

KOLON-KIRIŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNİN YAPI DAVRANIŞINA ETKİLERİ - I

EFFECT OF BEAM-COLUMN JOINTS ON THE OVERALL STRUCTURAL BEHAVIOR

Faruk Karadoğan¹, Ercan Yüksel²

SUMMARY

Beam column joints of a RC structure are deformable zones defined by the width of the columns and the depth of the beams, not a dimensionless nodal point as they are generally assumed in mechanical models of real structures. Just because of the plastic deformations accumulated within the joint region, structures may lose their lateral load resisting capacities as it is observed in Erzincan after the March 13, 1992 Earthquake, (Fotograf #1).

How will the present energy dissipation capacity of beam-column connections be evaluated and be taken into consideration? And what will be the effects of non-rigid beam-column connections on the overall structural behavior of framed buildings? Unfortunately, it is known that there are too many RC structures built without considering the code requirements for beam-column connection. How will the realistic seismic capacities of these structures be assessed without identifying the real behaviour of joints and without taking into account the joint deformations? This is also important to prevent the structure against premature collapse which may be followed by a global collapse.

One of the two proposed mechanical models to consider the joint deformations depends on the fictitious loadings obtained simply multiplying the element stiffnesses by the additional rotations due to the deformations of joint regions. Since those fictitious terms are constant there will be no change in the size of overall stiffness matrix but a limited number of successive approximations will be needed. One can start with omitting the inner joint deformations and defining the internal forces which cause the inner joint deformations. In the next runs the internal forces will start to include the contribution of joint deformations. At each stage of this successive approximation the relation between the internal forces and inner joint deformations are assumed to be defined. This relationship is beyond the scope of this paper.

1 Prof.Dr.İ.T.Ü.,İnşaat Fakültesi,Maslak,İstanbul

2 Araş.Gör.İ.T.Ü.,İnşaat Fakültesi,Maslak,İstanbul

Two finite element models are prepared to define a fictitious beam for considering both the rigid or non rigid edge portions of a traditional tapered beam. This is the second mechanical model proposed to reflect the inner joint deformations and is the subject of another paper.

ÖZET

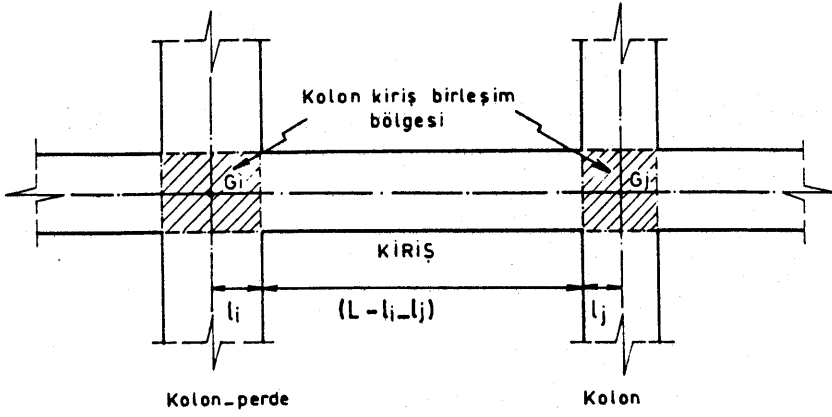
Kolon-kiriş birleşim bölgesi, yapı sisteminin mekanik modelinde genellikle yapıldığı gibi tek bir nokta değildir; sonlu büyüklükte, şekil değiştirebilen bir bölgedir. Bu şekildeğştirmeler elastik sınırları aşarak kalıcı şekildeğştirmelere dönüşebilmekte ve yönetmeliklerde önerildiği gibi hesaplanıp donatılmadıkça ve uygun biçimde imal edilmedikçe, önce bölgesel sonra genel göçme odağı olmaya devam etmektedir. Erzincan 1992 depremiyle bir kez daha gözlenen bu durum; Türkiye’de çok büyük sayıdaki betonarme binanın ortaya çıkmamış fakat bilinen zaafı olarak durmaktadır. Bu tür birleşim bölgelerinin davranışı ve bunların, sistemin genel davranışına özellikle de deprem taşıma kapasitelerine etkileri araştırılmak zorundadır. Burada iç içe yer alan konulardan biri bu yazıda ele alınmakta ve birleşim bölgesi içindeki şekildeğştirmelerin sistem davranışına nasıl katılabileceği üzerinde durulmaktadır. Ayrıntıları burada verilen yollardan biri, indirgenmiş sistem rijitlik matrisini değiştirmeden sanal yükleme terimleri tanımlayarak düğüm noktası içindeki şekildeğştirmeleri gözönüne almaya yöneliktir. Bu ardışık yaklaşım yolunda önce kolon kiriş birleşim bölgelerinin sonsuz rijid olduğu varsayılır ve iç kuvvetler bulunur. Bu yazının kapsamı dışında kalan, iç kuvvetlerle-birleşim bölgesindeki şekildeğştirmeler arasındaki ilişkinin tanımlandığı varsayılıp, bu şekildeğştirmeler hesaba katılarak yeni iç kuvvetler bulunur ve ardışık yaklaşımlar yeterince sürdürülür.

Aynı amaçla kullanılabilecek ikinci bir yol, eğilme rijitlikleri çubuk uçlarında ani değişim gösterip çok büyük veya çok küçük değerler alabilen gerçek çubuklar yerine üniform sanal çubuklar tanımlamaktır.

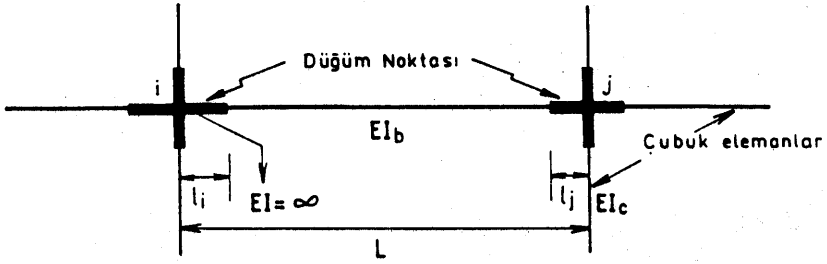
GİRİŞ

Kolon-kiriş birleşim bölgeleri, kolon genişliği ve kiriş yüksekliğince tanımlanan sonlu büyüklükte bir bölgedir. Elemandan elemana yük aktarılmasında, başka bir deyişle elemanların birbirine bağlanmasında önemli rolü olan bu bölgenin yük aktarımı sırasında şekil değiştirdiği bilinmektedir. Özellikle deprem gibi iki yönlü bir etkiye bu şekildeğştirmeler önemli ölçülere varabilmekte, elastik sınırı aşarak kalıcı nitelik kazanabilmektedir. Mekanik modellerde genellikle boyutsuz bir nokta olarak yer alan kolon-kiriş birleşim bölgesindeki şekildeğştirmelerin sistem davranışına etkileri ne ölçüde önemlidir? Bu etkileri hesapta gözönünde bulundurmanın uygun yolları bulunabilir mi?

Kolon-kiriş birleşim bölgesinde veya o bölgeye komşu eleman kesitlerinde kalıcı şekil değıştirmelerin ortaya çıkması ve bunların hesaba katılabilmeleri, gerçek yapı davranışının kestirilebilmesi ve yeter güvenlikle

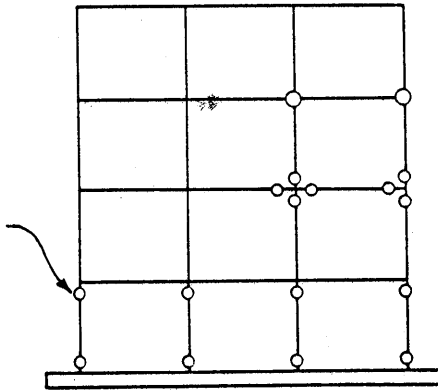


Şekil 1a



Şekil 1b

Kalıcı Şekil Değişimlerinin
Yığıldığı Bölgeler



Kalıcı Şekil Değişimlerinin
Düğüm Noktası İçinde
Yığılması

Düğüm Noktası Civarı
Mekanizma Durumu

Kat Mekanizma
Durumu

Şekil 2

ekonomik cözümlerin yapılabilmesi açısından çok önemlidir. Sistem üzerinde oluşması istenen ve tasarlanan kalıcı şekildeğiştirmelerin, sistem üzerindeki yerleri ve sınırları kontrol altında tutulmak zorundadır. Aksi halde kalıcı şekildeğiştirmelerin belirli yerlere yığılması erken bölgesel cökmelere ve bağlantılı olarak genel cökmelere neden olabilir ki böyle durumlar yapıdaki deprem dayanımının genellikle tam kullanılamaması anlamı taşır. Dugüm noktası civarındaki tüm kesitlerde plastik mafsallar oluşması veya bazılarında kapasitelerin aşılması ya da kırılma koşullarının gerçekleşmesi, kat mekanizma durumlarına gelinmesi, kalıcı şekildeğiştirmelerin istenmeyen yığılmaları olarak düşünülebilir (Sekil 2). Ancak bunlardan da kötüsü kalıcı şekildeğiştirmelerin önemli bölümünün kolon-kiriş birleşim bölgesinin içinde ortaya çıkmasıdır. Böyle bir durumda çevredeki kolon ve kirişler ne kadar uygun boyutlandırılıp donatılmış olsalar da, sistemin deprem güvenliği tek bir dugüm noktasının depreme karşı güvenliğine bağımlı olacaktır. Böyle bir kolon-kiriş birleşim bölgesinin sistem davranışına etkilerinin yakından bilinmesi önemlidir.



Fotograf*1

Cünkü bu davranış yapıya aktarılan deprem yükü şiddeti ve yapı yüksekliğince dağılımı üzerinde karşılıklı etkilidir. Nitekim deprem yükü ve dağılımı da sistem davranışını değıştirecektir.

KOLON-KİRİŞ BİRLEŞİM BÖLGELERİNDEKİ ŞEKİL DEĞİŞTİRMELERİN HESABA KATILMASI İÇİN ÖNERİLEN İKİ YOL

Kolon-kiriş birleşim bölgelerinin sonsuz rijit sayılarak hesap yapılması bu konuda izlenen en genel yoldur. Böylelikle bilinmeyen sayısı azalmakta, geometrik uygunluk koşulları doğrudan doğruya sağlanmakta, mekanik model ve hesap basitleşmektedir. Bu amaçla kolon ve kiriş uçlarının birleşim bölgeleri içinde kalan bölümlerinin sonsuz rijit sayılması doğal olmakta, çeşitli çalışmalar bu rijit bölgelerin boylarını daha iyi saptamaya yönelmiş bulunmaktadır (Şekil 1a,1b),[1],[2]. Bütün bunlar düğüm noktasının kendisinden beklenen rijit davranışı gösterebildiği sürece uygundur. Ancak deprem sonrası gözlemlerin ortaya koyduğu bir gerçek (Fotograf #1) kolon-kiriş birleşim bölgelerinin kendilerinden beklenen davranışı göstermekten uzak kalabileceği doğrultusundadır. Fotograftaki yapı yıkılarak kendi durumunu ortaya koymuştur. Ancak bu duruma yakın fakat henüz yıkılmamış yapılar bulunduğunu düşünmek yanlış değildir. Çünkü yıkılan yapının pek çok özelliği henüz yeteri şiddette ve sürede depreme maruz kalmamış pek çok yapıda mevcuttur.

Böyle yapılarda kolon-kiriş birleşim bölgesinde elemanların uçları sonsuz rijit alınamayacağı gibi bölgenin o ana kadar yutmuş olduğu enerjiye ya da o andaki gerçek rijitliğine göre hesaba katılması gerekmektedir. Burada iç içe girmiş üç problemi birbirinden ayırmak yerinde olacaktır.

a. İki yönlü yükler etkisinde şekil değiştirmekte olan bir kolon-kiriş birleşim bölgesinde, yük-şekil değiştirme bağıntıları ve bunları etkileyen parametreler nelerdir?

b. Şekildeğistirmeleri kolay kontrol etmek amacıyla kullanılacak donatı şekli ve miktarı ne olmalıdır?

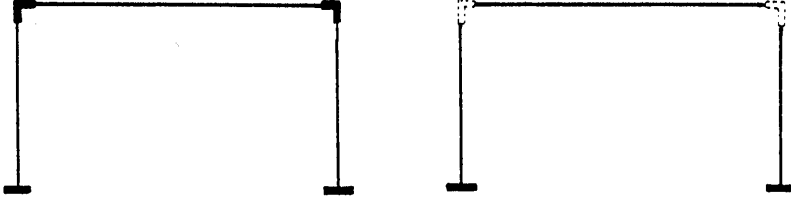
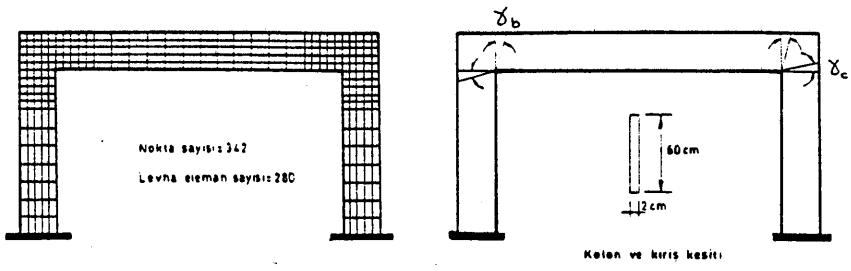
c. Şekildeğistirmelerin tanımı yapılmışsa bunların hesaba aktarılmasında izlenecek yollar neler olabilir?

Yazı esas itibarıyla üçüncü sorunun cevaplanmasına yönelik iki denemeyi özetlemektedir.

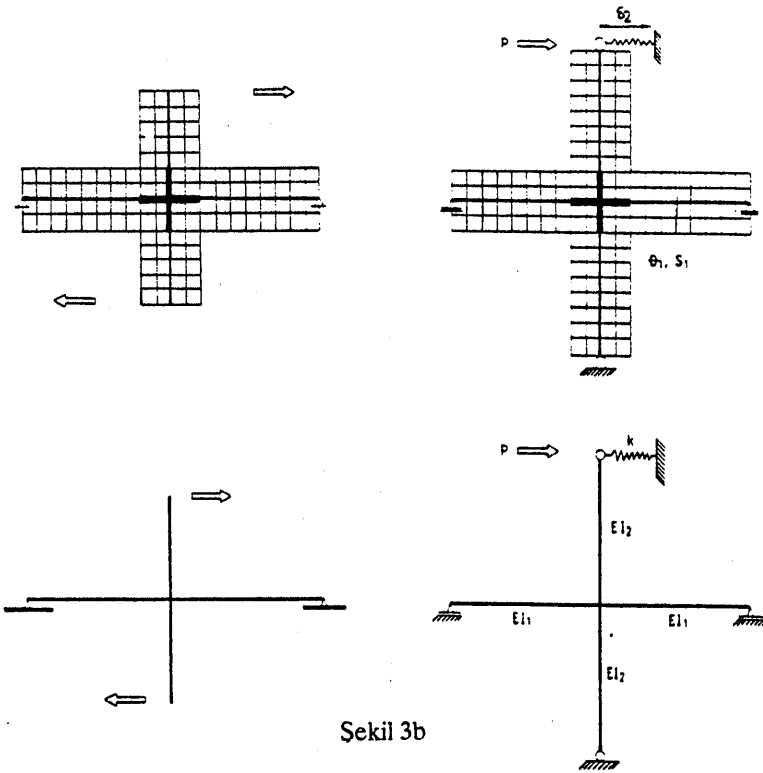
Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinde Kalan Sanal Çubuk Parçalarında Eğilme Rijitliğinin Değiştirilmesi

Elemanın sistem rijidliğine katkısını daha gerçekçi olarak belirlemek üzere rijid olan kolon- kiriş birleşim bölgesi içindeki parçanın boyu saptanacak yerde, uçlarındaki bir bölgesinde rijidliği aniden değişen çubuğun tümü için, bir sanal rijitlik tayin etme yoluna da gidilebilmektedir [4]. Bu amaçla kullanılan iki model (Şekil 3a) da yer almaktadır. Sonlu eleman çözümlerinden alınan ortalama uç yer değıştirmeleri (Şekil 3b) de verilen eşdeğer çubuk sistemlerin denge denklemlerinde kullanılarak EI sanal rijidliklerinin hesabı mümkün olmaktadır. Elde edilen sonuçlar başka bir çalışmanın konusu olarak ele alınmaktadır.

Kolon-kiriş birleşim bölgesinin şekil değıştirmesi ve bu şekildeğistirmenin kalıcı olması hallerinde de yukarıdaki yolun izlenmesi mümkündür. Yani çubuğun düğüm noktası içindeki bölümüne ait eğilme rijitliği, kolon-kiriş birleşim bölgesindeki şekildeğistirmeleri temsil edecek



Şekil 3a



Şekil 3b

bicimde değiştirilir, yada tüm çubuk için sanal bir tek eğilme rijitliği tanımlanabilir. Bu yolla hesap yapılırken bilinmeyen sayısında artış olmadığına dikkat edilmelidir. Sanal çubuğun boyunu saptamaya yönelik çalışmalarda hesaba her çubuk için iki yeni düğüm noktasının daha eklenmesi yada ona eşdeğer başka bir işlem yapılması gerekmektedir.

Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesindeki Şekil Değiştirmelerin Doğrudan Doğruya Dikkate Alınması

Kolon-kiriş birleşim bölgesindeki şekil değiştirmelerin kaynağı bu bölgeye etkiyen iç kuvvet farklarıdır. Bunlardan ortaya çıkan şekil değiştirmelerin daha çok her iki doğrultudaki kayma şekildeğiştirmeleri olduğu varsayılabilir (Şekil 4). Bu kuvvetlerin tanımı ve şekildeğiştirmelerle malzeme yönünden lineer olan ve olmayan bölgelerdeki bağlantıları bu çalışmanın dışında tutulmakta ve δb ve δc ile ifade edilebilen kayma şekil değiştirmelerinin bilindiği varsayılmaktadır.

Düğüm noktalarının rijit sayımları halindeki dönmeye ek olarak ortaya çıkan bu uç yerdeğiştirmelerinin bir araya getirildiği (6x1) boyutundaki

$$\begin{bmatrix} \delta b_1 \\ 0 \\ 0 \\ \delta b_2 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

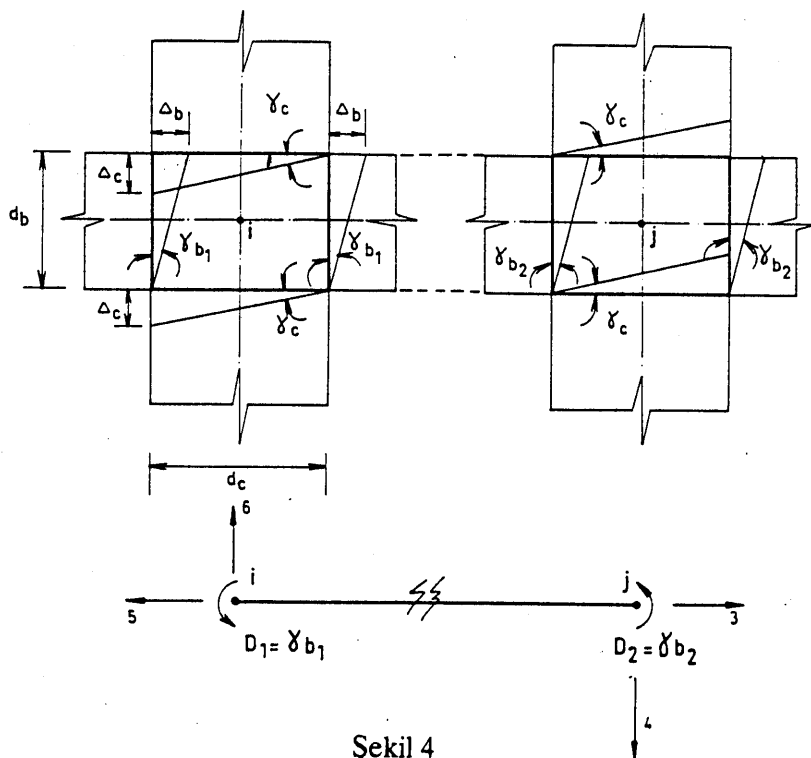
matrisinin ilgili çubuğun ortak eksen takımındaki rijitlik matrisi ile çarpımı bu bilinen yerdeğiştirmelerden kaynaklanan ek uç kuvvetlerini tanımlar.

Düğüm noktalarındaki şekildeğiştirmeleri gözönüne almak için önerilen işlem sırası aşağıdaki gibi özetlenebilir.

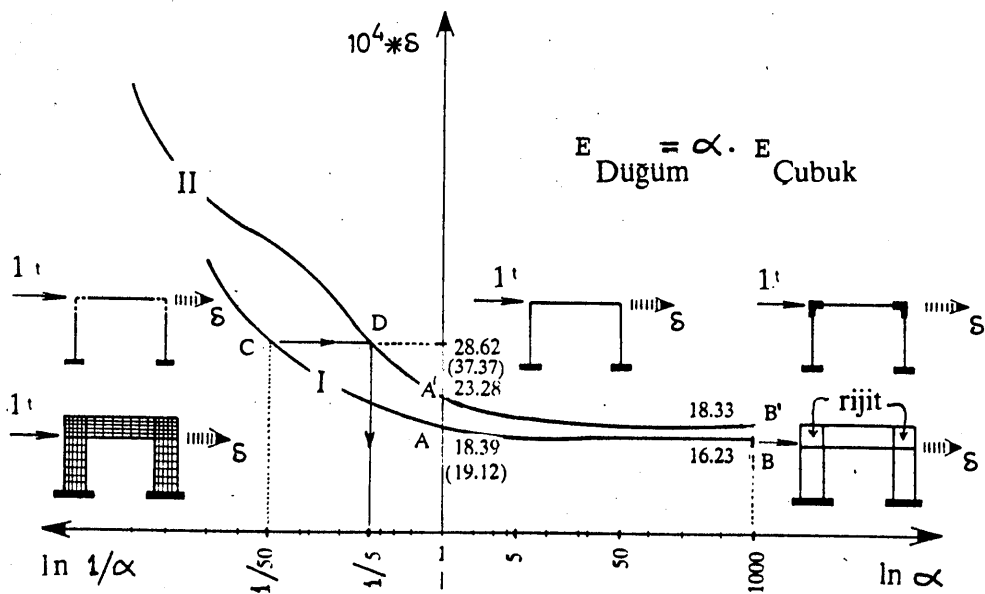
Düğüm noktalarının sonsuz rijit sayılması halindeki çözümde elde edilen uç kuvvetleri ile yola çıkılıp, sırasıyla düğüm noktalarını şekil değiştirmeye zorlayan fark kuvvetler ve onlardan kaynaklanan sanal kuvvetler tanımlanır. (2) denklemi ile yeni bir çözüm yapıp ardışık yaklaşımın ilk çevrimi bitirilir.

$$[S][d] + [Po] + [\bar{Po}] = [q] \quad (2)$$

(2) de yer alan $[\bar{Po}]$ sanal yükleme matrisinin, $[Po]$ yükleme matrisinin kurulmasına benzer biçimde kurulması ile elde edileceğine, $[S]$ nin sistem rijitlik matrisini, $[q]$ nun düğüm noktası yüklerinden oluşan kolon matrisi gösterdiği ve yukarıda özetlenen yolun sistemin indirgenmiş rijitlik matrisini bozmadığı söylenebilir. Yeter yaklaşım elde edilene dek ardışık yaklaşım sürdürülecektir.



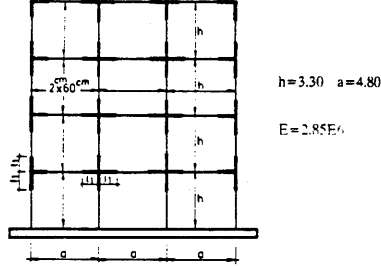
Şekil 4



Şekil 5

ÖRNEK

Konunun önemini ve önerilen yolların uygulanışını örneklemek üzere (Şekil 3a) daki sistem, düzlem gerilme levha elemanların kullanıldığı bir mekanik model oluşturularak, incelenmektedir .



YATAY KAT YERDEĞİSTİRMELERİ x 1E3

Kat	Cözüm 1	Cözüm 2	Cözüm 3	Cözüm 4	Cözüm 5
	$\Delta_1=0$ $E_1=E$	$\Delta_1=0.3$ $E_1=E$	$\Delta_1=0.43$ $E_1=E$	$\Delta_1=0.3$ $E_1=E:50$	$\Delta_1=0.3$ $E_1=E:200$
4	14.19	9.56	7.92	195.31	30.54
3	11.85	8.06	6.71	151.79	26.38
2	8.02	5.63	4.75	82.97	20.06
1	3.36	2.59	2.28	9.14	7.50

Şekil 6

Bu modelde yer alan elemanlardan düğüm noktası içerisinde kalanlarının elastik özellikleri diğerlerinden farklı alınmak suretiyle bir anlamda o bölgedeki kalıcı şekildegıştirmeler temsil edilmiş, kolon-kiriş birleşim bölgesinin çeşitli çubuklarla idealleştirilmesi durumları karşılaştırılmış ve bu bölgedeki şekildegıştirmelerin doğrudan doğruya gözönüne alınması için önerilen yollar sınanmıştır. Ulaşılan sonuçların bazıları (Şekil 5) te toplanmıştır. Sonlu eleman uygulamalarını bir araya getiren I nolu eğrinin sola doğru yükselmesi, düğüm noktası içindeki şekildegıştirme artışlarının yatay δ yerdegıştirmesi üzerinde çok etkili olduğunu göstermektedir. Benzer sonuca, çubuk sistem yardımıyla oluşturulan II nolu eğri ile de ulaşıldığı gözlenmektedir. Bu eğrilerin birbiriyle karşılaştırılmaları da bazı farkları ortaya koymaktadır. Nitekim $\alpha=1$ ve ∞ olması hallerinde bu elverişli örnekte dahi yatay yerdegıştirmeler eşit olmamaktadır. Başka türlü söylemek gerekirse alışlagelmiş boyutlardaki bir kolon-kiriş birleşim bölgesindeki elastik şekildegıştirmeler dahi δ yerdegıştirmesini etkilemekte ve düğüm noktası içinin gerçekten sonsuz rijitlikli olması, çubuk uçlarının sonsuz rijit alınması ile temsil edilememektedir, (A-A' ve B-B' noktaları). Birbiri içinde kalan kolon kiriş parçacıklarının rijidlikleri azaltılarak düğüm noktası içindeki şekildegıştirmeler hesaba katılabilir ve bu amaçla sonlu eleman çözümlerinden yeni çubuk rijitliği tanımlarına yaklaşık olarak geçilebilir. Nitekim bunu örneklemek amacıyla sonlu eleman çözümlerini gösteren I

nolu eğrinin bir C noktasından yatay hareketle, II nolu eğriye ulaşılan D noktasından aşağı inilen dik, eşdeğer a katsayısına yaklaşık olarak karşı gelecektir. Bu tür eğri demetleri üzerinde çalışmak mümkün görünmektedir.

I nolu eğrinin A ve C noktalarındaki analizlere karşılık gelen ortalama δ_b ve δ_c dönme açılarından yararlanarak, bilinmeyen sayısını artırmayan ikinci yolla yapılan çözümlerin sonuçları aynı noktalarda parantez içinde verilmektedir. Kolon ve giriş uçlarındaki ortalama dönmelerin ayrı ayrı kullanıldığı bu hesaplar yerine, bir tek dönmeden de yararlanabileceği ancak rijid ortak dönmeden olan bu farkları ihmal etmenin doğru olmayacağı görülmektedir. Nitekim çok katlı bir örnek olmak üzere de, Şekil 6 daki sistem seçilmiş ve çeşitli karşılaştırmaların sonuçları aynı şekildeki küçük tabloda bir araya getirilmiştir. Düğüm noktası içindeki şekil değiştirmelerin sonuca önemli katkıları olabileceği bu tablodan kolaylıkla izlenmektedir, (Bkz. Kolon No 1,2,3 - 4). Düğüm noktasındaki şekil değiştirmeler sadece birinci katta sınırlı kalsa bile farklar önemini korumaktadır, (Bkz. Kolon No 1,2,3 - 5).

SONUÇLAR

Kolon-kiriş birleşim bölgelerindeki özellikle kalıcı şekildeğiştirmelerin sınırlı tutulması ve yapı davranışında hesaba katılması zorunludur. Bu amaçla teorik olduğu kadar deneysel çalışmaya da gerek duyulduğu açıktır. Düğüm noktasındaki şekil değiştirmeyi, düğüm noktasındaki sanal çubuk rijitliğini tanımlayarak yada oradaki değişikliği çubuk uc yerdeğiştirmesi olarak görüp sanal yüklere dönüştürerek bilinmeyen sayısını arttırmadan çözüm önermek mümkündür. Ancak incelemenin tamamlanıp yararlı olabilmesi, birleşim bölgesi içindeki iç kuvvet şekildeğiştirme bağintılarının gerçekci olarak saptanabilmesine bağlıdır.

Yürürlükteki deprem yönetmeliğinin ilgili maddeleri uygulanırken ne ölçüde başarılı olunabildiğini Erzincan Depremi göstermiştir, Fotoğraf#1. Ülke genelindeki uygulamanın benzer olduğuna dikkat edilirse mevcut diğer yapılardaki gerçek durumu görmek üzere başka bir depremi beklemeye gerek yoktur.

KAYNAKLAR

1. Çakıroğlu A., "Sonsuz Rijit Kısımları Bulunan Çubukların I. ve II. Mertebe Teorilerine Ait Birim Deplasman Sabitleri", İ.T.Ü Dergisi, Cilt 36, Sayı 5, 1978.
2. Pala S., Özmen G., "Effective Stiffness of Coupling Beams in Structural Walls" (to be published).
3. Ülker R. ve Diğerleri "13 Mart 1992 Erzincan Depremi Hakkında Rapor".
4. Özten A., "Kuvvet Yönteminin Etkin Kullanımı ve Kolon-Kiriş Birleşim Bölgesinin Yapı Davranışına Etkisi", Diploma Çalışması, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 1992.