

## Eğilme Etkisi Altındaki Kutu Kesitli Kiriş-Kolon Birleşiminde Modelleme Tekniklerinin Birleşim Davranışı Üzerine Etkisi

Nurettin A. KIMILLI<sup>1</sup>, Mehmet FENKLİ<sup>2</sup>, Devran ÇELİK<sup>3</sup>, Mustafa SİVRİ<sup>4</sup>, Zeki AY<sup>5</sup>

<sup>1, 3, 5</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta

<sup>2</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Öğretmeliği, Isparta

<sup>4</sup> Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler MYO, İnşaat Teknolojisi, Isparta

**Özet:** Sismik yüke maruz kalan yapılar, sahip oldukları geometri, yapı elemanlarının kesit özellikleri ve malzeme sınıfına göre bir yapısal davranış ortaya koyarlar. Ortaya konan bu yapısal davranış, depremin talebine karşı yapının oluşturduğu bir reaksiyon durumudur. Deprem bir kinetik enerji hali ise, yapı mevcut hali bir potansiyel enerji olarak algılanabilir ve gelen enerjiyi dengelemelidir. Yapının bütünde ya da bütünü oluşturan elemanlarda bu dengeleme gelen enerjinin boyutuna göre elastik veya plastik sınır dahilinde gerçekleşir. Plastik sınır dahilinde gerçekleşen denge durumu yapı elemanlarında kalıcı deformasyonlara sebep olmakta ve parçadan bütüne gittiğimizde yapı kapasitesini etkilemektedir. Depreme dayanıklı yapı tasarımında etkili olmanın ölçütlerinden biriside bu deformasyonlara ait algoritmanın doğru bir şekilde belirlenmesidir. Ancak günümüzde kullanılan statik analiz programlarının, yada kullanıcıların eksikliklerine bağlı olarak yapısal model tam anlamıyla sayısallaştırılamamaktadır. Bu sebeple tasarıma bağlı davranış bozuklukları öngörülemez ve yapı daha tasarım aşamasında kusurlu doğmaktadır.

Bu çalışmada, deneysel analizi tamamlanan Dairesel kesitli kolon-dikdörtgen kesitli kirişin alın levhalı kaynaklı moment aktaran birleşimi Ansys sonlu elemanlar programı kullanılarak sayısal olarak modellenmiştir. Deneysel analize göre doğrulanan sayısal model sabit yükleme düzeneği üzerinde farklı yaklaşımlar için analizler yapılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak modelleme tekniğinin düğüm noktası davranışı üzerine etkisi gösterilmeye çalışılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Dairesel Kesitli Kutu Profiller, CHS, Dikdörtgen Kesitli Kutu Profiller, RHS, Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimler, Moment Aktaran Çelik Çerçeve Sistemler, Süneklilik Detayı.

## Modeling Techniques of Under Bending Box Section Beam-Column Joints Effects on Connection Behaviour

**Abstract:** Structures subjected to seismic loads, they have geometry, section properties of building components and materials according to the class they revealed a structural behavior. This structural behavior of structures is a demand to earthquakes a reaction. If the earthquake is a kinetic energy state, the potential energy can be perceived as a structure in its current form and must balance the energy. In cases where reciprocal compensation of these two energy difference by the damping of the structure are desired. Make this condition is referred to as ductility and energy dissipation capability.

One of the measures to be effective in earthquake resistant design of these deformation algorithm to determine correctly. However, static analysis programs used today, or depending on the users' lack of structural models can not fully digitized. Therefore, the design can not be envisaged is dependent behavior disorders, defective structures arises in the design stage

In this study, it is aimed to investigate ductility details for the connection of end plate welded moment resisting connections of the "circular hollow section column - rectangle hollow section beam" columns. At the end plate welded moment resisting connections, the effect of the profile sizes and material features on the buckling types, cycling loads will be examined experimentally and numerable. In this context, comparing the results obtained from modeling of techniques have been tried to show the effect on joint behavior.

**Keywords:** Circular Hollow Section Profiles, CHS, Rectangular Hollow Section Profiles, End Plate Welded Moment Resisting Connections, Moment Resisting Steel Frames, Cycling Static Loads, Ductility Details,

## 1. Giriş

Çelik yapıların yatay yük altındaki davranışı, sahip oldukları malzeme özellikleri, kesit geometrileri, birleşim detaylarına bağlıdır. Bu durumda, kiriş kolon birleşim durumları, kullanılan yapı elemanın malzeme ve kesit özellikleri birleşimin dönme kapasitesinin belirlenmesinde önemli yer tutmaktadır. Oluşturulan kiriş-kolon birleşim noktalarında gevrek kırılmaların olmaması, düğüm noktalarının sistem sünekliğine paralel bir davranış sergilemesi istenir. Birleşimdeki bu sünek davranış, yapı elemanının düğüm noktasındaki dönme kapasitesini etkileyen en önemli etkenlerden birisidir. Özellikle, yakın zamanlarda meydana gelen (1994 Northridge ve 1995 Kobe gibi) depremler ve bu depremler sonrasında hasar gören çelik yapılar üzerinde birçok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmalar, incelendiğinde yapılarda meydana gelen en önemli hasar nedenlerinden birisinin kolon-kiriş birleşim noktalarında ortaya çıkan gevrek kırılmalar olduğu tespit edilmiştir. Bu nedenle, özellikle depremden sonra birleşimlerin, yapıların sismik performansına etkilerinin araştırıldığı çok sayıda deneysel ve analitik çalışma yapılmıştır.

Düzlem eğime durumu Dizayn Rehberi (2009) kapsamında da değerlendirilen kare ve dikdörtgen kutu kesitli birleşim için Duff (1963), Redwood (1965), Cote (1968), Mehrotra ve Redwood (1970), Lazar ve Fang (1971), Wardenier (1972), Mehrotra ve Govil (1972), Staples ve Harrison, Brockenbough (1972), Korol (1977), Korol

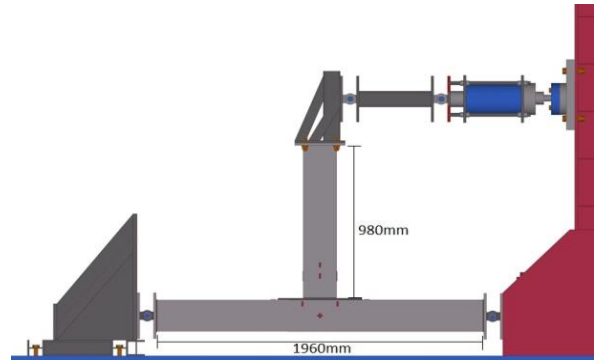
ve Mansour (1979), Kanatani (1980), Korol (1982), Korol ve Mirza (1982), Mang (1983), Davies ve Panjeh Shahi (1984), Szlendak ve Brodka (1985, 1986a, 1986b), Szlendak (1986,1991), Kanatani (1986), ve Yeomans ve Giddings (1988), Zhao (2000) (2004) (2009), kaynaklı kutu kesitli kesitlerin birleşimi üzerine çalışmışlardır.

Araştırmacılar moment etkisine maruz kutu kesitli profillerin kaynaklı birleşimleri ve birleşimi meydana getiren profiller arasındaki boyutlara göre belirlenen  $\beta$  ( $b_1/b_0$ ) katsayısının durumuna göre düğüm noktası rijitliğini belirlemeye çalışmışlardır. Eğilme etkisi altındaki kolon ve kiriş üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların algoritması üzerine yoğunlaşmışlardır. Ancak her birleşim o birleşimi meydana getiren yapı elemanlarının kesit tesirlerine göre farklı davranışlar sergilemesi sebebi ile ya her birleşim kendi içinde değerlendirilmeli ya da kolon yada kiriş üzerinde meydana gelen şekil değiştirmelere yön verilmelidir. Yapılan bu çalışmada, bu tip bir birleşimde kolonda veya kirişte meydana gelmesi olası olan şekil değiştirmeler, birleşime eklenen rijitleştirme levhası ile sınırlanmaya ya da engellenmeye çalışılmıştır. Düğüm noktasına eklenen rijitleştirme levhası ile eğilme etkisi altında kolonda oluşan deformasyonlar lineer sınırlar içinde tutulmaya, kiriş üzerindeki deformasyonların ise istenilen yerde ve şekilde oluşması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla oluşturulan deneysel modele göre kalibre edilen sayısal model üzerinde farklı modelleme teknikleri kullanılarak analiz edilmiş olup, eğilme etkisi altında birleşimi

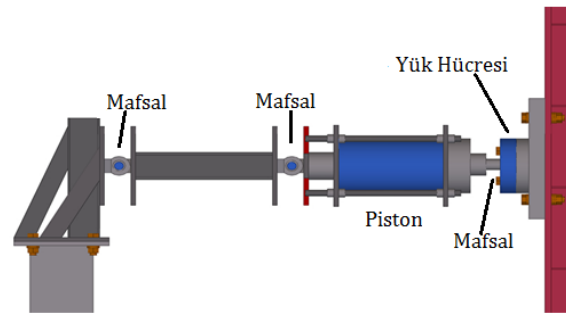
meydana getiren kiriş ve kolon üzerindeki deformasyonlar incelenmiş ve bu deformasyonların oluşum algoritmasına modelleme tekniklerinin etkisi irdelenmeye çalışılmıştır.

## 2. Materyal Metot

Çalışmada, kaynaklı olarak birleştirilen dairesel kolon ile dikdörtgen kesitli kirişin deneysel ve sayısal modelinin çevrimsel etkiyen yatay yük altındaki davranışı incelenmiştir. Modelde kolon için Ø219,1/5 dairesel kesitli çelik profil kullanılırken, kirişte ise 150.200.4 dikdörtgen kesitli kutu profil seçilmiştir. Şekil 1. 'de deneysel model genel durum, mesnet koşulları ve yükleme koluna ait görünüm verilmektedir. Buna göre modelde yatay konumlandırılan eleman kolon, dikey eleman kiriş olup uzunlukları sırasıyla 1960mm ve 980mm olarak alınmıştır. Deneysel model mesnet koşulları tek yönde dönme serbestliği verilmiş diğer tüm yönlerde hem dönme, hem de deplasman yapabilme kabiliyetleri engellenmiştir. Numuneye yük iki ucu mafsallı olarak dizayn edilen bir yükleme kolu kullanılarak uygulanmış olup tersinir olarak etki ettirilmiştir.



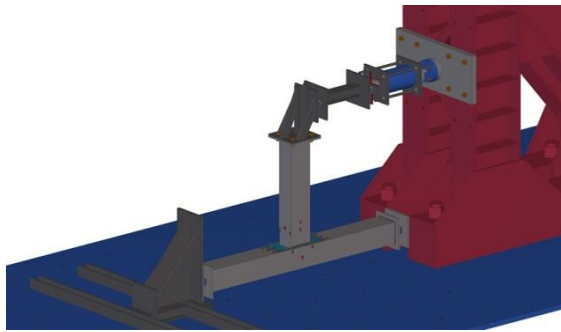
Yan görünüm



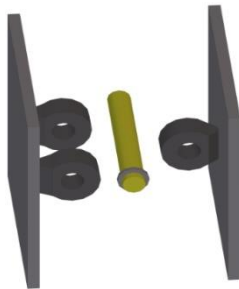
Yükleme kolu

Şekil 1. Deneysel Modelin Genel Durumu

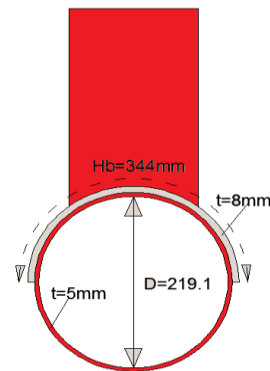
Çalışmada eğilme etkisi altındaki birleşimde kolon üzerinde oluşması muhtemel lokal deformasyonların önlenmesi amacı ile Şekil 2.'de boyutları ve yerleri gösterilen rijitleştirme levhası kullanılmıştır. Kolon üzerinde konumlanması detaylandırılan levhanın boyu  $V_b=300$ , eni  $H_b=344$ mm olup et kalınlığı kiriş cidar kalınlığının iki katı olan 8mm dir.



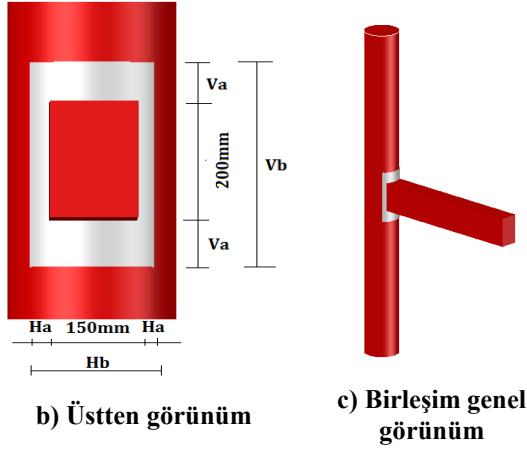
Genel görünüm



Mesnet detayı

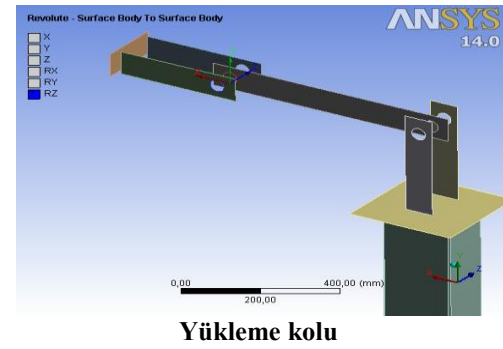
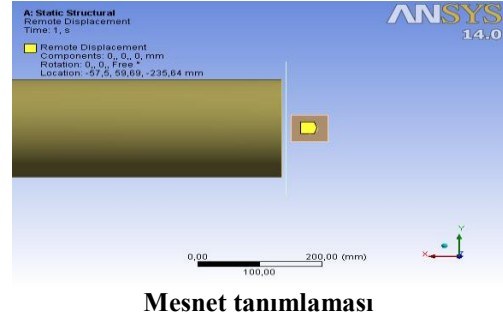
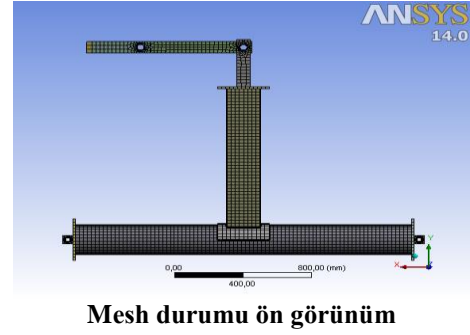
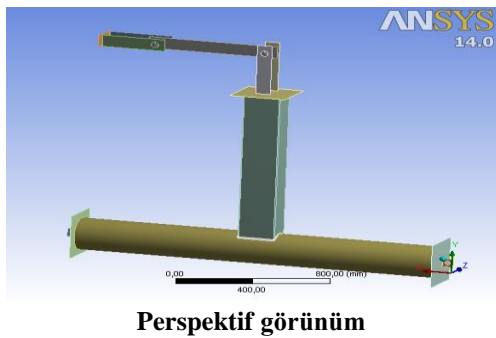


a) Kesit görünüm



Şekil 2. Rijitleştirme Levhası Genel Görünüşü

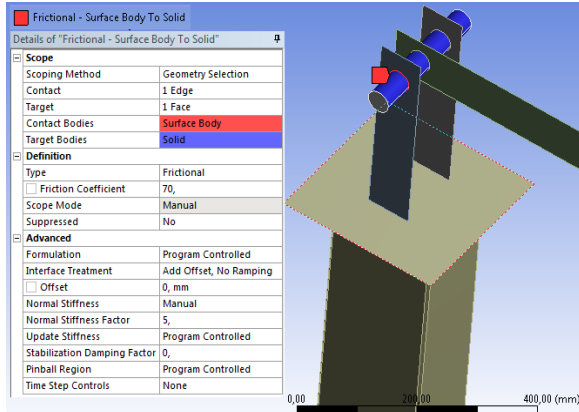
Numune deneysel analiz sonuçları kullanılarak Ansys WorkBench V14.0 sonlu eleman analiz programı ile sayısallaştırılmış ve model kalibre edilmiştir. Ansys Workbench programı teknik özelliği itibari ile nonlinear analizi, hem geometrik nonlinearite hem de malzeme nonlinearitesi olarak yapabilmektedir. Bu yüzden numuneyi meydana getiren tüm elemanlar (profil, kaynak, mesnet levhaları) nonlinear malzeme özellikleri kullanılarak programa tanıtılmıştır. Bu malzeme özellikleri kullanılarak kolon, kiriş, yükleme kolu parçaları ve mesnet levhaları shell eleman, alın levhası ve kaynaklar ise solid eleman olarak modellenmiştir. Şekil 3.' de sayısal modelden genel görünüm verilmektedir.



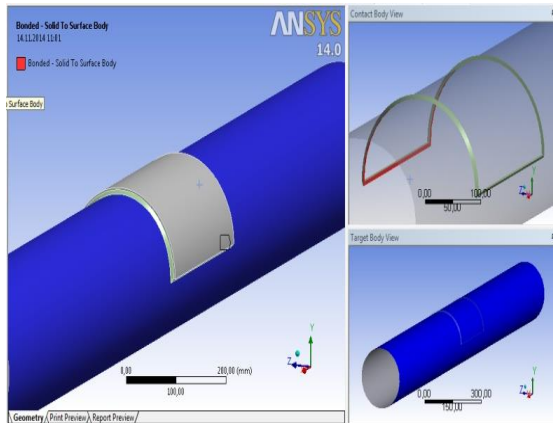
Şekil 3. Sayısal Modelden Genel Görünüm

Programda sayısal model oluşturulurken deneysel numuneyi tümüyle temsil edecek şekliyle modellenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda düğüm noktasını meydana getiren profil, levha, kaynak gibi birleşim araçlarının "contact" (temas yüzeyi) tanımlamaları kendi içlerindeki etkileşimlerine göre gruplandırılmış ve buna en uygun algoritma seçilmiştir. Buna göre kaynak dikişi-levha arasındaki bağlantının kaynaklı olduğu, yani rijit bir birleşim olması sebebi ile "contact>bonded" komutu kullanılarak rijit davranış programa tanıtılmıştır. Temas yüzeyi tanımlamalarında ikinci grup; yük aktarımında etkileşimde olan ancak rijit olarak bağlanmayan elemanlar arası sürtünmeli yüzey olarak modellenmiştir. Buna göre rijitleştirme levhası-kolon üst başlığı, yükleme kolu, mafsal pimi gibi

birbiri ile bağlı ancak, sadece temas ile yük aktaran yüzeyler, sürtünmeli yüzey olarak tanımlanmış olup programa yüzey sürtünmesi ve buna bağlı rijitlik faktörü girilmiştir. Şekil 4. de rijitleştirme levhası-kolon üst başlığı ile yüklem kolundaki sayısal modele ait birleşim görüntüleri verilmiştir. Sürtünme ve Rijitlik katsayıları deneysel numuneye göre idealize edilmiş olup kalibrasyonda etkin rol oynamıştır.



a) Kolon Üst Başlığı Detayı



b) Rijitleştirme Levhası Birleşim detayı

Şekil 4. Sayısal Modele Ait Birleşim Detayları

Deneysel çalışmada kullanılan yüklem kolu, numunede meydana gelen fiziksel değişikliklere cevap verecek şekilde tasarlanmış olup mafsalı olarak dizayn edilmiştir. Bu tasarım yüklem aşamasında numunenin sürekli bir şekilde yük almasına ve yükün numuneye etkisinin hep dik doğrultuda etkimesini sağlamaktadır. Ancak yüklem kolunun numuneye uygulanan yükü

dik bir şekilde aktarabilmesi, yüklem kolunu meydana getiren parçaların kendi ekseninde de değişikliklere sebep olmaktadır. Parçalar arasında meydana gelen bu eksen kayması, bir mil aracılığıyla birbirine mafsalı olarak bağlanan yüklem koluna ait elemanlar arasındaki etkileşimi de değiştirmektedir. Bu birleşimde pimi çevreleyen levhanın pim eksenini etrafında 0-30° derecelik açı aralığında çevrimsel yer değiştirdiği tespit edilmiştir. Bu değişim, parçalar arasındaki bağlantılar her ne kadar mafsalıda olsa birleşimdeki sürtünme katsayısının, yüklem kolundaki eksen değişikliğine bağlı olarak analiz içinde program tarafından sürekli olarak güncellenmesini zorunlu kılmaktadır. Eğilme etkisine maruz kalan düğüm noktasında temasla yük aktaran kolon-rijitleştirme plakası arası yüzey; kolon üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar ve plakanın şekil değiştirmeye zorlanması durumu, temas yüzeyinde farklı yönlerde deplasmana sebep olmaktadır. Ancak bu deplasman değişimi, yüklem kolundaki kadar etkin olmayıp rijitleştirme levhasının kenarlardan kolona rijit bağlanması sebebi ile göreceli olarak daha az gerçekleşmektedir. Ancak bu şekilde deneysel analizdeki yüklem hali programa doğru bir şekilde tanımlanabilmektedir. Bu durum sayısal modelin deneysel analize göre kalibrasyonu için yapılan modelleme ve modeller için uygulanan çözümleme tekniklerinde bu tip bir sonlu elemanlar programında doğru sonucun yakalanabilmesi için modelin her bakımdan gerçekle en uygun yaklaşımla modellenmesi gerekliliğini göstermiştir.

Deneysel modele göre kalibre edilen sayısal modelde etkin rolü rijit bağlı olmayıp ancak temasla yük aktaran yüzeyler üstlenmiştir. Bunun yanında birleşimi meydana getiren malzeme özellikleri ve kesit geometrileri üzerinde de çalışılmıştır. Çalışmada analiz edilen sayısal modelde numune için tanımlanan tüm temas yüzeyleri (bağlantı tanımlamaları) ile yüklem kolunu oluşturan parçalar arasındaki sürtünme ve rijitlik



katsayıları değiştirilerek analiz edilmiştir. Tanımlamalar da birleşimler "fixed" tam rijit, "frictionless" sürtünmesiz (mafsal hali), sürtünme katsayısı sabit rijitlikler değişken, rijitlikler sabit sürtünme değerleri değişken olmak üzere toplam 9 model analiz edilmiştir. Çizelge 1. 'de katsayı değişimleri ve bu değişime göre oluşturulan model isimleri tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Model tanımlamaları ve bu modellere ait sürtünme ve rijitlik katsayı değişimleri

Sıra	Model No	Sürtünme Kat. Yük. Kolu	Sürtünme Kats. Plaka	Rijitlik Sabt.
1	M30-5	30	0,2	5
2	M70-5	70	0,4	5
3	M100-5	100	0,6	5
4	M140-5	140	0,8	5
5	M70-1	70	0,4	1
6	M70-3	70	0,4	3
7	M70-5	70	0,4	5

### 3. Bulgular

Numune için yapılan deneysel analizde, birleşime eklenen alın levhası ile kolon üzerinde lokal deformasyonların önüne geçildiği görülmüştür. Bu sayede kolon, rijit bir birleşim için gerekli dayanımı sergilemiş, güçlü kolon zayıf kiriş tasarımına uygun olarak da kirişte mekanizma oluşmuştur. Düğüm noktası mekanizmaya bağlı kapasite kaybına uğramış ancak, birleşimdeki profiller, alın levhası ve kaynak üzerinde herhangi bir yırtılma oluşmamıştır. Bu sayede birleşim bütünlüğü bozulmamış ve birleşim kiriş taşıma kapasitesine göre dayanım sergilemiştir. Şekil 5. 'de eğilme etkisi altında birleşimde meydana gelen deformasyonlar görülmektedir.



a) Kiriş mekanizma hali

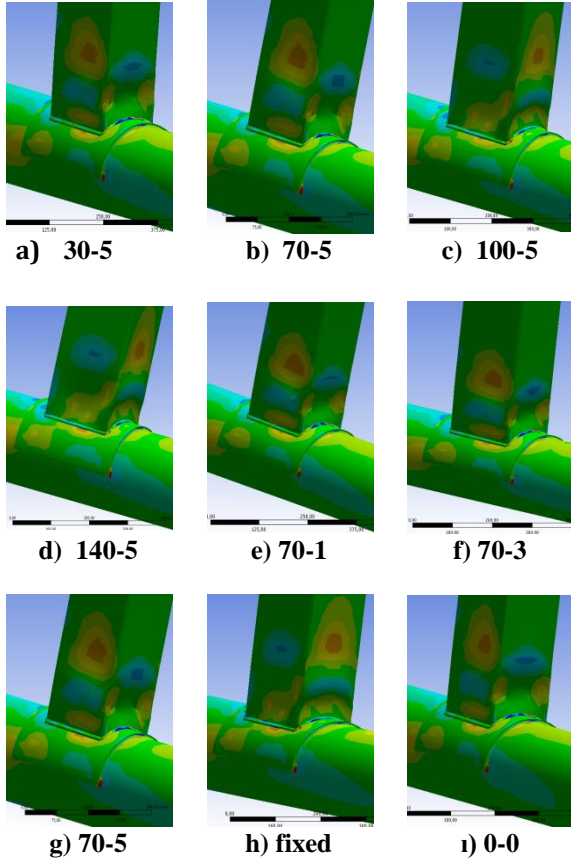


b) Mekanizmaya bağlı burkulma

Şekil 5. Deney Numunesinin Eğilme Etkisi Altında Oluşan Mekanizma Durumu

Sayısal modellerde rijitlik sabit, sürtünme katsayısı değişken, sürtünme sabit rijitlik katsayısı değişken alınan modellere ait analiz sonuçları ve modellerin şekil değiştirmiş haline ait perspektif görünüm Şekil 6. da sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde kirişte meydana gelen plastik şekil değiştirme deneysel numunedeki davranışı yansıtır niteliktedir. Birleşimlerin tamamen dönme rijitliğine sahip olan modeli "fixed" ile tamamı serbest yani sürtünmesiz tanımlanan "frictionless" modelleri referans analiz kabul ettiğimizde yükleme kolu parçaları arasındaki sürtünme ve rijitlik tanımlamalarının direkt olarak kiriş üzerinde meydana gelen deformasyon ve gerilmeleri etkilediği görülmektedir. Sürtünme katsayısı arttıkça, kiriş üzerine meydana gelen deformasyon düğüm noktasına yaklaşmış gerilme yığılmaları artmıştır. Yani yükleme kolunda kullanılan mafsalın dönme sebestliği kısıtlandıkça, düğüm noktası sadece yatay uygulanan itme kuvveti altında değil, eksenel kuvvetlere de maruz kalmaktadır. Çünkü bu rijitlik tanımlaması yükleme kolundaki mafsalı hareketi engellemektedir. Temas yüzeyi ile yük aktaran pimli

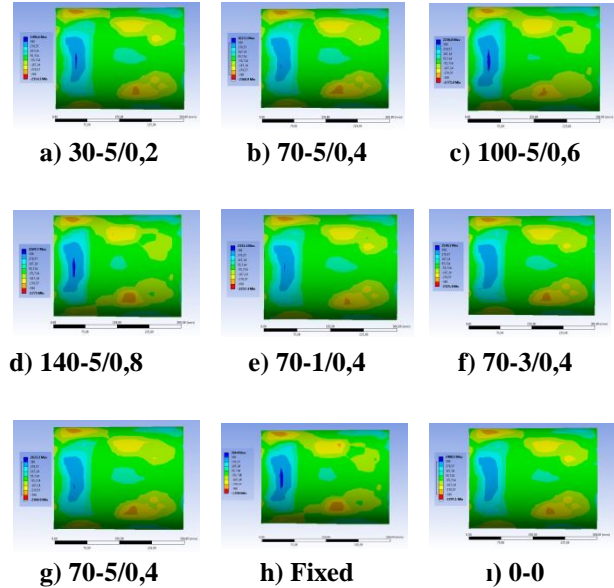
birleşimlerde rijit tanımlama, birleşimdeki şekil değiştiremeye yeterince uyum sağlayamadığı için tamamen rijit değil kısmi rijitlik kullanılmalıdır. Bu da sürtünme ve rijitlik katsayıları üzerinde yapılan değişiklikler ile sağlanmıştır. Bu değişiklikler kullanılarak yapılan analizler incelendiğinde kirişte meydana gelen deformasyonun deneysel numuneye en yakın davranış şekli M70-5/0,4 nolu numune olmuştur.



Şekil 6. Modellerin Şekil Değiştirmiş Haline Ait Perspektif Görünümler

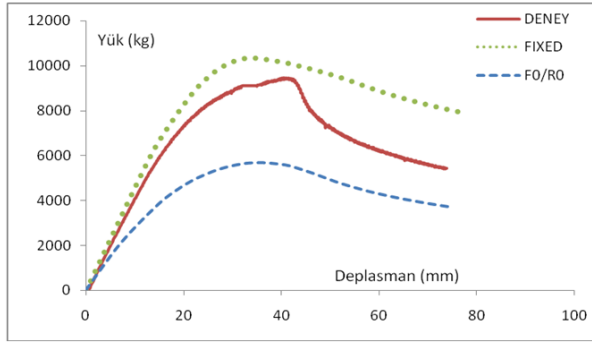
Modelde bir diğer temas yüzeyi ile yük aktarımının sağlandığı rijitleştirme plakası - kolon üst başlığı arasındaki sürtünme değerlerinin etkin rol oynadığı plakanın analiz sonucunda elde edilen gerilme dağılımları Şekil 7. de gösterilmiştir. Plaka, merkezde kolon ile bağlantısının olmamasına karşın, kenarlarından kaynaklı bir şekilde bağlanmıştır. Bu sebeple plaka üzerinde meydana gelen deformasyonlar ve gerilme değişimleri sınırlıdır. Bu sınırlı değişim sebebi ile plaka - kolon yüzeyi arasındaki

sürtünme katsayısı 0,2/0,4/0,6/0,8 olmak üzere dört farklı değişken kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, rijitlik değişiminden ziyade sürtünme katsayısının etkin rol oynadığı görülmüştür. Bu kısımda da deneye en yakın sonucu yine M70-5/0,4 nolu numune vermiştir.

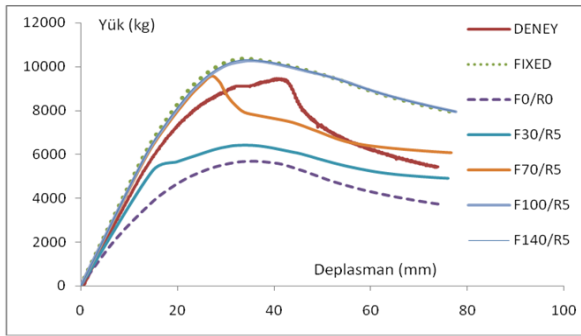


Şekil 7. Analiz Sonucunda Rijitleştirme Levhası Üzerinde Elde Edilen Gerilme Dağılımları

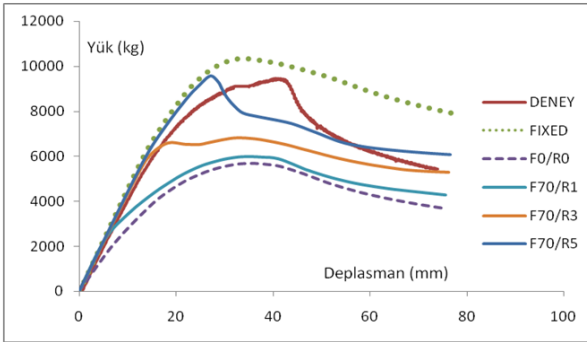
Şekil 8.' de analizlerden elde edilen yük deplasman eğrileri gösterilmiştir. Eğrilerde referans analiz kabul edilen deneysel sonuç ve sayısal analizlerde sınır koşulları ifade eden "fixed", "frictionless" tanımlı model sonuçları Şekil 8a' da tekil olarak verilmiştir. Grafikte görüldüğü üzere "fixed" tanımlı model rijitlik bakımından deneyselle yakın bir formda sonuç verirken, kapasite değeri ile deneyselle aşmıştır. "Frictionless" tanımlama ise deneysel davranıştan çok uzakta seyretmiştir. Rijitlik ve sürtünme değerlerinin etkinliğini ifade eden Şekil 8.b ve 8.c incelendiğinde burada da gerilme ve deformasyona ait sonuçların sunulduğu şekillerdeki gibi deneyselle en yakın sonucu M70-5 modeli vermiştir. Yani yükleme kolu pimli birleşimlerinde sürtünme değerinin 70, rijitlik 5, rijitleştirme plakası kolon üst yüzü sürtünme katsayısı 0,4 olarak tanımlanan model olmuştur.



a) Referans Modellere Ait Eğriler



b) Sürtünme Katsayısının Değişken Olduğu Eğriler



c) Rijitlik Katsayısının Değişken Olduğu Eğriler

Şekil 8. Yük deplasman eğrileri

#### 4. Tartışma ve Sonuç

Yapıların ya da yapıyı oluşturan parçaların sayısal olarak kurgulanıp analiz edilmesinde kesit/sistem geometrisi, malzeme özellikleri ve elde edilen iç kuvvetlerin sayısal değerleri, I,U,L gibi profillerin kullanıldığı modellerde genellikle doğru yaklaşımı

yakalamak için yeterli olmaktadır. Ancak kutu kesitli profillerin kullanıldığı ve lokal burkulmaların kesit dayanımlarını etkilediği durumlarda malzeme ve geometrik özelliklerinin gerçeğe en yakın nitelikte modellenmesi tek başına yeterli değildir. Çünkü bu tip profillerin üzerinde meydana gelen lokal deformasyonlar ve burkulmalar meydana getirdiği sistemin kapasitesi ve davranışı üzerinde etkin rol oynamaktadır. Yapılan bu çalışmada kullanılan numune olduğu gibi, yükün bir mekanizma aracılığı ile aktarıldığı ve farklı sınır koşullarına sahip olan birleşimlerin kullanıldığı bir modelde yanlış ya da eksik tanımlanan her nokta numune davranışını bozmakta ve kapasiteyi etkilemektedir. Çalışmadan elde edilen sonuçlar ışığında birbirine rijit bir bağ elemanı ile birleşmeyen sadece temas yüzeyi ile yük aktaran noktalarda iki yüzey arasındaki etkileşimin programa doğru anlatılması gerekmektedir. Numune kullanılan yükleme kolundaki pimli bağlantının sahip olduğu sürtünme katsayısına bağlı rijitlik değişimi, deforme etmeye çalıştığımız numunenin direnci ile doğru orantılı bir şekilde değiştiği tespit edilmiştir. Yükleme kolunda kullanılan pimin birleşime mafsalsal niteliği katması sebebi ile hareket edebilme kabiliyeti ve dönme serbestliği yüksektir. Dolayısıyla, bu etkileşimde kullanılan sürtünme katsayısı ve rijitlik tanımlaması rijitleştirme plakasından farklı olup geniş aralıkta çalışılmıştır. Rijitleştirme plakasının kenarlarından kolon üst başlığına bağlanması, levhaya kenarlarda rijitlik ortada serbestlik sağlamıştır. Yani rijitleştirme plakası-kolon üst başlığı temas yüzeyi tanımlaması pimli bağlantıya göre daha rijit bir birleşim sayılabilir.

Buna göre Ansys gibi kesit/sistem geometrisinin birebir modellenebildiği programlarda temas yüzeylerinin sahip olduğu davranışı göz önünde bulundurularak yapılan sayısal analizler doğru sonuca yaklaşma dayaklaşmamızda etkin rol oynamaktadır. Temas yüzeylerinin etkileşiminde kullanılan sürtünme ve rijitlik katsayılarının belirlenmesinde, o etkileşimdeki sınır koşulları ve dönme/deplasman yapabilece



kabiliyetleri kullanılarak katsayıların belirlenmesi ile daha gerçek bir davranışın elde edileceği görülmektedir. .

## 5. Kaynaklar

Davies, G., Crockett, P., 1996. The Strength of Welded T-DT Joints In Rectangular and Circular Hollow Section Under Variable Axial Loads. Elsevier Science Ltd. 1996.

Design Guide 3, 2009. For Rectangular Hollow Section (Rhs) Joints Under Predominantly Static Loading. Comité International Pour Le Développement Et L'étude De La Construction Tubulaire.

Garlock, M.M., Ricles, J.M., Sause, R., 2005. Experimental Studies Of Full-Scale Post Tensioned Steel Connections. Journal Of Structural Engineering, March 2005, 438-448.

Koning, C.H.M. de, Wardenier, J., 1984. The Static Strength Of Welded Joints Between Structural Hollow Sections Or Between Structural Hollow Sections And H-Sections. Delft University Of Technology, Delft, Part 2: Joints Between Rectangular Hollow Sections, Stevin Report 6-84-19.

Korol, R.M., El-Zanaty, M., Brady, F.J., 1977. Unequal Width Connections Of Square Hollow Sections In Vierendeel Trusses. Canadian Journal of Civil Engineering, 4, 190-201.

Mang, F., Bucak, Ö., Wolfmuller, F., 1983. The Development Of Recommendations For The Design Of Welded Joints Between Steel Structural Hollow Sections (T- And X-Type Joints). University of Karlsruhe, Germany, Final Report on ECSC Agreement 7210 SA/09 and CIDECT Program 5AD.

Mashiri, F.R., Zhao, X. L., Grundy P., 2004. Stress Concentration Factors and Fatigue Behavior of Welded Thin - Walled CHS-SHS T-Joints Under In-Plane Bending. Engineering Structural 26, 2005, 1861-1875.

Mashiri, F.R., Zhao, X. L., 2004. Plastic Mechanism Analysis Of Welded Thin-Walled T-Joints Made Up Of Circular Braces And Square Chords Under In-Plane Bending. Thin-Walled Structures, 42, 759-783.

Mashiri, F.R., Zhao, X. L., 2009. Square Hollow Section (SHS) T-Joints With Concrete-Filled Chords Subjected To In-Plane Fatigue Loading In The Brace. Thin-Walled Structures, 48, 150-158.

Wardenier, J., 1982. Hollow Section Joints. Delft University Press, Delft.

Wardenier, J., Vegte, G.J. van der, Liu, D.K., 2007a. Chord Stress Function For Rectangular Hollow Section X And T Joints. Proceedings 17th International Offshore And Polar Engineering Conference, Lisbon, Portugal, IV, 3363- 3370.

Zhao, X. L., 2000. Deformation Limit And Ultimate Strength Of Welded T-Joints In Cold-Formed RHS Sections. Journal of Constructional Steel Research, 53, 149-165.