ÇELİK PETEK KİRİŞLERİN MODELLENMESİ ÜZERİNE BİR İRDELEME

Hüseyin Kürşat. Çelik
İnşaat Mühendisliği, İzmir Ekonomi Üniversitesi
İzmir, Türkiye
kursat.celik@izmirekonomi.edu.tr
Gökhan. Şakar
İnşaat Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi
İzmir, Türkiye
gokhan.sakar@deu.edu.tr

ÖZET: Petek kirişler, hadde çelik profillerin belirli bir desen ile gövdelerinden kesilmesi ve bu desenle kesitin yükseltilip tekrar kaynaklanması ile elde edilen özel bir yapı elemanıdır. Bu sayede petek kirişler aynı malzeme masrafı ile daha fazla yük taşıyabilmektedir. Petek kirişler sanayi yapıları, çatılar, spor salonu gibi büyük açıklıkların geçildiği yapılarda sıklıkla tercih edilmektedir ve günümüz inşaat sektöründe de sıklıkla kullanılmaktadır.

Günümüzde çelik yapıların tasarımı çeşitli yönetmelik ve standartlar kapsamında yapılmaktadır. Ancak, ülkemizde yürürlükte olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapımına Dair Yönetmelik'te petek kirişlere ait doğrudan bir atıf bulunmamaktadır. Bu durum petek kirişlerin modellenmesi konusunda bazı belirsizlikler yaratmaktadır.

Bu konuyu irdelemek amacıyla, ülkemizde sıklıkla kullanılan petek kiriş imalat ölçüleri, farklı birleşim ve yükleme durumları dikkate alınarak petek kiriş örnekleri düzenlenmiştir. Bu örneklerde, farklı modelleme teknikleri kullanılarak yükleme altındaki davranışlar incelenmiştir. Bu amaçla, petek kirişler sabit enkesitli çubuk, değişken enkesitli çubuk ve kabuk eleman olarak modellenmiştir. Örneklerde kirişler, modelleme teknikleri, yük-deplasman ilişkileri açısından birbirleri ile karşılaştırılıp farklılıklar incelenmiştir.

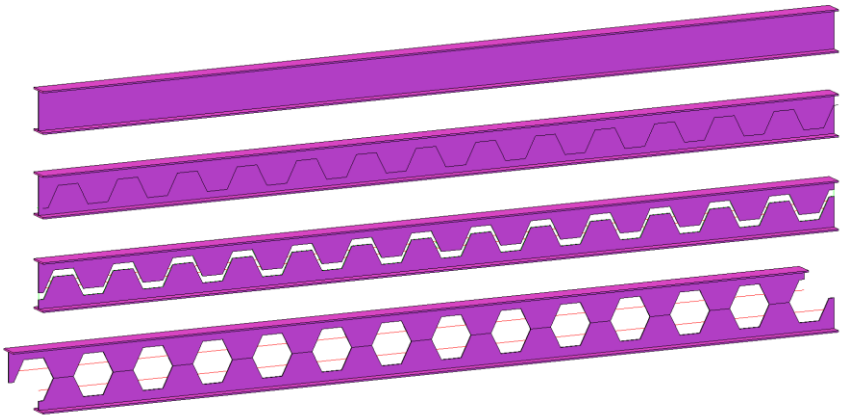
Anahtar Kelimeler: petek kiriş, sonlu elemanlar, modelleme, çelik yapılar

1.GİRİŞ

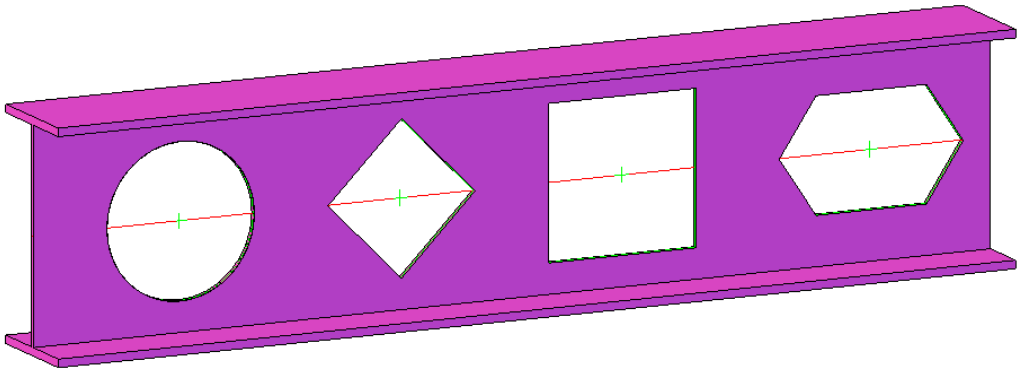
Çelik petek kirişler, gövdesinden belirli bir desen ile kesilerek kesit yüksekliği arttırılan kirişlerdir. Petek kiriş imalatı, bir çelik profilin gövdesinin istenilen desen ile kesilip, oluşan desen izi ile yeniden kaynaklanması şeklinde üretilmektedir. Kesim deseni, arzu edilen görüntü ve imalat tercihine yönelik farklı şekilde yapılabilmektedir (Şekil 1-2). Bu sayede üretilen kirişlerin yükseklikleri, üretildiği kesitten daha yüksek olmaktadır. Aşağıda verilen Şekil 1'de petek kiriş imalat süreci gösterilmiştir.

Petek kirişlerin kullanımı tasarımlarda çeşitli avantajlar sağlamaktadır. Bunlar; ekonomi, estetik, fonksiyonellik olarak özetlenebilir. Aşağıda verilen Tablo 1'de, farklı profillerden üretilen standart petekler ve kesit özellikleri verilmiştir. Tablo 1'den de görüleceği üzere, aynı profilden üretilen kirişin atalet momentlerinde önemli artışlar görülmektedir. Bu sayede, yüksek mukavemet ihtiyaçları daha hafif profillerle sağlanabilir. Peteklerde açılan desenler, çeşitli estetik amaçlarla düzenlenebilir ve bu boşluklar, çeşitli tesisat sistemlerinin montajını kolaylaştırabilir. Bu özellikleri sayesinde petek kirişler günümüzde endüstriyel yapılar, çatılar, opera salonları ve çatı gibi büyük açıklıkların geçildiği yapılarda sıklıkla tercih edilmektedir.

Modern yapı tasarımlarında taşıyıcı sistemin tasarımı çeşitli yönetmelikler çerçevesinde gerçekleştirilmektedir. Bu yönetmelikler tasarımcıyı yönlendirmekle beraber, belirli sınırlar altında çalışmakla da sınırlamaktadır. Bu sınırlar ise literatür bilgisine dayanmakta olup, tasarımcıyı güvenli tarafta tasarlamaya yönlendirmektedir ve tasarımın belirli bir referansa dayanması anlamında da önemlidir. Günümüzde çelik yapı tasarımında çeşitli yönetmelikler bulunmaktadır. Ülkemizdeki örnekleri olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği (TBDY18) [1] ve Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Esaslar (TÇY16) [2] gösterilebilir. Ancak bu yönetmeliklerde petek kiriş tasarımına dair bir ifade bulunmamaktadır. Benzer durum uluslararası yönetmeliklerde de geçerlidir [3]. Petek kirişler, yönetmeliklerde kendine yeterli yer bulamamış olup, bu durum petek kiriş tasarımlarında belirsizlikler yaratmaktadır. Kesitin değişkenliği de göz önüne alındığında elemanın narinliği, kompaktlığı, eğilme ve kesme taşıma kapasitelerinin nasıl hesaplanabileceği önemli hale gelmektedir. Dahası, petek kirişlerin yapısal tasarımlarda nasıl modellenebileceği büyük bir tereddüt oluşturmaktadır.



Şekil 1. Petek Kiriş İmalatı



Şekil 2. Petek Kirişlerde Desen Türleri (Sırasıyla dairesel, kare, dikdörtgen, çokgen…)

Tablo 1. Altıgen Desen Peteklerde Kesit Özellikleri

Profil	h (mm)	b (mm)	t_w (mm)	t_f (mm)	A (cm^2)	I (cm4)	Kg/m
IPE300	300	150	7.1	10.7	53.8	8356	42.2
Petek-IPE300	450	150	7.1	10.7	43.2	19411	42.2
HEA300	290	300	8.5	14	112.5	18263	88.3
Petek-HEA300	435	300	8.5	14	100.2	42724	88.3
HEB300	300	300	11	19	149.1	25166	117
Petek-HEB300	450	300	11	19	132.5	59416	117

Petek kirişler üzerine güncel literatür çalışmaları sınırlı olup çalışmalar; desenlerin mukavemet özelliklerine göre optimizasyonu, petek kirişlerin narinlikleri, sonlu elemanlar yöntemi ile lokal etkilerin incelenmesi üzerine yoğunlaşmaktadır [4, 5, 6, 7, 8].

Bu nedenler sonucunda, petek kirişlerin analiz ve tasarımlarda uygun olarak modellenmesi üzerine bir inceleme gerçekleştirilmiştir. Çalışmada referans olarak IPE300 hadde profil referans alınmış olup, kesit özellikleri Tablo 1'de verilmiştir. Altıgen desen ile oluşturulan örnek bir IPE300 petek detayı oluşturularak farklı yöntemlerle analizleri gerçekleştirilmiştir. Altıgen petek deseni, Şekil 3'te verilmiştir. 6 m uzunluğundaki petek kiriş; çubuk eleman, değişken kesitli çubuk ve kabuk olarak modellenmiştir. Analizler, mafsallı ve rijit uç kabullerine uygun olarak iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Modeller, kirişlerde akmaya kadar yüklenerek taşıma güçleri ve deplasmanları kıyaslanmıştır.

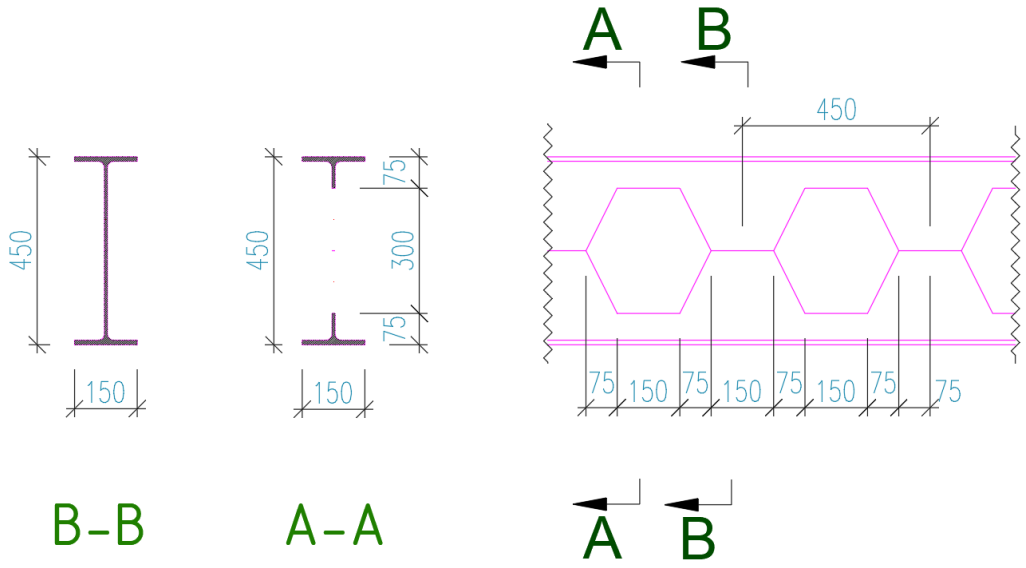
2.**MODELLEME**

Çalışma kapsamında IPE300 petek kiriş 2 mesnet ve 3 model olmak üzere toplam 6 farklı şekilde modellenmiştir. Çubuk modelde kiriş kesiti sabit olup, açıklık ortasında noktasal yüklemeye maruzdur. Statik analiz için mesnet idealleştirmesi, çubuk ucunda serbestlik kısıtı şeklinde verilmiş olup mafsallı birleşimde deplasmanlar kısıtlanmıştır. Rijit mesnette deplasmanlara ek olarak dönmeler de kısıtlanmıştır. Kesit olarak boşluklu kesit dikkate alınmıştır.

Değişken kesit modellemesinde kiriş boyunca peteğin boşluklu ve dolu kısmı düzenli olarak değişecek şekilde dikkate alınmıştır. Bunun için imalat ölçülerince 450 mm boyunca düzenli olarak kesit boşluklu ve dolu olarak değişmektedir. Kesitin dolu ve boş parametreleri aşağıda Tablo 2'de verilmiştir. Kesit değişimi doğrusal olarak dikkate alınmıştır.

Kabuk modelde tüm sistem, başlık ve gövde kalınlıkları ve tüm imalat detayı dikkate alınmak üzere ince kabuk olarak modellenmiştir. Mesnet detayı idealizasyonu, kabuk uc düğümleri üzerinden yapılmıştır. Mafsallı mesnet için yanlızca gövde düğümlerinin deplasmanları kısıtlanmıştır. Rijit mesnet detayında ise mesnet yüzündeki tüm düğümlerin deplasmanları kısıtlanmıştır.

Tüm modellemeler, SAP2000 [9] aracılığıyla yapılmıştır. Malzeme kalitesi olarak S275 sınıfı kabul edilmiştir.



Şekil 3. Petek Kiriş Kesitleri ve Desen Ölçüleri

Tablo 2. Petek Kirişin Boş (A-A) ve Dolu (B-B) Kesit Özellikleri

Profil	IPE300	IPE300 Petek – Dolu Kesit	IPE300 Petek – Boş Kesit
Alan (cm^2)	53.8	64.5	43.2
Atalet Momenti (cm^4)	8356	21008	19411

3.Analiz

Yapılan analizler sonucunda bulunan nihai yük ve deplasman ilişkileri aşağıda Tablo 3 ve Tablo 4'te verilmiştir.

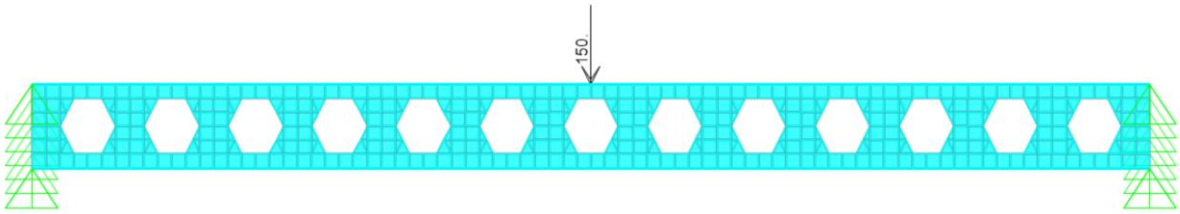
Tablo 3. Analiz Sonuçları – Taşıma Gücü

Modeller/Birleşimler	Mafsallı	Rijit
Çubuk	135 kN	275 kN
Değişken Kesitli Çubuk	125 kN	275 kN
Kabuk	135 kN	150 kN

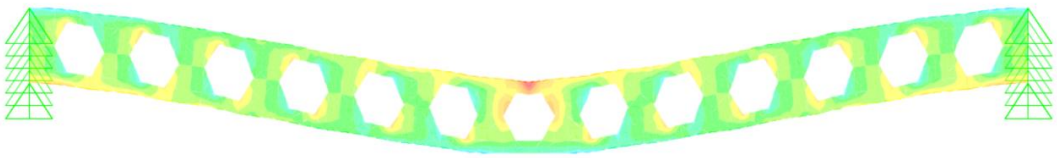
Tablo 4. Analiz Sonuçları - Deplasmanlar

Modeller/Birleşimler	Mafsallı	Rijit
Çubuk	15.7 mm	7.98 mm
Değişken Kesitli Çubuk	18 mm	10.98
Kabuk	9.38 mm	7.45 mm

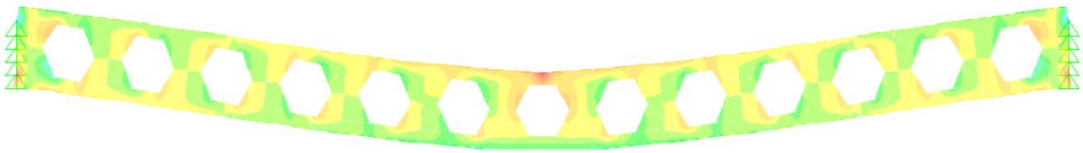
Çalışma sonucu itibariyle rijit mesnetli modeller mafsallı çözümlere göre daha yüksek yük taşımaktadır ve daha az deplasmanlara sonuç vermiştir. Ancak, çalışma sonuçları modeller arasında farklılıklar göstermiştir. En fazla yük sabit enkesitli çubuk modellemesinde görülmüştür. Buna karşılık değişken enkesitli çubuk modellerinde deplasmanlar artarken yükler neredeyse aynı kalmaktadır. Kabuk model ise taşıma gücü ve deplasman olarak diğer modellerden daha düşük sonuç vermiştir. Bu durumun temel sebebi lokal etkiler olarak açıklanabilir. Yükleme açıklık ortasından yapılmış olup, tekil yük boş enkesite denk gelmektedir (Şekil 4). Bu nedenle sabit enkesitli çubuk modelinde narinlik etkisi, diğer modellerde etkili olmuştur. Kabuk modelde lokal etki diğer modellere göre çok daha yüksek etki yapmış olup, yer değiştirme sonuçları daha çok mesnet detayı ile ilgilidir. Birleşimlerin mafsal ya da rijit olması bir kabul olup, gerçekte birleşimler mafsal-rijit arası bir davranış göstermektedir [10]. Kabuk modellemede, birleşim rijitliği çubuk modellere göre geometrik olarak daha gerçekçi olmaktadır (Şekil 5-6). Bu durum sonucunda birleşim etkileri ile deplasmanlar azalmaktadır.



Şekil 4. Yükleme Düzeni



Şekil 5. Rijit Mesnetli Kabuk Modeli



Şekil 6. Mafsallı Kabuk Modeli

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Petek kirişler, değişken kesitleriyle yükleme ve mesnet durumuna bağlı olarak lokal etkilere maruzdur. Bu lokal etkiler özellikle mesnet detaylarında ve boşluklu kesitlerinde öne çıkmaktadır. Lokal yük etkilerinin bulunması halinde kiriş narinliği taşıma gücünde ve deplasmanlarda etkili olmaktadır. Mesnet detayları ise yalnızca kabuk modellerle dikkate alınabilmiştir. Petek kirişlerin kullanım alanlarının yaygınlığı da dikkate alınırsa, kiriş imalat yöntemleri, birleşim detayları ve modellemeleri üzerine çalışmaların arttırılıp uygulama sınırlarının çizilmesinde büyük önem bulunmaktadır. Modeller arası sonuçların farklılığı göz önüne alındığında, petek kirişlerin modellenmesi ve analizleri üzerine çalışmalar, yapı tasarım yönetmeliklerinde de kendine daha fazla yer bulması gerektiği söylenebilir.
Günümüzde petek kirişler sıklıkla moment çerçevelerde sünek yapı elemanı olarak tasarlanmaktadır. Bu kapsamda petek kirişlerin imalat ve birleşim detayları çerçevesinde süneklik talepleri üzerine çalışmaların artması gerekmektedir. Benzer şekilde petek kiriş imalatlarının süneklik gereksinimleri açısından kompaktlıkları irdelenmelidir.

REFERANSLAR

[1] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T. C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.
[2] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017.
[3] Fares, S., Coulson, J., Dinehart, D. (2016). Castellated and Cellular Beam Design. American Institute of Steel Construction.
[4] Jamadar, A. M., Kumbhar, P. D. (2015). Parametric Study of Castellated Beam with Circular and Diamond Shaped Openings. International Research Journal of Engineering and Technology, 2(2), 715-722.
[5] Shaikh, A. S., Aher, H. R. (2015). Structural Analysis of Castellated Beam. International Journal on Recent Technologies in Mechanical and Electrical Engineering, 2(6), 81-84.
[6] Jamadar, A. M., Kumbhar, P. D. (2014). Finite Element Analysis of Castellated Beam: A Review. International Journal of Innovative Research in Advanced Engineering (IJIRAE), 1(9), 125-129.
[7] MR, Wakchaure, Sagade, AV., Auti, V. A. (2012). Parametric Study of Castellated Beam with Varying Depth of Web Opening. International Journal of Scientific and Research Publications, 287.
[8] Morkhade, S. G., Gupta, L. M. (2019). Behavior of Castellated Steel Beams: State of the Art Review. Electronic Journal of Structural Engineering, 19, 39-48.
[9] CSI SAP2000, Computers and Structures Inc., 2024.
[10] Çelik, H. K., Şakar, G. (2022). Semi-rigid Connections in Steel Structures: State-of-the-Art Report on Modelling, Analysis and Design. Steel and Composite STructures, 45(1).