

Rijitlik Levhasız Alın Levhalarında Prying Etkiler

Fatih Yılmaz^{1*}, Yasin Onuralp Özkılıç²

¹İnşaat Mühendisliği / Fen Bilimleri Enstitüsü, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye

²İnşaat Mühendisliği / Mühendislik Fakültesi, Necmettin Erbakan Üniversitesi, Türkiye

*(fatihyilmazfthylmz@gmail.com) Başlıca yazarın mail adresi

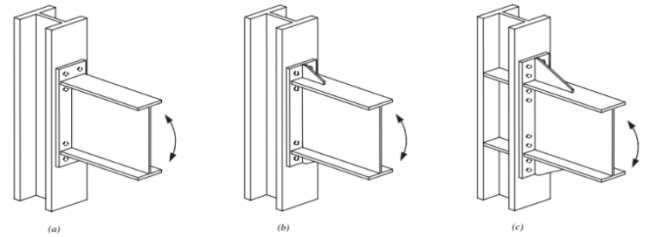
Özet – Birleşim elemanlarına uygulanan bir kuvvetin bağlantı noktasına uyguladığı çekme kuvvetinin bağlantı elemanları arasında bir prying kuvvet oluşturmaktadır. Rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı bağlantılarda uzatılan levhanın eğilme kuvvetini dengelemek için prying etkileri gereklidir. Prying etkileri cıvata boyutu, cıvata sayısı, cıvata dizilimi ve alın levha kalınlığı gibi parametrelerle değişkenlik göstermektedir. Rijitlik levhasız alın levhalarında prying etkilerinin küçük ama önemli bir yere sahip olmasından ötürü göz ardı edilmemelidir. Bu çalışmada prying etkilerinin önemini vurgulamak için araştırma yapılmıştır. Öncelikli olarak ANSI-AISC ve Eurocode yönetmeliklerin prying etkilerinin oluşma ihtimalinin hesaplanması ve oluşması durumunda parametrelerde uyulması gereken sınır durumlarına yer verilmiştir. Prying etkiler hakkında literatürde yapılmış bazı deneysel, analitik ve numerik çalışmaların sonuçları irdelenmiştir. Prying etkilerinin bağlantının göçme durumlarına dikkate alınacak bir etkisi olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler – Alın Levhası, Çelik, Bağlantı, Rijitlik Levhası, Prying Etkileri

I. GİRİŞ

Çelik yapıların sismik yükler altında iyi bir dayanım ve sünek bir davranış gösterdiği bilmekteydi. 1994'te gerçekleşen Northridge depreminden sonra hasarlı moment taşıyan çelik çerçevesel yapılar incelenmiştir. Bu inceleme sonucunda çelik yapıların beklenen aksine kiriş kolon bağlantılarının gevrek bir şekilde kırılmaları gözlenmiştir. Moment taşıyan çelik çerçevesel yapılarda kolon-kiriş birleşim yerleri üzerinde araştırmalar yapılmış ve yönetmeliklerde yerini almıştır [1]. Moment aktaran birleşimlerden biri de alın levhalı birleşimlerdir. Alın levha moment bağlantıları, Amerika Birleşik Devletleri'nde öncelikle ön mühendisliği yapılmış endüstriyel binalarda kullanılmaktadır [2]. Uzatılmış alın levha moment bağlantıları, sismik moment dirençli çerçevelerdeki kiriş-kolon bağlantıları ve eksantrik çaprazlı çerçevelerdeki değiştirilebilir bağlantı-çerçeve bağlantıları dahil olmak üzere bir dizi uygulamada kullanılır [3]. Alın levhalı moment aktaran birleşimi, kirişin ucuna alın levhası

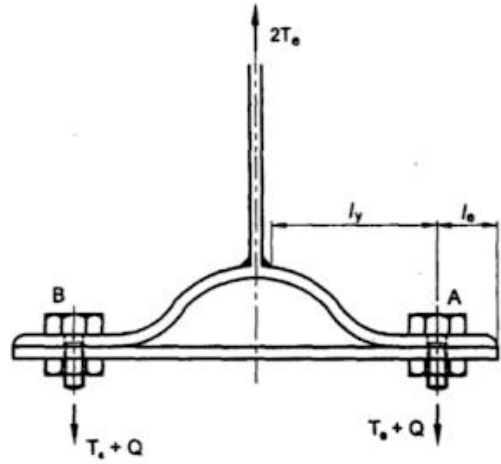
kaynaklanarak diğer yapı elemanına yüksek mukavemete sahip cıvatalarla birleşmesinden oluşur. Alın levhalı moment aktaran birleşim kiriş-kolon ya da kiriş-kiriş birleşimleri de olabilir. Alın levhalı moment aktaran birleşimler uzatılmış ve düz alın levhalı olmak üzere iki kısma ayrılır. Düz alın levhalı birleşimler de alın levhasının boyu kiriş yüksekliğine eşittir. Uzatılmış alın levhalı birleşimde ise, alın levhasının uzunluğu kirişin yüksekliğini aşarak uzatılmasını ifade eder. Bu birleşimlerin gerekliliğine göre alın levhası ile kirişin başlığı arasına rijitlik levhası (Şekil 1b,1c) ve kiriş başlıklarının hizasına kolon başlıklarının arasına süreklilik levhası (Şekil 1c) eklenerek kullanılabilir.



Şekil 1a,1b,1c: Uzatılmış Alın levhalı Moment Birleşimleri (AISC 358-10)

Şekil 1.a'da dört cıvatalı rijitlik levhasız uzatılmış alın levhalı birleşim, şekil 1.b'de dört cıvatalı rijitlik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşim, şekil 1.c'de ise sekiz cıvatalı rijitlik levhalı ve süreklilik levhalı uzatılmış alın levhalı birleşim görülmektedir. Alın levhalı moment aktaran birleşimlerin kullanımı birçok avantajı sağlamaktadır. Sahada kurulum esnasında kaynak işçiliğinin gerekliliğini kaldırmakta ve Farklı iklim koşullarında saha montajını kolaylaştırmaktadır. Alın levhalı moment aktaran birleşimlerin kullanıldığı taşıyıcı sistemlerin kurulumu kaynakla kurulan birleşimlerden taşıyıcı sistemlere göre daha hızlı ve ekonomiktir. Kaynaklı birleşimlere göre daha az rijitliğe sahip olması sebebiyle deprem yükleri altında daha sünek davranış sergilerler. Çelik taşıyıcı sistemlerin analizinde kolon-kiriş mesnet davranışı rijit veya serbest olarak idealize edilir. Ancak gerçek mesnet davranışı bu iki sınır durum arasındadır. Son yıllarda alın levhalı birleşimlerin davranışını incelemek üzere deneysel ve analitik birçok araştırma yapılmıştır [4].

Alın levhalı bağlantılarda cıvata boyutunun ve levha kalınlığının uzatılmış parçanın kenarların sonuna kadar eğrilik oluşması görülmektedir. Bu oluşan eğrilik dengelemek için prying etkiler gereklidir. Prying etkiler, alın levhadaki dağılımları ölçülememektedir. Bu etkinin konumu, büyüklüğü kolon başlığı ve alın levhası gibi alın levhasının temas yüzeylerini de bağlıdır. Ayrıca etkiyen yüke ve niteliğine göre değişiklik göstermektedir. Bu karmaşık problemde birden fazla parametrenin önemli bir etkisi vardır. Bazı araştırmacılar bu prying etkinin tasarımda dikkate alınması için belli çözümler önermiştir. Bazı araştırmacılar değerlendirmeye çalışması karmaşık çözümlere sebebiyet vermiştir. Diğer araştırmacılar tasarımındaki önemini bile kabul etmemektedir [5]. Prying etkisi, bağlantıya uygulanan yükün dışmerkezliği sebebiyle cıvatalı bağlantılara, çoğunlukla da alın levhaların olduğu birleşimlerde ek kuvvetler anlamına gelir. Alın levhalı bir bağlantı bir yüke maruz bırakıldığında, cıvataların çevresinde levhayı cıvataların etrafında döndürmeye çalışan bir moment oluşur ve bu oluşan moment cıvatalarda ve temas eden alın levhasında çekme veya basınç kuvvetlerine sebep olur. Şekil 2'de prying etkisi ve çekme kuvvetinin kombinasyonu olarak gösterilmiştir. Bu oluşan kuvvetlere prying kuvvetler denir.



Şekil 2. Prying Etkisi ve Çekme Kuvveti Kombinasyonu

Prying etkisi, bağlantı birleşiminin yapısal bütünlüğünü sağlamak için bağlantının tasarım prosedüründe dikkate alınması gereken ek kuvvetler getirir. Bu ek kuvvetler; levha gerinimleri, cıvata kuvvetleri, birleşimin mukavemeti ve rijitliği ayrıca birleşimin kapasitesini ve davranışını etkileyebilir. Prying etkisi için tasarımında uygulanacak yükün dışmerkezliğine, birleşimin geometrisine, birleşim elemanlarının rijitliğine, cıvata ve levhanın mukavemetine dikkat edilmelidir. Alın levhalı birleşimlerde prying etkisini analiz ve hesap etmek için çeşitli tasarım modelleri ve yöntemler araştırmacılar tarafından önerilmiştir. Bu önerilen yöntem ve tasarımlarda cıvata kesme ve çekme kuvvetleri, levha eğilmesi, kesme gerilmeleri, birleşimin kuvvet dağılımı ve benzer parametreleri dikkate alınmıştır.

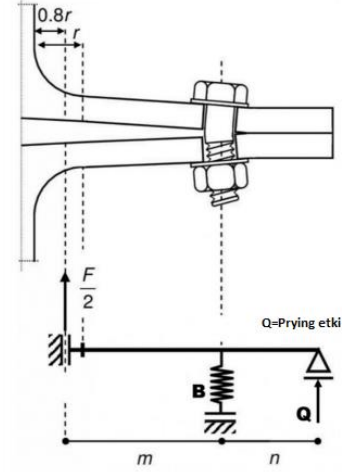
II. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada kolon bağlantı elemanlarının alın levhası ile birleşimleri deneysel olarak incelenmiştir. Momentlerin kirişlerden kolonlara düzgün bir şekilde aktarılması ve kiriş alın levhasındaki prying etkisini en aza indirilmesi için alın levha rijitliği, yüksek mukavemetli cıvataların boyutları ve yerleri belirlenmelidir. Deneysel araştırmalar, alın levhaların, geleneksel moment çerçevelerine benzer yapısal davranış sergileyerek, prying etkisi için yeterli rijitlik ve dayanıklılığa sahip olduğunu ortaya koydu. Deneysel çalışmalarda prying etkisinin tablosu Tablo 1'de gösterilmiştir [6].

Tablo 1: Deneysel Çalışmanın Prying Etkisi ile İlişkilendirilmesi [6]

Numune (Levha Kalınlığı)	Özelliği	Prying Etkisi
B1 (20cm)	Kaynaklı İnşaat demiri	Var (Yetersiz tasarım)
B2 (45cm)	Ankastre somun	Yok (Yeterli Tasarım)
B3 (20cm)	Dolgu betonu	Var (Yetersiz tasarım)
B4 (16cm)	Dolgu betonu	Var (Yetersiz tasarım)
B5 (20cm)	Doldurma levha	Var (Yetersiz tasarım)

T-profiller, çelik cıvatalı birleşimlerin davranışı hakkında araştırmaların tahmini için önemli bir birleşimdir. T profil bileşiminin davranışının benzer özelliği, T-profil birleşiminin başlığında gerçekleşen deformasyonu prying etkisi oluşmasına neden olur. Bu etki cıvatanın kuvvetinde artış ve cıvatada eğilme oluşmasına neden olabilir. Cıvata eğilmesi, T-profil birleşimlerde prying etkisini araştırmacıların göz ardı ettiği bir parametre olmuştur. Çekme ve eğilme etkisinin beraber olduğunda cıvataya zarar verebilir. Bu çalışmada T-profillerin davranışı ve prying etkisini araştırmak için deneysel, analitik ve sayısal araştırma yapılmıştır. Prying etkisi, cıvatanın eğilme ve çekme momentinin beraber etkisinden dolayı cıvatanın erken göçme oluşmasına neden olabilir. Prying etkisi çoğunlukla başlığın kenarlarında birkaç kuvvetin olduğu tahmin edilerek incelenir. Ancak bu yöntem her zaman geçerli değildir. Cıvata eğilme, prying etki ve prying etkisinin konumu ile bunların T-profillerinin davranışı üzerinde bu durumları ele alan hesapların, cıvatalı birleşimlerin daha iyi tasarımı için gereklidir. Şekil 3'te T-profil birleşimde prying etkisi gösterilmiştir [7].



Şekil 3. Başlık Kenarında Prying Etkisine Sahip T-profil Birleşim

Döngüsel ve monotonik yüklere maruz kalan dairesel cıvata düzenli rijitlik levhasız sekiz cıvatalı uzatılmış alın levha birleşiminin davranışları deneysel olarak araştırılmıştır. Alın levha kalınlığı, kolon başlık kalınlığı, cıvata çapının bağlantı performansına ve prying etkisi araştırılmıştır. Daha önce yapılmış çalışmalar, sekiz cıvatalı uzatılmış alın levha birleşiminde rijitlik levhasının çıkarılmasının ve çekme cıvatalarının dairesel bir düzende olması, bağlantının sismik performansını iyileştirdiğini ve daha kalın bir alın levha gerekli olmasına rağmen daha azalttığını sonucuna varılmıştır. Toplam prying etkisini tahmin etmek için bir kuvvet denklemi önerilmiştir. Denkleminde gösterilmiştir. Deneysel ve sonlu elemanlarda bulunan toplam prying etkisinin sonuçları Tablo 2'de gösterilmiştir [8].

$$Q_{toplam}(\%) = \left(\frac{2(B_1+B_2+B_3+B_4)-T_{max}}{T_{max}} \right) 100$$

$$Q_{toplam} = \text{Toplam prying etkisi}$$

$$B_1, B_2, B_3, B_4 = \text{Maksimum yüklemde cıvata kuvvetleri}$$

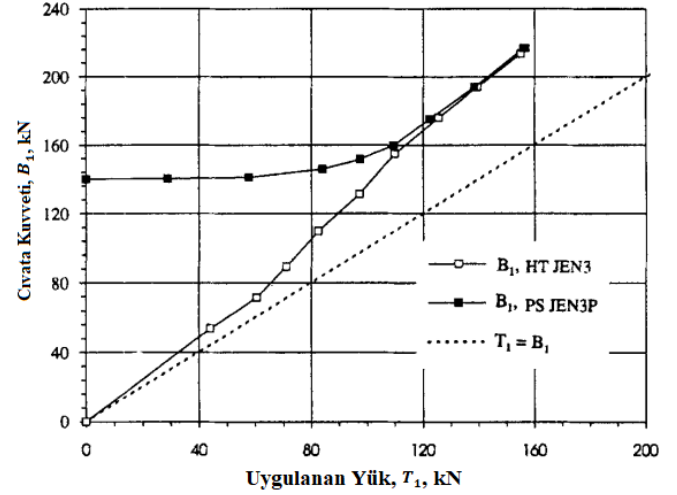
$$T_{max} = \text{Uygulanan maksimum çekme kuvveti}$$

Tablo 2: Deney ve Güç Modelinde Bulunan Toplam Prying Etkileri ve Hata Payları [8]

Numune	Toplam Prying Etkisi		
	Abaqus/ Deney	Güç Modeli	Hata (%)
M1, M2, C1 (ort)	63	66	5
M3 and C2 (ort)		83	
M4, M5, C3 (ort)	112	115	3
W18-tc	100	105	5
W18-m	131	142	8
W18-tn	131	136	4
W21-tc	155	151	3
W21-m	180	172	4
W21-tn	185	191	3
W24-tc	181	173	4
W24-m	190	182	4
W24-tn	204	211	3

III. ANALİTİK ÇALIŞMALAR

Bu çalışmada çelik cıvatalı alın levha birleşimlerinin rijitlik ve mukavemet özelliklerini analitik olarak bir elastik olmayan sonlu elemanlar modellemesiyle araştırılmıştır. Cıvata ön yüklemenin yükü, nihai yükte cıvata kuvvetini, prying etkisini ve kiriş başlığı kuvvet dağılımını etkilemez. Bununla birlikte cıvata boyutunun prying etkisi üzerinde önemli bir etkisi vardır. Alın levhanın uzatılmış kısmındaki prying etki, alın levhası kalınlığının azalmasıyla birlikte artar. İnce alın levhalar için bileşke kuvvet, cıvata levhanın serbest kenarına kadar olan toplam mesafenin 0,5-0,7'si dahilinde bulunur. Kalın alın levhalar için, levhanın köşelerine doğru hareket etmesine rağmen alın levhanın serbest kenarı boyunca yoğunlaşır. Öngermeli ve öngermeli olmayan iki birleşim için dış cıvata kuvvetinin karşılaştırıldığı Şekil 4'te gösterilmektedir [9].



Şekil 4: İlk Ön Yüklemenin Prying Etkisi Üzerindeki Etkisi [9]

Prying etkisinin tasarımda uygun bir şekilde eklemek için, el ile sıkılmış cıvatalar için prying etkisine eşit olan temas etkisini, Kiriş çekme başlığının yakınındaki alın levhanın her parçasının oranına bölünür. T_1 , alın levhanın uzatılmış kısmına iletilen cıvata başına çekme kuvvetini ifade ediyorsa, $T_1 = B_1 + C_1$ burada B_1 , dış cıvataadaki kuvvetleri ve C_1 , dış cıvataadaki kuvvetlere karşılık gelen temas kuvvetini temsil eder. Eğer T_{bf} , İki cıvatanın taşınan kiriş çekme başlık kuvvetini, yani toplam başlık kuvvetinin yarısını temsil ediyorsa, $T_2 = T_{bf} - T_1$ burada T_2 çekme başlığının altındaki cıvataya iletilen çekme kuvvetidir. El ile sıkılan cıvatalar için $C_1 = Q_1$. Prying etki oranı Q_1/T_1 , çok ince alın levha (12mm) için 0,72'den ara (25mm) alın levha için 0,22'ye düşür. İkinci cıvataya karşılık gelen oran, Q_2/T_2 , aynı eğilime sahip ancak büyüklük olarak Q_1/T_1 'den daha küçüktür. Kiriş gövdesinin rijitleştirme etkisinin alın levha kalınlığındaki artışla azaldığı düşünüldüğünde, kuvvetleri eşitleme eğilimi gösterir T_1 ve T_2 . Bununla birlikte, Süreklilik levhalı kolon birleşimi için T_1 , T_2 'yi geçmemiştir. T_1/T_{bf} , 12 mm için 0,38'den 25mm alın levha birleşimi için 0,44'e yükseldi. Kuvvet dağılımı sonuçları Tablo 3'te gösterilmiştir. Tablo 3'te yer alan JEN1, JEN2, JEN3 ve JEN4 elle sıkılmış cıvatalarla yapılan numunelerken JEN1P, JEN3P, JT12*, PM1, PM2, PM3, PM4, PM8, PM9 numuneleri ise ön gerilmeli cıvatalarla yapılmıştır.[9].

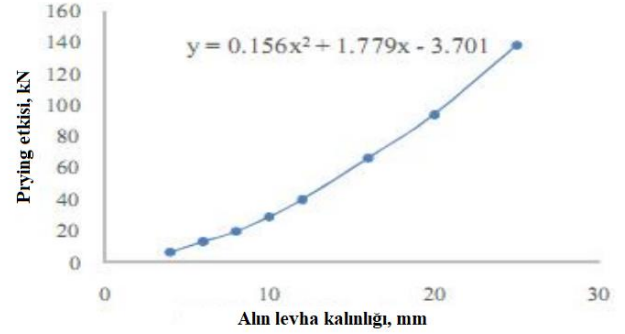
Tablo 3: Süreklilik Levhalı Kolon Başlıklı Alın Levhalı Birleşimleri için Kuvvet Dağıtım Sonuçlarının Özeti [9]

Numuneler	Alın Levha Kalınlığı	Cıvata Boyutu (mm)	M_u (kN.M)	T_1 (kN)	T_2 (kN)	T_1/T_{BF}	Q_1/T_1	Q_2/T_2
JEN1	12	20	160	101	168	0,38	0,72	,023
JEN2	15	20	200	130	206	0,39	0,53	0,11
JEN3	20	20	220	155	215	0,42	0,38	0,09
JEN4	25	20	260	193	245	0,44	0,22	0
JEN1P	12	20	160	94	176	0,35	0,68	0,23
JEN3P	20	20	230	157	231	0,4	0,38	-0,06
JT12*	15	16	80	74	88	0,46	0,63	0,41
PM1	30	16	240	125	144	0,46	0,05	0
PM2	20	16	200	34	131	0,42	0,4	0
PM3	30	24	360	188	217	0,46	0,43	0,25
PM4	20	24	300	141	196	0,42	0,69	0,37
PM8	15	24	240	98	172	0,36	0,68	0,48
PM9	12	24	200	72	152	0,32	0,69	0,64

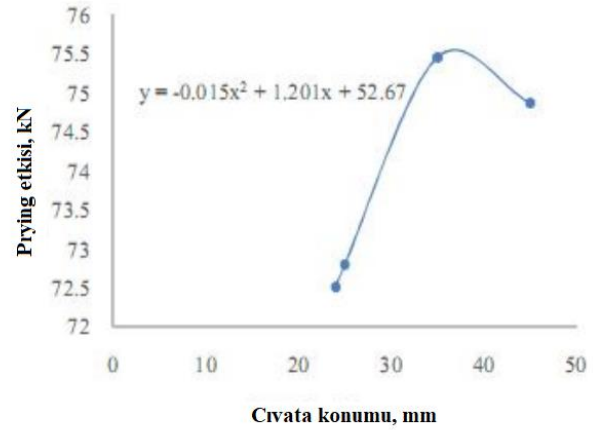
Bu çalışma kare içi boş bir kesiti bir kolona uzatılmış alın levha birleşimi ile yapılmış modelin davranışını incelemiştir. Alın levha birleşimlerini etkileyen birden fazla parametre vardır. İncelenmesi önemli olan bir parametre ise alın levhanın eğilmesine bağlı olarak ortaya çıkan ek cıvata kuvveti olan prying etkisidir. Birleşimin davranışını incelemek için sonlu elemanlar analizi kullanılmıştır. Sonlu elemanlar modeli literatürden deneysel verilerle karşılaştırılarak doğrulanmış ve kabul edilebilir hata payı ile tahmin ettiği bulunmuştur. Prying etkisinin levha kalınlığı ve cıvata konumuyla ilişkili ikinci dereceden bir fonksiyon önerilmiştir [10].

Her model için prying etkisi Q , $Q = B - B$ olarak hesaplanır. $B =$ Toplam reaksiyon kuvveti ve $N =$ Uygulanan aksenal yük. Levha kalınlığı Şekil 5'te ve cıvata konumunun Şekil 6'da prying etkisine olan etkileri gösterilmiştir. Cıvata çapının 1,2 ile 2,25 katı arasında değişen cıvata konumu, cıvata çapının 0,2 ila 1,25 katı arasında değişen levha kalınlığı için gösterilmiştir. Şekil 5'te, prying etkisinin levha kalınlığı arttıkça arttığı, fakat Şekil 6'da gösterilen cıvata konumu ile prying etkisinin

belli bir yere kadar arttığı ve sonra azaldığı görülmüştür. Bu azalma cıvataların arasındaki uzunluğun artması sebebiyle levhadaki rijitlik kaybından kaynaklanmaktadır. Kenar mesafesinin cıvata çapının iki katından büyük olması dikkate alınarak prying etkisini azaltılabileceği düşünülmektedir. Prying etkisi cıvatanın konumu ve alın levhanın kalınlığı bir fonksiyon ile aşağıda şekillerde gösterilmiştir [10].



Şekil 5: Alın Levhanın Prying Etkisi Üzerindeki Etkisi [10]



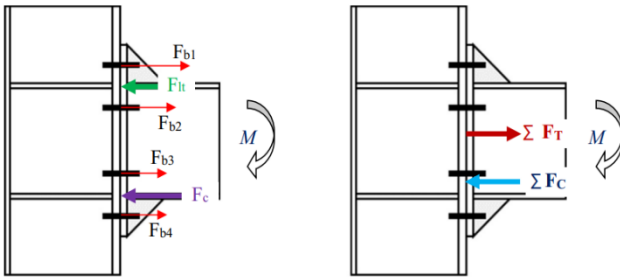
Şekil 6: Cıvata Konumunun Prying Etkisi Üzerindeki Etkisi [10]

IV. NUMERİK ÇALIŞMALAR

Bu makalede eğilme momenti etkisinde uzatılmış alın levhası ve farklı rijitlik levhalı cıvatalı kiriş-kolon birleşimlerinin davranışını incelemek amaçlanmıştır. Birleşimin davranışının yanı sıra sayısal model, cıvata kuvvetlerinin ve alın levhasıyla kolon başlığı arasında gerçekleşebilen prying etkisi de detaylı bir şekilde analiz etmek için kullanılmıştır. Rijitlik levhalı alın levhası, cıvataların aralarında daha iyi bir yük dağılımı olmasını sağlar, alın levhanın eğilme deformasyonlarında ve birleşimin çekme

bölgesindeki prying etkisinin azalmasını sağlar. Deneyde alınan verilere göre doğrulanmış sayısal modelin sonuçları, önerilen modelin cıvata yer değiştirmeleri, öngerilme etkisi ve temas bölgesinden gelen basınç ve prying etkisinin bileşkesinin gelişimi hakkında fazla veriler sağlayabildiğini göstermiştir. Ayrıca bu parametreleri ölçme yöntemiyle bulmak zordur [11].

Şekil 7, basınç bölgesindeki prying etkisinden dolayı oluşan kuvvetleri ve cıvatalarda oluşan çekme kuvvetlerini göstermektedir. Bu kuvvetler aşağıda bulunan denklemde ilişkisi kontrol edilerek karşılaştırılır [11].



Şekil 7: Cıvatalar, kuvvet kolları ve bileşke kuvvetler [11]

$$\sum F_T = \sum F_C + F_{b1} + F_{b2} + F_{b3} + F_{b4} = F_{lt} + F_C \dots$$

$\sum F_T =$ Toplam cıvata çekme kuvveti

$\sum F_C =$ Toplam cıvata basınç kuvveti

$F_{b1} =$ 1.sıranın çekme kuvveti

$F_{b2} =$ 2.sıranın çekme kuvveti

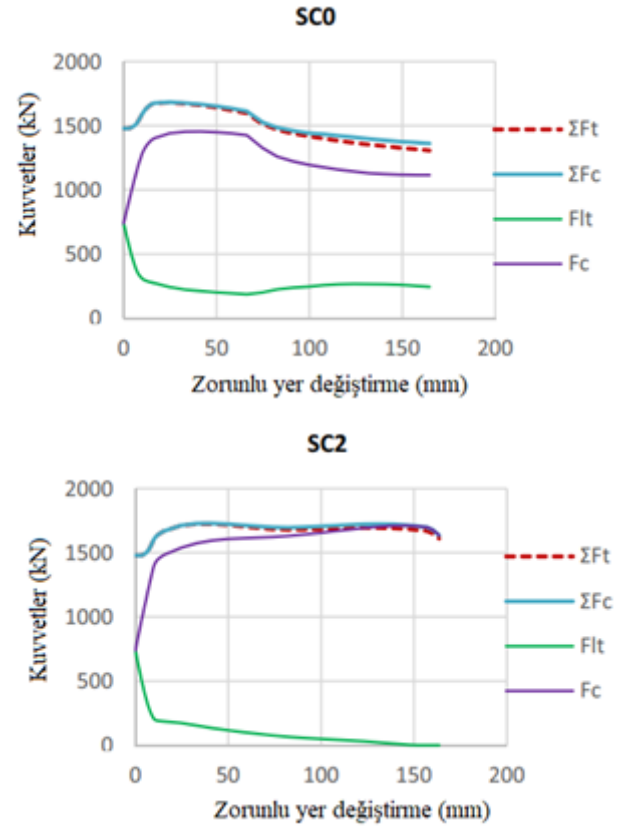
$F_{b3} =$ 3.sıranın çekme kuvveti

$F_{b4} =$ 4.sıranın çekme kuvveti

$F_{lt} =$ Çekme bölgesindeki prying etki

$F_C =$ Basınç kuvveti

Şekil 8'de SC0 ve SC2 numunelerinin eğilme momentini oluşturan kirişin serbest ucuna uygulanan yer değiştirmenin bir fonksiyonu olarak basınç ve prying etkisini göstermektedir. Basınç ve prying etkisinin sonucu cıvatalardaki kuvvetlerle dengelenir [11].



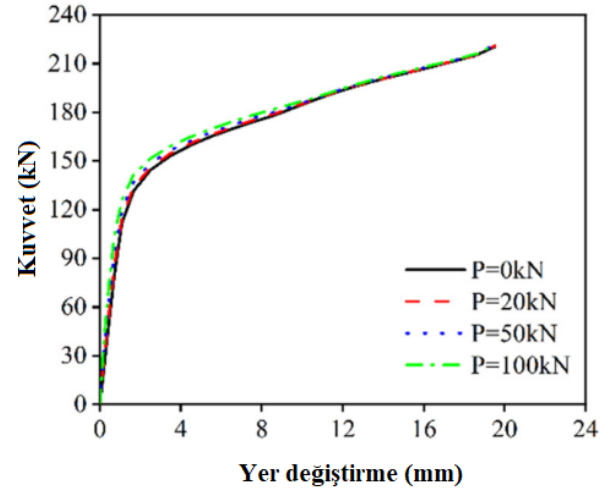
Şekil 8: Cıvata kuvvetleri ve temas kuvvetlerinin sonuçları [11]

T-profiller çelik birleşimlerinde bağlantı özelliklerini analiz etmede önemli rol oynamaktadır. Bu çalışmada T-profillerin davranışını 6 deneysel ve 18 sonlu elemanlar yöntemiyle modeller motonik çekme yükü altında göçme modları ve süreci incelenmiştir. Rijitlik levhalı ve rijitlik levhasız olarak karşılaştırılmıştır. Rijitlik levhasız durumda başlık kalınlığı ve boyuna mesafe oranı azaldıkça cıvatanın aksel kuvveti, prying etkisi ve eğilme momenti o kadar büyük olur. Başlık kalınlığı 12mm'den 20mm'ye çıkarıldığında rijitlik levhasız durumda prying etkisi %26 azalırken, rijitlik levhalı durumda ise %58,1 azalmıştır. Rijitlik levhasız durumda oluşan prying etkisi cıvata kuvvetini %20'si olarak gözlenir. Rijitlik levhasının düzeni bu durumu %10'dan daha aza düşürebilir. Rijitlik levhasının kullanımı prying etkisi ve eğilme momentini azalttığı göstermiştir. Fakat prying etkisi ve eğilme momentini denge durumuna getirmek oldukça zordur. Tasarımda prying etkisi ve eğilme momentinin taşıma kapasitesinde etkisi dikkate alınacak kadar önemlidir [12].

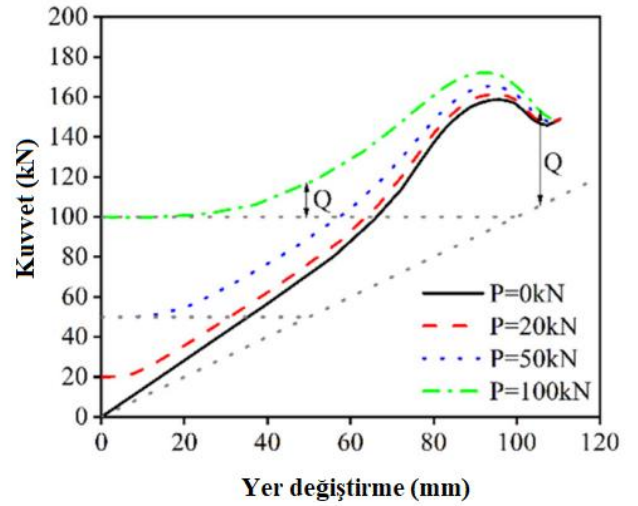
Tablo 4: Farklı parametrelerde prying etkisi [12]

Numuneler	Cıvata Özellikleri	Eksenel Yük	Prying Etkisi	Rijitlik Levhası
FT1	10.9M16	157,01	20,15	Yok
FT2	10.9M16	82,77	16,17	Yok
FT3	10.9M16	50,48	15,14	Yok
TS1	10.9M16	87,07	4,82	Var
TS2	10.9M16	41,54	2,87	Var
TS3	10.9M16	25,79	2,02	Var
FE1	10.9M16	164,67	22,84	Yok
FE2	10.9M16	157,01	20,45	Yok
FE3	10.9M16	161,88	21,8	Yok
ES1	10.9M16	70,8	3,25	Var
ES2	10.9M16	87,07	4,82	Var
ES3	10.9M16	105,95	8,99	Var
FM1	10.9M16	126,85	11,9	Yok
FM2	10.9M16	157,01	20,45	Yok
FM3	10.9M16	201,14	34,57	Yok
MS1	10.9M16	74,78	2,11	Var
MS2	10.9M16	87,07	4,82	Var
MS3	10.9M16	100,62	9,11	Var

T1 numunesi farklı ön yüklere maruz kaldığında Şekil 9'da yük- yer değiştirme grafiği ve Şekil 10'de ise cıvata kuvveti eğrisi gösterilmiştir. Literatürde kullanılanlara göre ön yükleme olduğunda, dış yükleme ön yüklemeye küçük olduğu durumda prying etkisi cıvata kuvveti ile ön yükleme arasındaki farka eşit olmalıdır ($Q = B - P$). Dış yükleme ön yüklemeye daha büyük olduğu durumlarda prying etkisi cıvata kuvveti ile dış yüklemenin arasındaki farka eşit olmalıdır ($Q = B - T$)

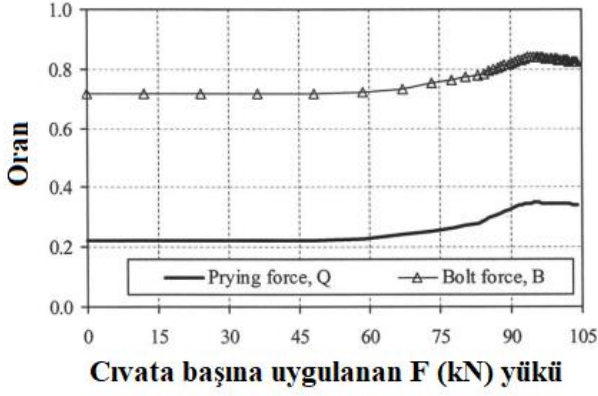


Şekil 9: Yük – Yer Değiştirme Eğrisi [12]



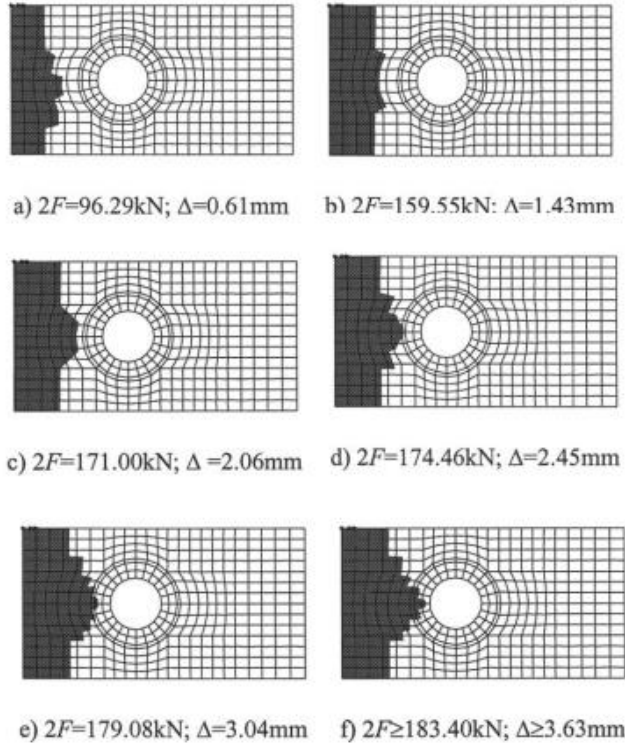
Şekil 10: Cıvata Kuvveti Eğrisi [12]

Bu çalışmada, cıvatalı bağlantıların çekme bölgesini daha kolay analiz etmek için T-profillerle doğrusal olmayan davranışı için sonlu eleman modelini incelemektedir. T-profillerin modelinin mevcut tasarım yönetmelikleri prying etkisinin seviyesini tahmin etmede, bazı önemli olguları gözden kaçıran bir boyutlu elastik modellerden oluşmaktadır. Bu çalışılan modelde Şekil 11'de sırasıyla F , Q/F , B/F cıvatanın sıra başına maruz bırakılan yük ile prying etki ve cıvata kuvvetlerinin oranlarının gelişimini göstermektedir. $2F = 96 \text{ kN}$ yük seviyesi için Q/F oranı 0.22 ve $2F = 108 \text{ kN}$ göçme durumunda 1,5 kat artarak 0,34'e çıkmaktadır. Sonlu elemanlar modeliyle yapılan temas basınçları için edinilen bilgiler etkilidir ve deneysel çalışmalarda elde edilmez. Ayrıca model davranışlarıyla ilgili etkili sonuçlar vermektedir [13].



Şekil 11: T1 Numunesi için Sayısal Sonuçlar: Cıvata Kuvveti ve Prying Etkisi [13]

Prying etkisinin bağlantıdaki konumu yüklemeye maruz kaldığında değişmektedir. Şekil 12’te uygulanan yük ile temas bölgesinin alanı gelişimi gösterilmiştir. Özetle, uygulanan yük arttıkça temas bölgesinin alanı cıvatanın eksenine doğru hareket eder [13].

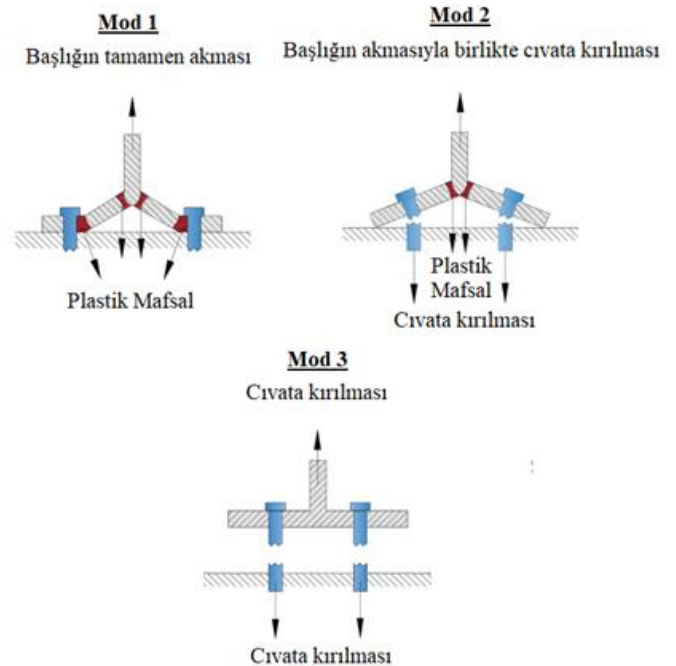


Şekil 12: Uygulanan Yük ile Temas Bölgesinin Alanının Gelişimi [13]

V. YÖNETMELİKLER

A. EUROCODE 3

Bağlantı elemanlarının uygulanan bir çekme kuvvetini taşımasının gerekli olduğu durumlarda, bunların meydana gelebileceği durumlarda, prying etkisi nedeniyle oluşan ilave kuvvete direnecek şekilde tasarlanmalıdırlar. Yönetmelikte verilen kurallar dolaylı olarak prying etkileri hesaba katmaktadır. Alın levhalı cıvatalı bağlantılarda, her bir cıvata sırasının birleşik kesme ve çekme kuvvetine karşı tasarım direnci, prying etkisinden kaynaklanan herhangi bir kuvvet de dahil olmak üzere cıvataadaki toplam çekme kuvveti dikkate alınarak yönetmelikte verilen kriter kullanılarak doğrulanmalıdır. Tablo 5’e göre tasarım çekme mukavemeti belirlenirken prying etkiler dolaylı olarak dikkate alınır. Prying etkilerinin gelişebileceği durumlarda, bkz. Tablo 5, bir T saplama başlığının $F_{T,Rd}$ tasarım gerilim direnci, olası üç göçme modu 1, 2 ve 3 için en küçük değer olarak alınmalıdır. Üç göçme modu Şekil 13’te gösterilmiştir. Prying etkilerinin bir T-profil başlığının tasarım çekme mukavemetini geliştiremediği durumlarda $F_{T,Rd}$, Tablo 5’ye göre olası iki göçme modu için en küçük değer olarak alınmalıdır. Bulonlu kiriş-kolon birleşimlerinde veya kiriş birleşim yerlerinde, prying etkilerin gelişeceği varsayılabilir.



Tablo 5: T-profil başlığının $F_{T,Rd}$ tasarım mukaveti [14]

Prying etkisi gelişebilir, $L_b \leq L_b^*$	
Mod 1	
Destek Levhaları yoksa	
Yöntem 1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m}$
Yöntem 2	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$
Destek levhaları varsa	
Yöntem 1	$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd} + 2M_{bp,Rd}}{m}$
Yöntem 2	$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd} + 4nM_{bp,Rd}}{2mn - e_w(m + n)}$
Mod 2	
$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m + n}$	
Prying etkisi gelişmiyorsa	
Mod 1 ve Mod 2	
$F_{T,1,Rd} = \frac{2M_{pl,1,Rd}}{m}$	
Mod 3	
$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$	

Mod 1: Başlığın tamamen akması

Mod 2: Başlığın akmasıyla birlikte cıvata kırılması

Mod 3: Cıvata kırılması

L_b -Cıvata uzama uzunluğu, kavrama uzunluğuna (malzemenin ve pulların toplam kalınlığı) artı cıvata başının yüksekliği ile somunun yüksekliğinin toplamının yarısına eşit olarak alınır veya

-ankraj cıvatası uzama uzunluğu, nominal cıvata çapının 8 katı, harç tabakası, levha kalınlığı, pul ve somun yüksekliğinin yarısının toplamına eşit olarak alınır.

$$L_b^* = \frac{8,8m^3 A_s n_b}{\sum l_{eff,1} t_f^3}$$

$F_{T,Rd}$ = T-profil başlığının tasarım çekme mukavemeti

Q = Prying etkisi

$$M_{pl,1,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0}$$

$$M_{bp,Rd} = 0,25 \sum l_{eff,1} t_{bp}^2 f_{y,bp} / \gamma_{M0}$$

$$n = e_{min} \text{ ama } n \leq 1,25mm$$

n_b cıvata sıralarının sayısıdır (sıra başına 2 cıvata ile)

$F_{T,Rd}$ bir cıvatanın tasarım çekme mukavemetidir, bkz. Yönetmeliğe;

$\sum F_{t,Rd}$ T-profildeki tüm cıvatalar için $F_{T,Rd}$ 'nin toplam değeridir;

$\sum l_{eff,1}$ mod 1 için l_{eff} değeridir;

$\sum l_{eff,2}$ mod 2 için l_{eff} değeridir;

e_{min} , m ve t_1 Şekil 15'te gösterildiği gibidir;

$F_{y,bp}$ destek levhalarının akma dayanımıdır;

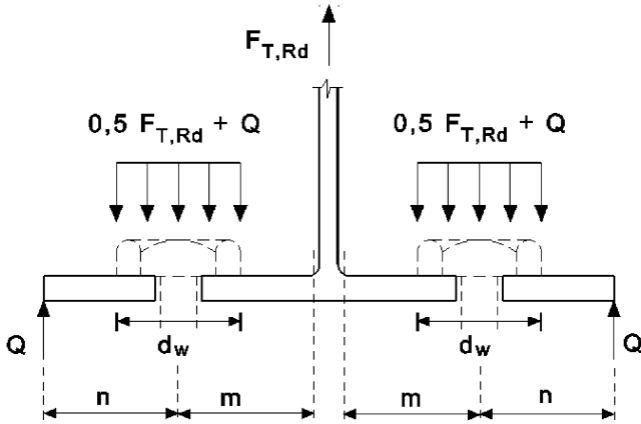
t_{bp} destek levhalarının kalınlığıdır;

$$e_w = d_w / 4;$$

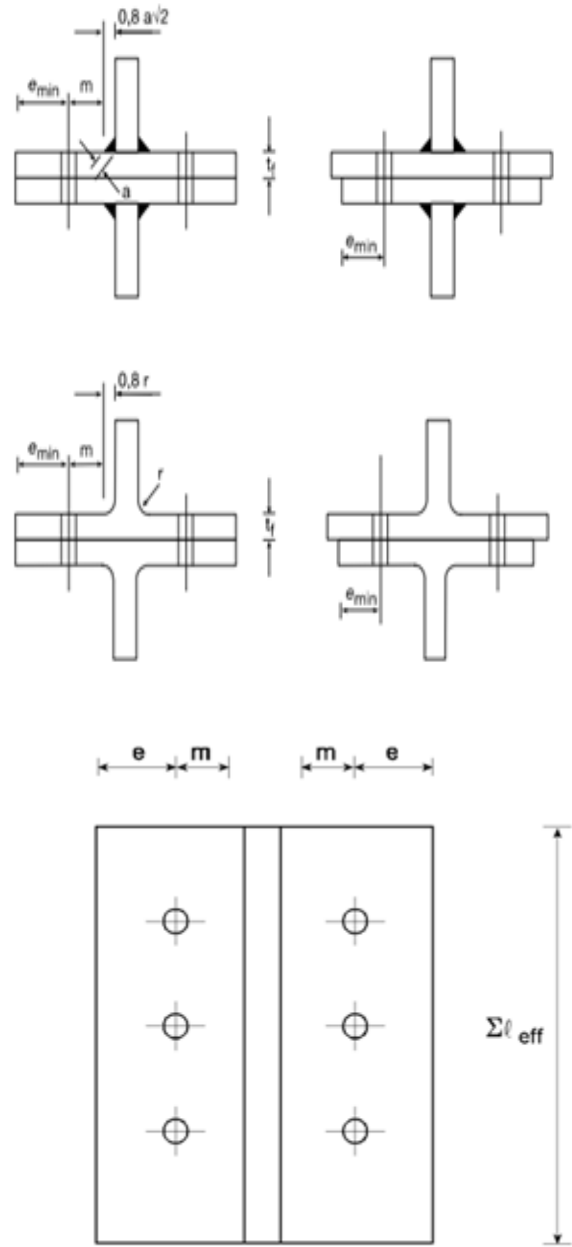
d_w pulun çapı veya ilgili olarak cıvata başı veya somunun noktaları arasındaki genişliktir.

NOT 1: Cıvatalı kiriş-kolon birleşimlerinde veya kiriş birleşim yerlerinde, prying etkisinin gelişeceği varsayılabilir.

NOT 2: Yöntem 2'de, bir cıvata tarafından T-profil başlığına uygulanan kuvvetin, cıvatanın merkez hattında yoğunlaşmak yerine, pul, cıvata başı veya somunun altına (uygun olduğu şekilde) eşit şekilde dağıtıldığı varsayılmaktadır (bkz. Şekil 14). Bu varsayım, mod 1 için daha yüksek bir değere yol açar, ancak $F_{T,1-2,Rd}$ ile mod 2 ve 3'ün değerlerini değiştirmeden bırakır.



Şekil 14: T-profilde Prying Etkisi



Şekil 15: Eşdeğer T-profil Başlığının Boyutları

B. ANSI/AISC

Prying etkisini ortadan kaldırmak için minimum kolon başlığı kalınlığını kontrol edin:

$$t_{cf} \geq \sqrt{\frac{4.4r_{ut}b'}{\phi_d p F_y}}$$

$$b' = (g - k_1 - 0,5t_{cw} - d_b)$$

$$g = \text{Kolon cıvata boyutu (mm)}$$

k_1 = Kolon gövde merkezinin başlık ucuna mesafesi (mm)

p = Cıvata başına dikey kol uzunluğu

88mm W1.0 ve B1.0 için

Diğerleri için 125 mm

t_{cw} = Kolon gövde kalınlığı (mm)

Seçilen kolon başlık kalınlığı, prying etkisini ortadan kaldırmak için gerekenden azsa, tatmin edici başlık kalınlığına sahip bir kolon seçin veya prying kuvvetini AISC Çelik Yapı Kılavuzu Bölüm 9'a göre Denklem 9.9-2'ye dahil edin.

Prying etkisini önlemek için gereken akma çizgisi başlığının kalınlığını, $t_{başlık}$, belirleyin

$$t_{başlık} = \sqrt{\frac{4r_t b'}{p\phi_d F_u}}$$

$$b' = (b - d_{b-başlık}/2)$$

b = Akma çizgisi başlığındaki cıvataların merkezinden akma çizgisi gövdesinin yüzüne kadar olan dikey mesafe (mm)

$d_{b-başlık}$ = Akma çizgisi başlığını ve kolon başlığını bağlayan cıvatanın çapı (mm)

p = minimum $d_{b-başlık}/2$ veya $s_{başlık}$ (mm)

Akmayı ve burkulmayı önleyen levha (BÖL) cıvatasının neden olduğu kopmayı önlemek için minimum giriş başlığın kalınlığını belirleyin. Minimum başlık kalınlığı 10,16 mm'den az olmayacaktır.

$$t_{bf_min} = \sqrt{\frac{4T_{ux} b'}{\phi_d p_e F_{ub}}}$$

F_{ub} = Giriş malzemesinin belirtilen minimum çekme dayanımı (MPa)

T_{ux} = Bir sınırlama cıvatası tarafından aktarılan dikey itme kuvveti (kN)

$$= \frac{Q}{n_{BÖL_civata}}$$

b' = Cıvata merkezinden kolon merkezine olan uzaklık

p_e = Akma çizgisi deseninden cıvata başına etkin (bağlantılı) uzunluk

Q = Giriş başlığındaki toplam dikey itme kuvveti (kN)

$$= N_{tasarım} Q_i$$

$n_{BÖL_civata}$ = Toplam burkulmayı önleyen levhanın cıvata sayısı

Yönetmelikteki $a \leq 1.25b$ sınırı yalnızca bir hesaplama sınırıdır ve a boyutunda fiziksel bir sınırlama değildir. Kaldırma kuvvetlerinin ön tahmini için b boyutu $0,40g_{tb}$ olarak tahmin

$$a = 1,5d_{tb} \leq 1,25b$$

b = Etkin T gövdesi ile T başlığındaki cıvata çizgisi arasındaki mesafe,

g_{tb} = T profildeki çekme cıvatalarının ölçüsü

Her durumda, prying etkisini ortadan kaldırmak için gereken başlık kalınlığı şu şekilde hesaplanabilir:

$$t_{ft,kritik} \geq \sqrt{\frac{4\phi r_{nt} b'}{\phi_d p F_{yt}}}$$

Kolon başlıklarını rijitleştiren süreklilik levhalarının varlığı, kolon-başlık deformasyonlarından kaynaklanan prying etkisinin kontrol edilmesi ihtiyacını ortadan kaldırır.

VI. SONUÇLAR

Prying etkisi, bağlantı birleşiminin yapısal bütünlüğünü sağlamak için bağlantının tasarım prosedüründe dikkate alınması gereken ek kuvvetleri ifade eder. Bu etkiler levha gerinimleri, cıvata kuvvetleri, birleşimin mukavemeti ve rijitliği gibi faktörleri etkileyebilir. Tasarım aşamasında prying etkisini hesaplamak için yükün dışmerkezliği, birleşimin geometrisi, birleşim elemanlarının rijitliği, cıvata ve levhanın mukavemeti gibi faktörlere dikkat edilmelidir. Alın levhalı birleşimlerde prying etkisini analiz etmek ve hesaplamak için çeşitli tasarım modelleri ve yöntemler önerilmiştir. Bu önerilen yöntemlerde

cıvata kesme ve çekme kuvvetleri, levha eğilmesi, kesme gerilmeleri, birleşimin kuvvet dağılımı gibi parametreler dikkate alınmıştır. Prying etkisi, T-profil birleşimlerinde de önemli bir faktördür. T-profil birleşimlerindeki deformasyonlar prying etkisine neden olabilir ve cıvata kuvvetinde artış ve cıvata eğilmesi gibi etkiler gözlenebilir. Çekme ve eğilme etkileri birlikte olduğunda cıvata zarar görebilir. Bu nedenle, T-profil birleşimlerinde prying etkisi ve cıvata eğilmesi gibi parametrelerin hesaplanması önemlidir. Prying etkisi, alın levhalı birleşimlerde, dairesel cıvatalı uzatılmış alın levha birleşimlerinde ve kare içi boş kesitli birleşimlerde incelenmiştir. Bu çalışmalarda alın levhasının rijitliği, cıvata konumu, levha kalınlığı gibi faktörlerin prying etkisi üzerinde etkili olduğu belirlenmiştir. Sonuç olarak, prying etkisi bağlantı birleşimlerinin tasarımında önemli bir faktördür ve yapısal davranışını etkileyebilir. Bu nedenle, prying etkisi tasarımda dikkate alınmalı ve uygun hesaplamalar ve analizler yapılmalıdır. ANSI/AISC 358-16 ve Eurocode 3 yönetmeliklerinde bulunan prying etkisi için kontroller incelenmiştir.

REFERENCES

- [1] Bayülke Nejat, 1994 Northridge kaliforniya depremi sonrasında moment taşıyan çelik kolon-kiriş birleşim yerleri üzerinde yapılan deneyler, araştırmalar ve geliştirmeler, *TÜRKİYE MÜHENDİSLİK HABERLERİ SAYI*. 425 (2003).
- [2] T.M. Murray, Recent Developments for the Design of Moment End-Plate Connections, 1988.
- [3] Y.O. Özkılıç, C. Topkaya, Extended end-plate connections for replaceable shear links, *Engineering Structures*. 240 (2021). doi:10.1016/j.engstruct.2021.112385.
- [4] A.İ. Akgönen, B. Güneş, Finite Element Analysis of End-Plate Moment Connections, *Afyon Kocatepe University Journal of Sciences and Engineering*. 17 (2017) 646-657. doi:10.5578/fmbd.57564.
- [5] B.R. Mohammed Bahaari, A.N. Sherbourne, Structural Behavior of End-Plate Bolted Connections to Stiffened Columns, 1996.
- [6] J.D. Nzabonimpa, W.K. Hong, S.C. Park, Experimental investigation of dry mechanical beam-column joints for precast concrete based frames, *Structural Design of Tall and Special Buildings*. 26 (2017). doi:10.1002/tal.1302.
- [7] T.J. de la C. Kombate, K. Taşkın, State-of-the-art review on the behaviour of T-stubs and prying action, *Journal of Constructional Steel Research*. 191 (2022). doi:10.1016/j.jcsr.2022.107203.
- [8] S.N. El Kalash, E.G. Hantouche, Prying effect in unstiffened extended endplate connection with circular bolts configuration, *Journal of Constructional Steel Research*. 160 (2019) 402-410. doi:10.1016/j.jcsr.2019.05.043.
- [9] B.R. Mohammed Bahaari, A.N. Sherbourne, Structural Behavior of End-Plate Bolted Connections to Stiffened Columns, 1996.
- [10] R. V Kumar, R. Pradeep Kumar, Behaviour Of End Plate Bolted Connections, *Engineering*, 2015.
- [11] S.B. Merad Boudia, N. Boumechra, A. Bouchair, A. Missoum, Modeling of bolted endplate beam-to-column joints with various stiffeners, *Journal of Constructional Steel Research*. 167 (2020). doi:10.1016/j.jcsr.2020.105963.
- [12] S. Chen, B. Feng, L. Wang, Y. Zhang, J. He, Effect of Stiffeners on Mechanical Behavior of T-Stubs Based on Experiment and Numerical Simulations, *Buildings*. 13 (2023). doi:10.3390/buildings13040986.
- [13] A.M. Girão Coelho, ; Luís, S. Da Silva, F.S.K. Bijlaard, Finite-Element Modeling of the Nonlinear Behavior of Bolted T-Stub Connections, *Journal of Structural Engineering*. (t.y.). doi:10.1061/ASCE0733-94452006132:6918.
- [14] Y.O. Özkılıç, The capacities of thin plated stiffened T-stubs, *Journal of Constructional Steel Research*. 186 (2021). doi:10.1016/j.jcsr.2021.106912.