



Kutu Kesitli Kiriş-Kolon Birleşiminde Mesh Kalitesinin Şekil Değiştirmeye Etkisi

Mehmet FENKLİ^{*1}, Nurettin Alpay KIMILLI², İlyas Devran ÇELİK², Mustafa SİVRİ³, Zeki AY²

¹Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi, Isparta.

²Süleyman Demirel Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği, Isparta.

³Süleyman Demirel Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, İnşaat, Isparta.

(Alınış Tarihi: 09.12.2014, Kabul Tarihi: 03.03.2015)

Anahtar Kelimeler

Türk Deprem
Yönetmeliği 2007,
Dairesel Kesitli Kutu
Profiller, CHS,
Dikdörtgen Kesitli
Kutu Profiller, RHS,
Alın Levhalı
Kaynaklı Moment
Aktaran Birleşimler,
Moment Aktaran
Çelik Çerçeve
Sistemler, Tersinir
Statik Yükleme,
Moment-Dönme
İlişkisi, Süneklik
Detayı. Ansys, Mesh Kalitesi.

Özet: Ülkemizde meydana gelen son depremler sebebi ile çelik yapıların, betonarme yapılara göre kullanım oranı özellikle sanayi tipi yapılarda artış göstermiştir. Ancak çelik yapıların tercih edildiği yerler göz önünde bulundurulduğunda gerek mimari ve statik proje, gerekse de imalat ve montaj aşamasında görev alan teknik altyapı ülke geneline eşit oranda hizmet verememektedir. Bu sebeple proje, imalat ve uygulama hizmetleri yerel imkanlar ile çözümlenmeye çalışılmaktadır. Bu durum yapı tasarımında kolay erişilebilir ve işlenebilir olan kutu kesitli profilleri ön plana çıkarmaktadır. Ancak kutu kesitli profiller sahip oldukları kesit geometrisine bağlı olarak özellikle kesme ve eğilme yükleri etkisi altında istenmeyen lokal burkulma problemlerini de beraberinde getirmektedir. Kutu kesitli profiller kullanılarak oluşturulan çerçeve sistemlerde bu lokal burkulma problemleri hesaplarda öngörülmeden kapasite kayıplarına neden olmakta olup özellikle sanayi tipi yapıları riskli kılmaktadır. Bu durum sismik hareketliliğin etkin olduğu ülkemizde depreme dayanıklı yapı tasarımında yapısal zaafaların öngörülmesi ve buna göre dizayn edilmesinde de sayısal analiz programları ve bu programların çözüm algoritmasının doğru yönlendirilmesi ve yorumlanmasını önemli kılmaktadır. Bu çalışmada, Ansys sonlu elemanlar programı ile deneysel analizi tamamlanan bir numunenin sayısal modeli oluşturulmuş ve analiz edilmiştir. Deneysel analize göre doğrulanan sayısal model sabit yükleme düzeneği üzerinde farklı meshleme teknikleri ve çözüm komutları için analiz edilmiş ve gerçek davranış yakalanmaya çalışılmıştır. Bu kapsamda elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak mesh tekniği ve mesh kalitesinin düğüm noktası davranışı üzerine etkisi gösterilmeye çalışılmıştır.

Mesh Quality Effect on Strain of Beam-Column Connections With Hollow-Sections

Keywords

Turkish Earthquake
Code 2007, Circular
Hollow Section
Profiles, Rectangular
Hollow Section Profiles,
Box Section Beam
Columns, End Plate
Welded Moment Resisting
Connections, Ductility
Details, Moment
Resisting Steel
Frames, Cycling Static
Loads, Moment –
Rotation Relations,
Ansys, Mesh Quality.

Abstract: By the recent earthquakes occurred in our country, the utilization rate of the steel structure especially in the industrial structure has increased when compared to concrete structures. But when the places where steel construction preferred are considered; either architectural and statically project or technical infrastructure which participates in production and mounting steps can't render service to country-wide equally. For this reason, design, manufacturing and application services are tried to be resolved by the local facilities. This situation is easily accessible in the building design and the hallow-section profiles were processed foreground. But hallow-section profiles bring local buckling problems under the effect of shearing force and bending loads together depending on their section geometry. Local buckling problems observed in frame systems formed by hollow-section profiles cause unpredictable capacity losses in the problems and lead to a risk for industrial structures. That's why, numerical analysis programs as well as the appropriate management and interpretation of solution algorithms of these programs are crucial since it is possible to predict structural weaknesses in the design of buildings resistant to earthquake in Turkey where the seismic activity is widespread and thus designing buildings. In this present study, a sample which is completed experimental analysis is numerically modeled with ANSYS and analyzed. The numerical model which is verified by experimental analysis has tried to capture the real behavior and solution was analyzed for commands about different meshing techniques on the loading apparatus. Within this scope, the obtained results are compared and the effects of mesh technique and mesh quality on joint behavior is tried to be shown.

* İlgili yazar: mehmetfenkli@sdu.edu.tr

1. Giriş

Kutu kesitli profiller sahip oldukları kesit geometrisi sayesinde aksel yük altında yüksek performans seviyesine sahiptir. Ancak özellikle eğilme etkisi altında profil gövdesi ve başlığı üzerinde oluşan lokal burkulmalar, profilin sahip olduğu kesit geometrisinin getirisi olan mukavemet değerlerini birleşime yada parçası olduğu yapıya yansıtmasına engel teşkil etmektedir. Özellikle, eğilme etkisine maruz geniş başlıklı kolon dar başlıklı kirişe ait bir birleşimde; kirişten kolona aktarılan yük kolon başlığı üzerinden dolayı bir şekilde gövdesine aktarıldığı için olası lokal deformasyonların önü açılmaktadır. Bu sebeple şekil değiştirmeler kiriş üzerinde olmayıp kolon üzerinde sönümlenmekte birleşim güçlü kolon zayıf kiriş prensibinden uzaklaşmaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremler kutu kesitli profiller kullanılarak dizayn edilen yapılarda profillerde oluşan lokal burkulma etkilerinin mekanizma durumları üzerinde etkin olduğunu göstermiştir. Bu durum tasarımcıları ve bilim adamlarını kutu kesitli profillerde meydana gelen deformasyonların değerlendirilmesi ve önlemesi üzerine çalışma yapmaya yöneltmiştir.

Düzlem eğilme durumu Dizayn Rehberi kapsamında da değerlendirilen kare ve dikdörtgen kutu kesitli birleşim için Duff (1963), Kanatani (1980), Mang (1983), Davies ve PanjehShahi (1984), Szlendak ve Brodka (1985, 1986a, 1986b), Szlendak (1986, 1991), Kanatani (1986), ve Yeomans ve Giddings (1988), kaynaklı kutu kesitli birleşimler üzerine çalışmışlardır.

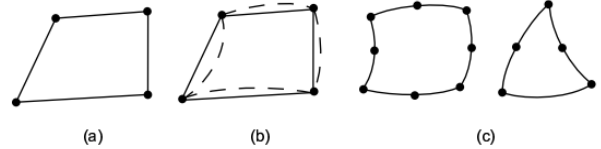
Araştırmacılar moment etkisine maruz kutu kesitli profillerin kaynaklı birleşimleri, ve birleşimi meydana getiren profiller arasındaki boyutlara göre belirlenen β (b_1/b_0) katsayısının durumuna göre düğüm noktası rijitliğini belirlemeye çalışmışlardır. Dizayn Guide (2009), Korol (1982), Korol ve Mirza (1982) Eğilme etkisi altındaki kolon ve kiriş üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların algoritması üzerine yoğunlaşmışlardır. Zhao (2000)(2004)(2009) 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.

2. Materyal Metod

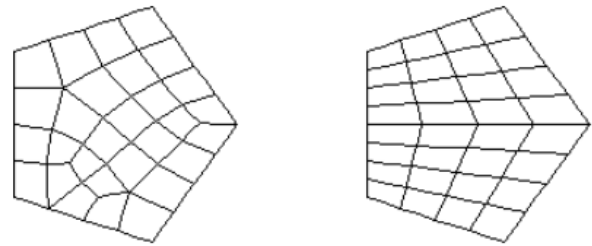
Yapılan bu çalışmada bu tip bir birleşimde kolonda ya da kirişte meydana gelmesi olası olan şekil değiştirmeler birleşime eklenen rijitleştirme levhası ile engellenmeye çalışılmıştır. Düğüm noktasına eklenen rijitleştirme levhası ile eğilme etkisi altında kolonda oluşan deformasyonlar lineer sınırlar içinde tutulmaya, kiriş üzerindeki deformasyonlar ise istenilen yerde ve şekilde oluşması sağlanmaya çalışılmıştır. Bu amaçla oluşturulan deneysel modele

göre kalibre edilen sayısal model üzerinde farklı mesh teknikleri kullanılarak mesh kalitesinin düğüm noktası davranışını üzerine etkisi irdelenmiştir. Yapılan analizler sonucunda gerçek davranış için en uygun sonlu elemanlar modeli oluşturulmaya çalışılmıştır.

Deneysel analizi tamamlanan örnek numunenin sayısal analizinde Ansys bilgisayar programı kullanılmıştır. Programda modeller sonlu elemanlara bölünerek nonlineer analize tabi tutulmuş olup deneysel analizi tamamlan modeli aynı şartlar dahilinde programda analiz edebilmesi için uygun sayıda ve geometride sonlu elemanlara bölmesi (Meshlemesi) gerekmektedir. Programda mesh otomatik ya da belirlenen bir algoritma göz önünde bulundurularak manuel olarak yapılabilmektedir. Her iki durumda da meshlenecek olan modelde her bir elemanın sahip olduğu geometri ve bir araya geldiklerindeki etkileşim göz önünde bulundurulmalıdır. Çünkü sonlu eleman çözüm tekniğini kullanarak analiz yapan programda yükler sonlu parçalara düğüm noktaları aracılığıyla dağıtılmaktadır. Eğer, sonlu parçalar uygun boyutta ve uygun alt geometride oluşturulmadıkları takdirde kendi içlerindeki bağlantıyı sağlayan düğüm noktaları birbirini yakalamayacaktır. Bu sebeple ya program yakınsama problemi verip analizi tamamlayamayacak ya da gerçek davranışa ait çözümü sunamayacaktır. Şekil 1.' de Ansys programının da kullanılan sonlu parçalar, Şekil 2.' de ise otomatik ve manuel mesh tekniği kullanılarak düzenlemiş bir örneğe ait görünüm verilmiştir.



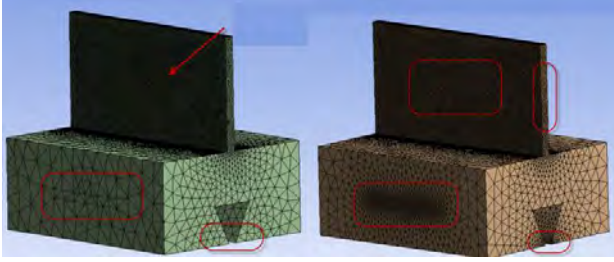
Şekil 1. Ansys programında tanımlanabilen sonlu elemanlardan örnekler



Şekil 2. Otomatik mesh ve manuel mesh geometrisi

Sayısal modellemede kullanılacak olan mesh tekniği mesh kalitesini etkilemekte olup bir katsayı olarak program tarafından hesaplanmaktadır. Bu katsayısı %90 ve üzerinde olduğu her durum için elde edilen sonuçlar doğruya en yakın yaklaşımı vermektedir. Ancak burada mesh kalitesine sadece sayısal bir değer olarak bakmakta çok doğru olmayacaktır. Çünkü analizden elde edilecek sonuçlar bizim beklentilerimizle de ilişkilidir. Bu çalışmada olduğu

gibi bir düğüm noktası davranışına ait sayısal modelde; gerilmelerin yada şekil değiştirmelerin yoğunlaştığı kısmı, tasarımcı belirlemeli ve o bölgelerde sonlu eleman boyutunu küçülterek eleman sayısını arttırmalıdır. Bu şekilde istenilen bölgede analiz yoğunlaşması sağlanacak, ve elde edilecek sonuçlar gerçeğe daha yakın olacaktır. Şekil 3.' de bu durumu anlatacak bir örnekleme sunulmuştur. Şekilde de görüldüğü üzere soldaki modelde mesh oluşumu programa bırakılmış, sağdaki modelde ise istenilen bölgelerde yapılan bir haritalandırma tekniği ile mesh kalitesi istenilen bölgede yoğunlaştırılmıştır.

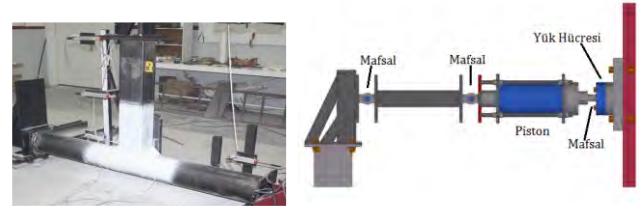


Şekil 3. Otomatik ve manuel mesh uygulaması arasındaki farklar.

Çalışmada kaynaklı olarak birleştirilen dairesel kolon ile dikdörtgen kesitli kirişin deneysel ve sayısal modeli çevrimsel etkiyen yatay yük altındaki davranışı incelenmiştir. Modelde kolon için $\varnothing 219,1/5$ dairesel kesitli çelik profil kullanılırken kirişte ise 150.200.4 dikdörtgen kesitli kutu profil seçilmiştir. Şekil 4.'de deneysel model genel durum, mesnet koşulları ve yükleme koluna ait görüntüler verilmiştir. Buna göre modelde yatay konumlandırılan eleman kolon, düşey eleman kiriş olup uzunlukları sırasıyla 1960 mm. ve 980 mm. olarak alınmıştır. Deneysel model mesnet koşulları tek yönde dönme serbestliği verilmiş diğer tüm yönlerde hem dönme, hem de deplasman yapabilmeye kabiliyetleri engellenmiştir. Numuneye yük iki ucu mafsallı olarak dizayn edilen bir yükleme kolu kullanılarak uygulanmış olup tersinir olarak etki ettirilmiştir. Kolon üzerinde konumlandırılan rijitleştirme levhasının boyu $V_b=300$ mm., eni $H_b=344$ mm. olup et kalınlığı kiriş cidar kalınlığının iki katı olan 8 mm. dir.

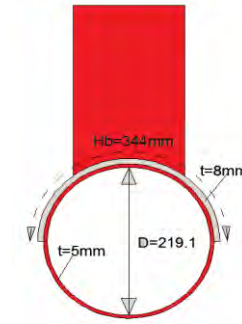
Numune deneysel analiz sonuçları kullanılarak AnsysWorkBench V14.0 sonlu eleman analiz programı ile sayısallaştırılmış ve model kalibre edilmiştir. Ansys Workbench programı teknik özelliği itibari ile nonlineer analizi, hem geometrik nonlineerite hem de malzeme nonlineeritesi olarak yapabilmektedir. Bu yüzden numuneyi meydana getiren tüm elemanlar (profil, kaynak, mesnet levhaları) nonlineer malzeme özellikleri kullanılarak programa tanımlanmıştır. Bu malzeme özellikleri kullanılarak kolon, kiriş, yükleme kolu parçaları ve mesnet levhaları shell eleman, alın levhası ve kaynaklar ise solid eleman olarak modellenmiştir.

Şekil 5.'de sayısal modelden genel görünüm verilmektedir.

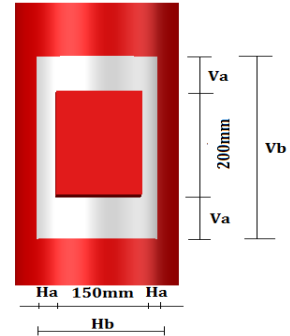


a) Genel görünüm

c)Yüklemeye kolu

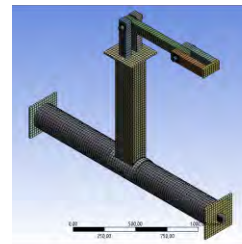


d)Kesit görünümü

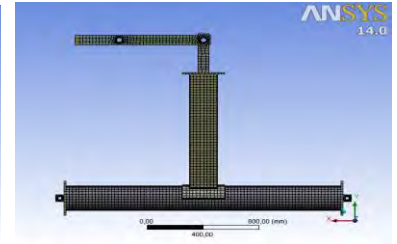


e) Üstten görünümü

Şekil 4. Çalışmada kullanılan numune detayları



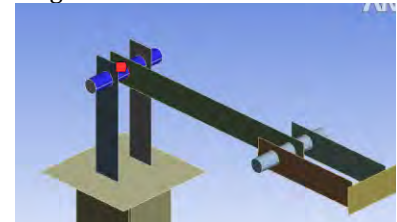
a) Sayısal model genel görünümü



b) Sayısal model mesh durumu ön görünümü



c)Mesnet tanımlaması



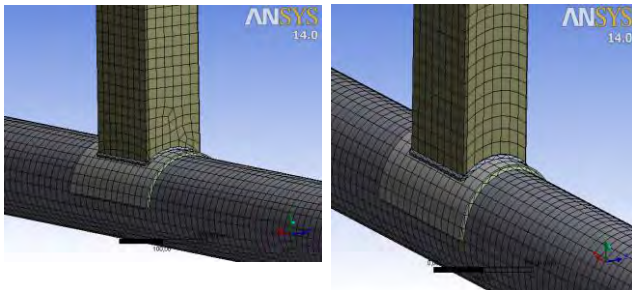
d)Yükleme kolu sayısal modeli

Şekil 5. Sayısal model genel görünümü ve mesnet detayları

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 gruplandırılmıştır ve buna en uygun algoritma seçilmiştir. Birinci grupta kaynak dikişi kullanılarak sağlanan bağlantılar kaynaklı olduğu, yani rijit bir davranış sergilemesi sebebi ile "contact>bonded"

komutu kullanılarak programa tanıtılmıştır. Temas yüzeyi tanımlamalarında ikinci grup; yük aktarımında etkileşimde olan ancak rijit olarak bağlanmayan elemanlar arası durumdur. Bu yüzeyler sürtünmeli yüzey olarak modellenmiştir. Buna göre rijitleştirme levhası-kolon üst başlığı, yüklemeye 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 5-b,d' de rijitleştirme levhası-kolon üst başlığı ile yüklemeye kolundaki sayısal modele ait birleşim görünümü verilmiştir. Sürtünme ve Rijitlik katsayıları deneysel numuneye göre idealize edilmiş olup kalibrasyonda etkin rol oynamıştır.

Şekil 6.' da çalışmanın konusu olan ve iki farklı mesh tekniği kullanılarak oluşturulmuş olan modelin sonlu elemanlara bölünmüş haline ait görünüm verilmiştir. Çalışmada kullanılan model dikdörtgen ve daire kesitli iki elemanın bir araya gelmesinden oluşmuştur. Dikdörtgen kesitli kiriş kurtağzı kesim yöntemi kullanılarak daire forma oturmuştur. Bu durum sonlu elemanlara bölünmede dikdörtgen formdan daire forma geçiş de sonlu parçaların boyutlarını ve şekillerini standart olmaktan çıkartmaktadır. Farklı form ve boyuttaki sonlu parçaların programda birbirine yük aktarımını sağlayacak olan noktaların birbirini yakalamasını zorlaştırmaktadır. Bu sebeple parçalar birbirine bağlanmak için formlarını kaybetmekte geçişler düzensiz olmaktadır. Bu durum otomatik mesh yapılması halinde dikdörtgenin dairesel forma oturduğu kısımlarda mesh kalitesinin istenilen düzeyde sağlanamamasına sebep olmaktadır. Ancak manuel olarak sonlu parçalara bölünen modelde bu geçiş istenilen formda gerçekleştirilmiş parçalar arasında uyum oluşmuştur. Çalışmada analiz edilen bütün modellerde bu kıyaslama üzerinden gidilmiştir. Bu iki teknik kullanılarak oluşturulan modellerde birleşimlerdeki sürtünme ve rijitlik katsayıları değiştirilerek model sayısı artırılmış farklı etkileşim durumlarında mesh kalitesinin davranışa katkısı incelenmiştir.



a) Otomatik Mesh

b) Manuel Mesh

Şekil 6. Mesh tekniğine bağlı sonlu parçaların geçiş algoritması

Çizelge 1.'de, çalışmada kullanılan modellerin isimleri ve her modelde kullanılan notasyonlar gösterilmiştir.

Buna göre modeller oluşturuldukları mesh tekniğine göre iki grup da ele alınmıştır. Her bir grubu da kendi içinde kıyas düzlemi oluşabilmesi adına birleşimlerde kullanılan sürtünme katsayısı ve rijitlik sabitlerine göre alt notasyonları oluşturulmuş olup toplamda altı model üzerinde çalışılmıştır.

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan modeller, katsayı ve sabitler.

Sıra	Model No		Sürtünme Kat. Yük. Kolu	Sürtünme Kat. Plaka	Rijitlik Sabt.
	Otomatik Mesh	Manuel Mesh			
1	MAFIX	MMFIX	Bonded	Bonded	Fixed
2	MAFRC	MMFRC	Frictionless	Frictionless	Frictionless
3	MA30-5	MM30-5	30	0,4	5
4	DM0		Deneysel Model		

3. Araştırma Bulguları ve Değerlendirme

Deneysel analizde, birleşime eklenen alın levhası ile kolon üzerinde lokal deformasyonların önüne geçildiği görülmüştür. Kolon, rijit bir davranış 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. Şekil 7.' de eğilme etkisi altında birleşimde meydana gelen deformasyonlar görülmektedir. Şekilde görüldüğü üzere kiriş başlığı iç bükey, gövdesi ise dış bükey bir şekilde burkulmuş olup her döngüde gövde ve başlık da meydana gelen deformasyon artmıştır. Kiriş üzerinde meydana gelen mafsallaşma hali rijitleştirme levhası üzerinden yaklaşık 6 cm. üstte oluşmuştur.



a) Kiriş mekanizma hali

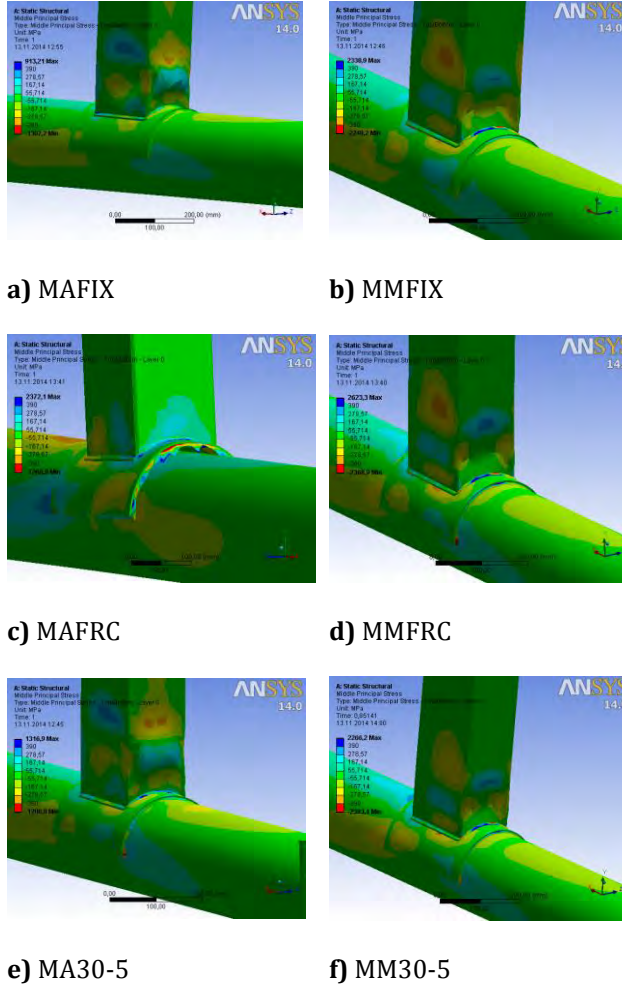
b) Mekanizmaya bağlı burkulma

Şekil 7. Deney numunesinde eğilme etkisi altında oluşan mekanizma durumu

Sayısal analizlerde iki farklı mesh tekniği kullanılarak oluşturulan modeller için ele edilen sonuçlar ait gerilme ve deformasyon grafikleri Şekil 8.' de gösterilmiştir. Şekiller incelendiğinde her iki durumda da kiriş üzerinde yaklaşık aynı noktada mafsal durumu yakalanmıştır.

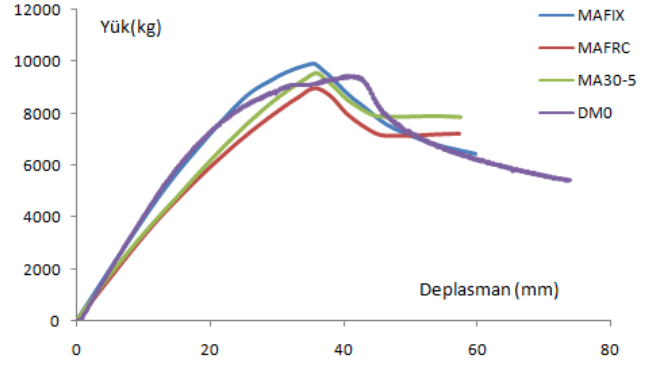
Otomatik mesh tekniği ile oluşturulan modellerden MAFIX ve MA30-5' de kirişte meydana gelen deformasyon başlıkta dış bükey gövde de ise iç bükey olup MMFRC modelinde ise kaynak-kolon birleşimi ayrıştığı için analiz sonuçlanamamıştır (Şekil 8 a-c-e). Ancak referans çalışma olan deneysel analizde ise

kirişte meydana gelen şekil değiştirme başlıkta iç bükey gövde de ise dış bükey olup kaynak dikişlerinde hiç bir şekilde ayrışma meydana gelmemiştir (Şekil 7.). Manuel mesh tekniği ile oluşturulan tüm modellerde ise deneysel davranış da elde edilen şekil değiştirme ile birebir örtüşür nitelikte sonuçlar elde edilmiştir (Şekil 8. b-d-f).

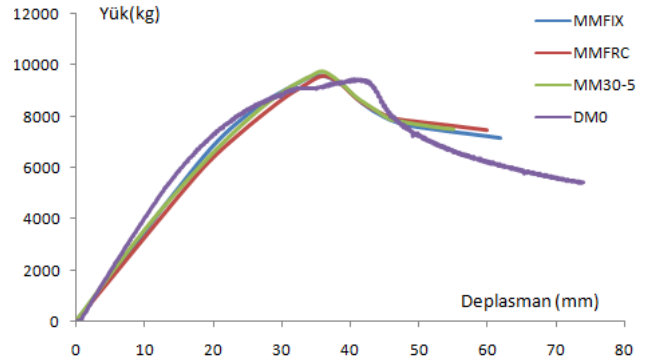


Şekil 8. Sayısal analiz sonucunda elde edilen gerilme şekil değiştirme durumları

Şekil 9.'da gösterilen ve sayısal analizde elde edilen yük-deplasman eğrileri incelendiğinde gerilme-şekil değiştirmeye ait sonuçlar ile paralel gitmektedir. Yük-deplasman eğrilerinde de şekil değiştirmedeki gibi manuel mesh tekniği ile oluşturulan modeller deneysel analiz ile örtüşmüştür. Şekil 9-b'de bu durum açıkça görülmektedir. Tüm analiz sonuçları hem rijitlik hem de kapasite olarak deneysel sonucu yakalamıştır. Otomatik meshli modellere ait yük-deplasman eğrileri için MAFIX modeli, rijitlik ve kapasite bakımından deneysel analiz ile örtüşürken, diğer modellerde rijitlik, referans çalışmanın altında seyretmiştir (Şekil 9 a).



a) Otomatik mesh tekniği ile sonlu elemanlara ayrılan modellerin yük deplasman eğrileri



b) Manuel mesh tekniği ile sonlu elemanlara ayrılan modellerin yük deplasman eğrileri

Şekil 9. Yük-Deplasman Eğrileri

4. Sonuç ve Öneriler

Sonlu elemanlar programları ile yapılan analizler için oluşturulacak olan modellerde malzeme özellikleri ve geometrik ölçülerinin doğru bir şekilde sayısallaştırılabildiği kadar gerçek davranışa yakın sonuçlar elde edildiği bilinen bir gerçektir. Ancak analizi yapılacak olan modeller, kesit özelliklerine bağlı lokal şekil değiştirmelerin ön plana çıktığı kutu kesitli profillerden oluşuyor ise, şekil değiştirmenin gerçekleştiği bölgelerde sonlu algoritmanın yoğunlaştırılması ve sonlu parçaların birbiri ile etkileşiminin en doğru şekilde modellenmesi gerekmektedir. Çalışma kapsamında yapılan analizler göstermiştir ki; özellikle farklı kesit geometrilerine sahip parçaların bir arada değerlendirildiği durumlarda, geometrik farklılıkların oluşturulacak sonlu parçaların etkileşimine olumsuz etkisinin önüne geçilmelidir. Aksi takdirde otomatik mesh tekniği kullanılarak oluşturulan modelde olduğu gibi deformasyon arttıkça sonlu parçaların birbiri ile etkileşimi kesintiye uğrayacak, program ya yakınsama hatası verip analizi sonlandırarak ya da analizde olduğu gibi rijit davranış göstermesi gereken kaynak dikişi yırtılacaktır. Bu sebeple farklı kesit geometrisine sahip parçaların bir arada değerlendirildiği analizlerde kullanılan mesh tekniği çözüm sonuçlarını etkilediği görülmüştür. Bu gibi durumlarda sonlu parçalara ayırma işini programa değil, kendi istediğimiz doğrultuda manuel olarak

yapılması, sonlu parçaların boyutu, şekli ve yoğunluğuna tasarımcı tarafından karar verilmesi doğru olacaktır. Bununla birlikte sonlu elamanlar programların da otomatik mesh uygulaması sabit geometri ve lokal burkulma gibi öngörülemez şekil değiştirmelerin oluşmadığı modellerde kullanılmasında bir sakınca yoktur.

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.

Davies, G., 1998. Static Behaviour of Welded Rectangular Hollow Section Connections. Mechanics and Design of Tubular Structures, International Centre for Mechanical Sciences Volume 394, pp 1-52.

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.

Jeffrey, A., 1993. Moment connections between rectangular hollow sections. Packer Journal of Constructional Steel Research Volume 25, Issues 1-2, , Pages 63-81 Special Canadian Issue.

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/l 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.