

YETERSİZ BOYDAKİ BİNDİRMELİ EKLERİN BETONARME ÇERÇEVELİ YAPILARIN DAVRANIŞINA ETKİLERİ

Mehmet Baran⁽¹⁾

Tuğrul Tankut⁽²⁾

⁽¹⁾Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kırıkkale Üniversitesi, Kırıkkale, 71450, Türkiye.

⁽²⁾İnşaat Mühendisliği Bölümü, Ortadoğu Teknik Üniversitesi, Ankara, 06531, Türkiye.
e-mail: memetbaran@gmail.com, ttankut@metu.edu.tr

ÖZ — Betonarme binaların katlarının dökümü tek seferde yapılamadığından, katlar arasında soğuk derz ve kolon boyuna donatılarında bindirmeli ekler olması kaçınılmazdır. Bu tür binaların deprem performansı beton ile donatı arasında yeterli aderans dayanımı sağlanmasına bağlı olduğundan, bindirme ek davranışını anlamak ve bindirmeli eklerden kaynaklanan dayanım kaybını hesaba katmak çok önemlidir. Donatı çeliğinin akma ve kopma dayanımları bindirmeli ek bulunmasından, özellikle bindirmeli ek boyundan etkilenmektedir. Son yıllarda artan sıklıkta gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ışığında, istatistiksel yaklaşımlara dayanan ve bindirmeli ekli donatı dayanımını hesaplayan denklemler formülize edilmektedir. Ne yazık ki bu denklemler, değişken sayısı arttıkça, özellikle tasarım uygulamaları için daha karmaşık, hantal ve sıkıcı hale almaktadırlar. Bu çalışmanın deneysel çalışmalar kısmında, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında hazırlanmış dört adet 1/3 ölçekli betonarme çerçeve, deprem yükünü benzeştirecek tersinir-tekrarlanır yatay ve sabit düşey yükler altında test edilmişler ve kolon boyuna donatılarında bulunan yetersiz boydaki bindirmeli eklerin, çerçevelerin dayanım ve davranışlarına olan etkileri gözlemlenmiştir. Kuramsal çalışmalar kısmında ise, Canbay ve Frosch [1] tarafından önerilen bindirmeli ekli donatı akma dayanımını hesaplayan denklem kullanılarak çizdirilen deney çerçevelerinin kuramsal yanal yük – deplasman grafikleri, deney sonuçlarıyla karşılaştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler – Betonarme, soğuk derz, kolon, donatı, bindirmeli ek, aderans, tersinir-tekrarlanır yatay yük.

ABSTRACT — Since the stories of a tall reinforced concrete building can not be poured monolithically, the existence of cold joints between the stories and lapped-splices in the column longitudinal bars can be inevitable. Because the performance of this kind of buildings depend on the adequate bond strength between concrete and reinforcing steel, investigating the behavior of lapped-splices and calculating the lapped-splice strength is very important. The yield and ultimate strengths of reinforcing steel are largely affected by the existence of lapped-splices, especially by the lapped-splice length. In the light of the experimental data obtained from the recent studies conducted in a growing rate, new equations estimating splice strength which are based on statistical approaches have been formulated.

Unfortunately, as more variables are added, the descriptive equations become more complex and cumbersome, especially for design applications. In the experimental part of this study, four one-third scale reinforced concrete frames, constructed at the Structural Mechanics Laboratory of Middle East Technical University, were tested under both vertical and reversed-cyclic lateral loads simulating the earthquake loads, and the effect of the lapped splices in the column longitudinal bars on the strength and behavior of reinforced concrete frames were investigated. In the analytical part of this study, the analytical load-displacement curves by using the equation formulated by Canbay and Frosch [1] considering the splice strength are compared with the results of the tests.

Keywords - Reinforced concrete, cold joint, column, longitudinal bar, lapped-splice, bond strength, reversed-cyclic lateral load.

I. GİRİŞ

Betonarme binaların katları arasında soğuk derz ve kolon boyuna donatılarında bindirmeli ekler bulunması kaçınılmazdır. Betonarme çerçevesel binaların deprem performansı beton ile donatı arasında yeterli aderans dayanımı sağlanmasına bağlı olduğundan, bindirmeli eklerden kaynaklanan dayanım kaybının tam hesabı, analiz ve tasarım esnasında doğru modellenmesi çok önemlidir. Bindirmeli ek davranışının tasarım esnasında eksik veya yanlış modellenmesi doğru olmayan çözümlere yol açacaktır. Bu kapsamda, deprem yükünü benzeştirecek tersinir-tekrarlanır yatay ve sabit düşey yükler altında test edilmiş dört adet betonarme çerçevenin deney sonuçları irdelenecektir.

II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

A. Deney Çerçeveleri

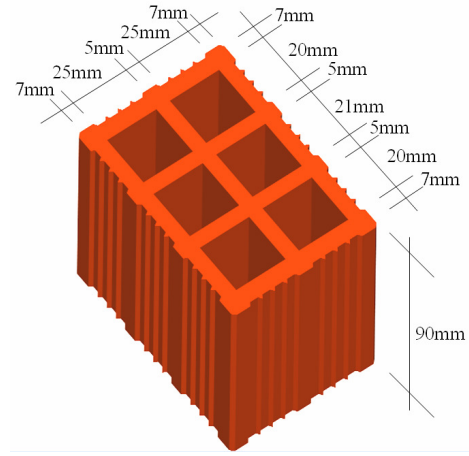
Bu çalışmada kullanılan deney çerçeveleri [2,3], 1/3 ölçekli, boşluklu tuğla duvarları olan, tek açıklıklı bir veya iki katlı betonarme çerçevelerdir. Deney çerçevelerini de kapsayan deneysel projedeki asıl amaç Türkiye'deki yapılara

uygun güçlendirme teknikleri geliştirmek olduğundan, uygulamadaki yapılarda sık karşılaşılan eksiklikler bu çerçevelere bilinçli olarak yansıtılmışlardır. Bu eksiklikler arasında düşük beton dayanımı, düz demir kullanımı, yetersiz sargı donatısı ve zayıf kolon-güçlü kiriş birleşimi bulunmaktadır. Yetersiz bindirmeli ek boyunun, yapının prematüre yıkılmasına sebep olması olasılığı göz önüne alınarak kat düzeylerinde, kolon boyuna donatılarına donatı çapının 20 katı uzunluğunda (160 mm) bindirmeli ekler yapılmıştır.

Deney çerçevelerinin boyutları ve demir donatısı Şekil 1'de verilmiştir.

B. Malzeme

Türkiye'deki gerçek uygulamayı yansıtması açısından deney çerçevelerinde düşük mukavemetli beton kullanılmıştır. Gerçeği yansıtması açısından çerçevelerde, şekil 2'de gösterilen, ölçekli (1/3 ölçekli) boşluklu tuğla dolgu olarak kullanılmış ve bu dolgu her iki tarafından sıvanmıştır. İşçilik kalitesinin deney çerçevelerinin davranışı üzerindeki olası olumlu etkisi düşünülerek deney çerçeveleri düşük dayanımlı çimento-kireç karışımıyla ve sıradan bir işçilikle sıvanmıştır. Çerçevelerde donatı olarak düz çelik kullanılmıştır. Deney çerçevelerinin malzeme özellikleri Tablo 1'de listelenmiştir.



Şekil 2 Çerçeve dolgularında kullanılan boşluklu tuğla

TABLO 1. DENEY ÇERÇEVELERİNİN MALZEME ÖZELLİKLERİ

Deney Çerçevesi	Kat Adeti	Kolon Boyuna Donatısı	Bindirmeli Ek Boyu	Boyuna Donatı Akma Dayanımı (MPa)	Çerçeve Beton Dayanımı (MPa)	Sıva Dayanımı (MPa)
2CD	2	Sürekli	-	330	16.6	6.5
2LD	2	Bindirmeli Ekli	20 $\phi^{(1)}$	330	8.6	3.5
1CD	1	Sürekli	-	330	15.6	6.1
1LD	1	Bindirmeli Ekli	20 $\phi^{(2)}$	330	9.7	4.9

⁽¹⁾ 20 ϕ = 160mm (temel üst kotundaki ve birinci kattaki bindirmeli ek boyu).

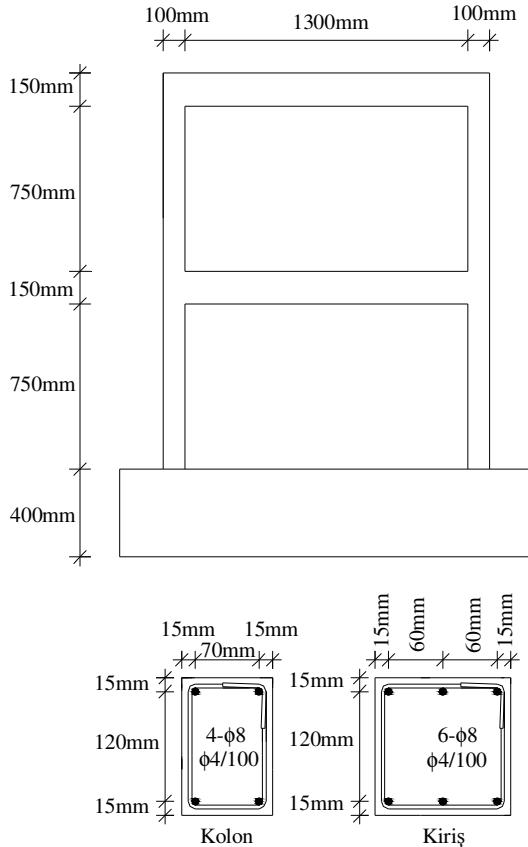
⁽²⁾ 20 ϕ = 160mm (temel üst kotundaki bindirmeli ek boyu).

C. Yükleme Düzenegi

İki katlı ve tek katlı deney çerçevelerinin deney düzenekleri Şekil 3'de gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği üzere, çerçeve testleri güçlü duvar önünde gerçekleştirilmiştir. Çerçeveler deprem etkisini benzeştiren tersinir-tekrarlanır yatay ve düşey yükler altında test edilmişlerdir. Her bir kolonun üzerine, aksel yük taşıma kapasitesinin yaklaşık %10 veya %20'sine karşılık olan 30 kN veya 60 kN yük uygulanmış ve deney boyunca sabit tutulmuştur. Deney elemanlarının kolon aksel yükleri Tablo 2'de verilmiştir.

Deprem etkisini benzeştiren tersinir yatay yük, güçlü duvara yaslanan bir yükleme kolonu aracılığıyla tek katlı çerçevelerde birinci kat seviyesinde, iki katlı çerçevelerde ise birinci ve ikinci kat düzeylerinde 1/2 oranında uygulanmıştır.

Boşluklu tuğla dolgular çerçevenin dış yüzüyle yüze-yüz olacak biçimde yerleştirildiğinden, simetri düzlemi içinde kalmayan yükler nedeniyle ortaya çıkan dönmeyi denetlemek

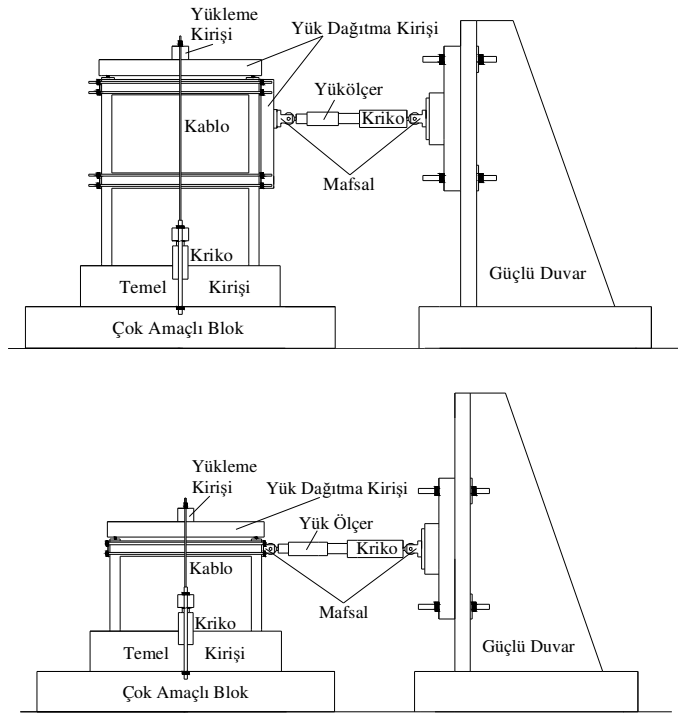


Şekil 1 Deney çerçevelerinin boyutları ve demir donatısı

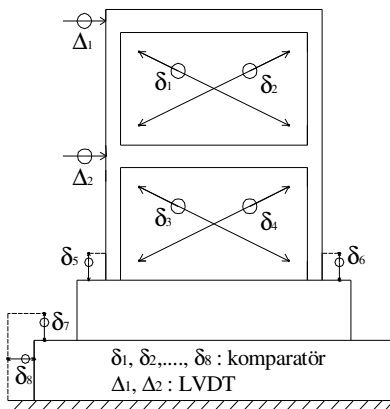
amacıyla, düzlem dışı ötelenmeleri önleyen bir dış çerçeve kullanılmıştır.

D. Ölçüm Düzenegi

Ölçüm düzenegi Şekil 4'de gösterilmiştir. Her iki kat düzeyindeki yanal ötelenmeler LVDT'ler ile ölçülürken, dolgu duvarlarının kayma deformasyonları, deney elemanın rijit cisim olarak yaptığı dönme ve ötelenmeler ve her iki kolon tabanlarındaki deplasmanlar komparatörlerle ölçülmüştür. Elektronik olarak yapılan tüm ölçümler bir bilgisayarda depolanmış ve deneyin gelişimi monitörde oluşturulan yük-ötenleme eğrisi izlenerek yönlendirilmiştir.



Şekil 3 Yükleme düzenleri



Şekil 4 Ölçüm düzeni

III. DENEY SONUÇLARI

Ülkemizde yaygın olan tasarım ve imalat kusurlarını içeren

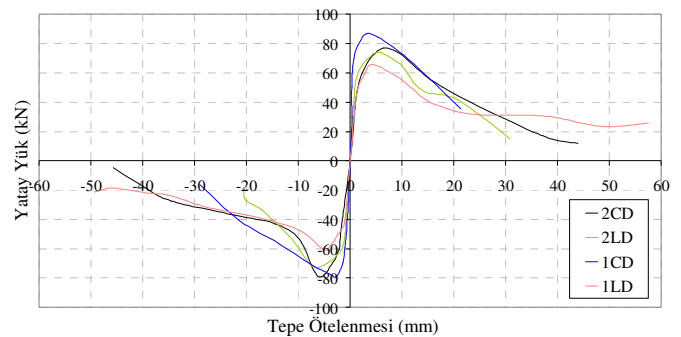
dört adet boşluklu tuğla dolgu deney elemanı sabit dikey ve tersinir-tekrarlanır yatay yükler altında test edilmişlerdir. Sıvanmış boşluklu tuğla dolgu çerçeveler;

- İlk turlarda rijit ve doğrusal elastik davranış,
- Özellikle ilk turlarda dolgu duvarın dayanıma etkin katkısı,
- Dolgu duvarın belli bir yük seviyesinden sonra ezilmeye başlaması üzerine hızlı dayanım ve rijitlik kaybı,

ile karakterize edilen bilinen dolgu çerçeve davranışı sergilemiştir.

Bilinen bu çerçeve davranışı yüksek birinci kat ötelenmeleriyle birlikte oluşan göçme ile sonuçlanmıştır. Deney çerçevelerinin zarf eğrileri Şekil 5'de verilmiştir. Çerçeve performansları yanal yük-deplasman, süneklik, enerji tüketimi ve başlangıç rijitliği bazında değerlendirilmiştir. Sonuçlar Tablo 2'de özetlenmektedir.

Beklendiği üzere, kolon boyuna donatılarında bindirmeli ek bulunan deney çerçevelerinin yatay yük taşıma kapasiteleri, donatıları sürekli olan elemanların kapasitelerinden düşük çıkmıştır. Eksenel yük seviyesinden bağımsız olarak kolon boyuna donatılarında bindirmeli ek bulunması, çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesi üzerinde negatif etki yaratmaktadır. Fakat, kolon eksenel yük seviyesi düşük olan deney çerçevesi 1LD, diğer deney çerçevelerine göre daha sünek bir davranış sergilemiştir. Düşük kolon eksenel yük seviyesinden ötürü deney çerçevesi 1LD'de donatı sıyrılması problemi gözlemlenmiş, bu durum deney çerçevesi 2LD'de gözlemlenmemiştir. Bu gözlemlerden, bindirmeli eklerden dolayı oluşabilecek donatı sıyrılması probleminin, kolon eksenel yük seviyesinin çok düşük olmadığı durumlarda, kritik olmayacağı sonucuna ulaşılabilmektedir.



Şekil 5 Deney çerçevelerinin zarf eğrileri

TABLO 2. PERFORMANS BELİRTEÇLERİ

⁽¹⁾Maksimum yatay yük seviyesinde 1.kat ötelenme oranı

IV. KURAMSAL ÇALIŞMALAR

Son yıllarda betonarme elemanların analizlerinde çubuk modellerinin kullanılmasında artış gözlemlenmektedir. Dolgu duvarların çubuk elemanlarla modellenmesi yeni değildir. Kuramsal çalışmalar kısmında, deney çerçevelerinin sıvanmış boşluklu tuğla dolguları, gerçekleştirilen deneysel çalışmalar ve sonlu elemanlar yöntemi kullanılarak yapılan analizler esnasında yük aktarma mekanizmasını yeterli şekilde temsil edebildiği gözlemlendiğinden, eşdeğer basınç çubukları şeklinde modellenenecektir. Dolguyu temsil edecek basınç çubuğunun mekanik ve geometrik özelliklerinin belirlenmesi için FEMA [4] tarafından aşağıdaki denklemler önerilmiştir;

$$a_{\text{dolgu}} = 0.175 (\lambda \cdot h_{\text{kol}})^{-0.4} d \quad (1)$$

$$\lambda = \sqrt[4]{\frac{E_{\text{dolgu}} b_w \sin(2\beta_s)}{4EIh}} \quad (2)$$

Denklemlerde, a_{dolgu} eşdeğer basınç çubuğunun efektif genişliğini, h_{kol} kolonun giriş merkezleri arasındaki yüksekliğini, d dolgu duvarının köşegen uzunluğunu, E_{dolgu} dolgunun elastisite modülünü, b_w eşdeğer basınç çubuğunun kalınlığını, β_s tanjantı dolgunun yüksekliğinin uzunluğuna oranı olan açıyı, E kolonun elastisite modülünü, I kolonun atalet momentini, h dolgunun yüksekliğini göstermektedir. Eşdeğer çubuğun kalınlığı modellediği dolgu duvarının kalınlığı ile aynı olacaktır.

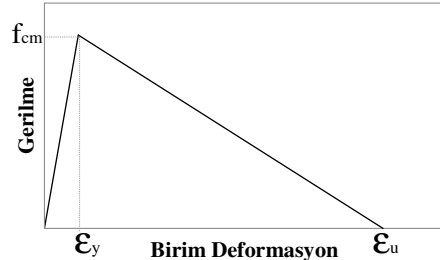
Kuramsal çalışmalarda sıvanmış boşluklu tuğla dolgu duvarların modellenenebilmesi için eşdeğer basınç çubuklarının aksel dayanım ve rijitliklerinin hesaplanmaları, kuvvet-şekil değiştirme eğrilerinin oluşturulması gerekmektedir. Dolguyu temsil eden eşdeğer basınç çubuğunun aksel yük taşıma kapasitesi için, dolgu duvarın göçme şekillerine göre farklı bağıntılar önerilmiştir. Burada, çubuğun aksel yük taşıma kapasitesi F 'in değeri Denklem (3) kullanılarak hesaplanabilir;

$$F = f_{\text{cm}} \cdot b_w \cdot a_{\text{dolgu}} \quad (3)$$

Denklemlerde, f_{cm} sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun basınç dayanımıdır ve kare dolgu panellerin köşegenleri doğrultusunda uygulanan P yükü altında testlerinden elde edilecektir. a_{dolgu} Denklem (1) ve Denklem (2) kullanılarak hesaplanabilir.

Ortadoğu Teknik Üniversitesi Yapı Mekaniği Laboratuvarında hazırlanan 700mm×700mm boyutlarındaki, aynı özelliklerde, sıvanmamış ve sıvanmış kare dolgu paneller, deney elemanlarının boşluklu tuğla dolgularına benzer şekilde, köşegenlerinden biri doğrultusunda uygulanmış basınç altında test edilmişler [5] ve dolgu

paneller için ortalama basınç dayanımı 5.0 MPa, ortalama elastisite modülü 7,500 MPa olarak bulunmuştur. Böylece, sıvanmış boşluklu tuğla dolguyu modelleyen eşdeğer basınç çubuğunun gerilme-birim deformasyon grafiği Şekil 6'da gösterildiği gibi hazırlanmıştır. Kuramsal çalışmalarda sınır birim deformasyonunun değerini (ϵ_u) 0.015 olarak kabul etmek tatmin edici sonuçlar vermiştir.



Şekil 6 Eşdeğer basınç çubuğunun gerilme-birim deformasyon grafiği

Deney çerçeveleri 2LD ve 1LD'de kolon boyuna donatılarında bulunan yetersiz bindirmeli eklerden dolayı boyuna donatılar akma dayanımlarına ulaşamamaktadırlar. Boyuna donatı akma dayanımının bindirmeli ek boyuyla orantılı şekilde azaldığı bilindiğinden, söz konusu bu elemanlar için etkileşim eğrileri, azalmış akma dayanım değerleri kullanılarak, hazırlanmıştır. Bindirmeli ek boyu, donatı çapının kırk katından (40ϕ) az değilse boyuna donatı akma değerinde bir azaltmaya gerek olmadığı bilinmektedir. Canbay ve Frosch'un çalışmalarında [1] bindirmeli ekli donatı akma dayanımı hesabı için boyuna donatı akma değeri, f_y , bindirmeli ek boyunun kareköküyle doğru orantılı olarak azaltılmıştır. Kat seviyelerindeki bindirmeli ek boyu 20ϕ olduğundan, boyuna donatının azaltılmış akma dayanımı, f_y' , Denklem (4) kullanılarak hesaplanabilir [2]:

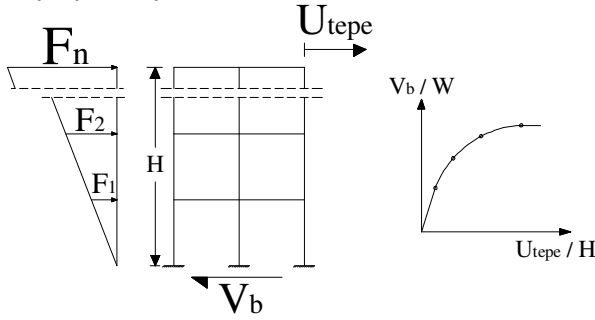
$$f_y' \cong f_y \cdot \sqrt{\frac{20\phi}{40\phi}} = 0.7071 \cdot f_y \quad (4)$$

Deneysel sonuçları kuramsal olarak doğrulayabilmek amacıyla deney elemanları için İtme (Push-Over) analizleri yapılmıştır. İtme analizi, yapıların yanal yükler altındaki performansını değerlendiren bir çeşit doğrusal olmayan statik analiz yöntemidir. Bu analizde, önce bir yük şablonu

Deneysel Çerçevesi	Kolon Aksel Yüklü (kN)	Yatay Yük Kapasitesi (kN)	Ötelenme Oranı ^(b) δ/h	Başlangıç Rijitliği (kN/mm)	Enerji Tüketimi (kJ)
2CD	60	78.8	0.0030	43.5	6.4
2LD	60	74.2	0.0035	59.1	4.6
1CD	60	86.6	0.0036	95.8	5.7
1LD	30	65.5	0.0053	59.9	8.6

seçilmekte ve bu yükler yapıya küçük artışlarla yüklenmektedir. Yöntem basitçe Şekil 7'de gösterilmiştir. Kullanılan program, akma/kırılma yüzeyi olarak çerçeve

elemanları için aksel yük-moment etkileşim eğrisini veya aksel yükten bağımsız moment kapasite değerini kabul etmektedir. Bu çalışmada, programa kolonların etkileşim eğrileri, kirişlerin de moment kapasite değerleri (elasto-plastik olarak) girilmiştir. Eğer varsa, kolon boyuna donatılarında bulunan bindirmeli ekler, donatı akma değerleri programa girilirken, hesaba katılmışlardır. Deney elemanlarının kuramsal modellenmesi de Şekil 14'deki gibi hazırlanmıştır. Eşdeğer basınç çubuklarının çerçeveye her iki uçtan mafsallarla bağlandığı varsayılmıştır. Kuramsal çalışmalar sonucu elde edilen zarf eğrileri ile tüm çerçevelerin deneysel zarf eğrileri Şekil 8'de karşılaştırılmışlardır.

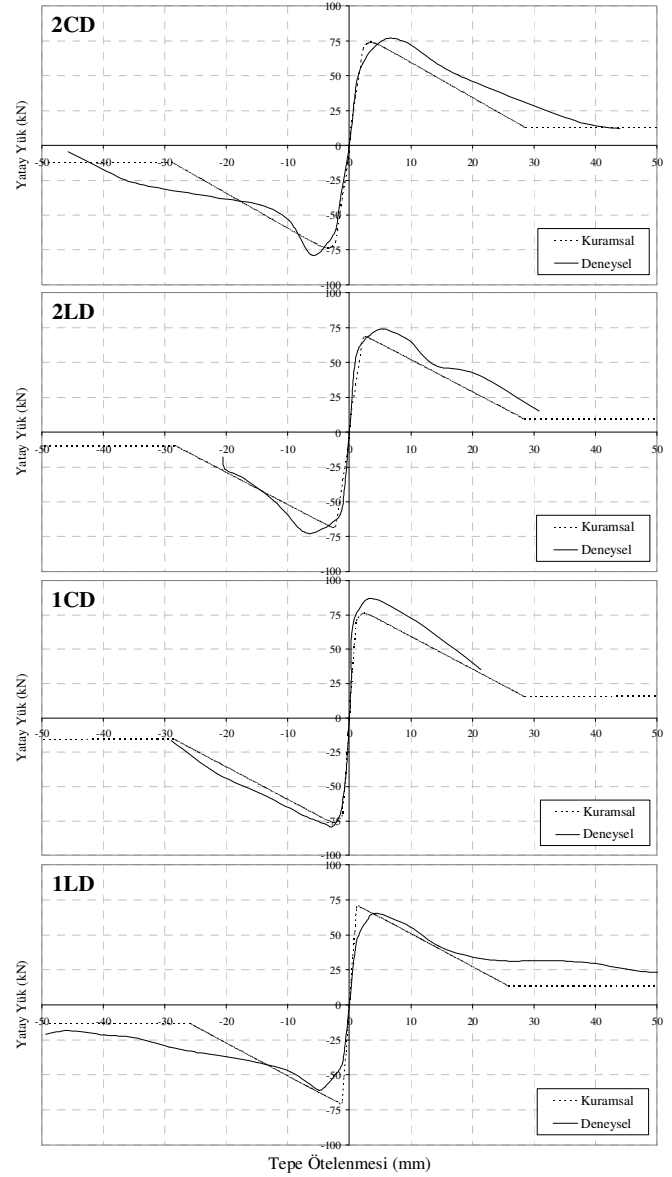


Şekil 7 İtme analizi

Şekil 8'den de görülebileceği üzere, sıvanmış boşluklu tuğla dolgunun eşdeğer basınç çubuğuyla modellendiği ve bindirmeli ek bulunan kolon boyuna donatısının akma dayanımının Denklem (4) kullanılarak hesaplanan değeriyle yapılan yapısal çözümler, deney çerçevelerinin yatay yük taşıma kapasitesinin ve rijitlik değerlerinin tahmininde başarılı sonuçlar vermiştir. Bu yöntemle, deney çerçevelerinin yatay yük taşıma kapasitesi tayinindeki sapma yaklaşık %12 üstünde ve yaklaşık %17 altında, rijitlik değeri tayininde ise yaklaşık %7 üstünde ve yaklaşık %15 altında olmuştur.

V. SONUÇ

Üzerindeki yük seviyesinin aksel yük taşıma kapasitesinin %20'sinden az olmadığı durumlarda, kolon boyuna donatılarında yetersiz bindirmeli ekler (20φ) bulunması dolgu çerçeve davranışını olumsuz yönde etkiliyor olarak görünmemesine rağmen yetersiz bindirmeli eklerin düşük aksel yük seviyesiyle birlikte bulunması çerçevenin yatay yük taşıma kapasitesini olumsuz yönde etkilemektedir. Buradan, kolon üzerine uygulanan aksel yükün belirli bir seviyenin altında olmamasının, bindirmeli eklerden kaynaklanabilecek olumsuzlukları kısmen de olsa engelleyebileceği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 8 Deneysel zarf eğrileri ile kuramsal zarf eğrilerinin karşılaştırılması

VI. REFERANSLAR

- [1] Canbay, E., Frosch, R. J., "Bond Strength of Lapped-Spliced Bars", ACI Structural Journal, July-August 2005, Title No: 102-S62.
- [2] Baran, M., "Precast Concrete Panel Reinforced Infill Walls for Seismic Strengthening of Reinforced Concrete Framed Structures", PhD thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2005.
- [3] Susoy, M., "Seismic Strengthening of Masonry Infilled Reinforced Concrete Frames with Precast Concrete Panels", MSc thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 2005.
- [4] Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings, Federal Emergency Management Agency (FEMA), FEMA 306, (1998).
- [5] Akan, E., Ph. D. Thesis, in Progress, Middle East Technical University, 06531, Ankara, Turkey.
- [6] Tankut, T., Ersoy, U., Özcebe, G., Baran, M., Okuyucu, D., "In Service Seismic Strengthening of RC Framed Structures", Seismic Assessment and Rehabilitation of Existing Buildings, International Closing Workshop, NATO Project Sfp 977231, May 30-June 1, 2005, Istanbul, Turkey.