KUTU KESİTLİ KOLON-KİRİŞLERİN KAYNAKLI BİRLEŞİMİNİN MOMENT ETKİSİ ALTINDA İNCELENMESİ

Z. Ay[1], İ.D. Çelik[2], B. Başaran[3] ve M. Sivri[4]

[1] *Doçent Doktor, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[2] *Uzman, (İnş.Yük.Müh.) İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[3] *İnşaat Mühendisi, İnşaat Müh. Bölümü, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
[4] *Yardımcı Doçent Doktor, İnşaat Bölümü TBMY, Süleyman Demirel Üniversitesi, Isparta*
Email: devrancelik@sdu.edu.tr

ÖZET:

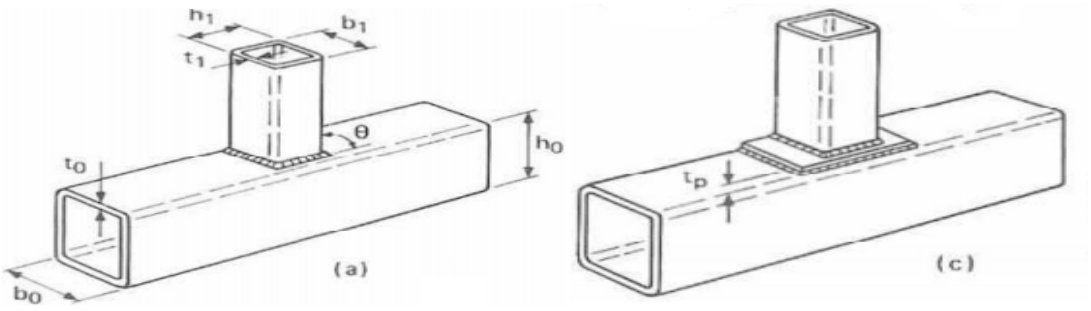
Çelik yapı tasarımı halen yürürlükte olan Türk Deprem Yönetmeliğine (TDY2007) göre, süneklik düzeyi yüksek ve süneklik düzeyi normal yapılar olarak sınıflandırılmaktadır. Yapılan bu sınıflandırmaya göre yapı davranış katsayısı belirlenmekte olup yapıya etkiyecek deprem kuvvetleri hesaplanmaktadır. Ancak yapısal süneklik öncelikle malzemede başlayıp sonra sırasıyla kesitte, birleşimde ve sistemde süneklik olarak bir bütün içerisinde değerlendirilmelidir. Çelik, malzeme açısından yüksek süneklikte bir davranışa sahip iken, bir bütünün parçasını oluşturduğu yapısal sistem içerisinde düşünüldüğünde, kullanıldığı profil türüne bağlı olarak lokal davranış bozukluklarını da beraberinde getirmektedir. Oluşan bu lokal etkiler yapısal bütün içersinde gevrek davranışa sebep olmaktadır. Bu şekliyle sünek kabul edilerek tasarlanan ve imal edilen yapı gevrek bir davranış sergileyerek yapı kullanım ömrünü tehlikeye sokmaktadır. Son yıllarda meydana gelen depremlerde eğilme etkisine maruz kalan kutu kesitli profiller ile dizayn edilen kolon kiriş birleşimleri, kutu profilin yapısal davranışına bağlı olarak oluşan lokal burkulma etkileri sebebiyle gevrek davranış bozuklukları ortaya çıkmıştır. Bu profiller ile ilgili süneklik kabulü yapılmadan önce birleşimlerin tasarımına ve aktardıkları yüke göre düğüm noktası taşıma kapasitesi ve eğilme etkisi altındaki olası plastik şekil değiştirmeler dikkate alınmalıdır. Bu amaçla çalışmada, kare kesitli kutu kolona kaynaklı olarak birleşimi sağlanan dikdörtgen kesitli kirişin eğilme etkisi altında davranışını deneysel ve sayısal olarak incelecektir. Deneysel ve sayısal analizlerde kolon başlığında ve gövdesinde eğilme altında oluşacak lokal burkulma etkileri önlemek için farklı boyutlarda başlık rijitleştirme levhası kullanılacaktır. Bu sayade düğüm noktasına eklenen rijitleştirme levhasının düğün noktasının eğilme etkisi altındaki davranışa katkısı incelenmektedir.

ANAHTAR KELİMELER: Türk Deprem Yönetmeliği 2007, kutu kesitli kiriş-kolonlar, alın levhalı kaynaklı moment aktaran birleşim, süneklik detayı, moment aktaran çelik çerçeve sistemler.

1. GİRİŞ

Ülkemizde şuan yürürlükte olan deprem yönetmeliği (TDY-2007) çelik yapılar ile ilgili 4. bölümünde, çelik taşıyıcı sistemler süneklik düzeyi normal ve süneklik düzeyi yüksek sistemler olarak tanımlanmaktadır. Çelik bir çerçeve sistemin "süneklik düzeyi yüksek çerçeve sistem" olarak tanımlanabilmesi ile ilgili bazı koşullara ilave olarak moment aktaran kiriş/kolon birleşimleri ile ilgili TDY-2007 Bilgilendirme Eki 4A'da verilen geçerliliği kanıtlamış olan kiriş-kolon birleşim detaylarının kullanılması zorunludur.[9] Ancak burada verilen birleşim detayları ise sadece I profilleri ile ilgili detaylardır. Kutu kesitli profillerden oluşan kiriş-kolon birleşim detayları ile ilgili herhangi bir birleşim detayı verilmemektedir. Bu nedenle, TDY 2007'de, kutu kesitli elemanlardan oluşan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin deprem hesabında, birleşim detayı ile ilgili olarak herhangi bir

detay mevcut olmadığından, taşıyıcı sistemin süneklik düzeyi tanımlamasında bir belirsizlik mevcuttur. Dünyada ve Türkiye'de, I ve diğer hadde ürünleri kadar kutu profiller de çelik inşaatta yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle, kutu profillerden yapılan moment aktaran çelik çerçeve sistemlerin süneklik düzeyi tanımlamasının yapılabilmesi için bu eksikliğin giderilmesi gerekmektedir. Literatürde bu amaçla birçok çalışma yapılmıştır. Yapılan çalışmalarda araştırmacılar, kaynaklı kutu kesitli kolon/kiriş birleşimlerinin eğilme ve eksenel kuvvet etkisi altında düzlem ve düzlem dışı burkulma durumları incelenmişlerdir. (Şekil 1)



a) Güçlendirilmemiş kaynaklı birleşim detayı

b)Başlık levhalı birleşim detayı

Şekil 1. Dikdörtgen kesitli kutu profil (RHS) Vierendeel tipi düğüm noktaları (Korol vd., 1977) **[5]**

Eğilme etkisi altında birleşimde kolon ve kiriş üzerinde meydana gelen şekil değiştirmenin durumuna göre birleşimleri rijit ve yarı rijit olarak sınıflandırmaya çalışmışlardır. Lokal burkulma olarak meydana gelen şekil değiştirmenin kolon üst başlığında ve gövdesinde meydana gelmesinin düğüm noktası rijitliğini belirlediği ifade edilmiştir. Buna göre eğilme etkisi altında ki düğüm noktasında burkulmanın sadece kolon üst başlığında olması hali yarı rijit, burkulmanın üst başlık ve gövde de oluşması durumda ise rijit olarak tanımlanmıştır. Kolon üzerinde meydana gelen bu şekil değiştirmelerin birleşime giren kiriş/kolonun genişliği ve cidar kalınlıkları arasında hesaplanan boyutsal oranlara göre değiştiği belirlenmiş ve boyuta bağlı sınırlar tanımlanmaya çalışılmıştır. Belirlenen bu sınırlarda kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı β , kolon derinliğinin cidar kalınlığına oranı γ olarak isimlendirilmiştir. Çalışmalarda β ve γ için belirlenen sınırlar dahilinde düğüm noktasında oluşan lokal burkulmaların ve davranışının şekil aldığı belirtilmiştir. Eğilme etkisi altında kolon üst başlığı, kolon gövdesi ve kiriş üzerinde meydana gelen şekil değiştirme durumlarına göre düğüm noktası nihai kapasitesi β ve γ gibi boyutsal parametreleride içine alan ampirik formüller geliştirilmiştir. Bu formüllere göre kaynaklı birleşimi sağlanan kutu kesitli profiller kullanılarak oluşturulan düğüm noktalarının nihai taşıma kapasiteleri ve nihai moment değerlerinin hesaplanabileceği belirtilmiştir. [**2,3,4-8, 11-12**].

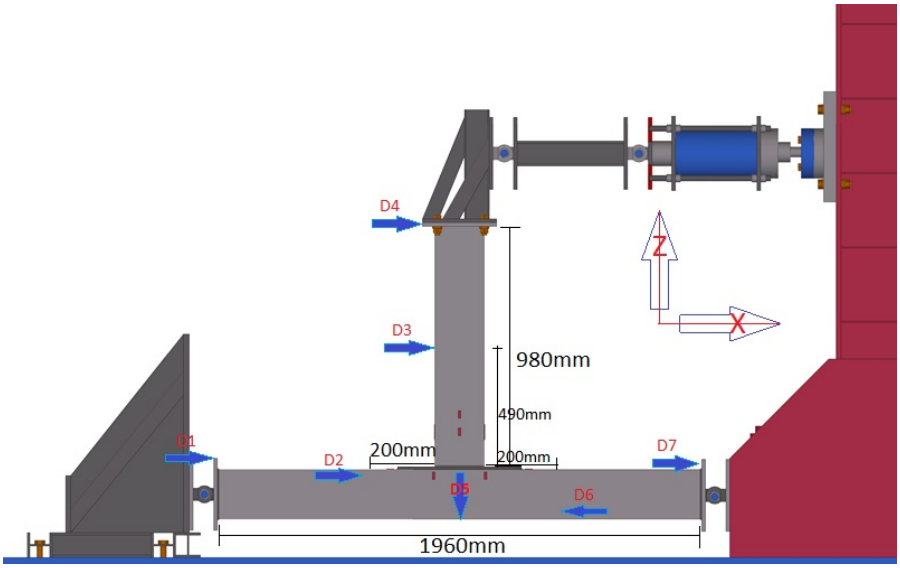
Bu çalışmada kutu kesitli profiller kullanılarak oluşturulan çelik çerçeve sistemlerin, alın levhalı kaynaklı moment aktaran kiriş/kolon birleşimlerinin, süneklik detaylarının incelenmesi amaçlanmaktadır. Bu bağlamda, TDY 2007'nin sünelik düzeyi yüksek sistem tanımlaması için öngördüğü 0.04 radyan göreli kat ötelemesi açısını sağlayacak ve kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirmeleri engelleyecek boyutta düğüm noktasına eklenen alın levhasının, davranışa etkisi hem sayısal, hem de deneysel olarak belirlenmeye çalışılmıştır. Bu kapsamda literatürdeki **kiriş/kolon boyutları** kullanılarak yapılan sınıflandırmalar, bu çalışmada, **alın levhası/kolon boyutları** kullanılarak bu sınırlar belirlemeye çalışılmıştır. Bu sayede düğüm noktasına eklenecek alın levhası ile alın levhasının boyutlarını sağlayacak ve birleşimde kullanılan kirişten daha büyük kesit özelliklerine sahip bir kirişin düğüm noktasına sağladığı kapasite artımı ve davranışı yakalanmaya çalışılmıştır. Bu sayede uygun boyutlarda seçilecek bir alın levhası ile birleşimde kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların önüne geçmeyi, güçlü kolon zayıf kiriş prensibinin sağlanması ve rijit bir davranış elde edilmeye çalışılmıştır.

Bu kapsamda çalışmada yapılan deneysel analizler Ansys ve Sap2000 programları ile yapılan sayısal analizler ile desteklenmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak değerlendirilmiştir.

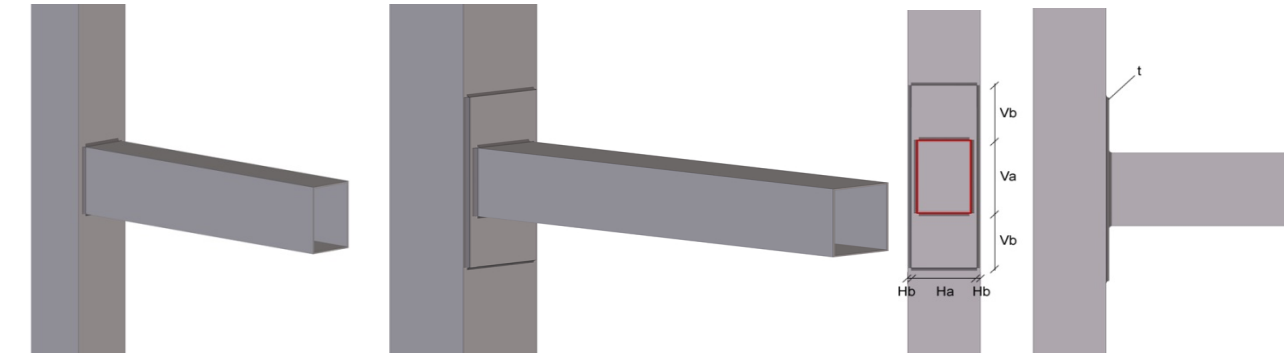
2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Deneysel ve sayısal modeller de düşey eleman kiriş ve yatay eleman kolon olacak şekilde modeller oluşturulmuştur. Modellerde kolon kesitleri 200*200*5mm, kiriş kesitleri 150*200*4mm boyutlarında olan kutu kesitli çelik profiller kullanılmıştır. Deney numunesi boyutları yatayda (kolon) 1960mm ve düşeyde (kiriş) 980mm olarak belirlenmiştir. (Şekil 2) Deneylerde kullanılmış olan alın levhalı kiriş/kolon birleşim detayı şekil 3 b-c ve şahit numune kolon/kiriş birleşim detayı şekil 3 a'da ile ilgili görünüşler gösterilmektedir.



Şekil 2. Deneysel model genel görünüm



a)Şahit Numune b)Alın Levhalı Numune c) Alın Levhalı Numune Kesit ve Plan Görünümü

Şekil 3. Alın levhalı kiriş-kolon birleşim detayı genel görünüm

Yukarıda tanımlamalara göre bu çalışma kapsamında yapılan deneysel ve sayısal modellerlere ait boyutsal değişkenler Çizelge 1' de tanımlanmıştır.

Çizelge 1. Deneysel ve sayısal modellere ait değişkenler

Model Adı	Kolon (mm)	Kiris (mm)	Alın Levhası	t (mm)	Va (mm)	Vb (mm)	Ha (mm)	Hb (mm)	Kaynak Kalınlığı a(mm)
D-M1	200*200*5	150*200*4	YOK	-	-	-	-	-	3
D-M1.1	200*200*5	150*200*4	YOK	-	-	-	-	-	6
D-M2	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	50	150	10	3
D-M2.1	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	50	150	10	6
D-M2.2	200*200*5	150*200*4	VAR	8	200	50	150	10	6
D-M5	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	75	150	10	3
D-M5.1	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	75	150	10	6
D-M5.2	200*200*5	150*200*4	VAR	8	200	75	150	10	6
D-M8	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	100	150	10	3
D-M8.1	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	100	150	10	6
D-M8.2	200*200*5	150*200*4	VAR	8	200	100	150	10	6
D-M11	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	100	150	0	3
D-M11.1	200*200*5	150*200*4	VAR	6	200	100	150	0	6

Deneysel analizlerde veri toplama aşaması, yük, deplasman ve gerinim pulu okuması şekliyle yapılmıştır.
Şekil 2'de gösterildiği üzere, deneysel numunenin tepe noktası deplasmanını tespit etmek için D4, kirişte olası mekanizma durumlarını tespit edebilmek için kiriş boyunun 1/2 sine yerleştirilen D3, panel bölgesindeki dönmeyi tespit edebilmek için D2-D6, Mesnet plakalarındaki dönemleri saptayabilmek için D1-D7, son olarak da kolon kiriş düğüm noktasındaki çökmeyi tespit edebilmek içinde D5 nolu deplasman ölçerler yerleştirilmiştir. Deneysel analiz deplasman ölçerlerinden elde edilen sonuçlar sayısal modeller içinde aynı noktalar için okuma yapılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sayısal analizlerde deneysel modelleri doğru modelleyebilmek ve kalibre edebilmek için geometri ve malzeme özelikleri birebir değerlendirilmiştir. Deneysel analizde kullanılan profillerin malzeme özeliklerinin belirlenmesi için profillerden standartlara uygun boyutlarda numuneler alınmış ve çekme deneyi yapılmıştır. [10] Çekme deneyi soncunda akma gerilmesi, kopma gerilmesi ve elastisite modülü belirlenmiş ve sayısal modellerde kullanılmıştır.

2.2. Yöntem

Kutu kesitli profiller kullanılarak dizayn edilen eğilme etkisine maruz bir düğüm noktasında, kolon, kiriş ve çapraz elemanlarda lokal şekil değiştirmeler meydana gelmektedir. Yapı elemanları üzerinde meydana gelen bu şekil değiştirmeler birleşimin rijit yada yarı rijit bir davranış sergilemesindee rol oynamaktadır. Literatürde özellikle kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulma etkilerinin birleşim davranışı üzerinde etkin rol oynadığı vurgulanmıştır. Bu tanımlamaya, CIDECT ve Euro Code 3 Part 8'de kapsamlı olarak yer verilmiştir. Bu yönetmeliklerde bu tip birleşimler için rijit, yarı rijit tanımlaması için kriterler belirlenmiş, belirlenen rijitlik aralığında da kolon ve kiriş boyutları kullanılarak hesaplanan bazı katsayılara göre ampirik formüller geliştirilmiştir

Kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı olan **β,** kolon cidar kalınlığının kolon derinliğine oranı olan **γ** orantısal katsayılardır. Bu katsayılar baz alınarak birleşimlerin rijitlik tanımlamaları yapılmıştır. Rijitlik durumların

belirlenmesinde temel rol oynayan etkende **β** katsayısının aldığı değere bağlı olarak kolon üzerinde meydana gelen şekil değiştirmelerin başlık, gövde yada her ikisinde birden oluşması durumudur. Genel ifade ile **β=1.0** iken kolon üzerinde hem başlık da hem de gövde de şekil değiştirme tespit edilmekte ve birleşim rijit bir davranış sergilemektedir. **B<0,9** olduğunda ise şekil değiştirme sadece kolon başlığıyla sınırlı kalmakta olup birleşim yarı rijit bir davranış sergilediği vurgulanmıştır. Bu tanımlamalar ışığı altında birleşimlerin nihai moment kapasitelerin hesaplanması içinde ampirik formüller verilmiştir. Aşağıda şekil değiştirme durumu için kullanılması önerilen formülasyonlar görülmektedir. (Şekil 4)

$$M_{ip,1} = f_{y0} t_0^2 h_1 \left(\frac{sin\theta_1}{2\eta} + \frac{2}{\sqrt{1-\beta}} + \frac{\eta}{(1-\beta)sin\theta_1} \right) \frac{Q_f}{sin\theta_1}$$

$$\eta = \frac{h_1}{b_0}, \quad \beta = \frac{b_1}{b_0}, \beta \leq 0.85, \ \theta_1 = 90^o$$

a)Şekil değiştirme kolon üst başlığında

$$M_{ip,1} = f_{y1} \left[W_{pl,1} - \left(1 - \frac{b_e}{b_1}\right) b_1 (h_1 - t_1) t_1 \right]$$

$$b_e = \left(\frac{10}{b_0/t_0}\right)\left(\frac{f_{y0}t_0}{f_{y1}t_1}\right) b_1 \quad , \quad b_e \leq b_1, \ 0.85 \leq \beta \leq 1.0$$

b)Çapraz/Dikme, Kiriş elemanda kırılma durumu

$$M_{ip,1} = 0.5 f_k t_0 (h_1 + 5t_0)^2 Q_f$$
$$\beta = 1.0$$

c) Şekil değiştirmenin kolon gövdesinde

Şekil 4. Eğilme etkisi altında şekil değiştirme durumuna göre CIDECT nihai moment değerleri

Yapılan bu çalışmada CIDECT' de ifade edilen **β** değerine göre yarı rijit kabul edilen kolan ve kiriş **(β=0,75)** birleşiminin, düğüm noktasına eklenecek olan rijitleştirme levhaları (alın levhaları) ile rijit bir davranış sergilemesi hedeflenmiştir. Rijitleştirme levhaları ile desteklenen düğüm noktasında **β** katsayısı hesabında kiriş genişliğinin kolon genişliğine oranı değilde alın levhası genişliğinin **(H_a)** kolon genişliğine oranı dikkate alınmış ve **β_a** olarak isimlendirilmiştir. **γ** katsayısının hesabında ise alın levhası cidar kalınlığı ile kolon cidar kalınlığının toplamı kolon derinliğine oranı alınmış ve **γ_a** olarak isimlendirilmiştir. Bu şekilde oluşturulan deneysel ve sayısal modellerden elde edilen sonuçlar **CIDECT** 'de tanımlanan ampirik formullerden elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmalı olarak değerlendirilmiş ve rijitleştirme levhaları ile desteklenen düğüm noktalarında rijitlik tanımlaması yapılmaya çalışılmıştır. Çalışmada kullanılan modeller için hesaplanan **β** ve **γ** katsayıları Çizelge 2 de gösterilmiştir. Çalışmada elde edilen tüm sayısal ve deneysel sonuçlar çizelge de tanımlanan katsayılara göre değerlendirilmiş olup şekil değiştirme durumları dikkate alınarak CIDECT' e göre hesaplanan eşik değerler için rijitlik tanımlaması yapılmaya çalışılmıştır. Bu sayede düğüm noktasına eklenen alın levhasının davranışa etkisi değerlendirilmiştir.

Çizelge 2. Çalışmada kullanılan modellerin boyutsal değişkenleri

Sıra	Deney No	ORANTISAL KATSAYISI		ORANTISAL KATSAYI	
		β (b1/b0)	γ (b0/t0)	β a (Ha/b0)	γa (b0/t[0+a])
1	D-M1	0,75	40	-	40,00
2	D-M1.1	0,75	40	-	40,00
3	D-M2	0,75	40	0,9	18,18
4	D-M2.1	0,75	40	0,9	18,18
5	D-M2.2	0,75	40	0,9	15,38
8	D-M5	0,75	40	0,9	18,18
9	D-M5.1	0,75	40	0,9	18,18
10	D-M5.2	0,75	40	0,9	15,38
13	D-M8	0,75	40	0,9	18,18
14	D-M8.1	0,75	40	0,9	18,18
15	D-M8.2	0,75	40	0,9	15,38
18	D-11	0,75	40	1	18,18
19	D-11.1	0,75	40	1	18,18

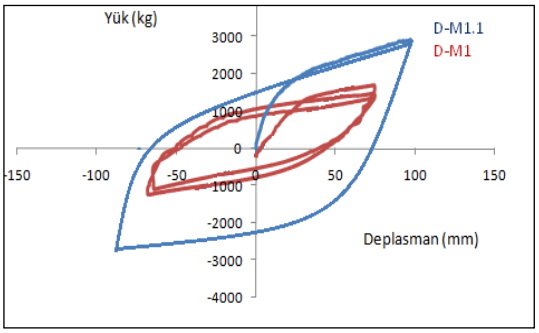
3. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

Bu çalışma kapsamında 1., 2., 3. ve 4. Seri Deneyler ve bunlara ait sayısal analizler tamamlanmıştır. Bu bölümde, yapılan analizler sonucunda elde edilen veriler kendi içlerinde ve birbirleri ile kıyaslamalı olarak anlatılacaktır. Bölüm kapsamında sunulan grafiklerde ve tablolarda her deney ve sayısal analiz ayrı ayrı isimlendirilmiş elde edilen veriler buna göre düzenlenmiştir. Grafiklerde ve tablolarda kullanılan modellerin birleşim detayları ve isimleri Çizelge 3.de belirtilmiştir.

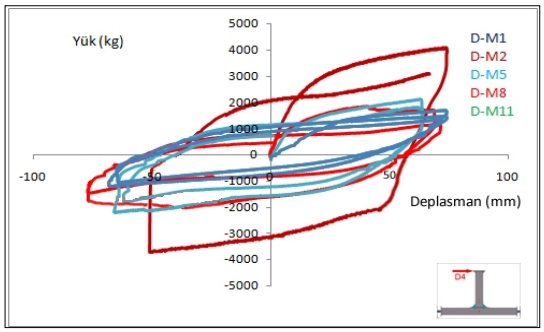
Çizelge 3. Deneysel ve sayısal modellerin birleşim türlerine göre gurup isimleri

	Kolon (mm)	Kiriş (mm)	Alın Levhası	Kaynak Kalınlığı a(mm)	Deneysel Model	Sayısal Model (Sap2000)	Sayısal Model (Ansys)
Şahit N.	200*200*5	150*200*4	YOK	3	D-M1	S-M1	-
	200*200*5	150*200*4	YOK	6	D-M1.1	S-M1.1	A-M.1.1
1.Seri	200*200*5	150*200*4	300*180*6	3	D-M2	S-M2	-
	200*200*5	150*200*4	300*180*6	6	D-M2.1	S-M2.1	A-M2.1
	200*200*5	150*200*4	300*180*8	6	D-M2.2	S-M2.2	A-M2.2
2.Seri	200*200*5	150*200*4	350*180*6	3	D-M5	S-M5	-
	200*200*5	150*200*4	350*180*6	6	D-M5.1	S-M5.1	A-M5.1
	200*200*5	150*200*4	350*180*8	6	D-M5.2	S-M5.2	A-M5.2
3.Seri	200*200*5	150*200*4	400*180*6	3	D-M8	S-M8	-
	200*200*5	150*200*4	400*180*6	6	D-M8.1	S-M8.1	A-M8.1
	200*200*5	150*200*4	400*180*8	6	D-M8.2	S-M8.2	A-M8.2
4.Seri	200*200*5	150/200/4	400*200*6	3	D-M11	S-M11	-
	200*200*5	150/200/4	400*200*6	6	D-M11.1	S-M11.1	A-M11.1

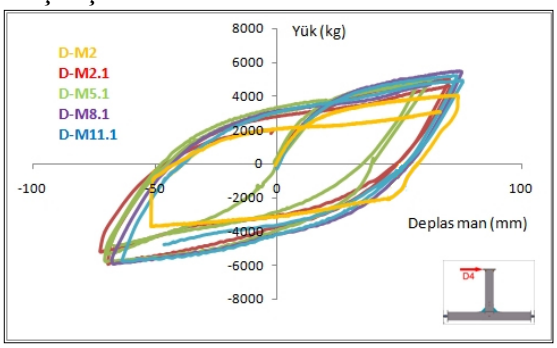
Bu tanımlamalar ışığı altında şahit numune ve dört deney grubu için yapılmış olan deneysel analizden elde edilen kapasite eğrileri şekil 5 de ve hem deneysel hemde sayısal analizlerden elde edilen moment dönme eğrileri şekil 7 de ifade edilmiştir. Grafikler incelendiğinde hem şahit numunede hem de alın levhalı numuneler de, kaynak kalınlığının kapasite üzerine etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Bu çalışmada kaynak kalınlığının kapasite üzerinde etkisinin belirleyici olmasındaki temel sebep, eğilme etkisi altındaki kutu kesitli kolon üst başlığı üzerinde meydana gelen şekil değiştirmedir. Çalışmada cidar kalınlığı dikkate alınarak hesaplanan kaynak kalınlığının, meydana gelen lokal burkulma etkileri sebebiyle, kaynak dikişlerinin eksen dışı gerilmeye maruz kalıp, kiriş/kolon kaynak dikişlerinde, kiriş köşe noktalarından başlayarak sıyrılma şekliyle kaynak sürekliliği bozulmuştur. Bu sebeple düğüm noktası rijitliğini kaybetmiş ve kapasite kaybı meydana gelmiştir. Şahit numunede, yırtılmayı kolon üst başlığındaki şekil değiştirme belirlerken(Şekil 6-a), alın levhalı modellerde ise aynı noktalarda meydana gelen yırtılmayı, alın levhası üzerindeki deformasyon tetiklemiştir. (Şekil 6-b) Bu sebeple alın levhasının düğüm noktasına katkısı belirlenememiş olup alın levhalı modeller ile şahit numune kapasite eğrileri üst üste oturmuştur. Kaynak dikişlerinde meydana gelen bu yırtılmayı önlemek için kaynak kalınlığının arttırıldığı modeller de, kaynak dikişinin kolon ve kiriş üzerindeki tutunma yüzeyi arttırılmış ve kolon üst başlığı yada alın levhası üzerindeki deformasyona bağlı yırtılma oluşmamıştır. Ancak bu durumda da kiriş köşe noktalarından başlayarak profilde yırtılma meydana gelmiştir. (Şekil 6-d) Kaynak yırtılmasının meydana gelmediği bu modeller de alın levhasının düğüm noktası rijitliği ve kapasitesi üzerine etkisi açıkça görülmektedir. Düğüm noktası rijitliği ve kapasitesi artarken, kolon üst başlığındaki lokal burkulma durumu önlenmiştir. Kirişte yırtılma meydana gelmesine rağmen tersinir etkiyen yükleme altında kapasitedeki düşük yapısal davranışı etkilememiştir.



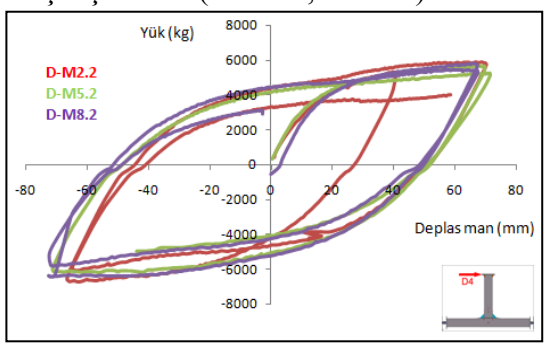
a)Şahit modeller kapasite eğrisi karşılaştırması



b)Alın levhalı modeller kapasite eğrisi karşılaştırması (a=3mm, t=6mm)



c)Alın levhalı modeller kapasite eğrisi karşılaştırması (a=6mm, t=6mm)

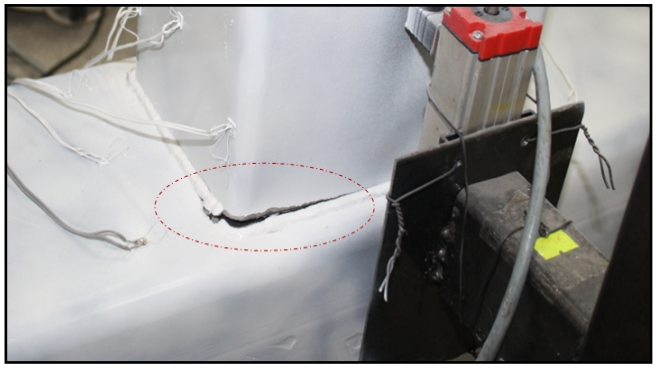


d)Alın levhalı modeller kapasite eğrisi karşılaştırması (a=6mm, t=8mm)

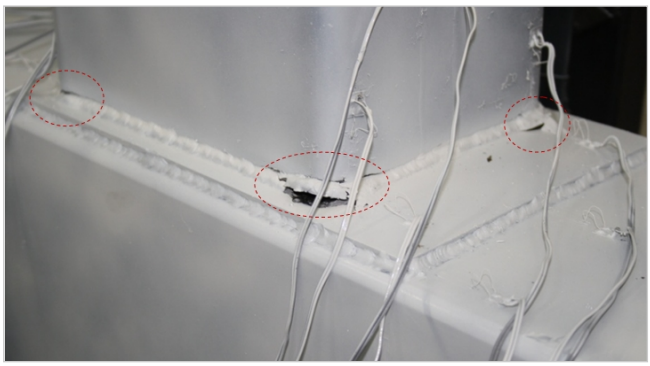
Şekil 5. Alın levhalı modellerin kapasite eğrilerinin karşılaştırması

Şekil 6-c de kaynak kalınlığının 6mm olduğu 3. Seri D-M8.1 nolu numunesinde ve D-M2, 5.1,11.1 nolu numunesinde de alın levhasını kolon başlığına bağlayan gövde dikişlerinde yırtılma meydana gelmiştir. Bu yırtılmanın temel sebebi, kolon başlığına sadece kenarlarından bağlanan alın levhasının orta noktalarının kolon üst başlığından bağımsız hareket etmesi ile meydana gelmektedir. Alın levhasının boyutlarının artması ile alın levhası deformasyon kabiliyeti artmakta, ve bu sebeple, gövde dikişlerinin yırtılması kolaylaşmaktadır. Ancak Şekil 5-c deki kapasite eğrileri incelendiğinde gövde dikilindeki bu yırtılma düğüm noktası davranışını etkilememiş, birleşim çevrimsel etkiyen yükler altında, birleşim bütünlüğünü kaybetmeden, döngüyü tamamlamıştır. Kaynak dikişinin 6mm uygulandığı alın levhalı modellerde, birleşime eklenen levhanın, birleşimin davranışı olumlu yönde etkilediği açıkça görülmektedir.

Alın levhası cidar kalınlığının arttırıldığı numune sonuçları incelendiğinde, kapasite eğrilerinde en üst değerleri bu modellerin aldığı görülmekte olup diğerlerinden de çok farklı olmadığı da belirtilmelidir. Bu numuneler de, cidar kalınlığının arttırılması ile alın levhasının deformasyon kabiliyeti sınırlanmış bu sebeple alın levhası gövde dikişlerindeki yırtılmanın önüne geçilmiştir. Ancak bu durumda da kiriş üzerinde meydana gelen profildeki yırtılma artmış, bu yırtılmada, kapasite eğrilerine ikinci döngüde düşüşe sebep olmuştur.



a) a=3mm, Şahit Numune (D-M1)



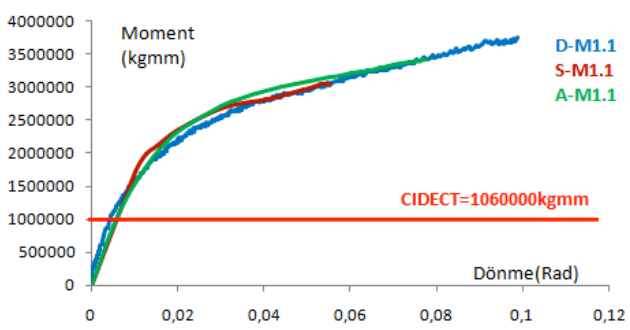
b) a=3mm, 1.Seri Numune (D-M2)

c) a=6mm, 4. Seri Numune (D-M8.1)

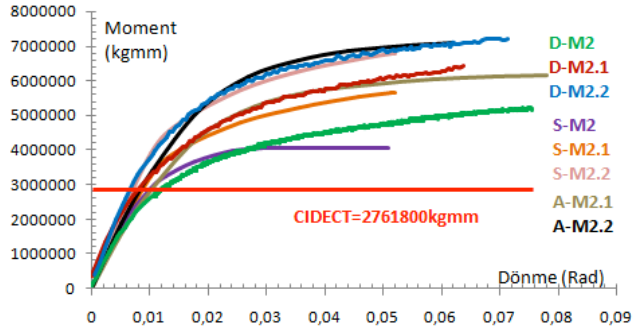
d) a=6mm, 2. Seri Numune (D-M2.1)

Şekil 6. Eğilme etkisi altında düğüm noktaların da meydana gelen şekil değiştirmeler

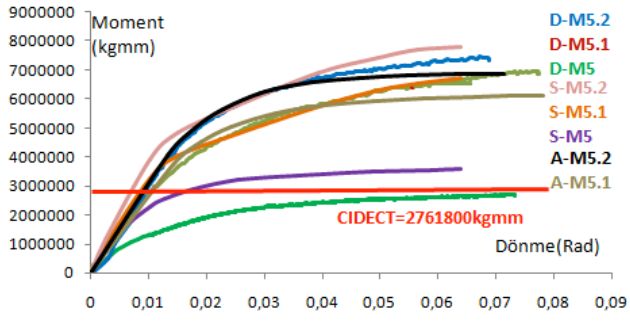
Şekil 7 de bütün numunelere ait moment/dönme eğrileri karşılaştırılmalı olarak verilmiştir. Grafikte öncelikle sayısal analizler ile deneysel analiz sonuçlarını destekler niteliktedir Bu noktada oluşturulan sayısal modellerin kalibrasyonun ve deneysel sonuçların birbirini doğruladığı görülmektedir. Grafiklerde kaynak yırtılmalarının gerçekleşmediği tüm alın levhalı numunelerin CIDECT'e alın levhası ile aynı boyutta kirişin birleşimde kullanılması durumunda düğüm noktası için hesaplanan kapasite değerlerini sağladığı görülmektedir.



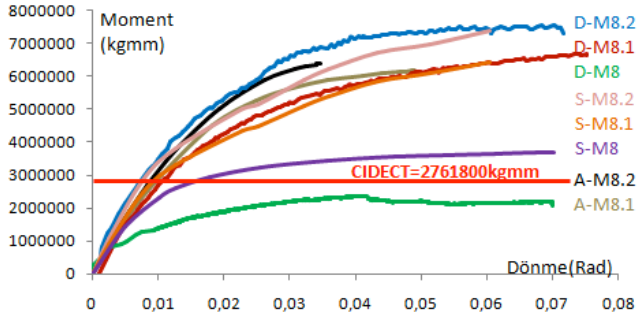
a) Şahit Numune Moment/Dönme Eğrilesi



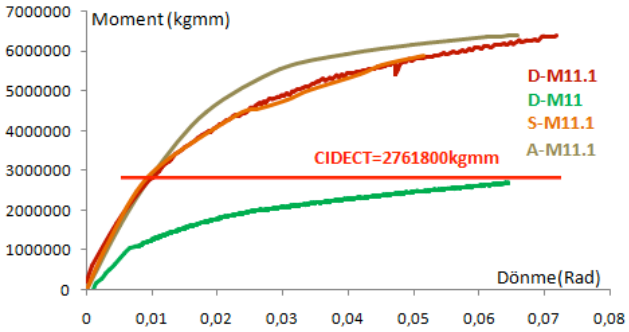
b) 1.Seri Moment/Dönme Eğrileri



c) 2.Seri Moment/Dönme Eğrileri



d) 3.Seri Moment/Dönme Eğrileri



e) 4.Seri Moment Dönme Eğrileri

Şekil 7. Deneysel ve Sayısal Modeller Moment/Dönme Eğrileri Karşılaştırması

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Alın levhalı numuneler levha boyutları, cidar kalınlığı ve kaynak dikişi kalınlığı üzerinde yapılan değişiklikler ile farklı kombinasyonlar oluşturulmuştur. Alın levhası boyutları üzerinde yapılan değişim ile 4 farklı gurup oluşturulmuştur. Kaynak kalınlığı (3-6mm) ve cidar kalınlığı (6-8mm) değişimleri için oluşturulan modeller de bu guruplar içerisinde değerlendirilmiştir. Alın levhası kullanılan tüm numunelerde kolon üst başlığında ve gövdesinde meydana gelen lokal burkulma etkileri engelenmiştir. Ancak kolon üst başlığında oluşan lokal şekil değiştirme durumları bu sefer de alın levhaları üzerinde meydana gelmiştir. Alın levhası üzerinde oluşan bu şekil değiştirmeler kirişi-alın levhasında bağlayan ve 3mm olarak uygulanan kaynak dikişlerinde yırtılmaya sebep olmuştur. 6mm lik kaynak dikişlerine sahip numunelerde ise alın levhası düğüm noktası rijitliğini arttırmış ancak bu seferde kaynak dikişlerinde değil, aynı noktalarda kirişte yırtılma meydana gelmiştir.

Kaynak dikişlerinde yönetmelik sınır şartı kullanılan D-M2, D-M5, D-M8, D-M11 nolu numunelere ait kapasite eğrileri incelendiğinde alın levhasının boyutlarının düğüm noktası üzerine etkisi belirgin bir şekilde ortaya çıkmaktadır. Eğilme etkisine maruz birleşimde alın levhasında meydana gelen şekil değiştirmeler birleşim rijitliğini ve kapasitesini etkilemektedir. Sayısal ve deneysel analizlerden elde edilen yük deplasman eğrileri incelendiğinde kullanılan alın levhası, kolon üzerindeki şekil değiştirmeleri engellerken aynı değişimlerin kendi üzerinde meydana gelmemesi için ideal bir ölçüye sahip olması gerektiğini göstermektedir. Bu açıdan en olumlu sonucu D-M2 nolu numune sağlamıştır.

Kaynak kalınlığı 3mm olan alın levhalı numunelerde, yine kaynak yırtılmalarına bağlı kapasite kayıplarını engelleyebilmek için kaynak dikişi kalınlığı 6mm ye çıkartılmış, bu kalınlık için yeni numuneler oluşturulmuştur. D-M2.1, D-M5.1, D-M8.1, ve D-M11.1 olarak isimlendirilen bu numunelerde D-8.1, ve D-M11.1 hariç kalmak üzere kaynak yırtılmaları engellenmiş ancak aynı noktalarda bütün numunelerde kiriş yırtılmıştır. Ancak kirişte meydana gelen yırtılmaya rağmen 3mm lik kaynak kalınlığına sahip numunelere kıyasla birleşimler yüksek enerji sönümleme kapasitesine sahip bir hal almışlardır

Alın levhası boyut parametresine ek olarak cidar kalınlığının 8mm olarak kullanıldığı D-M2.2, D-M5.2, D-M8.2 nolu numunlere ait yük deplasman eğrilerilerine göre bu numunlerde de düğüm noktası kapasitesi ve enerji sönümleme kabiliyeti belirgin bir şekilde artmıştır. 8mm cidar kalınlığına sahip bu numuneler ilk döngü itibari ile birbirine çok yakın davranış sergilerken, çekme ve ikinci döngüde kapasitede kayıp meydana gelmiştir. Bu kaybın temel sebebi, kirişlerde oluşan yırtılmanın ön plana çıkmasıdır. Bu yırtılma durumu 6mm lik alın levhalı modelerinde de olmasına karşın bu numunlerde cidar kalınlığı 8mm çıkartılmış bu durumda eğilme etkisine maruz kalan alın levhasının şekil değiştirmeye karşı gösterdiği direnç artmıştır. Ancak bu direnç düğüm noktası rijitliğini ve kapasitesini çok değiştirmemiştir.

Sayısal ve deneysel analizlerden elde edilen sonuçlar ışığında, moment etkisine maruz kutu kesitli birleşimlerde, yeterli kaynak alanı için uygun boyutlarda alın levhası kullanılması halinde kolon üzerinde meydana gelen lokal burkulmaların önüne geçildiği ve birleşimin enerji sönümleme kabiliyetinin arttırılabildiği gözlemlenmiştir. Bu çalışma halen devam eden bir Tübitak projesinin bir parçası olması sebebi ile, ideal alın levhası boyutu ve ideal kaynak dikişi kalınlığı gibi sünekliği etkiliyecek detaylar proje sonuç raporunda verilecektir.

KAYNAKLAR

[1]: Başaran, B., 2012. Kutu Kesitli Kiriş-Kolonların Berkimesiz Alın Levhalı Kaynaklı Moment Aktaran Birleşimleri İçin Süneklik Detaylarının İncelenmesi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 181s, Isparta.

[2]: Design Guide 3, 2009. For Rectangular Hollow Section (Rhs) Joints Under Predominantly Static Loading. Comité International Pour Ie Développement Et L'étudeDe La Construction Tubulaire.

[3]: Eurocode 3, 2003. Design of steel structures - Part 1-8: Design of joints. European Committee For Standardization, Brussels.

[4]: 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.

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

[6]: Kumar, S.R.S., Rao, P., 2005. RHS Beam-To-Column Connection With Web Opening Experimental Study And Finite Element Modelling. Journal Of Constructional Steel Research, 62, 739–746.

[7]: Lea J., Goldsworthy, H.M., Gad, E.F., 2011. Blind Bolted Moment Connection To Sides Of Hollow Section Columns. Journal Of Constructional Steel Research, 67, 1900–1911.

8]: 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.

[9]: TDY 2007, 2007. Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik.T. C. Bayındırlık ve İskan Bakanlığı, Ankara.

[10]: TS EN ISO 6892-1, 2010. Metalik Malzemeler - Çekme Denyi - Bölüm 1: Ortam Sıcaklığında Deney Metodu. Türk Standartları Enstitüsü, Ankara.

[11]: Yu, Y., 1997. The Static Strength Of Uniplanar And Multiplanar Connections İn Rectangular Hollow Sections. Delft University Press, Thesis Ph.D. Delft, The Netherlands.

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