ÇELİK YAPILARIN BİRLEŞİM RİJİTLİĞİNE GEOMETRİNİN ETKİSİ

Gökhan. Şakar

İnşaat Mühendisliği, Dokuz Eylül Üniversitesi

İzmir, Türkiye

gokhan.sakar@deu.edu.tr

Hüseyin Kürşat. Çelik

İnşaat Mühendisliği, İzmir Ekonomi Üniversitesi

İzmir, Türkiye

kursat.celik@izmirekonomi.edu.tr

ÖZET: Çelik yapılar, genellikle yüksek süneklik kapasitesine sahip, narin elemanlarla oluşturulmuş ve rijitliği yüksek yapılar olup prefabrike doğası nedeniyle atölye imalatlarının şantiyede montajıyla inşa edilmektedir. Bu süreç, birleşimlerin kontrol altında yapılmasını sağlar ve yapı tasarımının yüksek teknik bilgi ve beceri gerektirmesine yol açar. İmalat ve montaj süreçlerine uygun tasarımlar, daha verimli ve kontrollü yapılar inşa edilebilmesinin bir ön koşuludur. Bu bağlamda, kaynak ve delik açma gibi metalurjik yapıda değişikliğe sebep olabilecek işlemlerin minimum seviyede tutulması, şantiye kaynağından kaçınılması gibi genel prensipler, çelik yapı tasarımının imalata uygunluğunu sağlamaktadır.

Kolon-kiriş birleşim detayları, özellikle rijitlik, süneklik ve dayanım açısından kritik rol oynamaktadır. Bu birleşimler için çelik yapı uygulamalarında genellikle literatürde birçok kez çalışılmış, iyi bilinen detaylar kullanılmaktadır. Ancak bu detaylar, imalat ve montaj süreçleri açısından her zaman en verimli çözüm olmayabilir. Yeni birleşim detaylarının geliştirilmesi ile montaj ve imalat kolaylığı da sağlayan alternatif çözümler elde edilebilir. Kirişlerin kolonların alnına montajlanması gibi yöntemler montajı kolaylaştırırken, elemanların yük taşıma kapasitesini de optimize edebilir. Buna karşın yaygın olmayan birleşim detaylarının kullanılması statik belirsizliklere yol açabileceğinden, literatür ve yönetmeliklere olan uygunluğu önemlidir.

Bu çalışmada, yaygın kullanılan kolon-kiriş birleşimleri için alternatif bir birleşim detayı tasarlanmıştır. Farklı kolon-kiriş birleşim detayları sonlu elemanlar yöntemiyle analiz edilerek rijitlik, dayanım ve süneklik açısından değerlendirilmiştir. Sonuçlar, çelik yapı tasarımında daha güvenli ve verimli birleşim çözümleri için önemli çıkarımlar sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: çelik yapılar, endüstriyel yapı, birleşim, sonlu elemanlar

1. GİRİŞ

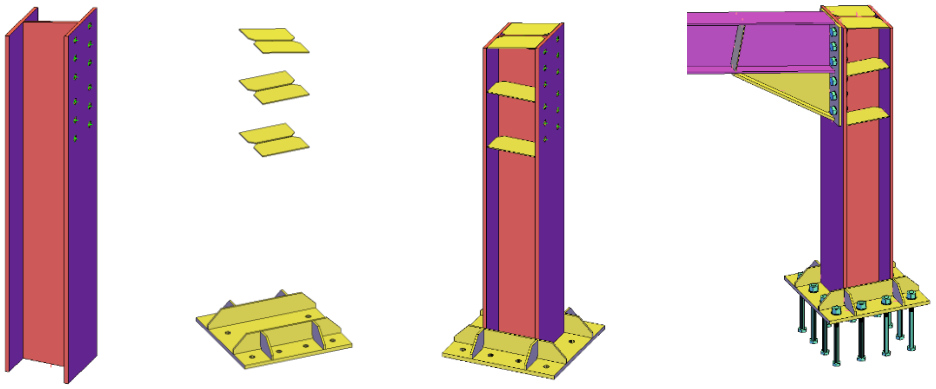
Çelik yapılar genelde narin elemanlarla teşkil edilen yüksek süneklik kapasitesine ve rijitliğe sahip yapı türleridir. Prefabrik doğası gereği çelik yapılar genelde atölye imalatlarının şantiyede montajı ile gerçekleştirilmektedir. Bu özelliği sayesinde yapı elemanlarında birleşim detaylarına ait pek çok işlem atölye ortamında kontrollü bir şekilde gerçekleştirilebilir. Buna bağlı olarak yapı tasarımının tüm işlemleri yüksek teknik bilgi ve beceri ile yapılmasını gerekli kılar. Bu husus mukavemet ilkelerinden ayrı olarak düşünüldüğünde, bir çelik yapının imalata ve montaja uygun olarak tasarlanması da büyük önem arz etmektedir. İmalata uygun tasarlanmış bir yapı çok daha kontrollü ve yüksek verimle tamamlanıp teslim edilebilir.

Bir çelik yapı tasarımının imalat ve montaja uygun olmasına yönelik çeşitli genel çıkarımlar yapılabilir. Bunlar özetle kaynak ve delik açma gibi metalurjik yapıda değişime sebep olacak işlemleri gereken minimum seviyede tutmak, şantiye kaynağından zorunlu haller dışında kaçınmak, dolgu harcı kullanmak, yapma profillerden kaçınıp hadde ürünler kullanmak gibi özetlenebilir. Tüm bu hususlar yapılan ön tasarımdan yüksek oranda etkilenmektedir. Ön tasarım aşamasında yapıda kullanılması düşünülen birleşim detayları, imalat, montaj, nakliye, tedarik gibi imkanlar göz önüne alınarak yapılırsa uygun bir yapı tasarım süreci yürütülebilir [1].

Çelik imalatında çeşitlilik ve kolaylık, arzu edilmeyen bir detayı idealleştirebilmek için tasarımcıya büyük imkanlar vermektedir. Zahmetli ve maliyetli olabilecek büküm ya da açı kesim gibi işlemlerin ön tasarımı hadde ürünlerle yapılmış olsa da sacdan yapma bir profille bu işlemleri gerçekleştirmek daha kolay olabilir. Çok parçalı bir yapma enkesit hadde ürünler ile idealize edilerek kaynak işlemi azaltılabilir. Eleman bazında yapılan bu işlemler birleşim geometrisine de uygulanabilir olup yapının inşa sürecini olumlu yönde etkileyebilir. Bu hususta en çok dikkat çeken detaylar kolon-kiriş birleşimlerdir.

Kolon-kiriş birleşimleri genelde kolon başlığında delik hazırlığı ve kiriş alnında plaka kaynağı ile yapılıp şantiyede bulon ile montajlanması şeklinde yapılmaktadır (Şekil 1). Birleşimin rijitlik gereksinimine göre detaylar çeşitlendirilebilir. Örneğin rijit bir birleşim detayında kiriş alın plakasındaki bulon sayısı arttırılabilir. Bu durumda kolonda açılacak delik sayısı da artış gösterir. Dahası, açılan her delik kolon kesitinde süreksizliğe neden olur. Olası bu uğraşların yanı sıra montaj işlemi de zahmetlidir. Özellikle rijit detaylarda çok fazla sayıda bulon torklama işlemi gerekmektedir. Ayrıca montaj aşamasında elemanları gönyelemek için de önlemler almak gerekmektedir. Bu hususun çözümü için özellikle tek katlı yapılarda birleşim geometrileri değişmeye başlamıştır. Sanayi yapısı, batar kat gibi tek katlı yapılarda revaçta olan bu yöntem, kirişlerin kolonların üstüne montajlanması şeklinde alternatif bir çözüm haline getirilmiştir. Bu yöntemin çeşitli avantajları olup hadde profilde delik açılmaması ve birleşimin geometrisi gereği elemanların birleşim araçlarında kesme ve eğilme ile değil eksenel kuvvet ve eğilme altında davranmaya zorlanmasıdır. Montaj işlemi de nispeten daha kolaydır. Kirişlerin kolon alnına hizalanması doğal mesnet oluşturacağı için kotlar ve birleşim araçları daha kolay ayarlanabilmektedir. Ancak bu yöntemin tercih edilmesi de peşinde soru işaretleri getirmektedir. Çelik yapı birleşimleri rijitlik, dayanım ve süneklik açısından incelenmelidir. 20.yüzyıl ile başlayan bu süreç günümüzde büyük bir literatüre sahip olup bu geometrik düzenler üzerine yapılmış çalışma sayısı kısıtlıdır [2]. Bunun doğal sonucu olarak Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde geçerliliği analitik ya da deneysel yöntemlerle kanıtlanmış detayların kullanılması hakkında ifadeler bulunmaktadır [3]. Ancak özellikle birleşim rijitliğinin nasıl hesaplanacağına dair yönlendirme bulunmamaktadır. Bu durum Çelik Yapıların Hesap, Tasarım ve Yapımına Dair Yönetmelik için de geçerlidir [4]. Eurocode 3 ve AISC gibi yaygın başvurulan yönetmeliklerde birleşim rijitliklerinin hesabına yönelik ifadeler bulunsa da literatür bilgisini tam

anlamıyla aktarmamaktadır [5-6]. Dolayısıyla, alışılmışın dışında birleşim detaylarının kullanılması statik açıdan belirsizlik barındırmaktadır.



Şekil 1. Kolon-Kiriş Birleşimleri ve İmalat Süreci(sırasıyla kolon parça detayı, plaka parça detayları, imalatın tamamlanması ve sahada montaj işlemi)

Bu soruna çözüm üretmek için kolon-kiriş birleşimleri üzerine yapılabilecek alternatif geometrik düzenlemeler yazarlar tarafından çalışılmıştır. Bu amaçla seçilen kolon-kiriş seti için rijit ve mafsallı olarak toplam 4 farklı detay üretilmiştir. Bu detaylar sonlu elemanlar yöntemi ile modellenerek, birleşim göçmeye kadar zorlanmıştır. Bunun sonucunda birleşimlerin moment-dönme ilişkileri belirlenerek rijitlik ve dayanımları açısından çıkarımlar yapılmıştır.

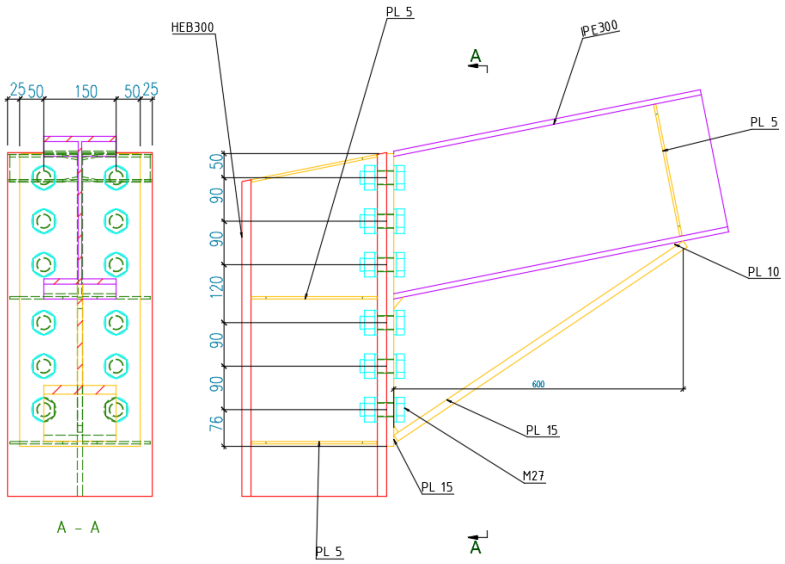
2. MALZEME VE YÖNTEM

Çalışma kapsamında çelik yapılarda sıklıkla kullanılan bir kiriş-kolon seti referans alınmıştır. Kolon-kiriş birleşimi için mafsallı ve rijit olmak üzere toplam 4 farklı birleşim detayı şeklinde tasarlanmıştır. Alternatif detaylar üretilirken; montaj ve imalat kolaylığı sağlamak hedeflenmiş olup daha az kesme, delik açma, kaynak işlemleri gerektirecek şekilde tasarlanmıştır. Birleşimler, geometrik ve malzeme doğrusalsızlıkları da dikkate alınarak kapasite yükleri altında test edilmiştir. Bu yük altında birleşimlerin yük taşıma kapasiteleri ve rijitlikleri değerlendirilmiştir. Aşağıda verilen Tablo 1'de birleşim setleri verilmiştir. Birleşim detayları Şekil 1'de verilmiştir.

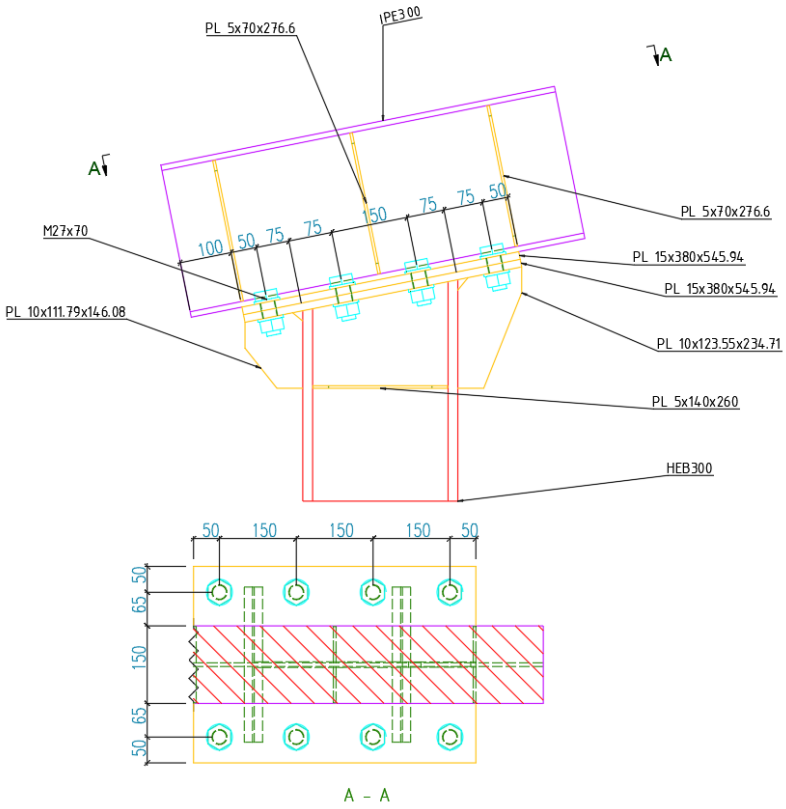
Tablo 1. Birleşim Setleri

Kolon – Kiriş	Bağlantı türü	Birleşim	No
HEB300 – IPE300	Kolon başlığı	Rijit	R1
HEB300 – IPE300	Kolon başlığı	Mafsallı	M1
HEB300 – IPE300	Kolon üstünde	Rijit	R2
HEB300 – IPE300	Kolon üstünde	Mafsallı	M2

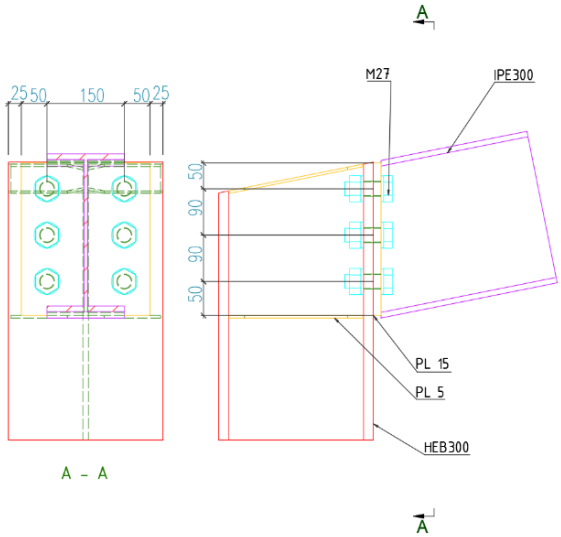
Çalışmada çelik elemanlar kabuk olarak modellenmiştir. Bulon ve kaynak gibi birleşim araçları modelde serbestlik kısıtlaması ile dahil edilmiştir. Çelik malzeme modeli elastik kusursuz plastiktir. Malzeme ve geometrik doğrusalsızlıkları dikkate alınmıştır. Analizler, Idea Statica yazılımı ile gerçekleştirilmiştir [7].



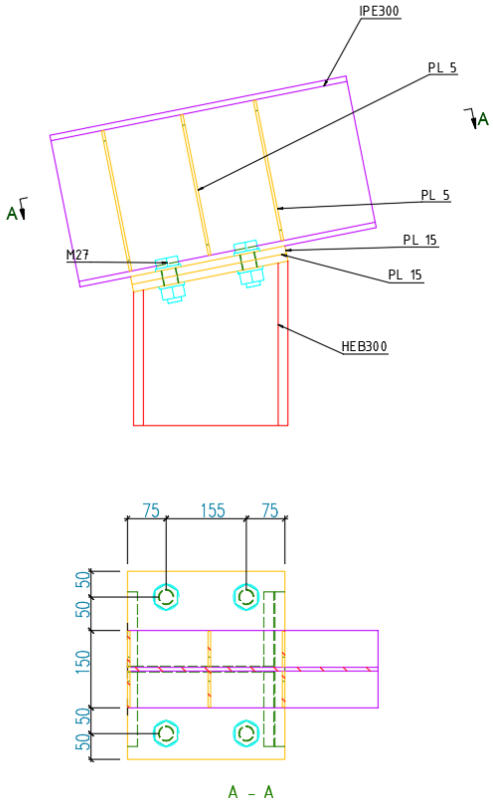
Şekil 1.a. R1 Birleşim Detayı



Şekil 1.b. R2 Birleşim Detayı



Şekil 1.c. M1 Birleşim Detayı



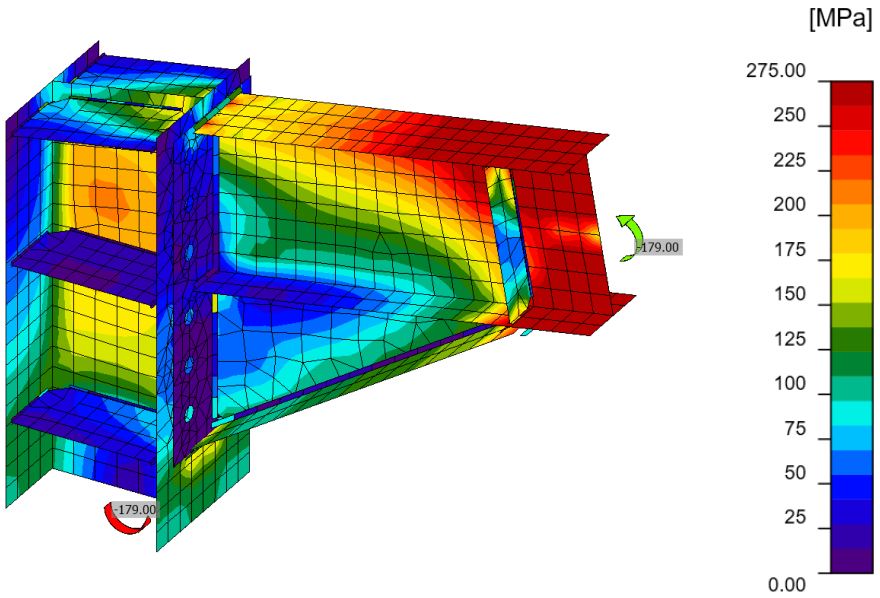
Şekil 1.d. M2 Birleşim Detayı

3. SONUÇLAR

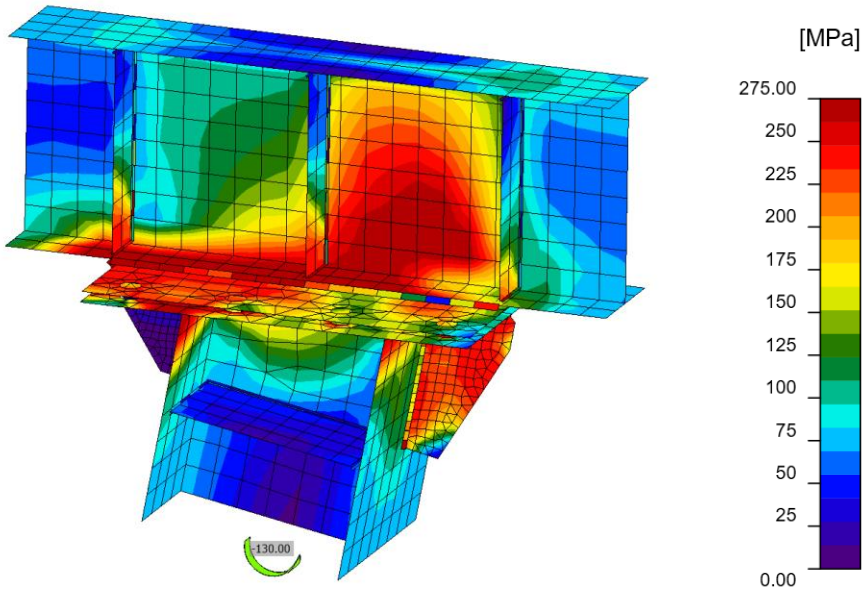
Analizler sonucunda birleşim taşıma güçleri ve birleşim sınıfları aşağıda tablo halinde verilmiştir. Gerilme dağılımları, aşağıda Şekil 2'de verilmiştir.

Tablo 2. Analiz Sonuçları

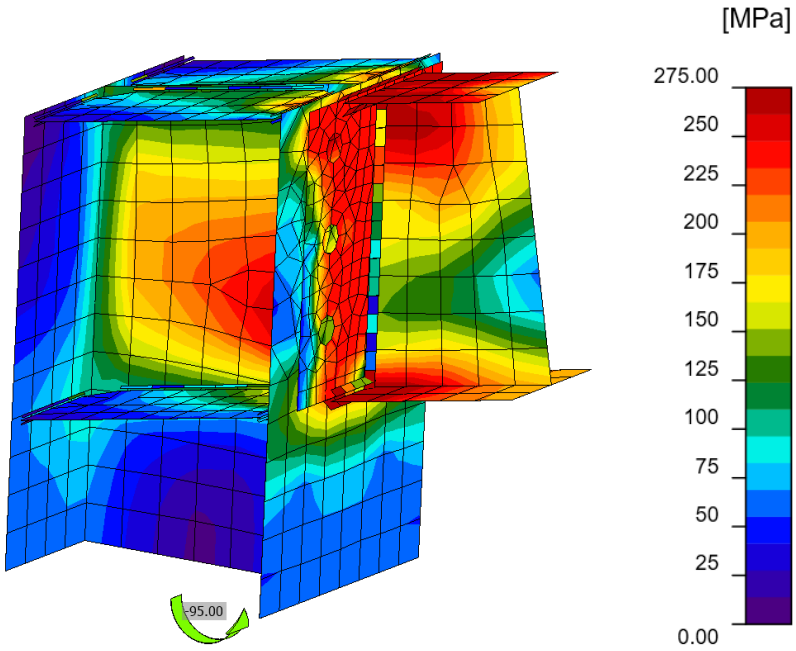
Birleşim Detayı	Taşıma Gücü (kN*m)	Birleşim Sınıfı
R1	180	Rijit
R2	130	Yarı Rijit (k = 15000 kNm/rad)
M1	95	Yarı Rijit (k = 13500 kNm/rad)
M2	70	Yarı Rijit (k = 5000 kNm/rad)



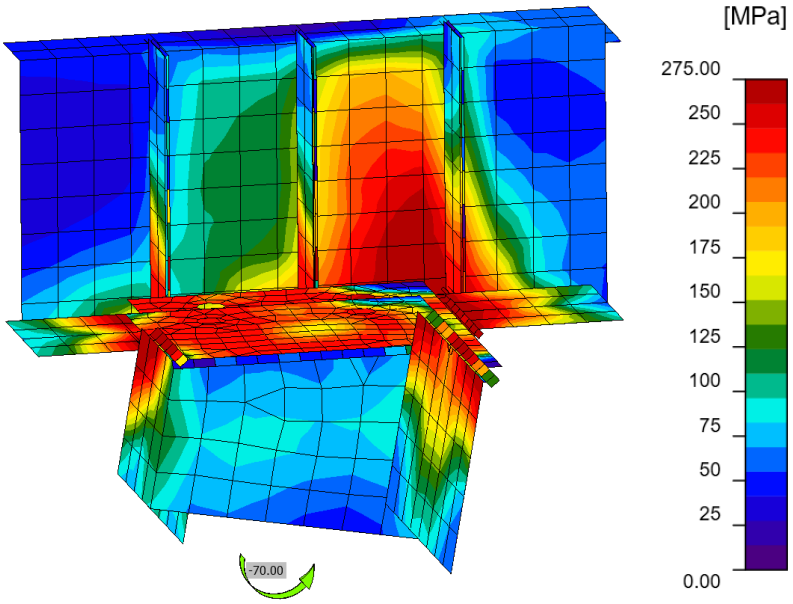
Şekil 2.a. R1 Gerilme Dağılımı



Şekil 2.b. R2 Gerilme Dağılımı



Şekil 2.c. M1 Gerilme Dağılımı



Şekil 2.d. M2 Gerilme Dağılımı

Yapılan analiz sonuçlarına göre kolon başlığında oluşturulan birleşim detayları kolon üstünde oluşturulan detaylardan daha rijit olmaktadır. Kolon başlığında oluşturulan detaylarda gerilmeler kolon temas bölgelerinde düşük kalırken kirişte yoğunlaşmaktadır. Buna karşın kolon üstünde oluşturulan detaylarda gerilme yığılmaları temas bölgelerinde yoğunlaşmaktadır. İmalat, montaj süreci ve malzeme gideri olarak kolon üstünde oluşturulan detaylar daha ekonomik sonuçlar verirken, kolon başlığında oluşturulan detaylar daha elverişsizdir.

Çalışma sonuçları çerçevesinde, birleşim tasarımında geometrinin davranışa önemli etkileri olduğu çıkarımı yapılabilir. Sonuçlar bir optimizasyon problemi olarak ele alınabilir. Kolon başlığında oluşturulan detaylar mekanik açıdan daha etkin olsa da uygulama zorlukları olarak dezavantajlara sahiptir. Buna karşın kolon üstünde oluşturulan detayların uygulama kolaylığı göze alındığında, istenilen birleşim rijitlik, dayanım, süneklik taleplerine uygun olarak tasarlanabilir. Bu hususlar çerçevesinde önemli çıkarımlardan diğeri, birleşim tasarımında rijitlik ve dayanım sınırlandırmalarının yönetmeliklerde detaylandırılması gerekmektedir. Yapının tasarım gerekleri ve sınırları yönetmeliklerde daha net bir şekilde sınırlandırılması halinde detaylarda çeşitliliğe gidilebilir. Yönetmeliklerde yapı analizleri genelde çerçeve modellerine atfedilmektedir. Çerçeve analizlerinde genelde rijit ya da mafsal kabulü yapılarak analizler gerçekleştirilse de detayların gerçekte böyle davranmadığı aşikardır. Dolayısıyla, yönetmelik ve standartlar çerçevesinde çerçeve analizlerinde de birleşim rijitliğinin dikkate alınabilmesine yönelik iyileştirmeler yapılması önerilmektedir.

REFERANSLAR

[1] Detailing for Steel Construction, 3. Baskı, American Institute of Steel Construction, 2009.

[2] 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).

[3] Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği, T. C. Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı, 2018.

[4] Çelik Yapıların Tasarım, Hesap ve Yapım Esaslarına Dair Yönetmelik, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı, 2017.

[5] AISC, ANSI/AISC 360-16: Specifications for Structural Steel Buildings, American Institute of Steel Construction, Chicago, IL, USA, 2016

[6] CEN, EN-1993-1-1, Eurocode 3—Design of Steel Structures, Part 1-1: General Rules and Rules for Buildings, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2005.

[7] Idea Statica, ver. 24.1.2.1513, https://www.ideastatica.com/