil 3.4. *Targe170* hedef yüzey elemanı tipleri [16]

### Conta174 elemanı

3 boyutlu, yapısal yüzey-yüzey teması analizleri için uygun bir eleman olan *Conta174*, 3 boyutlu yüzeyler arasındaki temas ve kaymayı tanımlamak için kullanılmaktadır. Bu amaçla, *Conta174* elemanı ile deforme olabilir bir yüzey oluşturulmakta ve *Solid65* gibi 3 boyutlu elemanların yüzeylerine orta nokta düğümleri yardımı ile yerleştirilmektedir. 8 düğüm noktasına sahip eleman, bağlandığı 3 boyutlu elemanların yüzeyleri ile aynı geometrik özelliklere sahiptir. Temas elemanı, belirlenen hedef yüzey içerisine nüfuz ettiği anda temas sağlanmış olmaktadır. Temas çifti arasında Coulomb ve kesme sürtünmesi *Conta174* yardımı ile tanımlanabilmektedir.



Şekil 3.5. *Conta174* temas yüzey elemanı geometrisi [16]

#### **3.4.2. Kullanılan malzeme modelleri ve özellikleri**

Doğrusal olmayan bir yapısal analiz probleminin çözümünde, denge denklemleri ile uygunluk denklemleri arasındaki ilişki, ancak kullanılan malzemenin gerilme-birim şekil değiştirme ( $\sigma$ - $\epsilon$ ) ilişkisinden yararlanılarak elde edilir. Bu denklemler malzeme özelliklerinden bağımsızdır. Bu nedenle çözümdeki hata oranı daha çok öngörülen

malzeme davranışının doğruluğuna bağlıdır. Matematiksel çözümü basitleştirmek için deneysel çalışmalardan elde edilen  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrileri, uygun hale getirilerek malzeme modelleri elde edilir.

ANSYS programı beton elemanlar içerisine donatı yerleştirilmesine imkan tanımaktadır. Bu nedenle beton ve donatı davranış modelleri ayrı ayrı oluşturularak gerçeğe en yakın davranışı sergileyen model elde edilmeye çalışılacaktır.

### Beton modeli

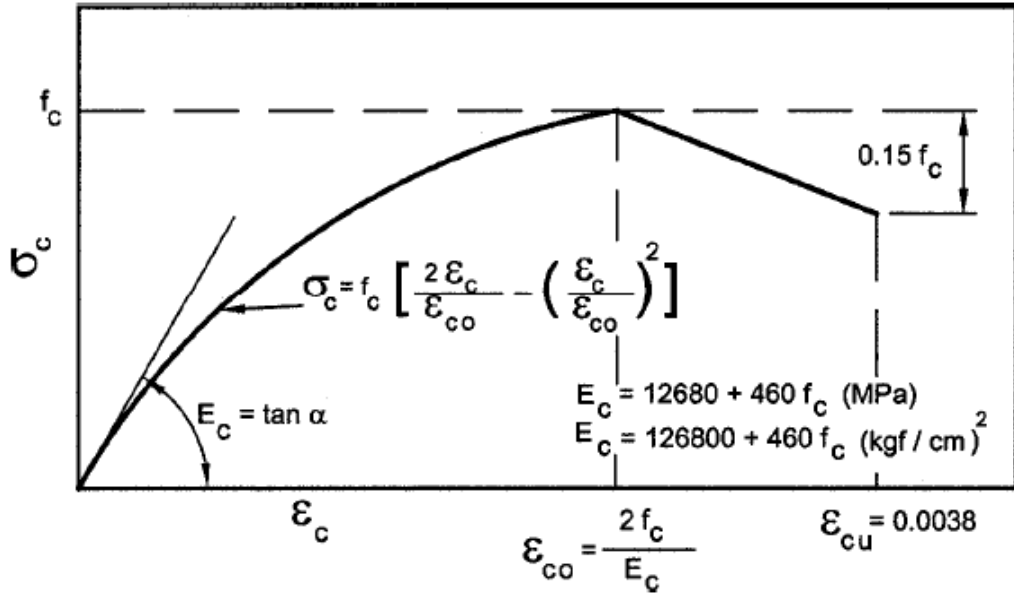
Betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisinin, çok sayıda değişkenden etkilendiği, bu nedenle her durum için geçerli tek bir eğrinin tanımlanmasının olanaksız olduğu bilinmektedir. Ancak, kesin olmasa bile problemlerin çözümü ve davranışın anlaşılabilmesi için betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  ilişkisini belirleyen modellere gereksinme vardır. Bu gereksinme nedeni ile, bugüne kadar çeşitli araştırmacılarca bir çok beton modeli önerilmiştir. Bunlardan en yaygın olarak kullanılanları, Hognestad, Geliştirilmiş Kent ve Park, Sheikh ve Uzumeri ile Saatcioglu ve Razvi modelleridir. Hognestad dışındaki modeller sarılmış beton davranışını da içermektedir. Bunlara ek olarak, betonun tekrarlanan yük altındaki davranışını simgeleyen, boşalma ve yeniden yükleme eğrilerini de tanımlayan modeller de bulunmaktadır. Betonun çekme gerilmeleri altındaki davranışını modelleyen basitleştirilmiş  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrileri de olmasına karşın betonun çekme dayanımı genellikle ihmal edildiğinden bu model basınç davranışını simgeleyen modeller kadar önemli değildir [17].

Bu çalışmada, sargısız betonun  $\sigma$ - $\varepsilon$  ilişkisinin tanımlandığı Hognestad modeli kullanılacaktır.

Hognestad tarafından önerilen ve yaygın olarak kullanılan modele ait  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisi, Şekil 3.6'da gösterilmiştir.  $\sigma$ - $\varepsilon$  eğrisinin tepe noktasına kadar olan bölümü ikinci derece parabol, sonraki bölümü ise, doğrusal kabul edilmiştir. En büyük gerilme genel olarak beton silindir dayanımının %85'i olarak alınır. ( $f_c = 0.85f_{ck}$ ). En büyük

gerilmeye karşılık olan birim kısalma,  $\varepsilon_{co} = 2f_c/E_c$  olarak verilmiştir. Modeldeki elastisite modülü  $E_c$  için Hognestad tarafından Eş. 3.5 önerilmiştir.

$$E_c = 12680 + 460f_c \quad (3.5)$$



Şekil 3.6. Hognestad beton modeli [17]

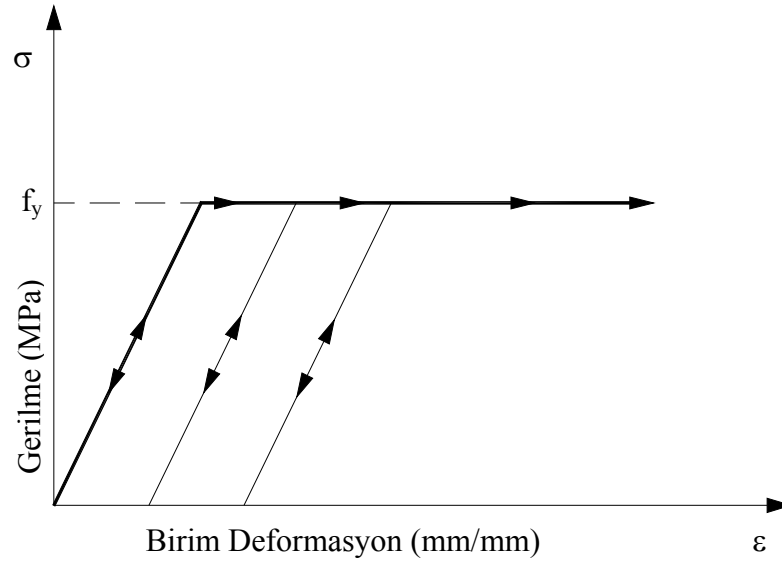
Analizlerde kullanılan betonun silindir basınç dayanımları için deney elemanı için oluşturulan modellerde deneysel veriler, diğer modellerde ise TS500 yönetmeliği esas alınmıştır. Beton çekme dayanımı da Eş. 3.6'ya göre hesaplamalara dahil edilmiştir. Poisson oranı da TS500 uyarınca  $\mu=0,20$  alınmıştır [18].

$$f_t = 0,787\sqrt{f_c} \quad (3.6)$$

### Donatı modeli

Donatı çeliğinin basınç ve çekme altındaki davranışları arasında önemli bir fark yoktur. Bu nedenle donatı çeliğinin çekme ve basınç altındaki gerilme birim deformasyon eğrilerinin aynı olduğu varsayılmaktadır. Eksenel çekme veya eksenel

basınç altında elde edilen  $\sigma$ - $\varepsilon$  grafiği, Şekil 3.7'de gösterilmiştir. Bu model genel kabul gören ve yaygın olarak kullanılan bir modeldir. Yürütülen sonlu eleman analizlerinde de bu model kullanılmış olup modelden de görüldüğü gibi pekleşme dikkate alınmamıştır.



Şekil 3.7. Donatı çeliği  $\sigma$ - $\varepsilon$  grafiği [17]

Analizlerde kullanılan donatı çeliği akma dayanımları, deney elemanı için oluşturulan modellerde deneysel veriler ışığında, diğer modellerde ise TS500 yönetmeliği esas alınarak belirlenmiştir. TS500 uyarınca elastisite modülü  $E=2 \times 10^5$  MPa alınmıştır. Poisson oranı ise 0,30 olarak hesaplamalara dahil edilmiştir.

### 3.4.3. Etkiyen yükler ve hesap esasları

Kolondan yuvalı temel duvarına aktarılan gerilmenin transfer mekanizmasının tespiti ile ilgili yürütülen sonlu eleman analizlerinde, kolon üst ucuna moment ve eksenel yük uygulanması neticesinde yuvalı temel duvarında oluşan gerilme dağılımı incelenecektir. Kolona etkiyen düşey ve yatay yüklerin belirlenmesinde TS498 standardı ve Deprem Bölgelerinde Yapılacak Yapılar Hakkında Esaslar 2007 hükümleri dikkate alınmıştır.

Kolona etkiyen düşey yüklerin hesabında kar yükü, çatı kaplaması yükü ve prefabrike betonarme yapı elemanlarının zati ağırlıkları dikkate alınmıştır. Yüklerle ilgili değerler için TS498 standardı esas alınmıştır. Buna göre kar yükü  $q_{kar}=7,5 \times 10^{-4}$  N/mm<sup>2</sup>, kaplama yükü  $q_{kaplama}=1,5 \times 10^{-4}$  N/mm<sup>2</sup> ve beton öz ağırlığı  $q_{beton}=2,45 \times 10^{-5}$  N/mm<sup>3</sup> olarak alınmıştır [19].

Yatay yüklerin hesabı ise DBYYHY2007'ye göre eşdeğer deprem yükü yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Buna göre öncelikle uygulamada sıklıkla kullanılmakta olan makas, oluk ve aşık uzunluklarına göre yapı aks ölçüleri belirlenmiştir. Çalışma kapsamında sonlu eleman modeli oluşturulacak her kolon kesit tipi için  $0,01 < \rho < 0,015$  aralığında donatı oranı öngörülmüş ve bu orana göre normal kuvvet - moment eğrisi çizilmiştir. Herhangi bir kolon yüksekliği seçilerek eşdeğer deprem yükü yöntemine göre yapının deprem hesabı yapılmış ve elde edilen moment değerinin çizilen moment – aksel yük diyagramında işaretlenmesi sureti ile kolon moment kapasitesini aşıp aşmadığı kontrol edilmiştir. Hesaplanan aksel yük değeri için sınır kapasite değerini yaratacak moment değeri elde edildiği durum, yapı yüksekliği olarak belirlenmiştir. Böylece yürütülecek sonlu eleman analizleri sonucu elde edilecek gerilme aktarım mekanizmasının uygulamada hangi yapı türüne ait olduğu da belirlenmiş olmaktadır.

Seçilen yapıya etkiyen eşdeğer deprem yükünün belirlenmesinde öncelikle yapının toplam kütlesi hesaplanmıştır. Kütle hesabında, çatı ağırlığının belirlenmesinde kar yüklerinin %30'u ( $n=0,30$ ) dikkate alınmıştır. Yapıya etkiyen eşdeğer taban kesme kuvveti Eş. 3.7'ye göre belirlenmiştir. En gayri müsait yükleme koşullarının oluşması açısından 1.derece deprem bölgesi ve Z4 zemin sınıfı kabulü yapılmış olup buna bağlı olarak yönetmelik gereği  $A_0=0,40$  ve  $T_a=0,20$ ,  $T_b=0,90$  alınmıştır. Taşıyıcı sistem davranış katsayısı, deprem yüklerinin tamamının üstteki bağlantıları mafsallı olan kolonlar tarafından taşındığı tek katlı binalar için  $R=3$  olarak alınmıştır. Bina önem katsayısı ise bina türü endüstri yapıları için  $I=1,00$  olarak tanımlanmıştır [20].

$$V_t = \frac{W \cdot A(T_1)}{R_a(T_1)} \geq 0,10 \cdot A_o \cdot I \cdot W \quad (3.7)$$

$$A(T) = A_o \cdot I \cdot S(T) \quad (3.8)$$

$$S(T) = 1 + 1,5 \frac{T}{T_a} \quad 0 \leq T < T_a$$

$$S(T) = 2,5 \quad T_a \leq T \leq T_b \quad (3.9)$$

$$S(T) = 2,5 \cdot \left( \frac{T_b}{T} \right)^{0,8} \quad T_b < T$$

$$R_a(T) = 1,5 + (R - 1,5) \frac{T}{T_a} \quad 0 \leq T < T_a$$

$$R_a(T) = R \quad T_a < T \quad (3.10)$$

$$T_1 = 2\pi \left( \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot d_{fi}^2}{\sum_{i=1}^N F_{fi} \cdot d_{fi}} \right)^{1/2} \quad (3.11)$$

$$m_i = \frac{W_i}{g} \quad (3.12)$$

Yapıya etkiyen taban kesme kuvvetinin belirlenmesinde, öncelikle yapının spektrum katsayısı  $S(T)=1$  ve deprem yükü azaltma katsayısı  $R_a(T_1)=1$  kabul edilerek Eş. 3.7 yardımı ile hesaplanan fiktif  $V_t$  değerinin, yapının düğüm noktalarına dağıtılması sureti ile SAP2000 programı kullanılarak çerçeve statik hesabı yapılmıştır. Elde edilen düğüm noktası deplasmanları ile Eş. 3.11 kullanılarak yapının 1.doğal titreşim periyodu hesaplanmıştır. Bu hesaplanan periyot değerine göre Eş. 3.9 yardımı ile yapının 1. doğal titreşim periyoduna bağlı olan gerçek  $S(T)$  ve Eş. 3.10'a göre de gerçek  $R_a(T_1)$  değerleri hesaplanmıştır. Hesaplanan gerçek değerlerin Eş.3.7'de



$$V_o = \frac{3}{2} \frac{M}{l_b} + \frac{5}{4} V \quad (3.14)$$

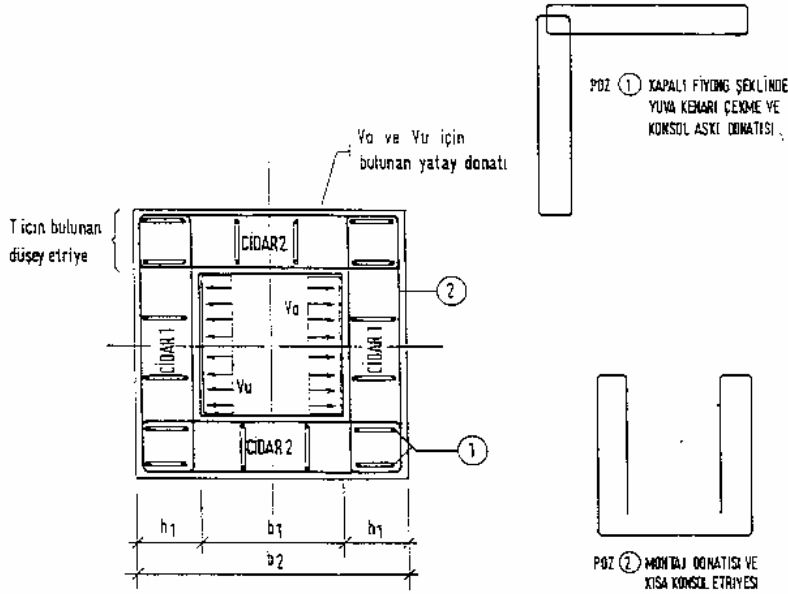
$$V_u = \frac{3}{2} \frac{M}{l_b} + \frac{1}{4} V \quad (3.15)$$

Kolonun dayandığı duvarın üst kısmı, ortasına Şekil 3.8'deki  $V_o$  kuvvetinin yayılı olarak etkideği, iki ucu ankastre, açıklığı bir yönde  $l=b_1+h_1$  olan bir kiriş gibi kabul edilmiştir. (Şekil 3.9)

Eğilmeye göre hesapta kesitin genişliği  $l_b/4$ , yüksekliği  $h$  olarak alınmıştır. Bu kirişteki  $V_o/2$  değerindeki mesnet kuvveti, bu yüze dik iki yüzün komşu kenarına etkilmiş ve askı teçhizatları ile bu yüzlerin diğer düşey kenarlarına taşınması düşünülmüştür.

Diğer kenarlarının da benzer durumda olduğu göz önüne alınınca, kenar eğilme teçhizatlarının, aynı zamanda askı teçhizatı olarak da çalışması için Şekil 3.9'da gösterilen 1 pozlu donatı gibi olması TS9967 tarafından önerilmiştir.

Eğilme ve askı yüklemesinde en büyük donatı alanını hangi durum veriyorsa, donatı ona göre seçilmiştir.



Şekil 3.9. TS9967 Tarafından önerilen yuva donatı yerleşimi [21]

Bulunan eğilme donatısı Şekil 3.9’da gösterildiği gibi yuvanın üst  $l_b/3$ ’üne yerleştirilmiştir. Askı donatıları ile  $V_o/2$  kuvvetini alan iki yan yüz kısa konsol gibi boyutlandırılmış olup bu konsolların her birine etkiyen düşey çekme kuvveti Eş. 3.16, yatay kesme kuvveti Eş. 3.17, diyagonal basınç kuvveti ise Eş. 3.18 yardımı ile hesaplanmıştır [21].

$$T_y = 0,6 \frac{l_b}{b_1} V_o \quad (3.16)$$

$$V_y = \frac{V_o}{2} \quad (3.17)$$

$$C = \sqrt{T_y^2 + V_y^2} \quad (3.18)$$

Yuva alt ucu için tekrar hesap yapılmamış olup, üst uç için hesaplanan yatay donatı alt uç için de aynen kullanılmıştır.

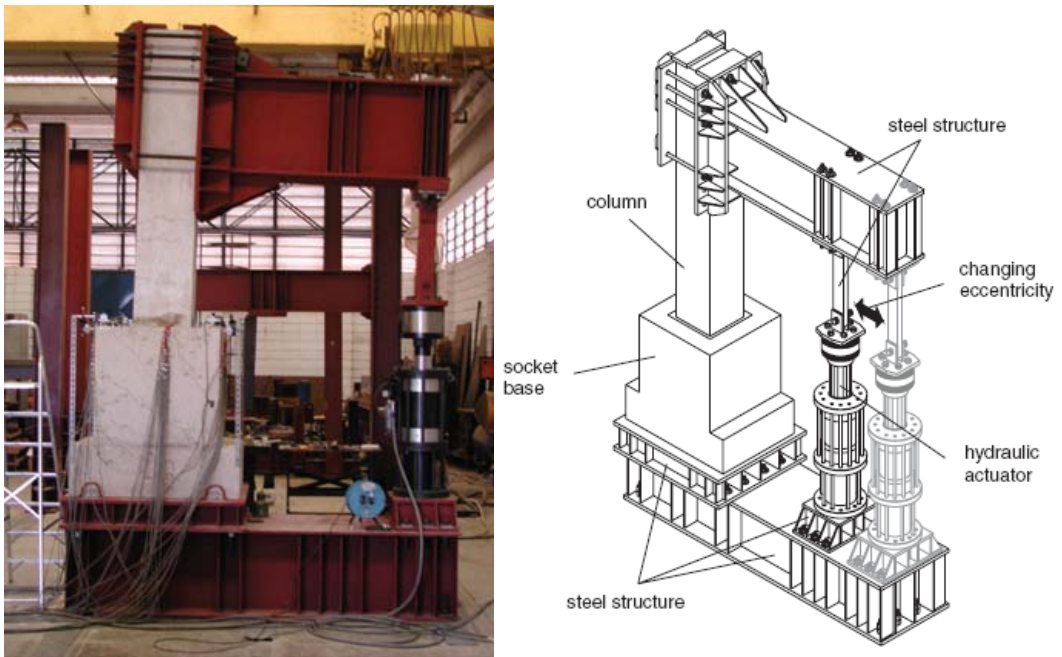
## 4. YÜRÜTÜLEN SONLU ELEMAN ANALİZLERİ

### 4.1. Doğrulama Amaçlı Yürütülen Analizler

#### 4.1.1. Deneysel çalışmanın tanıtımı

Canha ve arkadaşları (2004) tarafından, Sao Paulo Üniversitesi Sao Carlos Mühendislik Fakültesi laboratuvarında yürütülen çalışmada, prefabrik betonarme kolon – yuvalı temel bağlantısı teorik ve deneysel olarak incelenmiş, yuva duvarlarının davranışı ele alınmıştır.

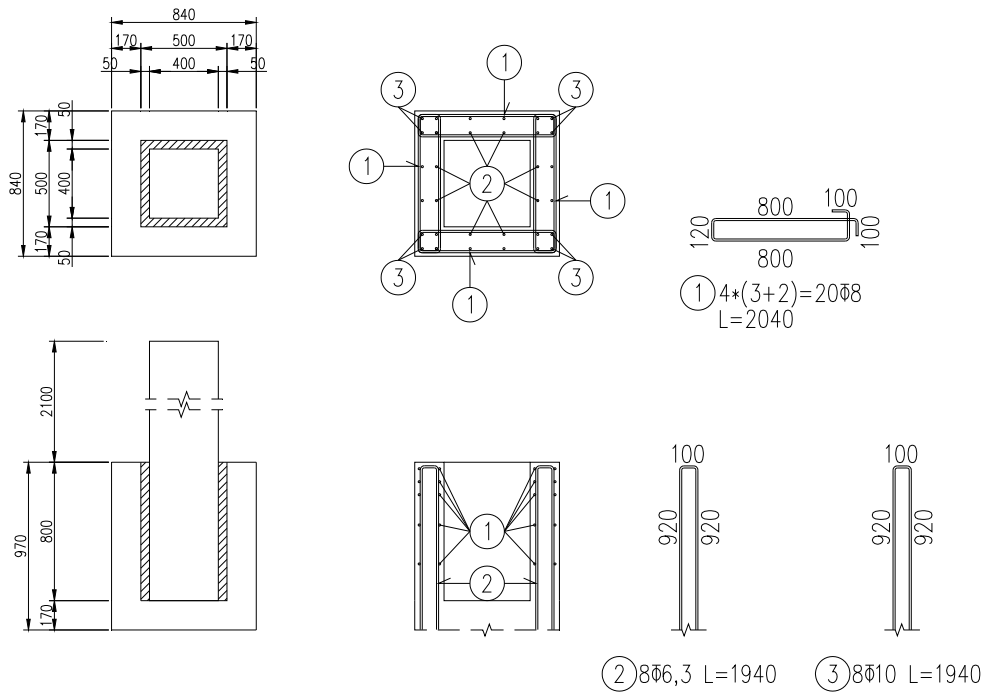
Deneysel program kapsamında 5 adet 1/1 ölçekli numune, büyük eksantrisite ile uygulanan normal kuvvet etkisi altında test edilmiştir. Modellerden 3 tanesinde yuva iç yüzeyi düz iken diğer 2 tanesinde ise iç yüzey kenetli tiptedir. Düz yüzeyli modellerin 2 tanesinde, bağlantı zayıflatılarak dizayn modellerinin olumlu ve olumsuz yönleri irdelenmiştir. Kenetli numunelerde ise farklı tiplerde kenet kalıpları kullanılmış olup kenetli tip yuvaların davranışı incelenmiştir [22].



Şekil 4.1. Deneysel düzeneği [22]

#### 4.1.2. Deney numunesinin sonlu elemanlar modeli

Bu çalışma kapsamında, Şekil 4.2’de boyut ve donatı detayları verilen, düz yüzeyli IL1 kodlu, bağlantısı zayıflatılmamış numuneye ait sonuçlar referans olarak alınmış ve deneyi simüle edebilecek bir sonlu eleman modeli oluşturulmuştur.

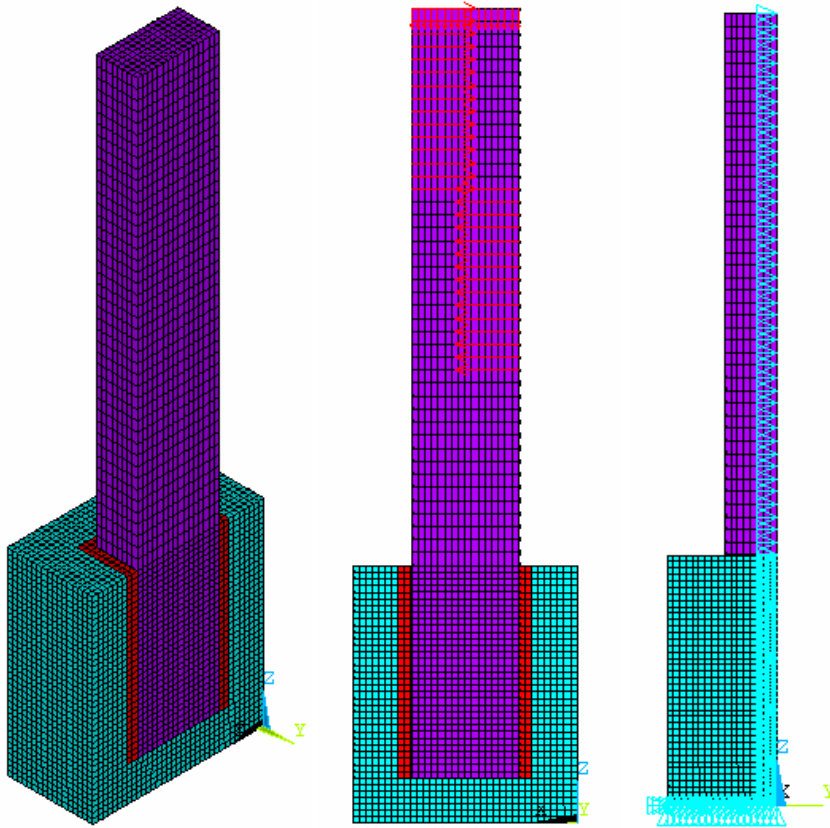


Şekil 4.2. IL1 deney numunesi boyutları ve donatı detayı

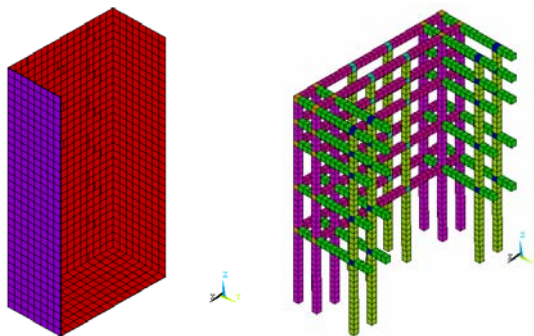
Temas problemlerinin çözümüne yönelik sonlu eleman analizleri yakınsama yöntemi ile çözülmekte, bu da analizlerin ortalama donanım özelliklerine sahip bilgisayarlar ile 2-3 gün gibi sürelerde tamamlanmasına neden olmaktadır. Model oluşturulurken simetriden faydalanılarak model boyutunun küçültülmesi ve analiz süresinin kısılması sağlanmıştır. Deney sonuçlarına en yakın davranış özelliklerine sahip sonlu eleman modelini elde edebilmek için 22 farklı analiz yapılmış ve her bir analizin tamamlanması yaklaşık 24 saat sürmüştür.

Sonlu eleman ağı, yükleme şekli ve mesnet koşulları Şekil 4.3’de gösterilmiştir. Yuva, kolonun yuva içerisinde kalan bölümü ve yuva ile kolon arasındaki dolgu

betonunu oluşturan elemanların yaklaşık 25x25x25mm., kolonun yuva dışında kalan kısmını oluşturan elemanların ise yaklaşık 25x25x50mm. boyutlarında parçalara ayrılması ile sonlu eleman ağı oluşturulmuştur. Böylece model 30797 adet parçaya bölünmüştür.



Şekil 4.3. Sonlu eleman modeli genel görünüşü, yükleme şekli ve mesnet koşulları



Şekil 4.4. Yuva ve kolon hedef - temas yüzeyleri ve donatılı *Solid65* elemanları

Çizelge 4.1. Deney numunesi modeli yuva betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
1	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	28600	
	PRXY	0,2	
	<b>Beton</b>		
	ShrCf-Op	0,8	
	ShrCf-CI	0,9	
	UnTensSt	5,04	
	UnCompSt	-1	
	BiCompSt	0	
	HydroPrs	0	
	BiCompSt	0	
	UnTensSt	0	
	TenCrFac	0	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
	1	0,0004	8,45
	2	0,0008	15,03
3	0,0012	19,73	
4	0,0016	22,55	
5	0,0020	23,49	
6	0,0038	19,96	

Çizelge 4.2. Deney numunesi modeli kolon betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
2	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	36200	
	PRXY	0,2	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
	1	0,0005	14,64
	2	0,0010	26,03
	3	0,0016	34,16
	4	0,0021	39,05
	5	0,0026	40,67
6	0,0038	34,57	

Çizelge 4.3. Deney numunesi modeli dolgu betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
3	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	37300	
	PRXY	0,2	
	<b>Beton</b>		
	ShrCf-Op	0,8	
	ShrCf-CI	0,9	
	UnTensSt	3,14	
	UnCompSt	-1	
	BiCompSt	0	
	HydroPrs	0	
	BiCompSt	0	
	UnTensSt	0	
	TenCrFac	0	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	<b>Nokta No</b>	<b><math>\epsilon</math></b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>
	1	0,0005	16,58
	2	0,0011	29,47
	3	0,0016	38,68
	4	0,0022	44,21
	5	0,0027	46,05
	6	0,0038	39,15
<b>Sürtünme katsayısı</b>			
MU	0,6		
<b>Yayma oranı</b>			
EMIS	7,8886E-031		

Çizelge 4.4. Deney numunesi modeli  $\phi 6.3$  çaplı donatı özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
4	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	2,1028*10 <sup>5</sup>	
	PRXY	0,3	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	<b>Nokta No</b>	<b><math>\epsilon</math></b>	<b><math>\sigma</math> (MPa)</b>
1	0,00282	593	

Çizelge 4.5. Deney numunesi modeli  $\phi 8.0$  çaplı donatı özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
5	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	2,1007*10 <sup>5</sup>	
	PRXY	0,3	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
1	0,00278	584	

Çizelge 4.6. Deney numunesi  $\phi 10.0$  çaplı donatı özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
6	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	2,102*10 <sup>5</sup>	
	PRXY	0,3	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
1	0,00304	639	

Çizelge 4.7. *Solid65* elemanları için tanımlanan gerçek sabit setleri

Set No	Donatı 1				Donatı 2				Donatı 3			
	MAT 1	VR 1	THETA 1	PHI 1	MAT 2	VR 2	THETA 2	PHI 2	MAT 3	VR 3	THETA 3	PHI 3
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	5	0,07	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	5	0,07	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	5	0,07	0	0	5	0,07	90	0	6	0,12	0	90
8	6	0,12	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
9	4	0,05	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
10	4	0,05	0	90	5	0,07	90	0	0	0	0	0
11	4	0,05	0	90	5	0,07	0	0	0	0	0	0

Çizelge 4.8. *Conta174* elemanı için tanımlanan gerçek sabit seti

Set No	FKN	FTOLN	TAUMAX	FKOP	FKT	FACT
3	0,1	1	1*10 <sup>20</sup>	1	1	1

*Contal174* elemanı gerçek sabit setinin Çizelge 4.8’de verilmeyen değişkenlerinin tamamının değeri 0’dır.

Deneyde kullanılan düzenek ve yük uygulama mekanizması Şekil 4.1’de gösterilmiştir. Bu düzeneğe ait boyutlar ve deney sırasında uygulanan yükleme, Canha tarafından [22] belirtilen şekle uygun olarak sonlu eleman modeli oluşturulmuş ve yük modele Şekil 4.3’de gösterildiği biçimde uygulanmıştır.

## **4.2. Gerilme Aktarım Mekanizmasının Belirlenmesi Amacı İle Yürütülen Analizler**

Kolondan yuvalı temel duvarına aktarılan gerilme aktarım mekanizmasının belirlenebilmesi amacı ile yürütülecek sonlu eleman analizlerinde modellere ait boyut ve donatıların belirlenmesinde TS9967 standardı hükümleri uygulanmıştır. Bu standarda göre yuva boyutları kolon ebatlarına bağlı olarak tanımlandığı için model boyutları kolon boyutları esas alınarak belirlenmiştir.

Tek katlı ve kolonlarının üst ucu mafsalı, hangar tipi prefabrike betonarme sanayi yapıları incelendiğinde, daha çok kare kesitli kolonların kullanıldığı görülmüştür. Kolon boyutları yapı yüksekliğine, çatı yüküne ve deprem kuvvetine bağlı olarak belirlenmekle birlikte uygulamada sıklıkla kullanılan boyutların 400, 450, 500, 550 ve 600 mm olduğu görülmektedir. 600 mm.den daha büyük boyutlardaki kolonlar nakliye sıkıntısı nedeni ile özel durumlar dışında tercih edilmemektedir.

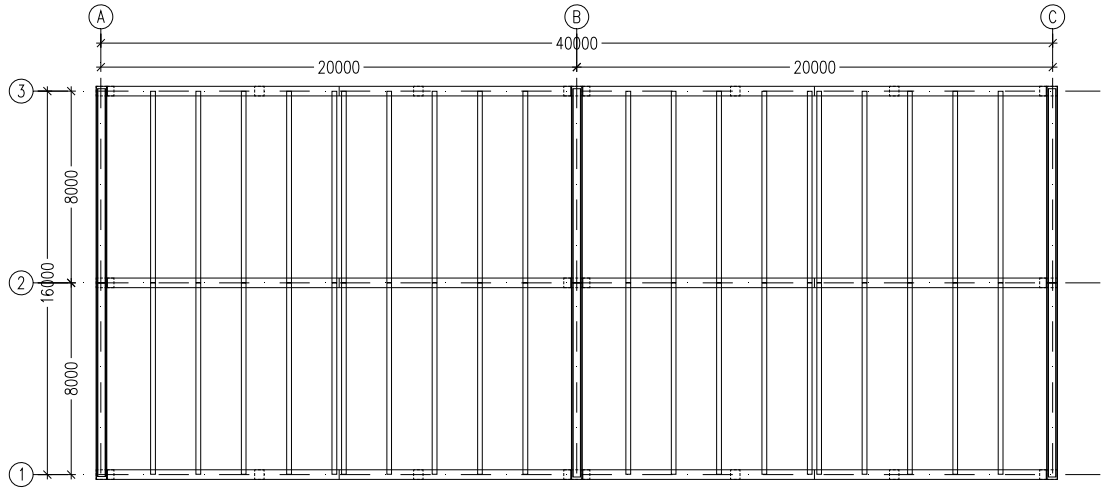
Bu çalışma kapsamında da kenarı uzunluğu 400, 450, 500, 550 ve 600 mm olan kare kesitli kolonların her biri için sonlu eleman modeli oluşturularak 5 farklı analiz yürütülmüştür.

### **4.2.1. Tasarım yüklerinin belirlenmesi**

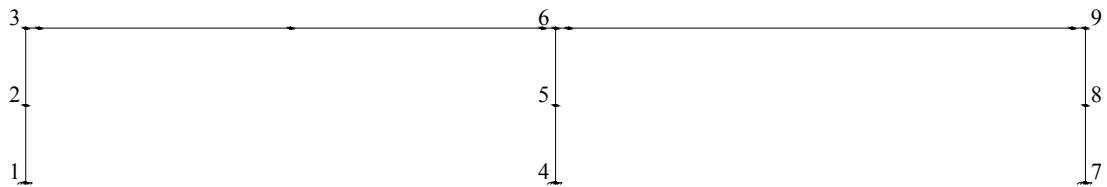
Sonlu eleman analizleri yapılan modellerin tasarım yükleri TS498 ve ABYYHY2007’ye göre belirlenmiştir. Bu amaçla uygulamada sıklıkla kullanılan bir

yapı seçilmiş olup yapıya ait çatı planı ve aks ölçüleri Şekil 4.5’de verilmiştir. Yuva tasarımı kullanılan yüklerin belirlenmesinde 2 ve B aksları kesişiminde yer alan kolon esas alınmıştır. Plan ve aks ölçüleri sabit kalmak koşuluyla, analizi yapılan her bir model için, kolon boyutuna bağlı olarak farklı bir yapı yüksekliği seçilmiş olup, her yapıya etkiyen yatay ve düşey tasarım yükleri ayrı ayrı belirlenmiştir.

Tasarım yüklerinin belirlenmesine yönelik hesaplamalarda, yapıya ait çerçeve sonlu eleman analizinde SAP2000 programının 7.12 versiyonu kullanılmış olup tanımlanan sonlu eleman modeli Şekil 4.6’da verilmiştir.



Şekil 4.5. Prefabrike betonarme sanayi yapısı çatı planı ve aks ölçüleri

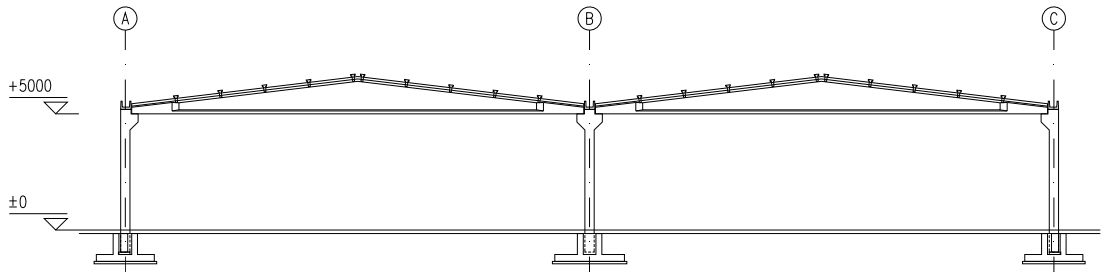


Şekil 4.6. Çerçeve statik hesabında kullanılan sonlu eleman modeli

Çerçeve teşkilinde kolonlar temelde ankastre, makas bağlantı noktalarında ise mafsallı olarak alınmıştır. Beton sınıfı C30 ve  $E=32000$  MPa olarak alınmıştır.

### Model 1 için tasarım yükü hesabı

400x400 mm kare kesitli kolon yuvalı temeli “Model 1” olarak isimlendirilmiş olup yuva tasarımı için üst yapıdan aktarılan yatay ve düşey yüklerin hesabı, planı Şekil 4.5’te, kesidi ise Şekil 4.7’de verilen prefabrike betonarme sanayi yapısı için yapılmıştır.



Şekil 4.7. Model 1 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti

Çizelge 4.9’da Şekil 4.6’da verilen sonlu elemanlar modeli düğüm noktalarındaki kat kütleleri, düğüm noktası koordinatları ve yatay yük dağılım hesapları ile SAP2000 yazılımı kullanılarak elde edilen düğüm noktası deplasman değerleri verilmiş ve yapının 1. doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için gerekli hesaplamalar gösterilmiştir.

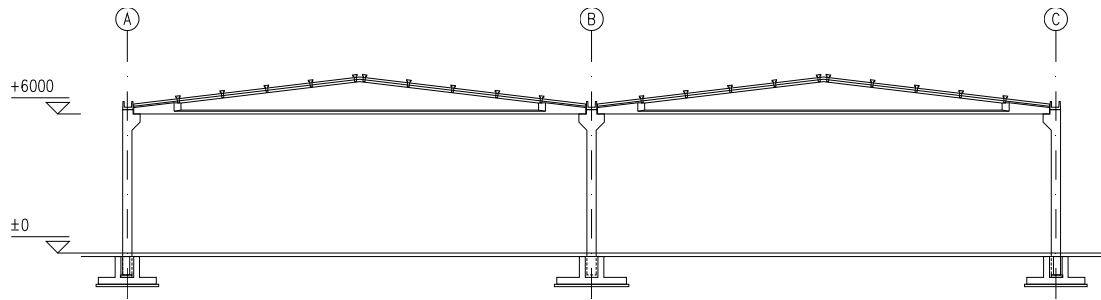
Çizelge 4.9. Model 1 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı

Düğüm No	$W_i$ (N)	$H_i$ (mm)	$W_i \times H_i$	$F_{fi}$ (N)	$m_i$ (kgf)	$d_{fi}$ (mm)	$F_{fi} \times d_{fi}$	$m_i \times d_{fi}^2$
3	114570	5000	572850000	16230	11678,899	13,1	212613	2004215,9
6	213070	5000	1065350000	30180	21719,674	13,1	395358	3727313,2
9	114570	5000	572850000	16230	11678,899	13	210990	1973733,9
2	19600	2500	49000000	1390	1997,9613	3,8	5282	28850,561
5	19600	2500	49000000	1390	1997,9613	4,1	5699	33585,729
8	19600	2500	49000000	1390	1997,9613	4,5	6255	40458,716
		$\Sigma$	<b>2358050000</b>				836197	7808158

Çizelge 4.9’a göre yapı 1. doğal titreşim periyodu, Eş. 3.11 kullanılarak  $T=0,60$  sn, spektrum katsayısı ise Eş. 3.9’a göre de  $S(T)=2,50$  olarak hesaplanmıştır.

### Model 2 için tasarım yükü hesabı

450x450 mm kare kesitli kolon yuvalı temeli “Model 2” olarak isimlendirilmiş olup yuva tasarımı için üst yapıdan aktarılan yatay ve düşey yüklerin hesabı, planı Şekil 4.5’te, kesidi ise Şekil 4.8’de verilen prefabrike betonarme sanayi yapısı için yapılmıştır.



Şekil 4.8. Model 2 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti

Çizelge 4.10’da Şekil 4.6’da verilen sonlu elemanlar modeli düğüm noktalarındaki kat kütleleri, düğüm noktası koordinatları ve yatay yük dağılım hesapları ile SAP2000 yazılımı kullanılarak elde edilen düğüm noktası deplasman değerleri verilmiş ve yapının 1. doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için gerekli hesaplamalar gösterilmiştir.

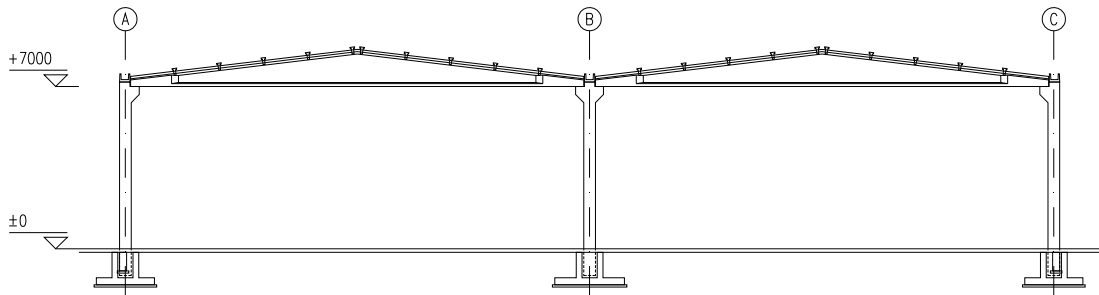
Çizelge 4.10. Model 2 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı

Düğüm No	$W_i$ (N)	$H_i$ (mm)	$W_i \times H_i$	$F_{fi}$ (N)	$m_i$ (kgf)	$d_{fi}$ (mm)	$F_{fi} \times d_{fi}$	$m_i \times d_{fi}^2$
3	114470	6000	686820000	16660	11668,705	14,6	243236	2487301,2
6	212880	6000	1277280000	30990	21700,306	14,6	452454	4625637,2
9	114470	6000	686820000	16660	11668,705	14,6	243236	2487301,2
2	29770	3000	89310000	2170	3034,6585	4,3	9331	56110,836
5	29770	3000	89310000	2170	3034,6585	4,6	9982	64213,374
8	29770	3000	89310000	2170	3034,6585	5	10850	75866,463
		<b><math>\Sigma</math></b>	<b>2918850000</b>				969089	9796430,3

Çizelge 4.10’a göre yapı 1. doğal titreşim periyodu, Eş. 3.11 kullanılarak  $T=0,63$  sn, spektrum katsayısı ise Eş. 3.9’a göre de  $S(T)=2,50$  olarak hesaplanmıştır.

### Model 3 için tasarım yükü hesabı

500x500 mm kare kesitli kolon yuvalı temeli “Model 3” olarak isimlendirilmiş olup yuva tasarımı için üst yapıdan aktarılan yatay ve düşey yüklerin hesabı, planı Şekil 4.5’te, kesidi ise Şekil 4.9’da verilen prefabrike betonarme sanayi yapısı için yapılmıştır.



Şekil 4.9. Model 3 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti

Çizelge 4.11’de Şekil 4.6’da verilen sonlu elemanlar modeli düğüm noktalarındaki kat kütleleri, düğüm noktası koordinatları ve yatay yük dağılım hesapları ile SAP2000 yazılımı kullanılarak elde edilen düğüm noktası deplasman değerleri verilmiş ve yapının 1. doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için gerekli hesaplamalar gösterilmiştir.

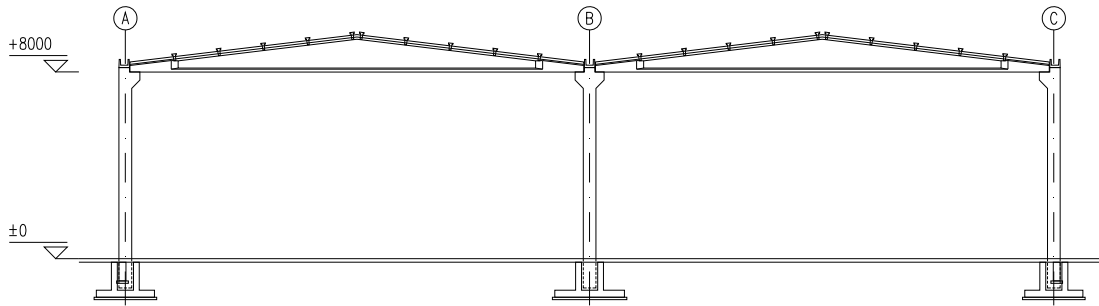
Çizelge 4.11. Model 3 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı

Düğüm No	$W_i$ (N)	$H_i$ (mm)	$W_i \times H_i$	$F_{fi}$ (N)	$m_i$ (kgf)	$d_{fi}$ (mm)	$F_{fi} \times d_{fi}$	$m_i \times d_{fi}^2$
3	114380	7000	800660000	17190	11659,531	15,9	273321	2947646,1
6	212680	7000	1488760000	31960	21679,918	15,9	508164	5480900,2
9	114380	7000	800660000	17190	11659,531	15,9	273321	2947646,1
2	42880	3500	150080000	3220	4371,0499	4,7	15134	96556,493
5	42880	3500	150080000	3220	4371,0499	5,1	16422	113691,01
8	42880	3500	150080000	3220	4371,0499	5,4	17388	127459,82
		$\Sigma$	<b>3540320000</b>				1103750	11713900

Çizelge 4.11’e göre yapı 1. doğal titreşim periyodu, Eş. 3.11 kullanılarak  $T=0,64$  sn, spektrum katsayısı ise Eş. 3.9’a göre de  $S(T)=2,50$  olarak hesaplanmıştır.

### Model 4 için tasarım yükü hesabı

550x550 mm kare kesitli kolon yuvalı temeli “Model 4” olarak isimlendirilmiş olup yuva tasarımı için üst yapıdan aktarılan yatay ve düşey yüklerin hesabı, planı Şekil 4.5’te, kesidi ise Şekil 4.10’da verilen prefabrike betonarme sanayi yapısı için yapılmıştır.



Şekil 4.10. Model 4 için prefabrik yapıya ait 2 aksı kesiti

Çizelge 4.12’de Şekil 4.6’da verilen sonlu elemanlar modeli düğüm noktalarındaki kat kütleleri, düğüm noktası koordinatları ve yatay yük dağılım hesapları ile SAP2000 yazılımı kullanılarak elde edilen düğüm noktası deplasman değerleri verilmiş ve yapının 1. doğal titreşim periyodunun belirlenmesi için gerekli hesaplamalar gösterilmiştir.

Çizelge 4.12. Model 4 için yatay yük dağılımı ve özel periyot hesabı

Düğüm No	$W_i$ (N)	$H_i$ (mm)	$W_i \times H_i$	$F_{fi}$ (N)	$m_i$ (kgf)	$d_{fi}$ (mm)	$F_{fi} \times d_{fi}$	$m_i \times d_{fi}^2$
3	114280	8000	914240000	17790	11649,337	20	355800	4659735
6	212490	8000	1699920000	33090	21660,55	17,1	565839	6333761,6
9	114280	8000	914240000	17790	11649,337	17	302430	3366658,5
2	59290	4000	237160000	4620	6043,8328	5,1	23562	157200,09
5	59290	4000	237160000	4620	6043,8328	5,4	24948	176238,17
8	59290	4000	237160000	4620	6043,8328	5,8	26796	203314,54
		$\Sigma$	<b>4239880000</b>				1299375	14896908

Çizelge 4.12’e göre yapı 1. doğal titreşim periyodu, Eş. 3.11 kullanılarak  $T=0,67$  sn, spektrum katsayısı ise Eş. 3.9’a göre de  $S(T)=2,50$  olarak hesaplanmıştır.



### Tasarımda kullanılacak kesit tesirleri

Tasarım yüklerinin belirlenmesi amacı ile yürütülen sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen ve yuva yanaklarının tasarımında kullanılacak mesnet reaksiyonları Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. B/2 aksı kolonu mesnet reaksiyonları

<b>Model No</b>	<b>N (N)</b>	<b>V (N)</b>	<b>M (Nmm)</b>
<b>1</b>	308830	53270	156750000
<b>2</b>	316720	55850	216380000
<b>3</b>	327310	59370	282910000
<b>4</b>	340960	63930	380940000
<b>5</b>	358030	69640	445190000

Çizelge 4.14'de verilen moment (M) ve eksenel yük (N) değerleri, aynı zamanda gerilme aktarım mekanizmasının belirlenmesine yönelik sonlu eleman analizlerinde de kullanılacak olan değerlerdir.

#### **4.2.2. Yuva boyutları ve donatı detayları**

Yuva boyutlarının belirlenmesinde ve donatı hesaplarında TS9967 hükümleri uygulanmıştır. Donatı hesaplarında beton sınıfı C20 ve  $f_{ck}=20$  MPa, donatı ise S420 ve  $f_{yk}=420$  MPa olarak hesaplamalarda dikkate alınmıştır. Donatı hesaplamaları taşıma gücü yöntemine göre yapılmış olup, malzeme katsayısı TS500 uyarınca beton için  $\gamma_{mc}=1,5$  ve çelik için  $\gamma_{ms}=1,15$  alınmıştır.

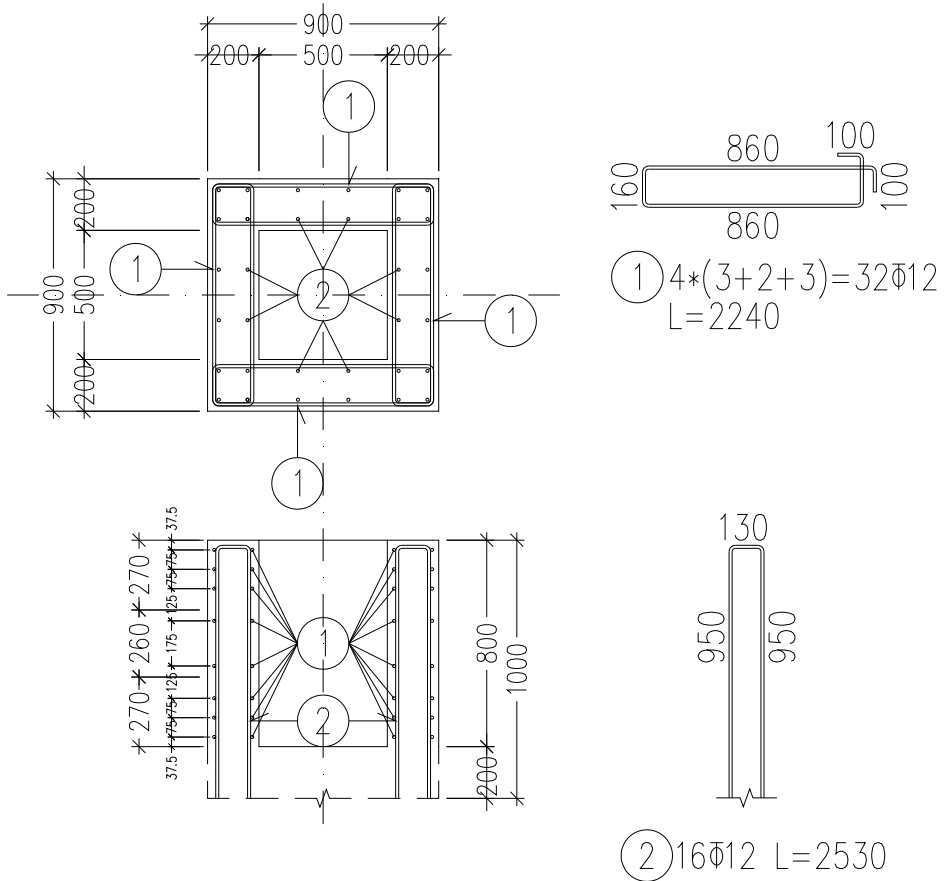
### Model 1 donatı hesabı ve yuva detayı

#### Yatay donatı hesabı

$V_o=360493,75N$	$V_u=307223,75N$	
$M_d=10514401,04Nmm$	Eğilme tasarımı	$A_s=179mm^2$
	Askı tasarımı	$A_s=494mm^2$
	Seçilen donatı	$3\phi 12 (679mm^2)$

#### Düşey donatı

$T_y=346074$	$A_s=948mm^2$	$6\phi 12 (1357mm^2)$
--------------	---------------	-----------------------



Şekil 4.12. Model 1 yuva boyutları ve donatı detayı

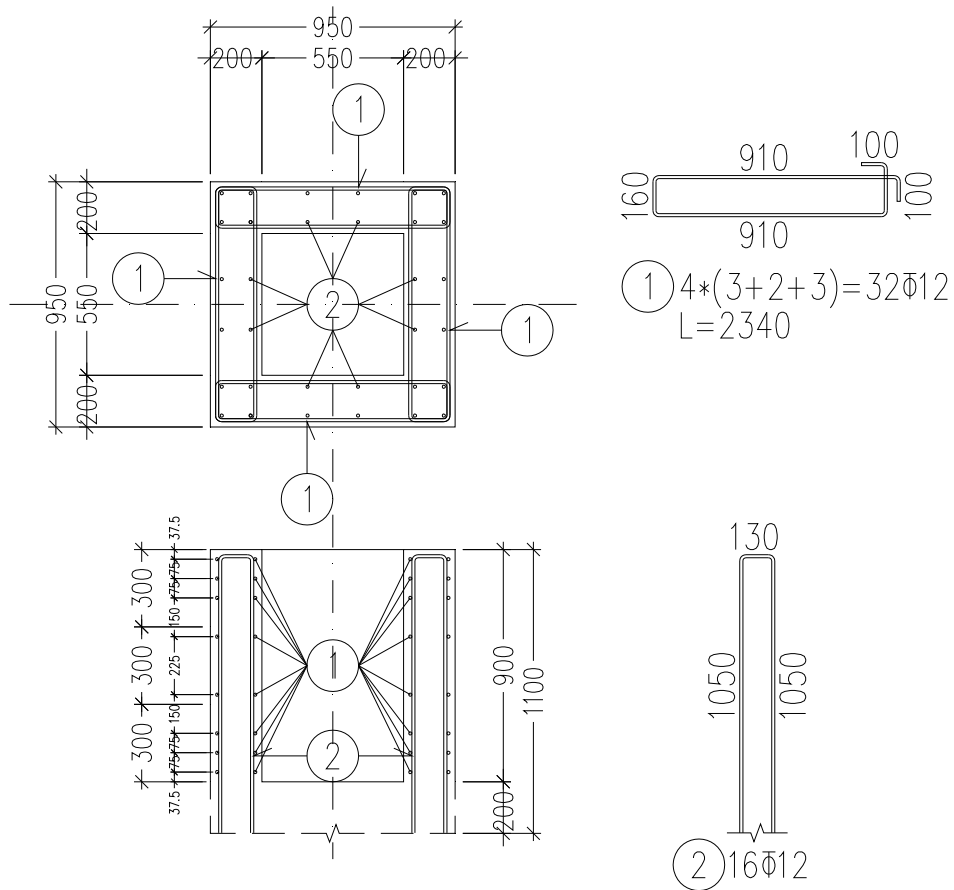
### Model 2 donatı hesabı ve yuva detayı

#### Yatay donatı hesabı

$V_o=430445,83N$	$V_u=374595,83N$	
$M_d=13451432,29Nmm$	Eğilme tasarımı	$A_s=233mm^2$
	Askı tasarımı	$A_s=589mm^2$
	Seçilen donatı	$3\phi 12 (679mm^2)$

#### Düşey donatı

$T_y=422619,55$	$A_s=1157mm^2$	$6\phi 12 (1357mm^2)$
-----------------	----------------	-----------------------



Şekil 4.13. Model 2 yuva boyutları ve donatı detayı

### Model 3 donatı hesabı ve yuva detayı

#### Yatay donatı hesabı

$$V_o=498577,50\text{N}$$

$$V_u=439207,50\text{N}$$

$$M_d=16619250\text{Nmm}$$

Eğilme tasarımı

$$A_s=291\text{mm}^2$$

Askı tasarımı

$$A_s=683\text{mm}^2$$

Seçilen donatı

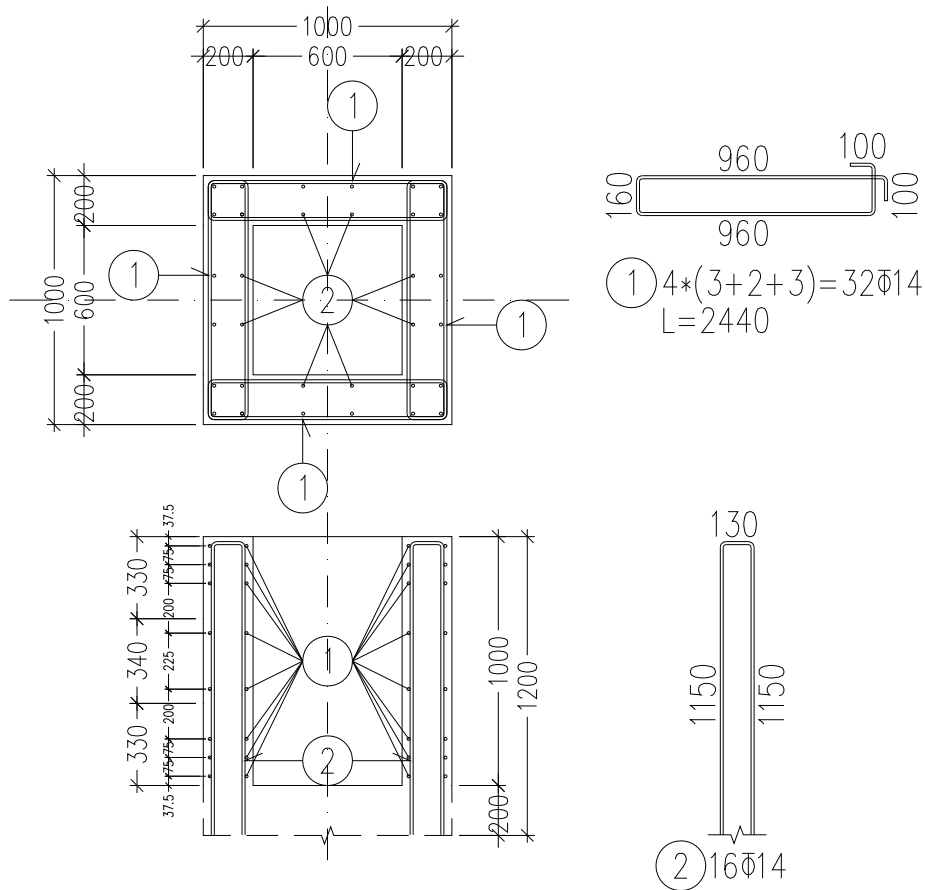
$$3\phi 14 (924\text{mm}^2)$$

#### Düşey donatı

$$T_y=498577,50$$

$$A_s=1365\text{mm}^2$$

$$6\phi 14 (1847\text{mm}^2)$$



Şekil 4.14. Model 3 yuva boyutları ve donatı detayı

### Model 4 donatı hesabı ve yuva detayı

#### Yatay donatı hesabı

$$V_o=599376,14\text{N}$$

$$V_u=535446,14\text{N}$$

$$M_d=22476605,11\text{Nmm}$$

Eğilme tasarımı

$$A_s=296\text{mm}^2$$

Askı tasarımı

$$A_s=821\text{mm}^2$$

Seçilen donatı

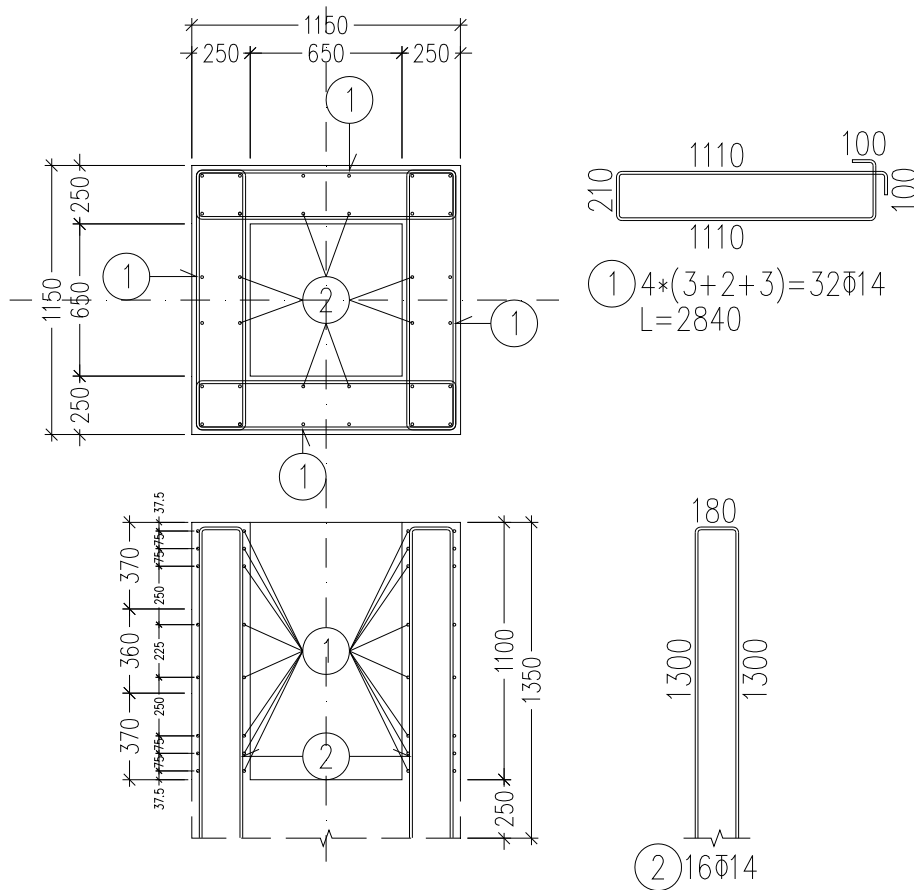
$$3\phi 14 (924\text{mm}^2)$$

#### Düşey donatı

$$T_y=608597,31$$

$$A_s=1666\text{mm}^2$$

$$6\phi 14 (1847\text{mm}^2)$$



Şekil 4.15. Model 4 yuva boyutları ve donatı detayı

### Model 5 donatı hesabı ve yuva detayı

#### Yatay donatı hesabı

$$V_o=643537,50\text{N}$$

$$V_u=573897,50\text{N}$$

$$M_d=25473359,38\text{Nmm}$$

Eğilme tasarımı

$$A_s=337\text{mm}^2$$

Askı tasarımı

$$A_s=881\text{mm}^2$$

Seçilen donatı

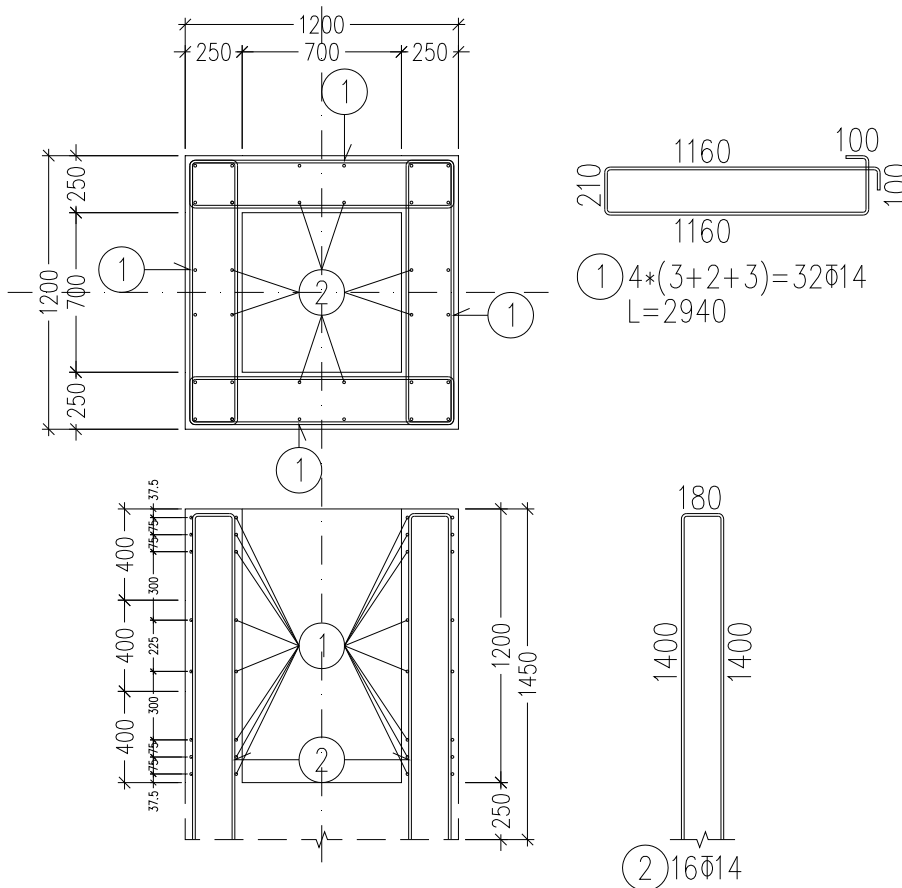
$$3\phi 14 (924\text{mm}^2)$$

#### Düşey donatı

$$T_y=661924,29$$

$$A_s=1812\text{mm}^2$$

$$6\phi 14 (1847\text{mm}^2)$$

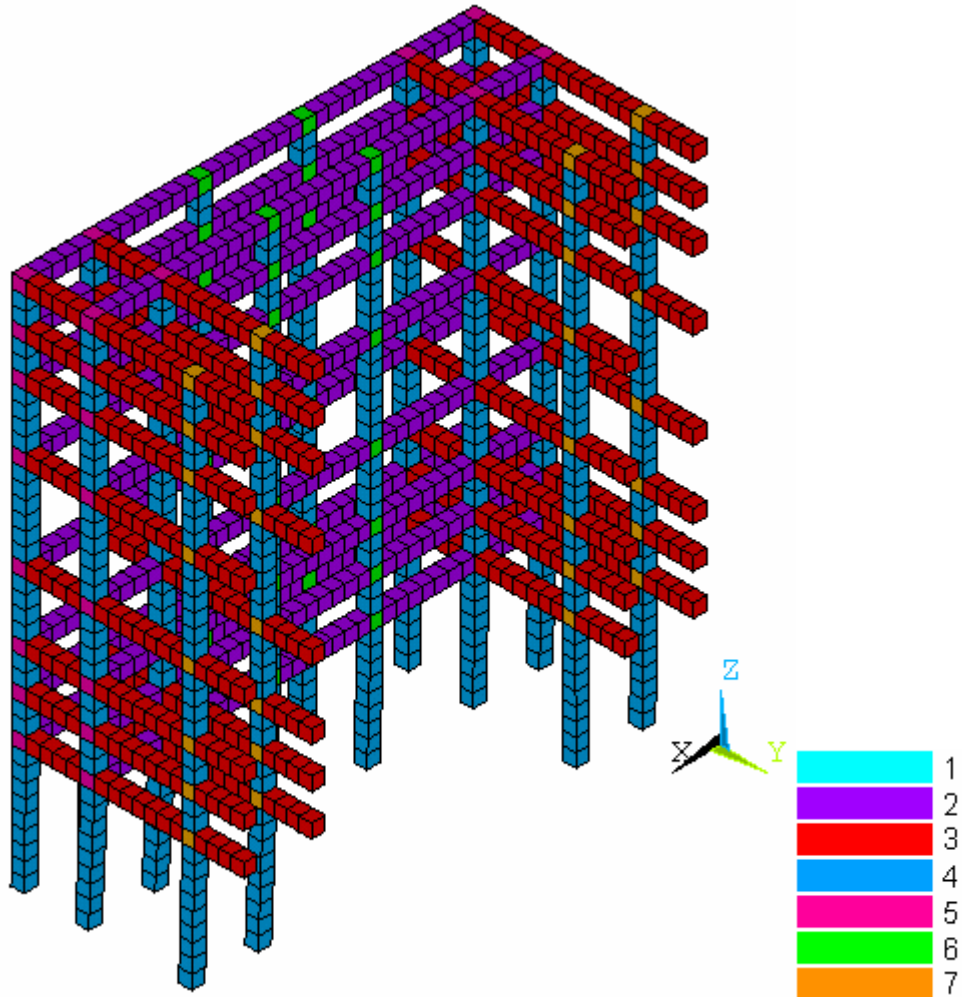


Şekil 4.16. Model 5 yuva boyutları ve donatı detayı

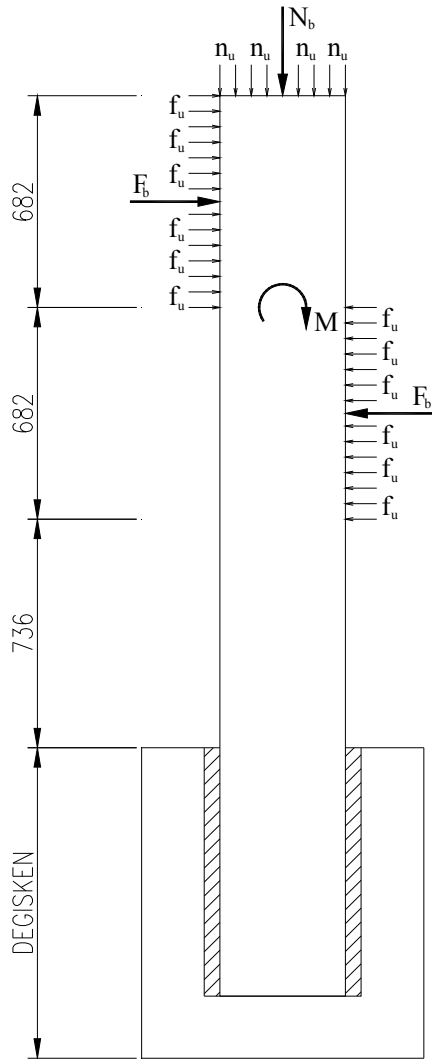
### 4.2.3. Sonlu eleman modellerinin genel özellikleri

Boyut ve donatı detayları bu çalışmanın daha önceki sayfalarında verilen (Bkz. Şekil 4.12- ) yuvalara ait sonlu eleman modellerinin, sonlu eleman ağı, yükleme şekli ve mesnet koşulları deney numunesi modeli ile aynı şekildedir (Bkz. Şekil 4.3).

Modellere ilişkin boyut ve donatı yerleşimi ve uygulanan kuvvetler dışındaki malzeme özellikleri, temas yüzeyi parametreleri ve sonlu eleman analizleri ile ilgili diğer parametreler tüm modeller için aynıdır.



Şekil 4.17. Donatılı *Solid65* elemanları ve gerçek sabit seti numaraları



Şekil 4.18. Modellere uygulanan yüklemenin şekli

Modellere uygulanan kuvvetlerin yeri ve şekli Şekil 4.18’de gösterilmiştir. Modellemede simetri özelliğinden yararlanıldığından dolayı Çizelge 4.14’de verilen normal kuvvet ve moment değerlerinin yarısı modellere uygulanmıştır. Uygulamada kolon üzerinde bu moment değerini yaratacak kuvvet çifti yaratılmıştır. Hesaplanan tekil bileşke kuvvet ( $F_b$ ) kolon yüzüne dağıtılmak sureti ile daha küçük  $f_u$  kuvvetlerine dönüştürülerek uygulanmıştır. Benzer şekilde normal kuvvet de ( $N_b$ ) küçük  $n_u$  kuvvetlerine dönüştürülerek uygulanmıştır. Bu şekilde hem deney yükleme düzeneği ile uygulanan kuvvetlere en yakın yükleme şekli elde edilmeye çalışılmış hem de homojen bir gerilme uygulanmıştır.

Çizelge 4.15. Model 1-5 yuva betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
4	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	20500	
	PRXY	0,2	
	<b>Beton</b>		
	ShrCf-Op	0,8	
	ShrCf-CI	0,9	
	UnTensSt	3,52	
	UnCompSt	-1	
	BiCompSt	0	
	HydroPrs	0	
	BiCompSt	0	
	UnTensSt	0	
	TenCrFac	0	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
	1	0,0003	6,12
	2	0,0007	10,88
3	0,0010	14,28	
4	0,0013	16,32	
5	0,0017	17,00	
6	0,0038	14,45	

Çizelge 4.16. Model 1-5 kolon betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
2	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	24410	
	PRXY	0,2	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
	1	0,0004	9,18
	2	0,0008	16,32
	3	0,0013	21,42
	4	0,0017	24,48
	5	0,0021	25,50
6	0,0038	21,68	

Çizelge 4.17. Model 1-5 dolgu betonu özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
1	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	20500	
	PRXY	0,2	
	<b>Beton</b>		
	ShrCf-Op	0,8	
	ShrCf-CI	0,9	
	UnTensSt	1,57	
	UnCompSt	-1	
	BiCompSt	0	
	HydroPrs	0	
	BiCompSt	0	
	UnTensSt	0	
	TenCrFac	0	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
	1	0,0003	6,12
	2	0,0007	10,88
	3	0,0010	14,28
	4	0,0013	16,32
	5	0,0017	17,00
	6	0,0038	14,45
<b>Sürtünme katsayısı</b>			
MU	0,6		
<b>Yayma oranı</b>			
EMIS	7,8886E-031		

Çizelge 4.18. Model 1-5 donatı özellikleri

Malzeme modeli numarası	Malzeme Özellikleri		
3	<b>Lineer izotropik</b>		
	EX (MPa)	$2,1 \cdot 10^5$	
	PRXY	0,3	
	<b>Multi lineer elastik</b>		
	Nokta No	$\epsilon$	$\sigma$ (MPa)
1	0,002	420	

Çizelge 4.19. Model 1 ve 2 *Solid65* elemanları için gerçek sabit setleri

Set No	Donatı 1				Donatı 2				Donatı 3			
	MAT 1	VR 1	THETA 1	PHI 1	MAT 2	VR 2	THETA 2	PHI 2	MAT 3	VR 3	THETA 3	PHI 3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0,181	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0,181	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	0,181	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0,181	0	0	3	0,181	90	0	3	0,181	0	90
6	3	0,181	0	0	3	0,181	0	90	0	0	0	0
7	3	0,181	90	0	3	0,181	0	90	0	0	0	0

Çizelge 4.20. Model 3,4 ve 5 *Solid65* elemanları için gerçek sabit setleri

Set No	Donatı 1				Donatı 2				Donatı 3			
	MAT 1	VR 1	THETA 1	PHI 1	MAT 2	VR 2	THETA 2	PHI 2	MAT 3	VR 3	THETA 3	PHI 3
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	3	0,246	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	3	0,246	90	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	3	0,246	0	90	0	0	0	0	0	0	0	0
5	3	0,246	0	0	3	0,246	90	0	3	0,246	0	90
6	3	0,246	0	0	3	0,246	0	90	0	0	0	0
7	3	0,246	90	0	3	0,246	0	90	0	0	0	0

Çizelge 4.21. Model 1-5 *Contal74* elemanı için gerçek sabit seti

Set No	FKN	FTOLN	TAUMAX	FKOP	FKT	FACT
8	0,1	1	$1*10^{20}$	1	1	1

*Contal74* elemanı gerçek sabit setinin Çizelge 4.21’de verilmeyen değişkenlerinin tamamının değeri 0’dir.

### 4.3. Analizlerin Yürütülmesi ve Çözüm Opsiyonları

Analizlerin yürütülmesinde, üzerinde Windows XP Professional SP2 işletim sistemi yüklü bulunan ve Pentium D 3,0GHz işlemcili, 2GB 533MHz RAM ve 512MB Ekran kartı donanımına sahip bir masaüstü kişisel bilgisayar kullanılmıştır.

Modellere uygulanan kuvvet, toplam 10 adımda ve her adımda toplam kuvvetin 1/10'u kadar arttırılarak uygulanmıştır. Doğrusal olmayan analizlerde yakınsama için yapılan iterasyon sayısı yazılım tarafından otomatik olarak belirlenmiş olup her model için uygulanan toplam iterasyon sayısı, sonlu eleman ağını oluşturan toplam eleman sayısı ve analiz süresi Çizelge 4.22'de verilmiştir.

Çizelge 4.22. Yürütülen analizlere ait sayısal veriler

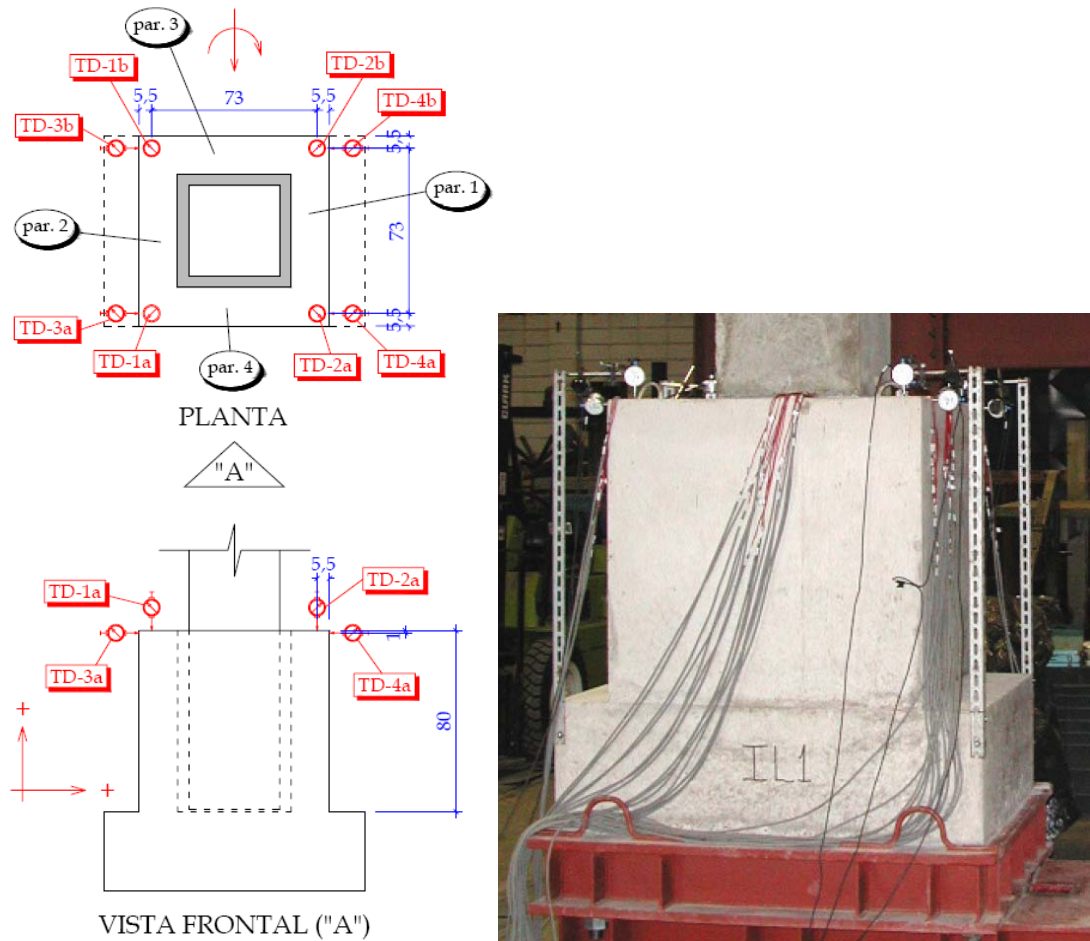
<b>Model No</b>	<b>Eleman Sayısı (adet)</b>	<b>İterasyon Sayısı (adet)</b>	<b>Analiz Süresi (saat:dakika)</b>
<b>Deney</b>	30797	882	23:49
<b>1</b>	34609	217	35:50
<b>2</b>	41545	295	39:20
<b>3</b>	51719	265	44:44
<b>4</b>	73860	293	49:43
<b>5</b>	83927	267	51:22

Analizlerde büyük deplasmanlara dönmelere ve deformasyonlara izin verilmiştir. Analizi yapılacak olan problem, doğrusal olmayan temas problemi olduğu için yakınsamayı kolaylaştırmak amacı ile yazılımın çizgi arama (line search) özelliği devreye alınmıştır. Yine yakınsamayı kolaylaştırmak için temas yüzeyi ile hedef yüzey arasında 1 mm.lik bir boşluk bırakılmıştır. Bu mesafenin *CONTA174* elemanının K5 özelliği kullanılarak yazılım tarafından otomatik olarak başlangıç varsayılan değerine indirgenmesi sağlanmıştır. Diğer analiz opsiyonları için yazılımın varsayılan tanımlamaları kullanılmıştır.

## 5. ANALİZ SONUÇLARI

### 5.1. Doğrulama Amaçlı Yürütülen Analiz Sonuçları

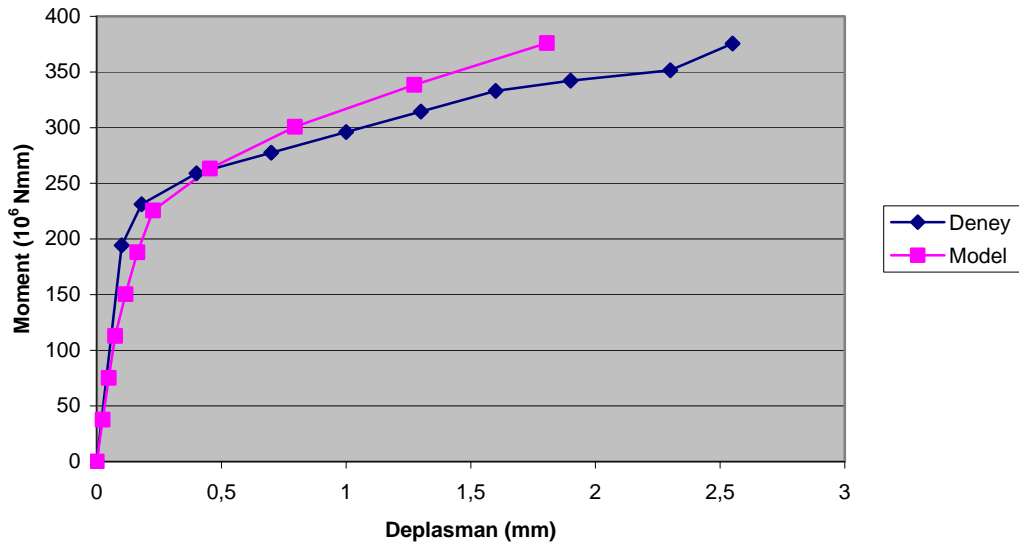
Canha ve arkadaşları (2004) tarafından yapılan deneyde numune dışında farklı noktalardan deplasman değerleri ve donatılardan da gerilme değerleri ölçülmüştür. Bu çalışma kapsamında yuva davranışı inceleneceğinden dolayı yalnızca yuva yanaklarının dışından yapılan ölçümler referans olarak alınmıştır.



Şekil 5.1. Deney numunesinde deplasman ölçerlerin konum ve numaraları [22]

Yuva yanağı dışından yapılan deplasman ölçümlerinin yerleri Şekil 5.1'de verilmiştir. Analitik sonuçlar ile deney sonuçlarını karşılaştırmada referans olarak

yüklemeye doğrudan, yuva köşe nokta deplasman değerlerinin ölçüldüğü TD-4a ve TD-4b ölçüm noktalarından elde edilen değerler alınmıştır. Analiz sonuçlarından elde edilen deplasman grafiği ve deney sonuçlarından elde edilen deplasman grafiği Şekil 5.2’de görülmektedir.

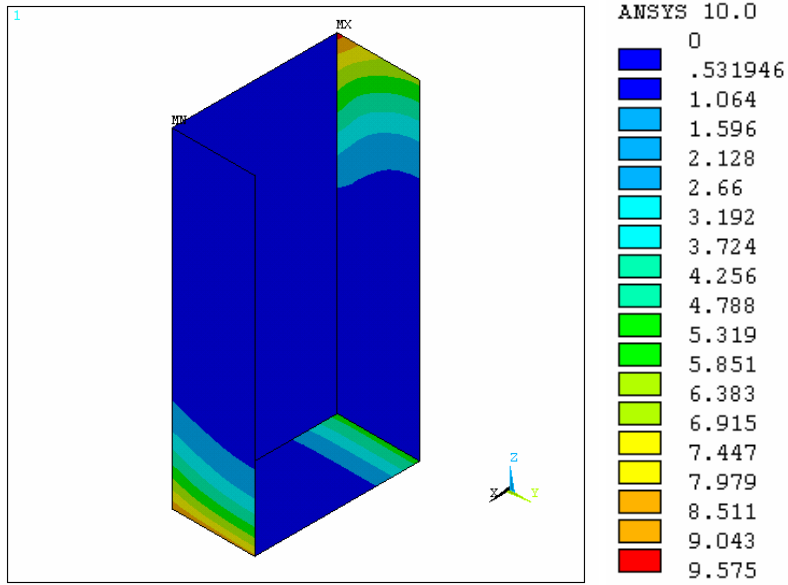


Şekil 5.2. Analiz - deney karşılaştırmalı deplasman grafiği

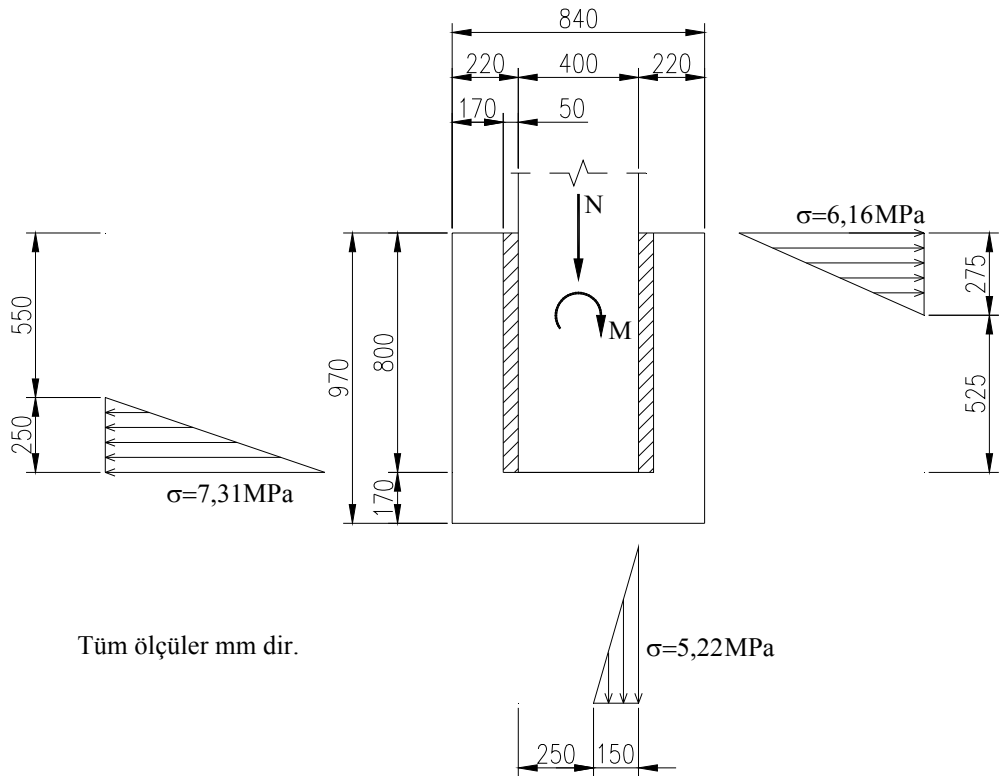
Deney sonuçları ile analiz sonuçlarının karşılaştırıldığı toplam 22 adet farklı analiz yürütülmüştür. Yapılan her analizde muhtelif analiz opsiyonları değiştirilerek deney deplasman grafiğine en yakın grafik elde edilmeye çalışılmıştır. Şekil 5.2’de verilen grafikte, gerek davranış gerekse pik yüke karşılık gelen deplasman değeri açısından deney sonucu ile analiz sonucu yeteri yakınlıkta kabul edilmiş, oluşan 0,74 mm.lik fark ihmal edilmiştir.

Çizelge 5.1. Analiz sonuçları ile deney sonuçlarının karşılaştırılması

	Moment (N-mm)	Deplasman (mm)	Fark (mm)	Hata Oranı
<b>Deney</b>	375550000	2,55	0,74	%26
<b>Analiz</b>	376000000	1,81		



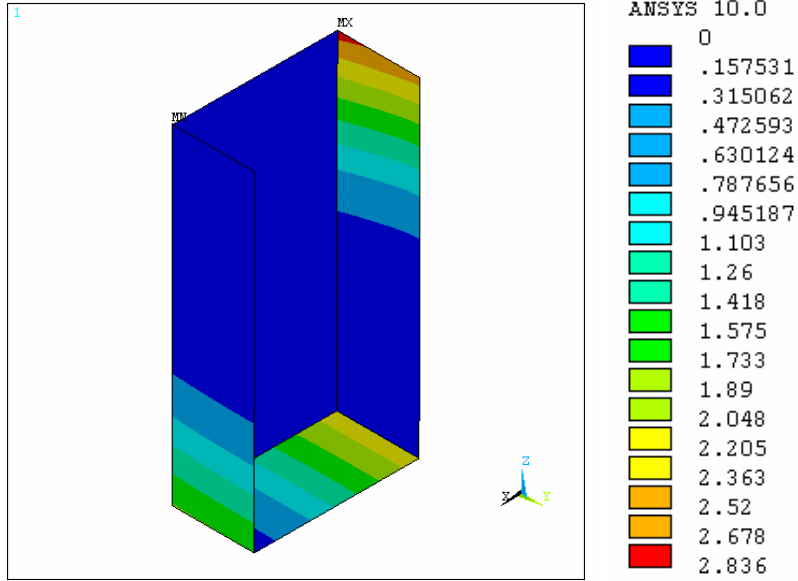
Şekil 5.3. Deney modeli yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)



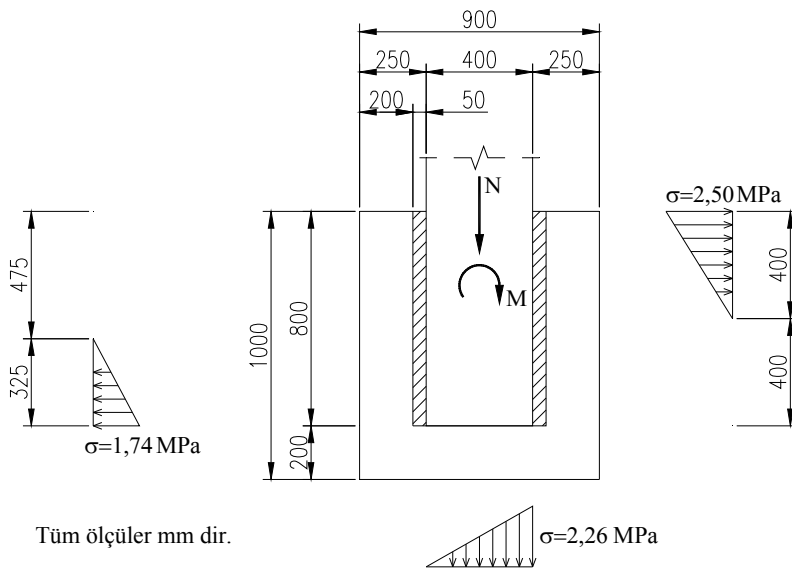
Şekil 5.4. Deney modeli için yuva orta kesiti gerilme dağılımı.

## 5.2. Gerilme Aktarım Mekanizmasının Belirlenmesi Amacıyla Yürütülen Analiz Sonuçları

### 5.2.1. Model 1 analiz sonuçları

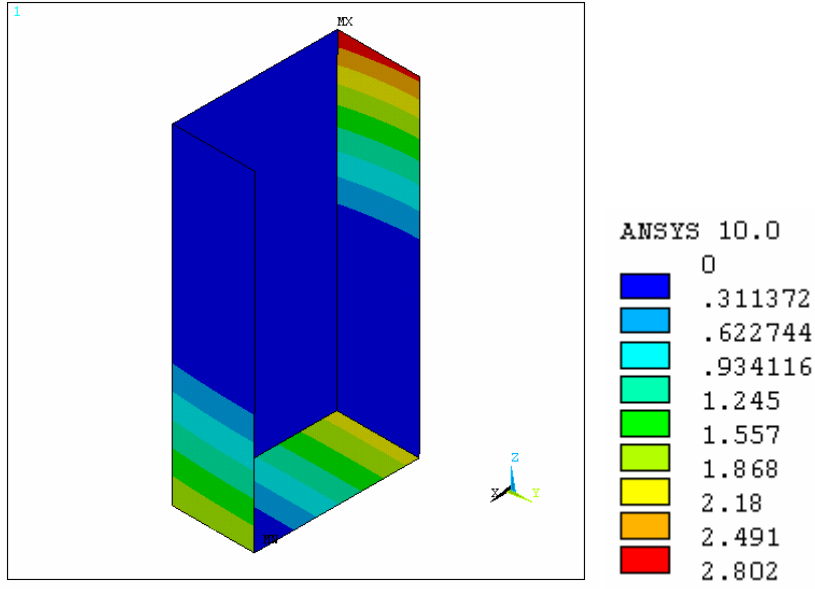


Şekil 5.5. Model 1 Yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)

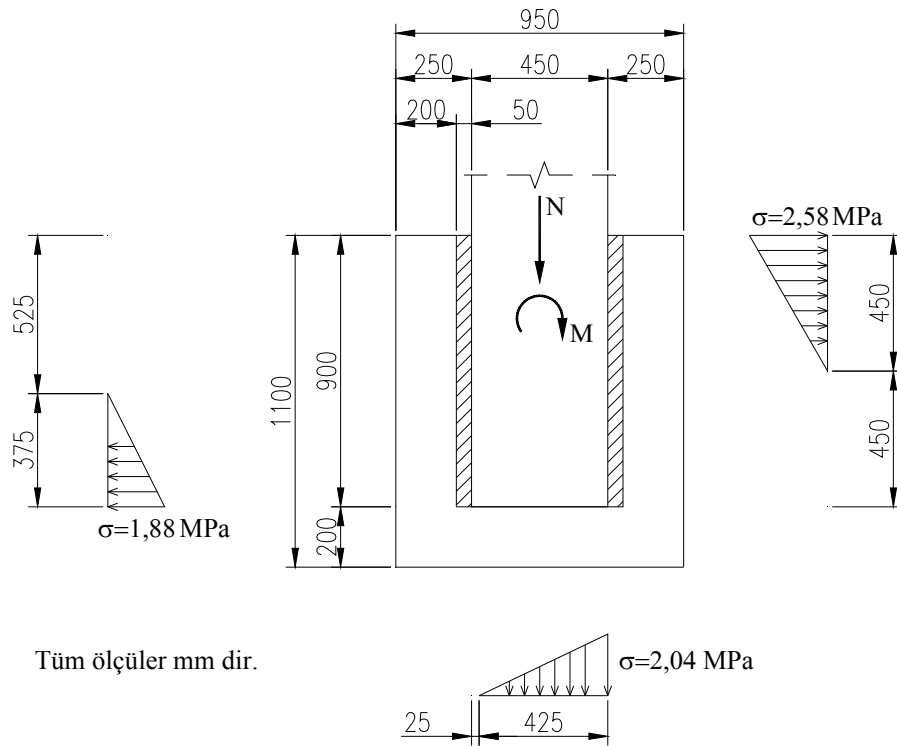


Şekil 5.6. Model 1 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı

### 5.2.2. Model 2 analiz sonuçları

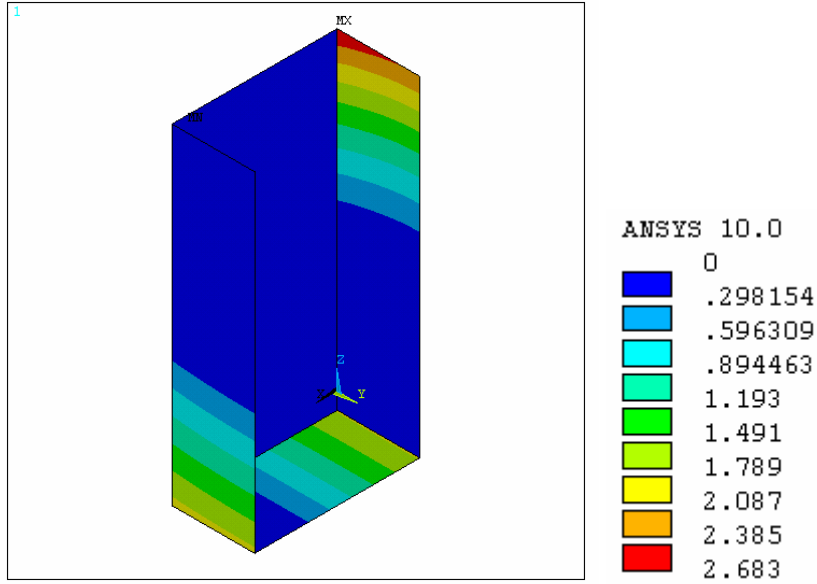


Şekil 5.7. Model 2 Yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)

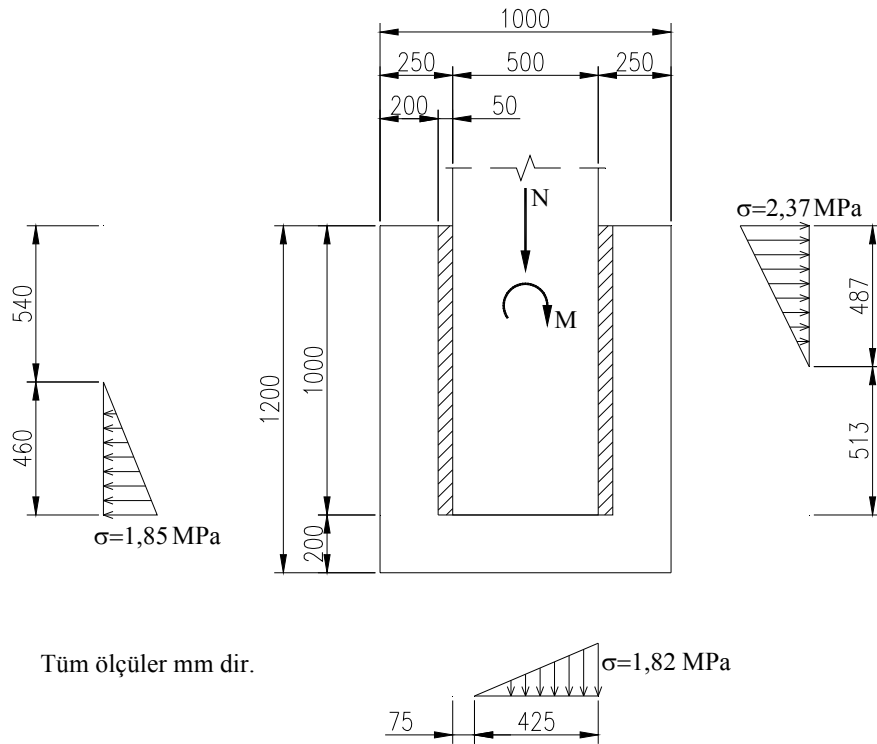


Şekil 5.8. Model 2 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı

### 5.2.3. Model 3 analiz sonuçları

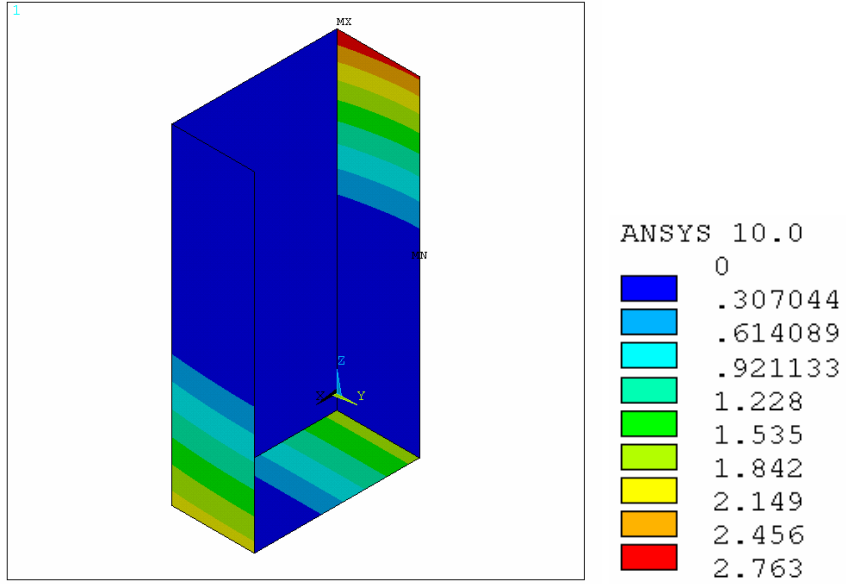


Şekil 5.9. Model 3 yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)

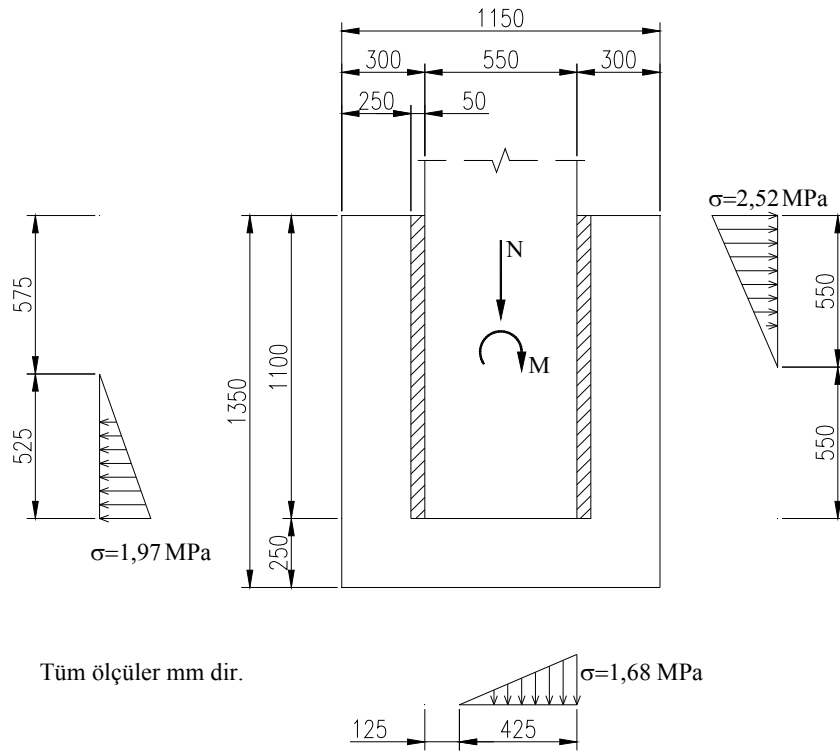


Şekil 5.10. Model 3 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı

#### 5.2.4. Model 4 analiz sonuçları

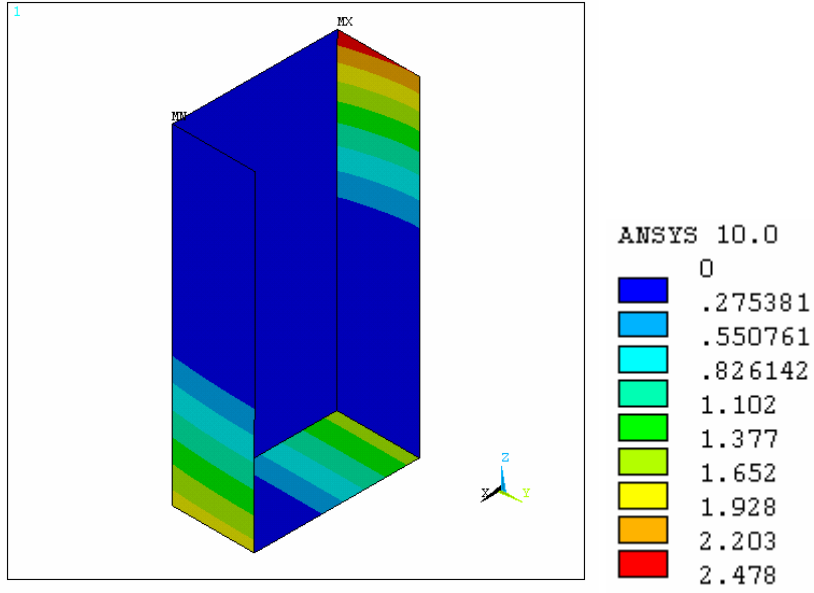


Şekil 5.11. Model 4 için yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)

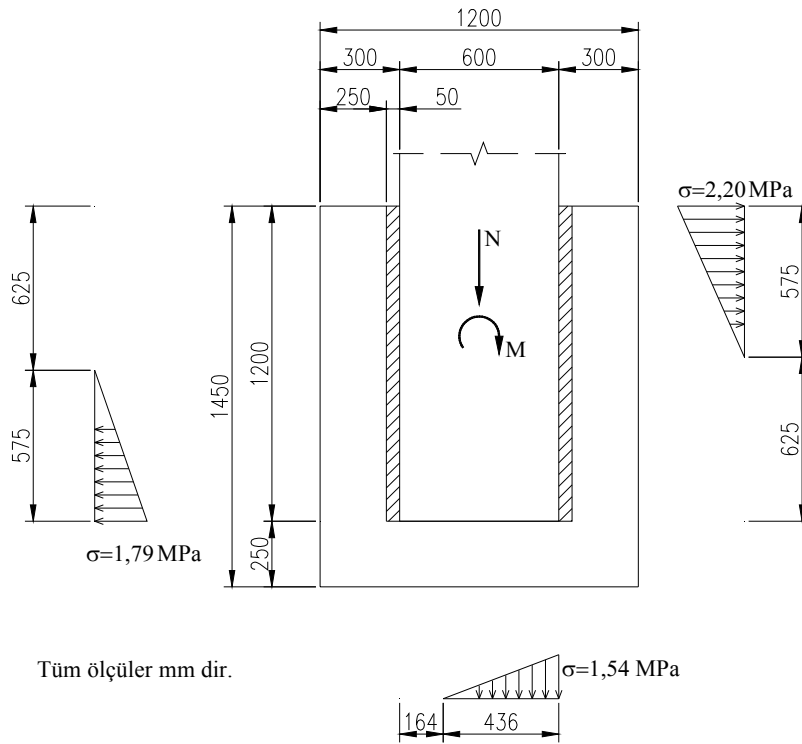


Şekil 5.12. Model 4 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı

### 5.2.5. Model 5 analiz sonuçları



Şekil 5.13. Model 5 için yuva içi temas yüzeyi gerilme dağılımı (MPa)



Şekil 5.14. Model 5 için yuva orta kesiti gerilme dağılımı

### 5.3. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yürütülen sonlu eleman analizlerinden soket orta kesiti için elde edilen en büyük gerilme değerleri ve gerilmenin yayıldığı mesafe ile mesafenin ilgili yuva boyutuna oranı Çizelge 5.2, 5.3 ve 5.4’de verilmiştir.

Çizelge 5.2. Yuva üst ucu gerilme dağılım tablosu

Model No	$l_b$ (mm)	Derinlik (mm)	$\sigma_{üst}$ (MPa)	Oran
1	800	400	2,5	0,50
2	900	450	2,58	0,50
3	1000	487	2,37	0,49
4	1100	550	2,52	0,50
5	1200	575	2,2	0,48

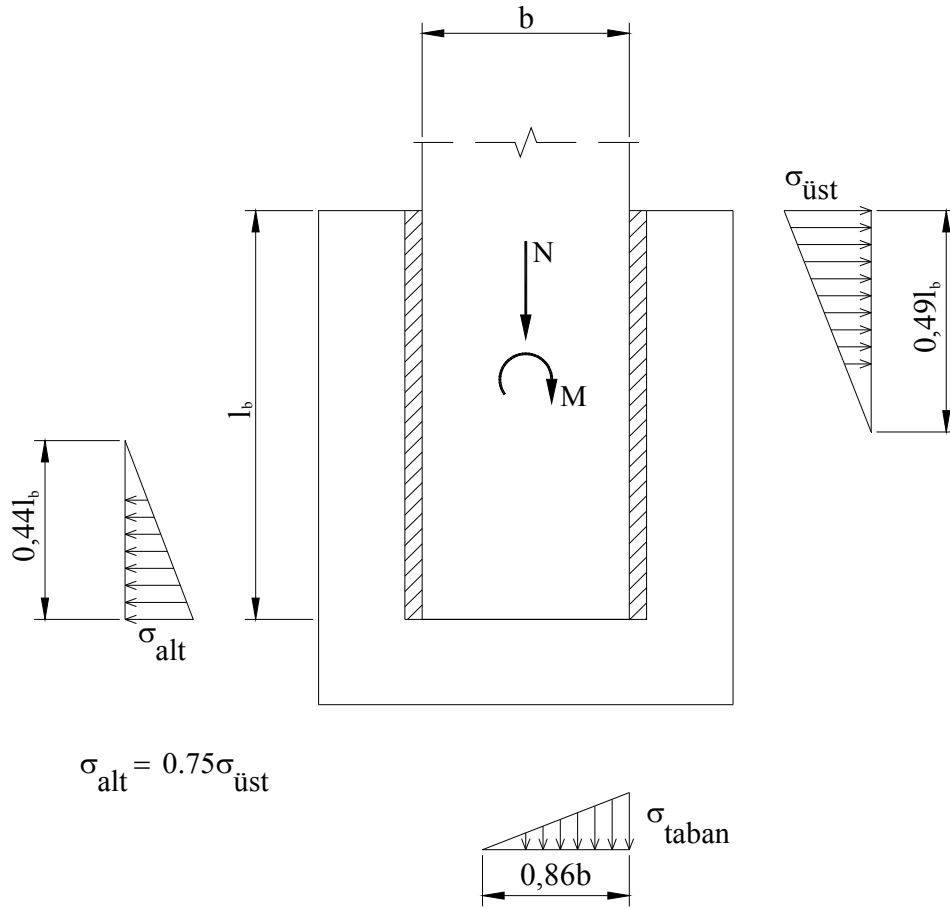
Çizelge 5.3. Yuva alt ucu gerilme dağılım tablosu

Model No	$l_b$ (mm)	Yükseklik (mm)	$\sigma_{alt}$ (MPa)	Oran
1	800	325	1,74	0,41
2	900	375	1,88	0,42
3	1000	460	1,85	0,46
4	1100	525	1,97	0,48
5	1200	550	1,79	0,46

Çizelge 5.4. Yuva tabanı gerilme dağılım tablosu

Model No	$b$ (mm)	Uzunluk (mm)	$\sigma_{taban}$ (MPa)	Oran
1	400	400	2,26	1,00
2	450	425	2,04	0,94
3	500	425	1,82	0,85
4	550	425	1,68	0,77
5	600	436	1,54	0,73

Buna göre bütün modellerin analizinden elde edilen gerilme dağılımları incelendiğinde, yuva orta kesiti için elde edilen gerilme dağılımlarına ait ortalama değerler yuva üst ucu için  $0,49l_b$ , yuva alt ucu için  $0,44l_b$  ve yuva tabanı için  $0,86b$  olarak elde edilmiş ve gerilme aktarım mekanizması Şekil 5.15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Gerilme aktarım mekanizması

#### 5.4. Analiz Sonuçlarının Daha Önce Yapılan Çalışma Ve Yönetmeliklerle Karşılaştırılması

Yuvalı temellerin tasarımı ile ilgili literatür incelendiğinde, çoğunlukla tasarım için bir kuvvet denklemi önerildiği ve bu denklem ile elde edilen kuvvetin iki ucu ankastre mesnetli bir kirişin orta noktasına uygulanması yolu ile elde edilen kesit tesirleri ile betonarme tasarımın yapılmasının önerildiği görülmüştür. Bu amaçla, yürütülen sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen gerilme değerleri, tekil bir kuvvete dönüştürülerek daha önce yapılmış olan çalışma ve yönetmeliklerde önerilen kuvvet formülleri sonucu elde edilen değerler ile karşılaştırılacaktır. Uygulamada genellikle yuva üst ucu için betonarme tasarım yapılmakta ve elde edilen donatı alt

üç için de aynen kullanılmaktadır. Bu nedenle sadece yuva üst ucu için kuvvetlerin karşılaştırılmasının uygun olacağı düşünülmüştür.

#### 5.4.1. TS9967 Formülasyonu

TS9967 standardında yuvalı temellerin tasarımı için önerilen ve yuvanın üst ucuna etkileyen etkiyen kuvvet Eş. 5.1 ile ifade edilmiştir. Alman DIN1045 standardında da aynı ifade yer almaktadır. Yönetmelikte kuvvetin, yuva üst ucundan yuva yüksekliğinin 1/6'sı kadar aşağıya uygulanması önerilmiş olup gerilme dağılımı soket yüksekliğinin 1/3'ü bölgede düzgün yayılı biçimdedir [21].

$$V_o = \frac{3}{2} \frac{M}{l_b} + \frac{5}{4} V \quad (5.1)$$

#### 5.4.2. Japon AIJ formülasyonu

Japon AIJ standardında yuvalı temellerin tasarımı için önerilen ve yuva üst ucuna etkileyen kuvvet Eş. 5.2'de verilmiştir. Yönetmelikte kuvvetin, yuva üst ucundan  $d_t$  kadar aşağıya uygulanması, alt uç için ise gerilmenin  $d_c$  yüksekliğindeki bölgede düzgün yayılı biçimde alınması önerilmiştir [7].  $d_t$  değeri soket yüksekliğinin 1/6'sı olarak kabul edilmiş olup hesaplamalarda  $d_c$  yüksekliği soket yüksekliğinin 1/3'ü olarak alınmıştır.

$$V_o = \frac{1}{l_b - d_t - \frac{d_c}{2}} \cdot \left[ M + \frac{V}{2} \cdot (l_b - d_c) \right] \quad (5.2)$$

#### 5.4.3. Canha ve arkadaşları tarafından önerilen formülasyon

Canha ve arkadaşları tarafından yürütülen deneysel ve analitik çalışmalar neticesinde elde edilen ve yuva üst ucuna etkileyen kuvvet Eş.5.3'de verilmiştir. Canha ve

arkadaşları tarafından kuvvetin, yuva üst ucundan  $y$  kadar aşağı, alt ucundan ise  $y'$  kadar yukarı uygulanması, kolon tabanında oluşan reaksiyon kuvvetinin de kolon aksından kaçıklığının  $e_{nb}$  alınması önerilmiştir [12]. Hesaplamalarda  $y$  ve  $y'$  değerleri soket yüksekliğinin  $1/6$ 'sı,  $e_{nb}$  değeri de kolon boyutunun  $1/4$ 'ü kadar alınmıştır. Sürtünme katsayısı  $\mu=0,6$  olarak alınmıştır.

$$V_o = \frac{M - N \cdot \left[ e_{nb} + \frac{\mu y' - \mu^2 (0,5b + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right] + V \cdot \left[ l_b + \frac{y' - \mu(0,5b + e_{nb})}{1 + \mu^2} \right]}{l_b - y - y' + \mu b} \quad (5.3)$$

#### 5.4.4. Sonuçların karşılaştırılması

Her bir model için Çizelge 4.14'de verilen mesnet reaksiyonları kullanılarak Eş.5.1, 5.2, 5.3 yardımı ile hesaplanan  $V_o$  kuvvetleri ile yürütülen sonlu eleman analizleri sonucu elde edilen  $V_o$  kuvvetleri Çizelge 5.5'de verilmiştir.

Çizelge 5.5. Soket üst ucuna etkiyen  $V_o$  kuvvetleri (N)

Model No	TS9967	AIJ	Canha	ANSYS
1	360493,8	320541,3	202489,7	200000,0
2	430445,8	388558,3	244559,2	261225,0
3	498577,5	454050,0	285417,8	288547,5
4	599376,1	551428,6	345951,0	381150,0
5	643537,5	591307,5	372019,5	379500,0

Elde edilen  $V_o$  kuvvetleri karşılaştırıldığında, yürütülen sonlu eleman analizleri sonucu elde edilen kuvvetlerin Canha ve arkadaşları tarafından önerilen formülasyon kullanılarak elde edilen değerler ile oldukça yakın olduğu görülmüştür. TS9967'ye göre hesaplanan değerlerin oldukça güvenli tarafta kaldığı, AIJ'ye göre hesaplanan değerlerin ise deneysel ve analitik veriler kullanılarak elde edilen değerlere daha yakın olduğu gözlenmiştir.

### 5.5. Soket Üst Ucuna Etkiyen Kuvvetin Formülasyonu

Elde edilen  $V_o$  kuvvetleri karşılaştırıldığında Canha ve arkadaşları tarafından deneysel ve analitik veriler kullanılarak önerilen formülasyon ile elde edilen değerlerin, yürütülen sonlu elemanlar analizleri sonucunda elde edilen değerler ile oldukça yakın sonuçlar verdiği görülmüştür. Canha ve arkadaşları tarafından önerilen formülasyon incelendiğinde, formülün uzun ve karmaşık oluşu, çok fazla değişken içermesi gibi nedenlerle tasarımda kullanılmasının zor olacağı düşünülmüştür. Bu nedenle Canha ve arkadaşları tarafından önerilen formülasyonun, bazı kabuller yapılarak sadeleştirilmesi yuvalı temel tasarımı yapan mühendisler için kolaylıkla kullanılabilmesi açısından yerinde olacaktır.

Yürütülen sonlu eleman analizleri sonucunda elde edilen gerilme dağılımı üçgen ve soket yüksekliğinin yarısında etkilidir. Soketin üst ucunda elde edilen kuvvetin alt ucun da tasarımında kullanılacağı kabulü ile  $y$  ve  $y'$  değerleri birbirine eşit ve soket üst ucundan soket yüksekliğinin  $1/6$ 'sı kadar mesafede uygulanması kabul edilebilir.

$$y = y' = \frac{l_b}{6} \quad (5.4)$$

$$e_{nb} = \frac{b}{4} \quad (5.5)$$

$\mu=0,6$ ,  $l_b=2b$  alınarak Eş. 5.4 ve Eş. 5.6, Eş. 5.3'te yerine yazılıp gerekli sadeleştirmeler yapılırsa Eş.5.7 elde edilir.

$$V_o = \frac{M}{l_b} + \frac{5V}{4} - \frac{N}{5} \quad (5.7)$$

Burada  $V_o$  yuva duvarına etkiyen tekil tasarım kuvveti,  $M$  kolondan yuvalı temele aktarılan hesap momenti,  $V$  kolondan yuvalı temele aktarılan kesme kuvveti,  $N$

kolondan yuvalı temele aktarılan normal kuvvet ve  $I_b$  ise kolonun yuva içerisinde kalan kesiminin uzunluğudur.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

### 6.1. Sonuçlar

Yürütülen tez çalışması kapsamında prefabrike betonarme yapıların imalatında kullanılan düz yüzeyle yuvalı temeller ile kolon birleşim bölgesindeki yük aktarım mekanizması üzerine bir araştırma yapılmıştır. Prefabrike betonarme yapılarda yaygın olarak kullanılan yuvalı temel kolon birleşimindeki yük mekanizması üç boyutlu bir temas problemini içeren son derece karmaşık bir mühendislik problemidir. Ayrıca bu konudaki çalışmaların son derece az olduğu görülmüş ve bir araştırma yapılmasına karar verilmiştir. Söz konusu birleşim detayı prefabrike betonarme yapılarda kullanılan ve endüstriyel yapılarda çok yaygın olan bir detay olup, bu yapıların ülke ekonomisi üzerinde önemli etkileri olduğu için önemli ve incelenmesi gereken bir konu olduğu düşünülmüştür. Prefabrike betonarme yapılarda kat yüksekliğinin büyük olması kolon alt ucunun temel ile birleşim bölgesinde oluşabilecek bir deplasman veya dönmenin kolon üst ucunda çok daha büyüterek meydana gelmesine ve kolon-kiriş birleşimlerinin bu hareketten olumsuz etkilenerek yapıların hasar almasına neden olduğu ülkemizde meydana gelen son depremlerde gözlenmiştir. Bu nedenle soket temeller ve kolonlar arasındaki yük aktarımının incelendiği bir çalışma planlanmıştır.

Çalışmanın ilk aşamasında Canha ve arkadaşları tarafından yürütülen deneye ait numunenin yük altındaki davranışını simüle etmek üzere bir ANSYS modeli oluşturulmuş ve bu modelin sonlu eleman analizinden elde edilen sonuçlar ile deney sonuçları karşılaştırılmıştır. Yapılan bu çalışma ile sonlu eleman modeli sonuçları ile deneysel çalışmadan elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak sonlu eleman modelinin doğrulanması yapılmıştır. Sonlu eleman modelinden elde edilen sonuçların gerçek davranışı gösteren deneysel sonuçlara oldukça iyi uyum sağladığı görülmüştür. Deneysel kapasite, deplasman ve deneysel sonuçlardan elde edilen gerilme aktarım modeli ile analiz sonuçlarının birbirine çok benzediği görülmüştür.

Çalışmanın ikinci kısmında ise farklı kolon tipleri için boyut ve donatıları TS9967 standardına göre belirlenen yuvaların ANSYS modeli oluşturularak, DBYYHY2007'ye göre belirlenen yatay yükler altında sonlu eleman analizleri yürütülerek kolondan yuva duvarına aktarılan kuvvetin gerilme dağılımının yorumlanmasına çalışılmıştır. Çalışma kapsamında analiz edilmek üzere seçilen kolon-yuvalı temel birleşimleri ülkemizde uygulamada yaygın olarak kullanılan boyutlarda seçilerek uygulamacı tasarım mühendislerinin kullanabileceği sonuçların elde edilmesi amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında ANSYS sonlu eleman programı seçilmiş ve kullanılmıştır. ANSYS sonlu eleman yazılımı betonarme yapı elemanlarını modellemek için betonun lineer olmayan özelliklerini modelleyebildiğiniz ve içerisine donatı yerleştirebildiğiniz elemanları bünyesinde bulunduran bir yazılımdır. Ayrıca çalışma kapsamında incelenen yuvalı temel ve kolon arasındaki gerilme aktarımının incelenmesi için 2 sürekli ortam arasındaki üç boyutlu temas probleminin modellenmesi gerekmektedir. Bu problem mekanik literatüründe yer alan lineer olmayan karmaşık analizlerin başında gelmektedir. ANSYS sonlu eleman yazılımı bünyesinde temas problemlerinin çözümü içinde özel elemanlar ve yardımcı sihirbazlar bulunduran bir yazılımdır. Analiz edilen problem hem beton malzemesinin doğası gereği malzeme nonlineerliği içeren hem de zamana bağlı olarak temas problemindeki değişimden dolayı lineer olmayan bir analiz olup, analizi oldukça fazla bilgisayar zamanı gerektiren karmaşık bir problemdir. ANSYS sonlu eleman programı bünyesinde bulundurduğu eleman türleri ve temas problemi çözüm özellikleri ile çalışma kapsamında yürütülen analizin gerçekleştirilmesi için son derece uygun bir yazılım olup elde edilen sonuçlar deneysel sonuçlar ile uyum sağlamıştır. Yapılan ilk analiz çalışmalarıyla deneysel sonuçlar ile uyumlu bir model oluşturulmuş ve temas parametreleri deneysel sonuçlar ile uyumlu sonuçlar verecek şekilde doğrulanmıştır.

Analizler sonucu yuva duvarında elde edilen gerilme değerlerinin temas yüzeyi rijitlik faktörüne (FKN) göre değişkenlik gösterdiği görülmüştür. FKN değeri arttırıldıkça analizler sonucunda elde edilen gerilme değerlerinin de arttığı

görülmüştür. FKN değerinin artışı aynı zamanda iterasyon sayısının da artmasına neden olmakta bu da analiz süresinin uzamasına yol açmaktadır.

Kolondan yuvalı temele aktarılan gerilme dağılımı incelendiğinde, yuva orta kesitinde elde edilen gerilme dağılımının kolonun alt ve üst ucunda, yaklaşık yuva derinliğinin yarısı yüksekliğinde bir bölgede ve üçgen biçiminde etkili olduğu görülmüştür. Yapılan analizler sonucunda yönetmelikler tarafından önerilen yuva duvarına aktarılan yükleme ve gerilme değerlerinin güvenli tarafta kalan çok daha yüksek değerler olduğu görülmüştür. Alman DIN 1045 ve TS9967 yönetmeliğimiz gerilme ve kolondan sokete aktarılan yükleme için birbiri ile aynı değerler vermiştir. Japon AIJ yönetmeliğinin verdiği yükleme ve gerilme değerleri deneysel ve ANSYS sonlu eleman analizi sonuçları ile daha yakın değerlere sahiptir.

Literatürde yapılan çalışmalar incelendiğinde tez çalışma kapsamında da ANSYS sonlu eleman modelinin doğrulanmasında kullanılan Canha ve arkadaşları tarafından önerilen yük aktarım modelinin ANSYS sonlu eleman analiz sonuçları ile oldukça uyumlu olduğu ve başarılı sonuçlar verdiği görülmüştür.

ANSYS sonlu eleman analizi sonucunda kolondan yuvalı temel duvarına aktarılan gerilme dağılımının üçgen yayılı bir dağılım olduğu ve soket yüksekliğinin yarısında etkili olduğu görülmüştür. Bu modelin kullanılmasının çok daha gerçekçi ve deneysel sonuçlar ile uyumlu tasarım kuvveti değerlerinin elde edilmesini sağlayacağı düşünülmektedir. Bu amaçla mühendisler tarafından yuvalı temel betonarme tasarımında kullanılmak üzere Eş. 5.7 türetilmiştir. Bu eşitlik kullanılarak hesaplanan tasarım kuvveti ile yuva duvarı üst ucunun donatılması ve alt uç için de aynı donatının kullanılması uygulama ve hesap kolaylığı açısından önerilmektedir.

## **6.2. Öneriler**

Bu çalışma kapsamında, kolondan yuvalı temele aktarılan yüklemenin şekli hakkında yorum yapılmış olup aktarılan kuvvet ile ilgili olarak da bir formül önerilmiştir. Analizler sonucu elde edilen gerilme dağılımının, prefabrike betonarme yapılar

yönetmeliğimizde verilen dağılımdan farklı olduğu görülmüş olup gelecekte yapılacak olan çalışmalarda bu farklılığın olumlu ya da olumsuz yönlerinin tartışılması, varsa yönetmeliğimizin eksikliklerinin giderilmesi açısından faydalı olacaktır. Bu amaçla hazırlanacak bir deney programı ile kolondan yuva duvarına aktarılan kuvvetin ölçülmesi ve deney çalışmasının bilgisayar simülasyonları ile desteklenerek aktarılan kuvvetin değişkenleri ile birlikte formülasyonu betonarme prefabrikasyon alanında önemli bir eksikliği dolduracaktır.

## KAYNAKLAR

- 1 İnternet : Türkiye İstatistik Kurumu “Sanayi Üretim İstatistikleri”  
<http://www.tuik.gov.tr/sanayidagitimapp/sanayiuretim.zul>
- 2 Şirikçi, İ., “Çelik bir sistemin elastik ve plastik analiz sonuçlarının betonarme sistemle maliyet karşılaştırılması”, Yüksek lisans tezi, *Sütçü İmam Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kahramanmaraş, 41 (2006)
- 3 Özmen, B., Nurlu, M. ve Güler, H., “Coğrafi bilgi sistemi ile deprem bölgelerinin incelenmesi”, *Bayındırlık ve İskan Bakanlığı Afet İşleri Genel Müdürlüğü, Ankara*, 7 (1997)
- 4 Tezcan, S.S., Çolakoğlu, H.K., “Betonarme prefabrike yapılar yönetmeliğimizin zayıflıkları”, *Beşinci Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 1 (2003)
- 5 Fabbrocino, B., Pecce, M.R. ve Di Sarno, L., “Traditional versus innovative composite base column connections”, *Advances in Steel Structures*, 1: 793-798 (2005)
- 6 Alyavuz, B., Anıl, Ö., “Kolonlardan yuvalı temellere aktarılan yüklemenin lineer olmayan sonlu elemanlar yöntemi ile analizi”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 22 (3): 471-479 (2007)
- 7 Osanai, Y., Watanabe, F. ve Okamoto, S., “Stress transfer mechanism of socket base connections with precast concrete columns”, *ACI Structural Journal*, 93 (3): 266-276 (1996)
- 8 Özmen, G., Zorbozan, M., “Yuvalı tekil temellerde yuva yanaklarının hesap yöntemleri”, *Türkiye Deprem Vakfı Teknik Raporu No. TDV/TR 97-008, İstanbul*, (1997)
- 9 Ataköy, H., “Madde 4.4 Temeller ve kolon temel birleşimleri ve EK-M yuvalı temellerin hesap esasları üzerine”, *Beton Prefabrikasyon*, 32: 20-21 (1994)
- 10 Karadoğan, H., F., Yüksel, E., İlki, A., Saruhan, H., Darılmaz, K., Güzel, Ö., “Çanak temele yerleştirilen önyapım kolonların deprem davranışı-I”, *Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, Ankara, 349-356 (1997)
- 11 Karadoğan, H., F., Yüksel E., İlki, A., Darılmaz, K., “Çanak temele yerleştirilen önyapım kolonların iki yönlü yükler etkisindeki davranışı”, *TÜBİTAK İkinci Deprem Sempozyumu*, Ankara, 97-101 (1997)

- 12 Canha, R. M. F., El Debs, M. K., Jaguaribe Jr., K. B. ve El Debs, A. L. H., “Behavior of socket base connections emphasizing pedestal walls”, *ACI Structural Journal*, 106 (3): 268-278 (2009)
- 13 Clough, R.W. ve Wilson, E.L., “Early finite element research at Berkeley”, *Fifth US National Congress on Computational Mechanics*, Boulder, 386 (1999)
- 14 Samuelsson, A.ve Zienkiewicz, O.C., “History of the stiffness method”, *International Journal For Numerical Methods In Engineering*, 67: 149-157 (2006)
- 15 Celep, Z., “Betonarme sistemlerde doğrusal olmayan davranış: plastik mafsal kabulü ve çözümleme”, *Altıncı Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı*, İstanbul, 167-180 (2007)
- 16 ANSYS Inc., “Element Reference”, *Ansys Inc.*, Canonsburg, 565, 1034, 1037, 1089 (2009)
- 17 Ersoy, U., “Betonarme Temel İlkeler ve taşıma gücü hesabı 4. basım, Cilt 1”, *Evrım Yayınevi*, İstanbul, 79-85 (2003)
- 18 Türk Standardları Enstitüsü, “Betonarme yapıların tasarım ve yapım kuralları”, *TSE TS-500*, *Ankara*, 11,12,17 (2000)
- 19 Türk Standardları Enstitüsü, “Yapı elemanlarının boyutlandırılmasında alınacak yüklerin hesap değerleri”, *TSE TS-498*, *Ankara*, 7 (1997)
- 20 Bayındırlık Ve İskan Bakanlığı, “Deprem bölgelerinde yapılacak binalar hakkında yönetmelik”, *Resmî Gazete*, 26454: 10-19 (2007)
- 21 Türk Standardları Enstitüsü, “Yapı elemanları, taşıyıcı sistemler ve yapılar - Prefabrike betonarme ve öngerilmeli betondan – Hesap esasları ile imalat ve montaj kuralları”, *TSE TS-9967*, *Ankara*, 44-46, 101-102 (2004)
- 22 Canha, R. M. F., “Estudo teórico-experimental da ligação pilar-fundação por meio de cálice em estruturas de concreto pré-moldado”, Doktora tezi, *Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo*, São Carlos – SP, 143-159, 168-169, 173, 215 (2004)

## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, Adı : UYAROĞLU, Burak  
Uyruğu : TC  
Doğum tarihi ve yeri : 11.08.1978 / İstanbul  
Medeni hali : Evli  
Telefon : (533) 653 81 72  
E-Posta : burakuyaroglu@gmail.com

### Eğitim Bilgileri

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Lisans	Pamukkale Üniversitesi/İnşaat Mühendisliği	2001
Lise	Nazilli Lisesi	1996

### İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2009-	Burkay Proje	Genel Müdür
2006-2009	RMS Yapı	Proje Müdürü
2005-2006	Astaş Prefabrik	Proje Grup Şefi
2001-2005	Danta Prefabrik	Proje Mühendisi

### Yabancı Dil

İngilizce