

# KOLONLARDAN YUVALI TEMELLERE AKTARILAN YÜKLEMENİN LİNEER OLMAYAN SONLU ELEMANLAR YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

**Bahadır ALYAVUZ ve Özgür ANIL**

İnşaat Mühendisliği Bölümü, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Gazi Üniversitesi, Maltepe 06570, Ankara  
[balyavuz@gazi.edu.tr](mailto:balyavuz@gazi.edu.tr) , [oanil@gazi.edu.tr](mailto:oanil@gazi.edu.tr)

(Geliş/Received: 04.09.2006; Kabul/Accepted: 04.04.2007)

## ÖZET

Yuvalı temeller prefabrik yapılarda yaygın olarak kullanılan bir temel türüdür. Prefabrik olarak imal edilen düşey taşıyıcı elemanlar inşaat sahasında yerinde dökme olarak üretilen yuvalı temeller ile birleştirilirler. Yuvalı temeller ülke ekonomisi için çok önemli olan endüstriyel yapıların imalatında yaygın olarak kullanılmaktadır. Üst yapı yüklerinin ve meydana gelebilecek sismik hareketler ile oluşacak yatay yüklerin yuvalı temellere iletim mekanizması yapının stabilitesi için önemlidir. Ancak literatürde yuvalı temel ve kolon birleşim bölgesindeki yük aktarım mekanizması ile ilgili sınırlı sayıda çalışma mevcuttur. Ayrıca bu çalışmalarda birleşim bölgesindeki yük aktarım mekanizmasının hesaplanabilmesi için basitleştirici kabuller yapılmıştır. 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 lineer olmayan sonlu elemanlar ile analiz edilmesine karar verilmiştir. Çalışma için lineer olmayan analiz yapabilen ANSYS programı seçilmiştir. Analiz sonuçları literatürde yer alan çalışmalar ve ülkemizdeki yuvalı temel kolon bağlantı noktalarının tasarımında kullanılan TS 9967 yönetmeliği tasarım kuralları ile karşılaştırılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Yuvalı temeller, sonlu elemanlar yöntemi, lineer olmayan analiz, ANSYS®.

## NONLINEER FINITE ELEMENT ANALYSIS OF LOADING TRANSFERED FROM COLUMN TO SOCKET BASE

### ABSTRACT

Socket type foundations were the foundation types that were used frequently at precast structures such as industrial buildings and factories. Precast columns that were used as vertical load carrying members were connected with cast in place socket bases. The transfers of dead load of structures and lateral seismic loads to socket bases were very critical for the structure stability. But very limited amount of study were encountered at literature about the load transfer mechanism of column socket base interface. In addition many assumptions were made at these limited amounts of studies. For these reasons, this study was made for analyzing load transfer mechanisms of column socket base interface close to real case. Nonlinear finite element analysis technique was applied because of the nature of column-socket base load transfer mechanism. The contact area was increased and distribution of the loading was changed with respect to time. ANSYS software that had nonlinear analysis capability was chosen for this purpose. Analysis results were evaluated and compared with the results that were obtained from studies at literature. In addition the results were compared with the results of TS9967 regulations that were used for designing column socket bases joints.

**Keywords:** Socket bases, finite element method, nonlinear analysis, ANSYS®.

### 1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Sanayi ve endüstriyel yapıların imalatında kullanılan prefabrik yapım tekniğinde yuvalı temeller yaygın

olarak kullanılmaktadır. Yuvalı temeller inşaat sahasında yerinde dökme olarak üretildikten sonra prefabrik olarak üretilen düşey taşıyıcı elemanlar yuvalı temeller ile birleştirilirler. Yuvalı temelin

içerisine yerleştirilen kolonların uygulaması yapıldıktan sonra yuva ve kolon arasındaki bölüme beton dökülerek yuvalı temel ve kolonların birleşimi tamamlanır. Ülkemiz yüzölçümünün büyük bir bölümü yüksek derecede deprem riski taşıyan bir coğrafyadır. Sismik riski yüksek bölgelerde kurulmuş olan endüstriyel yapılarda yaşanan depremler sonucunda oluşan hasarlar ülke ekonomisini olumsuz olarak etkileyecektir. Bu olay Adana ve İzmit bölgesinde meydana gelen son depremlerde gözlenmiş ve bir çok prefabrik yapı ağır hasarlar almıştır. Bu yapılarda kolonlarda meydana gelen yatay hareketler sonucunda yapıların kolon giriş birleşim bölgelerinde meydana gelen stabilite bozulmaları oluşan hasarlar içerisinde önemli yer tutmaktadır. Kat yükseklikleri diğer yapılara göre yüksek olan prefabrik yapılarda kolon-yuvalı temel birleşiminde meydana gelebilecek hareketler nedeniyle kolon üst ucunda büyük deplasmanlar oluşması sonucunda kolon-giriş birleşimlerinde hasarlar meydana gelmiştir. Bu nedenle yuvalı temel ve prefabrik kolonların birleşim bölgelerinin tasarımı çok önemlidir. Bu birleşim bölgesinde kolonlardan yuvalı temellere aktarılan yatay deprem kuvvetleri ve üst yapı yüklerinin nasıl bir mekanizma ile iletiildiği ve yuvalı temellere aktarılan yüklemenin dağılımı ile geometrisi doğru olarak belirlenmelidir.

Yapılan literatür taraması sonucunda yuvalı temel kolon birleşimindeki yük aktarım mekanizması ile ilgili sınırlı sayıda çalışmaya rastlanmıştır. Bunların içinde en detaylı yaklaşım Osanai vd. [1] tarafından yapılmıştır. Ayrıca standartlarda da bu bağlantı detayının tasarım ilkeleri ile ilgili bilgiler sınırlıdır. Yuvalı temellere gömülü kolonların yük aktarım mekanizması ile ilgili olarak Japon yönetmeliği [2] ve Amerikan yönetmeliğinde [3] bir bölüme rastlanmamıştır. Sadece Alman yönetmeliğinde [4] yuvalı temel kolon birleşimlerinde yük aktarımı ile ilgili bir yaklaşım mevcuttur. Bu yaklaşım ise birçok basitleştirici kabulde sadece yuvalı temel kolon birleşim bölgesindeki donatı hesaplanmasına yönelik bilgiler içermektedir. Literatürde yuvalı temel kolon birleşimlerinin depremi benzeştiren tersinir tekrarlanır yüklemeler altında kolon uç deplasmanı değerlerinin araştırıldığı az sayıda deneysel çalışma yer almaktadır [5,6]. Bu çalışmalarda deney elemanları tersinir tekrarlanır yüklemeler altında test edilerek kolon uç deplasmanı değerlerinin yönetmelik sınırları içerisinde kalıp kalmadığı araştırılmıştır. Ancak bu deneylerde kolon ve yuvalı temel arasındaki yük aktarım mekanizması ile ilgili bir ölçüm alınamamıştır. Değerli deneysel veriler içeren bu çalışmalarda yük aktarım mekanizması ile ilgili bir yaklaşım yer almamaktadır. Literatürde yuvalı temellerin donatılandırılması ile ilgili olarak da sınırlı sayıda çalışma mevcuttur [7,8]. Ancak bu çalışmalarda yuvalı temellerin donatılandırılması için hesaplanan kesit tesirleri TS 9967 [9] yönetmeliği

tarafından önerilen yük aktarım mekanizması kullanılarak hesaplanmıştır.

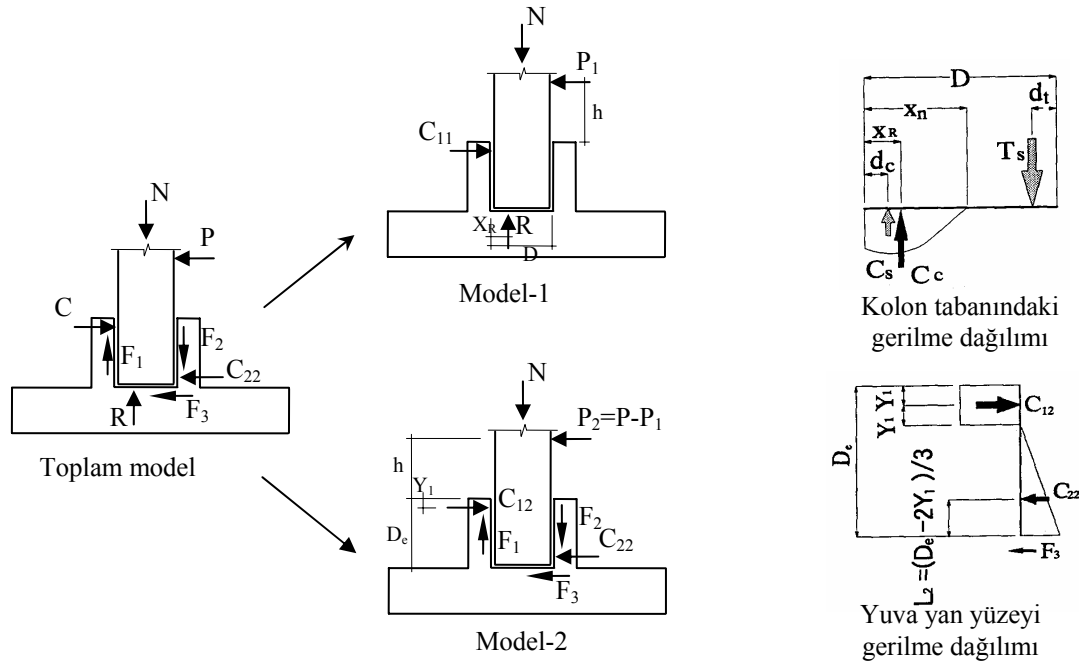
Osanai'nin yaptığı çalışmada kolon ve yuvalı temel çeperleri arasındaki sürtünme kuvvetleri ve kolon tabanında eksenel kuvvet nedeniyle oluşan reaksiyon gerilme dağılımı yük aktarım mekanizması formülasyonunda gözönüne alınmıştır. Ancak tüm bu kuvvetleri içeren modelin çözülebilmesi için bazı basitleştirici kabuller yapılarak model iki bölüme ayrılmış ve bu ayrılan modeller ayrı ayrı çözümlenerek sonuca ulaşılmaya çalışılmıştır. Yapılan incelemeler sonucunda yuvalı temel kolon birleşimlerinin tasarımı için önemli olan yük aktarım mekanizmasının belirlenmesi amacıyla bir çalışma yapılmasına karar verilmiştir. Yöntem olarak birleşim bölgesindeki yük aktarımının gerçeğe uygun olarak hesaplanabilmesi için lineer olmayan sonlu eleman modellemesi yapılmasına karar verilmiştir. Prefabrik kolon ve yuvalı temel arasında lineer olmayan birleşim elemanları modellenerek yük aktarım mekanizmasının belirlenmesi düşünülmüştür. Analiz için bu özellikte elemanları kütüphanesinde bulduran ANSYS sonlu eleman programı seçilmiştir. Yapılan analiz sonuçları ile elde edilen yük aktarım mekanizması Osanai vd. [1] tarafından yapılan çalışmada önerilen model ve ülkemiz yönetmeliğinde [9] önerilen yaklaşım ile karşılaştırılmıştır.

## 2. LİNEER OLMAYAN SONLU ELEMAN ANALİZ SONUÇLARI İLE KARŞILAŞTIRILAN TEORİK MODELLER (THEORETICAL MODELS COMPARED WITH THE NONLINEAR ANALYTICAL MODELS)

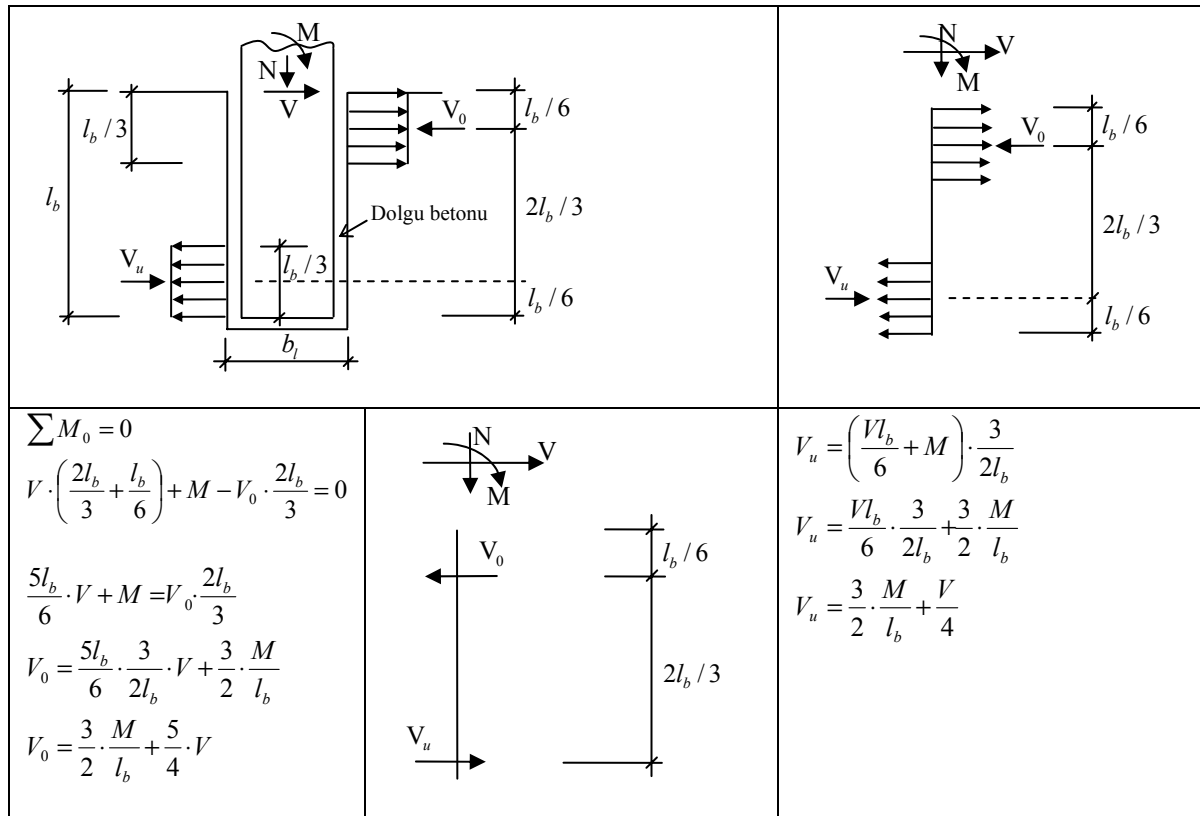
Bu bölümde Osanai v.d. [1] tarafından yapılan çalışmada ve ülkemiz TS 9967 [9] yönetmeliğinde yer alan yük aktarım modelleri hakkında kısaca bilgi verilmiştir. Osanai vd. tarafından yapılan çalışmada yük aktarım mekanizması için geliştirilen modelde kolon ve yuvalı temel arasındaki sürtünme ve kolon tabanında eksenel kuvvet nedeniyle oluşan reaksiyon gerilme dağılımı dikkate alınmıştır. Ancak modeldeki bilinmeyenlerin tümü tek adımda denge denklemleri ile çözülemeyeceği için bazı basitleştirici kabuller ile model iki parçaya bölünmüştür. Şekil 1'de Osanai vd. tarafından önerilen model verilmiştir.

Ülkemiz yönetmeliği TS 9967'de yuvalı temel ve kolon arasındaki yük aktarım modelinde kolon ve yuvalı temel arasındaki sürtünme ve temel tabanında kolondaki eksenel kuvvetten dolayı oluşan reaksiyon gerilme dağılımı ihmal edilmiştir. Modelde temel yuva yanına aktarılan yüklemeler, kolona üst yapıdan etki eden kesme kuvveti ve momentin yer aldığı bir denklem ile hesaplanmaktadır. TS 9967 yönetmeliği modelinin özellikleri Şekil 2'de sunulmuştur.

Şekil 1 ve 2'de detayları sunulan yük aktarım mekanizmaları lineer olmayan sonlu eleman analiz sonuçları ile karşılaştırılmıştır.



**Şekil 1.** Osanai vd. [1] tarafından yapılan çalışmada önerilen yük aktarım modeli (Analytical models proposed by Osanai et. all [1])



**Şekil 2.** TS 9967 [9] Yönetmeliği yük aktarım mekanizması (Analytical model proposed by TS 9967 regulations [9])

### 3. ANSYS SONLU ELEMAN PROGRAMI ANALİZ MODELLERİNİN ANALİTİK MODELLER İLE KARŞILAŞTIRILMASI (COMPARISON OF ANALYTICAL MODELS WITH ANSYS FINITE ELEMENT MODELS)

Çalışmada 2 boyutlu modelleme yapılmıştır. Düşey taşıyıcı eleman ile yuvalı temel yanakları 2 boyutlu

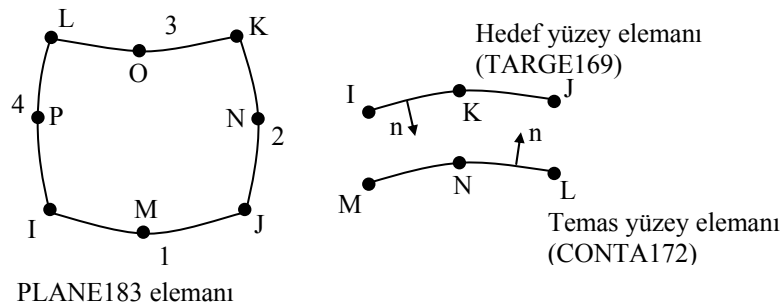
modellenmiş ve yuva yanakları soket altından ankastre mesnetli kabul edilmiştir. Yapılan modellerde düşey taşıyıcı elemanın eğilme yönüne paralel olan yuva yanakları modellenmemiştir. Burada 2 boyutlu modelleme yapılmasının temel nedeni literatürde karşılaştırma amacıyla seçilen modellerin de 2 boyutlu olmasıdır. Ayrıca 2 boyutlu analiz ile

modelleme basitleştirilerek tasarımcıların yük aktarım mekanizması için kullanabilecekleri en basit model elde edilmeye çalışılmıştır. Lineer olmayan analizler doğası gereği iteratif çözümler oldukları ve sonlu eleman ağının sıklığından etkilendikleri için 2 boyutlu modeller de bile çok sayıda elemana ihtiyaç olmaktadır. 2 boyutlu analiz yapılmasının bir diğer nedeni de bilgisayar zamanından kazanç sağlamaktır. Eğilme yönüne paralel yuva yanakları modellenmediği için yuvalı temel yanakları alt ucunda ankastre mesnetli ve üst ucunda serbest olacak şekilde modellenmiştir. Bu modelleme perde ve pano gibi düşey taşıyıcı elemanların sürekli yuvalı temelleri için gerçeğe daha yakındır. Araştırmacılar bu modellemelerin ışığında elde ettikleri bilgiler ile farklı modeller üzerinde çalışmalarına devam etmektedir.

Kuvvet-deformasyon ilişkisinin doğrusal olmadığı problemler, geometrinin veya malzeme davranışının doğrusal olmamasından kaynaklanacağı gibi yapı elemanlarının birbirleriyle etkileşimlerinin sürekli değişmesinden de kaynaklanmaktadır. İki yapı elemanının birbiriyle olan temas problemi bu tipteki doğrusal olmayan problemlerdendir. Geçtiğimiz yıllar içerisinde yapısal sonlu eleman analizindeki en önemli değişikliklerden biri temas problemlerini çözebilecek elemanların ve çözüm yöntemlerinin analiz programlarına girilmiş olmasıdır. Mühendislik alanında oldukça yaygın olarak kullanılan ANSYS sonlu eleman yazılımı kütüphanesinde bulundurduğu iki ve üç boyutlu elemanlarla üç değişik tipte temas analizi yapılmasına olanak sağlamaktadır. *Yüzey-yüzey*, *düğüm-yüzey* ve *düğüm-düğüm* temas analizleri ve bu analizler içerisinde kullanılacak değişik algoritmalar yapı elemanlarının birbirleriyle olan etkileşimlerini modellemede etkin olarak kullanılmaktadır. Temas problemleri doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi gerektirdiği için iteratif çözümler oldukça fazla bilgisayar kapasitesi ve zaman gerektirir. Bu tip problemlerde temas noktasının nerede oluşacağı genellikle bilinmemektedir. Yapı elemanlarının ilk yerleşimleri temas noktası hakkında bir fikir verse de, eleman

rijitlikleri arasındaki farka göre temas yüzeyi hareket ve dönme sırasında farklılık gösterecektir. Çalışmada yapılan analizlerde temel soketinin ve kolonun modellenmesinde *yüzey-yüzey temas modeli* kullanılmıştır. Bu tip temas modelinin kullanılmasındaki amaç kolon ve soketi oluşturan sonlu elemanların boyutlarının farklı olması ve eleman düğüm noktalarının birbirleriyle örtüşmemesidir. *Yüzey-yüzey* temas modeli düğüm noktaların üst üste gelmemesi halinde çözüme olanak sağlamaktadır. Temel soketi "Hedef" (*Target*) yüzey, kolon ise "Temas" (*Contact*) yüzeyi olarak seçilmiş ve bu iki yapı elemanının ara yüzeyinde "Temas Çifti" (*Contact Pair*) oluşturulmuştur. Burada *yüzey-yüzey* temas modelinde kullanılacak temas elemanları iki boyutlu CONTA171 ve CONTA172 ile TARGE169 elemanları, üç boyutlu CONTA173 ve CONTA174 ile TARGE170 elemanlarıdır. Sunulan çalışmada Temas Çifti'nin oluşturulmasında Hedef yüzey TARGE169 ile, Temas yüzeyi ise CONTA172 ile kaplanmıştır [10, 11]. Temel soketi ve kolon için oluşturulan sonlu eleman ağında sekiz düğüm noktalı iki boyutlu dörtgen düzlem elemanı olan PLANE183 elemanı kullanılmıştır. Bu elemanın her düğüm noktasında iki serbestlik derecesi bulunmakta, dönme serbestliği ise bulunmamaktadır. TARGE169 ve CONTA172 elemanları üç düğüm noktası içeren elemanlardır ve bu düğümler PLANE183 elemanın yüzeyindeki düğümlerle örtüşürler. Bu elemanların düğüm sıralamaları temas analizi için önemlidir. Oluşturulan temas yüzeylerinin normalleri birbirlerine bakacak şekilde modellenmelidir (Şekil 3).

ANSYS sonlu elemanlar programı, oluşturulacak model için temas davranışını belirlemeye yarayan parametreler sunmaktadır. Bu parametreler kullanılarak ilk temas ve bundan sonraki hareketin nasıl gelişeceği modellenabilmektedir. Temas yüzeyi rijitliği, penetrasyon toleransı ve temas yüzeyi ofset artırımı en önemli reel sabitler olarak karşımıza çıkmaktadır.



**Şekil 3.** Plane 183 düzlem katı elemanı ve temas elemanları (Plane183 planesolid finite element properties and properties of contact elements)

**FKN (Temas yüzeyi rijitlik parametresi):** Temas ve hedef yüzeyleri arasındaki penetrasyon miktarı rijitliğe bağlıdır. Yüksek rijitlik değerleri penetrasyonu azaltacaktır. Bu durumda sistemin global rijitlik matrisinde oluşabilecek bir stabilite bozulması yakınsama problemlerine neden olabilmektedir. Düşük temas rijitliği değeri ise gerçek değerden uzak sonuçlar üretebilmektedir. Bu nedenle yeterince büyük, fakat yakınsama problemlerine yol açmayacak FKN değeri tespit edilerek kullanılmalıdır.

**FTLON (Penetrasyon toleransı):** Yüzey normal doğrultusunda uygulanan bir tolerans faktörüdür. Maksimum 1.0 değerini alan faktör, temas yüzeyinin hemen altında bulunan sonlu elemanın derinliği ile çarpılarak maksimum penetrasyon değerini belirler. Çalışmada standart değer olan 0.1 oranı kullanılmıştır.

**CNOF (Temas yüzeyi ofset artırımı):** Temas problemlerinin çözümünde temas ve hedef yüzeyleri arasında bulunan boşluk, yükleme ve sınır şartlarına göre rijit cisim hareketi oluşturarak çözümün yakınsamamasına yol açabilir. Bu nedenle yapı elemanlarının oluşturulması sırasında temas ve hedef yüzeyleri birbirlerine neredeyse değişir şekilde modellenmesi gerekmektedir.

ANSYS yazılımı arada kalabilecek boşluğu kaldırabilmek için CNOF parametresini sunmaktadır. Bu parametre ile temas yüzeyi, hedef yüzeyine doğru yaklaştırılabilmektedir. Parametreye temas ve hedef yüzeyleri arasındaki boşluk değeri pozitif olarak verilmelidir. Ayrıca CONTA172 elemanın özellikleri arasında temas probleminin çözümünde kullanılacak algoritmalar (*Augmented Method, Penalty Method, MPC Algorithm, Lagrange&Penalty ve Lagrange Method*) bulunmaktadır. Temas ve hedef yüzeyi arasındaki boşluğu kapatmak ve penetrasyonu azaltmak için seçenekler de yer almaktadır. Yukarıda özellikleri sunulan sonlu eleman tipleri ve analiz opsiyonları kullanılarak ANSYS programında yuvalı temel kolon birleşiminin analizi için iki farklı model oluşturulmuştur. Aşağıda bu modeller ve temel özellikleri özetlenmiştir.

### Model 1

Model 1'in şematik görünüşü Şekil 4'de verilmiştir. Soket yanakları temel üst yüzeyine ankastre bağlı olarak modellenmiştir. CNOF değeri aradaki boşluk

**Tablo 1.** Temas probleminde kullanılan malzeme özellikleri - model 1 (Material properties of contact pair - Model 1)

Malzeme modeli	Elastisite Modülü (MPa)	Poisson Oranı	Sürtünme katsayısı
1 (Soket)	30000	0.3	-----
2 (Kolon)	300~3000	0.3	-----
3 (Beton-Beton)	-----	-----	0.5

miktarı olan 6 mm seçilerek analiz yapılmıştır. Üç ayrı malzeme modeli oluşturulmuştur. Lineer izotrop malzeme modeli ve sürtünme katsayısı özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Elde edilen basınç dağılımları farklı rijitlik oranları için Şekil 5'de sunulmuştur.

### Model 2

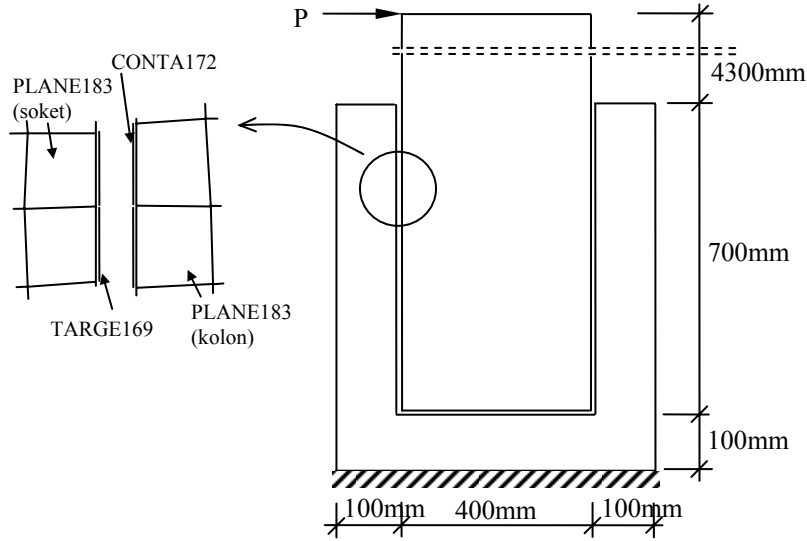
Bu modelde elastisite modülleri aynı olan kolon ve soket arasına daha küçük elastisite modülüne sahip dolgu elemanı yerleştirilmiştir. Dolgu malzemesini oluşturan elemanlar ise kolon ve soketin sonlu eleman tipiyle aynı olup PLANE183 elemanıdır (Şekil 6).

İki ayrı temas yüzeyi olduğu için iki ayrı temas çifti oluşturulmuştur. Malzeme modeli ve sürtünme katsayısı özellikleri Tablo 2'de verilmiştir. Temas probleminin çözümünde "Augmented Lagrange Method" seçeneği kullanılmıştır. Bu yöntem esasında iteratif penaltı metodudur. Algoritma, temas ve hedef yüzeyleri arasında temas yayları kullanmakta ve izin verilen penetrasyon değerinin altında bir değer elde edilene kadar iteratif çözümleme yapmaktadır. Temas yüzeyinin davranışı ise standart olarak seçilmiştir. Kolon ve soket arasında bulunan boşluk rijit cisim hareketini engellemek için CNOF=6 mm değeri girilerek giderilmiştir. Çözümde başlangıç aşamasında iki rijit kütle arasında penetrasyon bulundurulmaktadır. Toplam 70 iterasyon sonrasında elde edilen basınç dağılımı Şekil 7'de verilmiştir.

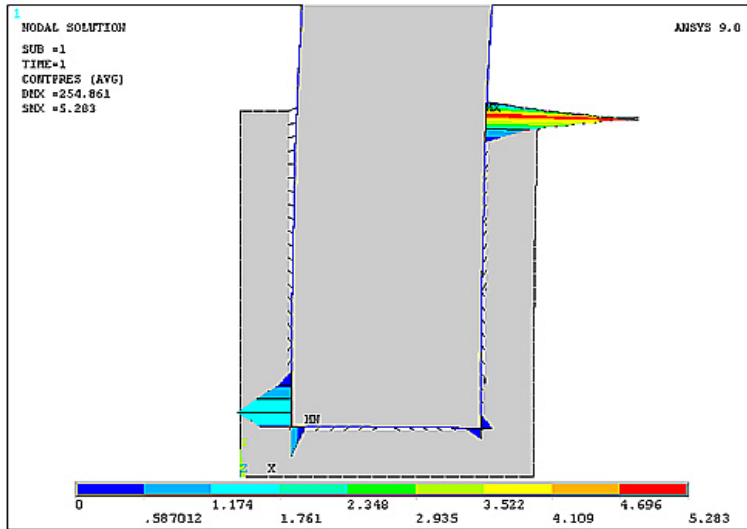
ANSYS sonlu eleman programında oluşturulan model 1 ve 2 uygulamada kullanılan iki farklı tip yuvalı temel yük aktarım mekanizmasını karşılaştırmak ve farklılıklarını görmek için yapılmıştır. Birinci model yuva yanakları ve kolon arasındaki boşluk miktarı az olan, kolonun ve yuvalı temel yanaklarının birbiri ile kenetlendiği, kenetli tip temelleri incelemek için oluşturulmuştur. Model 2 ise yuvalı temel yanakları ve kolon arasındaki boşluğun daha büyük olduğu, kenetsiz tip yuvalı temelleri incelemek için modellenmiştir. Model 2'de yuva yanakları ve kolon arasındaki boşluk model 1'deki boşluğa göre daha büyüktür ve bu bölgeye yerleştirilen ara malzeme modele eklenerek 2 farklı temas çifti oluşturulmuştur. Kenetli tip yuvalı temeller ülkemizde çok yaygın olarak kullanılmamakta, daha sık olarak yurt dışında

**Tablo 2.** Temas probleminde kullanılan malzeme özellikleri - model 2 (Material properties of contact pair - Model 2)

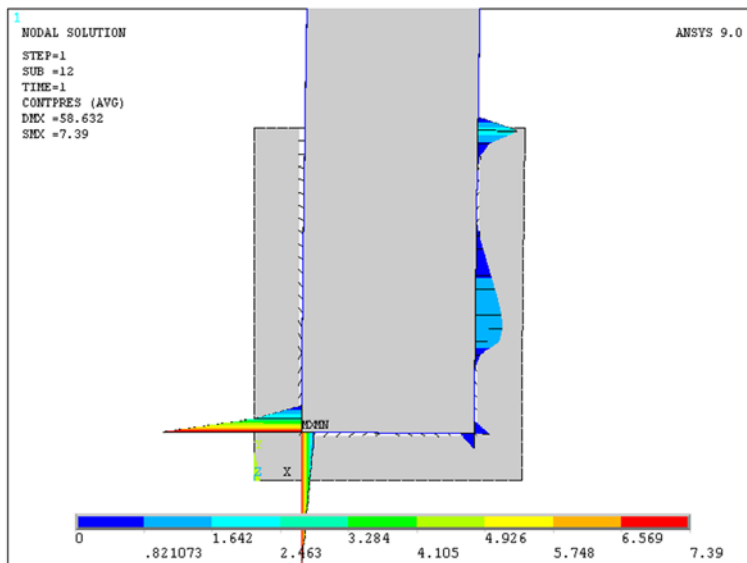
Özellik	Değer
Soket Elastisite Modülü (MPa)	30000
Kolon Elastisite Modülü (MPa)	30000
Dolgu Elastisite Modülü (MPa)	300
Poisson Oranı	0.3
Beton-Beton sürtünme katsayısı	0.5
Beton-Dolgu sürtünme katsayısı	0.4



**Şekil 4.** Model 1 için soket ve kolon boyutları ve kullanılan elemanlar (Dimensions and finite elements of socket base and column for Model 1)

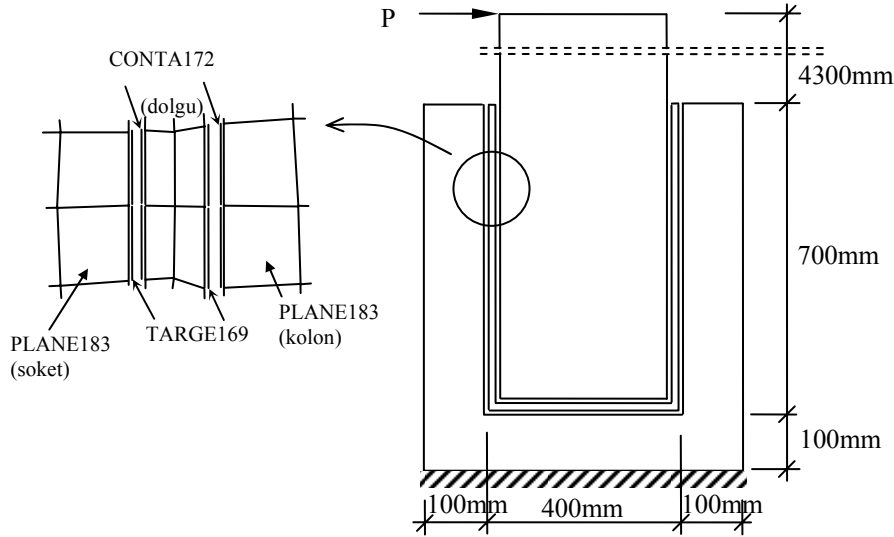


Kolon Elast. Mod. = 300 MPa  
Soket Elast. Mod.= 30000 MPa

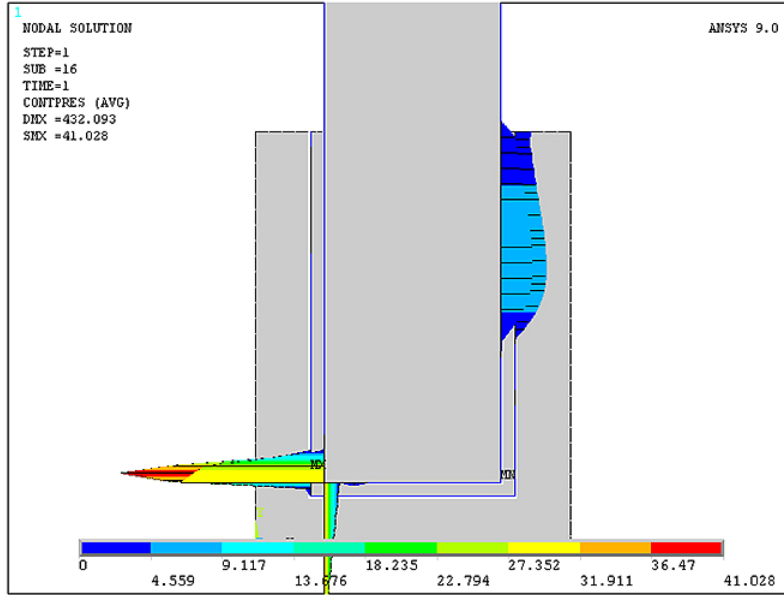


Kolon Elast. Mod. = 3000 MPa  
Soket Elast. Mod.= 30000 MPa

**Şekil 5.** Farklı soket ve kolon rijitlikleri için Model 1 kullanılarak hesaplanan temas basınç dağılımları (Contact compression stress distribution of Model 1 for different socket and column stiffness)



**Şekil 6.** Model 2 için soket ve kolon boyutları ve kullanılan elemanlar (Dimensions and finite elements of socket base and column for Model 2)

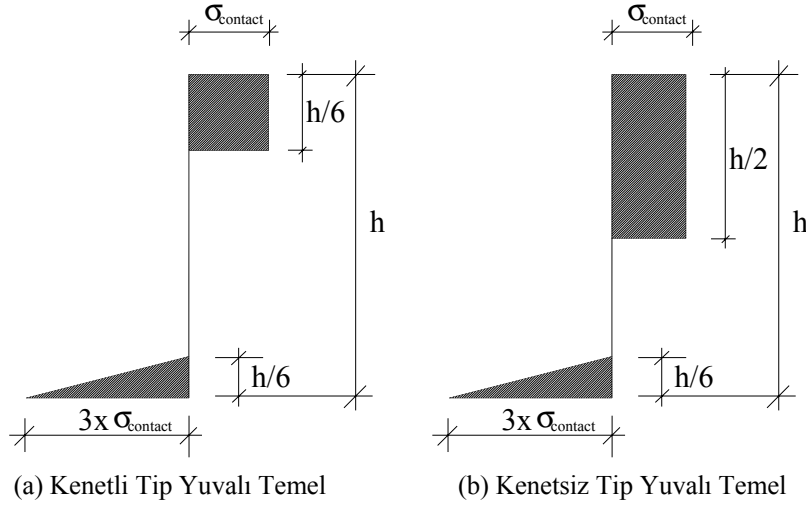


**Şekil 7.** Model 2 için elde edilen basınç dağılımı (Contact compression stress distribution of Model 2)

üretilmektedir. Osanai vd. [1] tarafından yürütülen çalışmada incelenen yuvalı temel türü kenetli tip temeldir. Bu çalışmada yuvalı temel yanakları ve kolon arasındaki boşluk küçüktür ve kenetler olduğu için yuva yanakları ve kolon arasındaki sürtünme kuvvetleri çalışmada önerilen analitik modelde yer almıştır. Model 1'in analiz sonuçları Osanai vd. [1] tarafından yapılan çalışma ile karşılaştırılmıştır. Ülkemizde imal edilen yuvalı temeller ise daha çok kenetsiz temellerdir. Bu tür yuvalı temellerde soket yanakları ve kolon arasındaki mesafe çok daha fazladır ve beton ile bu aralık doldurulmaktadır. Bu nedenle Model 2'nin analiz sonuçları TS 9967 [9] yönetmelik formülasyonu ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda sonlu eleman analizi

sonucunda elde edilen temas basınç gerilmesi dağılımları şekilsel olarak incelenmiş ve yorumlanmıştır. Gerilmelerin değerleri karşılaştırmalarda kullanılmamıştır.

Model 1 için 2 farklı analiz yapılmıştır. Model 1'in analiz sonuçları incelendiğinde temas rijitliği değerinin analiz sonuçları üzerinde oldukça etkin olduğu görülmüştür. Temas eden kütlelerin rijitlikleri arasındaki fark büyüdüğü zaman temas gerilmesi kütleler arasındaki temasın ilk gerçekleştiği noktalarda konsantr olmuştur. Kolonun eğilme yönüne göre yuva yanakları ile temas ettiği üst ve alttaki noktalarda gerilme dağılımları dikkörtgen



**Şekil 8.** Yuvalı temeller için önerilen kantitatif yük aktarma mekanizması (Proposed cantitative load transfer mechanism of socket base)

olarak kabul edilecek şekildedir ve yuva yanağı yüksekliğinin yaklaşık 1/6'sına yayılım göstermiştir. Temas eden kütleler arasındaki rijitlik farkı azaldığı zaman ise gerilme dağılımı temas yüzeyi boyunca yayılım göstermiştir. Fakat yine ilk temas yaşanan noktalardaki gerilme değerleri dağılımdaki en büyük değerlerdir. İki analiz arasındaki en temel fark, ilk analizde üst temas noktasında gerilme daha büyük iken ikinci analizde alt temas noktasındaki gerilme daha büyüktür. Model 1'den rijitlik değerleri arasındaki fark az olduğu durumunda elde edilen analiz sonuçları Osanaı vd. [1] tarafından önerilen analitik model ile oldukça uyumludur. Kolonun yuva yanağına temas ettiği üst noktadaki gerilme dağılımı dikdörtgen olarak basitleştirilebilir. Alt temas noktasında ise üçgenel bir dağılım elde edilmiştir. Ancak gerilmelerin yayılım gösterdiği temas yüzeyi uzunlukları Osanaı vd. [1] tarafından önerilen analitik model ile uyumlu elde edilmemiştir. Kenetsiz tip yuvalı temellerin modellendiği Model 2'nin analiz sonuçları incelendiğinde yuva yanağı üst bölümünde meydana gelen temas gerilmesi dağılımı TS 9967'de [9] önerilen dikdörtgensel dağılıma oldukça uygun elde edilmiştir. TS 9967'de [9] önerilen yöntemde gerilmenin yuva yanağı yüksekliğinin 1/3'üne dağılım gösterdiği belirtilmiştir. Sonlu eleman analiz sonuçlarında gerilmenin yuva yanağı yüksekliğinin 1/2'sine yayılım gösterdiği görülmüştür. Ayrıca kolon alt ucundaki temas bölgesinde üçgen yayılı bir gerilme dağılımı elde edilmiştir. Bu temas gerilmesi soket yüksekliğinin yaklaşık 1/6'sını etkilemektedir. Modellerin analizlerinden elde edilen sonuçlar incelenerek kenetli ve kenetsiz tip yuvalı temeller için oluşturulan kantitatif yük aktarma mekanizmaları Şekil 8'de sunulmuştur. Yük aktarım mekanizması ile ilgili hesaplamaların formülasyona dönüştürülmesi için parametrik bir çalışmanın yürütülmesi ve analizlerin sayısının artırılması gereklidir. Yazarlar bu konu ile ilgili çalışmalarına devam etmektedir.

#### 4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Yapılan çalışmada, iki yapı elemanının sürekli değişen temas yüzeyi problemi ANSYS sonlu elemanlar programıyla analiz edilmiştir. Yüzey-yüzey temas çifti kullanılarak iki ayrı model oluşturulmuştur. Birinci modelde arada dolgu elemanı bulunmayan kenetli tip yuvalı temeller için beton – beton teması modellenmiştir. İkinci modelde ise düşük elastisite modülüne sahip olan dolgu elemanı kullanılarak kenetsiz tip yuvalı temeller için bir model oluşturulmuştur. Temas probleminin çözümünde iki yapı elemanı arasındaki boşluktan ve mesnetlenme şartlarından dolayı bir elemanın katı cisim hareketi yapması çözümü engelleyen bir faktör olarak karşımıza çıkmıştır. Bu sorun ANSYS yazılımında yer alan temas çifti parametrelerinden CNOF parametresinin kullanılmasıyla ortadan kalkmıştır. Yüzey-yüzey temas problemi lineer olmayan ve iteratif analiz gerektiren bir analizdir. Bu analizin gerçekleştirilmesi ve yakınsayan kabul edilebilir sonuçlara ulaşılabilmesi için oldukça fazla iterasyon ve zaman gereklidir. Temas yüzeyi parametrelerinin çok sayıda olması ve çözüm üzerinde oldukça etkili olması analiz için gereken zamanı artırmıştır. Temas rijitliği ve temas penetrasyon ofset değerlerinin analizin yakınsaması için önemli parametreler olduğu görülmüştür. Model 1'de kullanılan malzeme parametreleri kolon ve yuva yanakları için farklılık göstermektedir. Temas rijitliği parametresinin gerilme dağılımı üzerindeki etkilerinin görülebilmesi için 2 farklı analiz yapılmıştır. Model 2'de ise sadece yuvalı temel ve kolon arasındaki dolgu malzemesinin rijitliği daha düşük alınmıştır. Analiz sonuçları incelenerek kenetli ve kenetsiz tip yuvalı temeller için 2 farklı tip kantitatif gerilme dağılımı önerilmiştir. Dağılımlar incelendiğinde elde edilen dikkat çekici önemli sonuçlardan biri ülkemiz yönetmeliği TS 9967'de [9] verilen formülasyonda temas sonucunda aktarılan yüklemenin etki mesafesinin sonlu eleman analiz



değerlerinden az olmasıdır. Yönetmelikte aktarılan yüklemenin yuva yanakları yüksekliğinin üçte birine dağılım gösterdiği kabulü ile hesaplama yapılırken lineer olmayan sonlu eleman analizi sonuçları yüklemenin temas yüzeyi yüksekliğinin yarısına dağıldığını göstermiştir. Literatürde önerilen basitleştirilmiş gerilme dağılımlarının şekil olarak lineer olmayan sonlu eleman analiz sonuçlarına benzediği ancak temas yüzeylerinde oluşan gerilmelerin dağılım gösterdiği uzunluklarda farklılıklar olduğu görülmüştür. Bu çalışmada oluşturulan modeller 2 boyutlu oldukları için perde veya panolar gibi daha rijit düzey taşıyıcı elemanların birleştiği sürekli yuvalı temeller için daha gerçekçidir. Yazarlar bu konu ile ilgili kesin yargılara varılabilmesi için analiz sayısının artırılması ve üç boyutlu modellerin de oluşturularak analizlerin tekrarlanması gerektiğini düşünmektedir. Ayrıca parametrik analiz sonuçları üzerinde yapılacak istatistiksel çalışmalar ile kantitatif olarak belirlenen yük aktarım mekanizmaları formülasyon haline getirilmelidir. Ancak daha önceden de belirtildiği gibi lineer olmayan temas problemleri çözümünün oldukça fazla bilgisayar zamanı gerektiren iteratif analizler olduğu unutulmamalıdır.

#### KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Osanai, Y., Watanabe, F., Okamoto, S., “ Stress Transfer Mechanism of Socket Base Connections with Precast Concrete Columns”, **ACI Structural Journal**, Cilt. 93, No 3, 266-276, 1996.
2. Architectural Institute of Japan, **Standard for Calculation of Reinforced Concrete Structures**, pp. 602, 1988.
3. ACI Committee 318, **Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-02) and Commentary (ACI 318r-02)**, American Concrete Institute, sf. 750, 2002.
4. Deutscher Beton-Verein E.V., **Examples for Calculation in Accordance with DIN 1045**, 204-224, 1981.
5. Karadoğan, H., F., Yüksel, E., İlki, A., Saruhan, H., Darılmaz, K., Güzel, Ö., “Çanak Temelle Yerleştirilen Önyapım Kolonların Deprem Davranışı-I”, **Dördüncü Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı**, Bildiriler Kitabı, 349-356, 17-19 Eylül 1997.
6. Karadoğan, H., F., Yüksel E., İlki, A., Darılmaz, K., “Çanak Temele Yerleştirilen Önyapım Kolonların İki Yönlü Yükler Etkisindeki Davranışı”, **TÜBİTAK İkinci Deprem Sempozyumu**, Bildiriler Kitabı, 97-101, 27-28 Kasım 1997.
7. Özmen G., Zorbozan, M., “Yuvalı Tekil Temelerde Yuva Yanaklarının Hesabı”, **Beton Prefabrikasyon**, Sayı 43, 5-11, 1997.
8. Özmen, G., Zorbozan, M., “Yuvalı Tekil Temelerde Yuva Yanaklarının Hesap Yöntemleri”, **Türkiye Deprem Vakfı Teknik Raporu**, No. TDV/TR 97-008, Mayıs 1997.
9. TS9967 - Yapı Elemanları, Taşıyıcı Sistemler ve Binalar - Prefabriğe Betonarme ve Öngerilmeli Betondan - Hesap Esasları ile İmalat ve Montaj Kuralları, Mart 1992
10. Moaveni, S., **Finite Element Analysis, Theory and Applications with ANSYS**, Bill Stenquist, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1999.
11. Lawrence, K. L., “ANSYS Tutorial Release 7.0 and 6.1”, **SDC Publications**, Canonsburg, 1.1-2.25, 2002.