



Çelik Kolon Taban Levhalarının Mekanik Davranışlarının İncelenmesi

*¹Şahin Sözen, ²Mustafa Atılğan

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., Taşlıçiftlik Kampüsü, 60150, Tokat, Türkiye, sahin.sozen@gop.edu.tr, 

²Tarımsal ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Kurumu, Yeşilirmak Mah. Çeçenistan Cad. No:7 Cangözler İş Merkezi, Tokat, Türkiye, mustafaatilgan85@hotmail.com, 

Araştırma Makalesi

Geliş Tarihi: 12.08.2020

Kabul Tarihi: 26.11.2020

Öz

Dünyada meydana gelen büyük depremler, mühendisleri ve bilim adamlarını çelik yapıların birleşimleri üzerinde çalışmaya yönlendirmiştir. Bir çelik yapının önemli bileşenlerinden olan birleşimlerinin kapasiteleri, bütün yapının kapasitesini önemli ölçüde etkilediğinden, bilim adamları yeni birleşimler tasarlamaya ve bu birleşimlerin limit durumlarını belirlemeye çalışmaktadırlar. Bu noktada, betonarme temel ile kolon arasında bir arayüz olan kolon-taban levhası birleşimleri çelik yapılarda büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, farklı kalınlıklara sahip taban levhaları, farklı sayıda ankraj çubukları ve farklı kolon tiplerinden oluşturulan birleşimler statik yükler altında analiz edilerek, birleşim elemanlarında oluşan gerilme ve deformasyonlar karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Analizler, mühendislik disiplinlerinde sıklıkla başvurulan bir sonlu elemanlar yazılımı olan ANSYS kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar yorumlanarak, farklı kolon taban levhası birleşimlerinin birbirine göre avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur. Araştırma sonuçları, birleşimde kullanılan taban levhası kalınlığının, birleşim ve elemanları üzerinde ortaya çıkan toplam deformasyon ve gerilmeler üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Ayrıca, birleşimlerde kullanılan ankraj çubuğu sayısının da deformasyon ve gerilmeleri etkilediği tespit edilmiştir. Birleşimlerin mekanik davranışlarında, birleşimin toplam rijitliğinin baskın bir role sahip olduğu gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sonlu elemanlar metodu, kolon taban levhası, çelik birleşimler.

Investigation of Mechanical Behavior of Steel Column Base Plates

*¹Şahin Sözen, ²Mustafa Atılğan

¹Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., sahin.sozen@gop.edu.tr

²Tarımsal ve Kırsal Kalkınmayı Destekleme Ajansı, mustafaatilgan@gmail.com

Abstract

Major earthquakes in the world led engineers and scientists to work on the connections of steel structures. Since the capacities of the connections, which are one of the important components of a steel structure, significantly affect the capacity of the entire structure, scientists are trying to design new connections and determine the limit states of these connections. At this point, column-base plate connections, which are an interface between reinforced concrete foundation and column, are of great importance in steel structures. In this study, the connections designed using base plates with different thicknesses, different numbers of anchor rods and different column types are analyzed under static loads, and comparative results are introduced in terms of stress and deformations occurred on the connection components. Analyzes were performed using ANSYS, a finite element software that is frequently used in engineering disciplines. The results obtained are interpreted and the advantages and disadvantages of the different types of column base plate connections are revealed. The results of the research show that the thickness of the baseplate used in the connection has a significant effect on the total deformation and stresses on the connection and its components. In addition, it has been determined that the number of anchor rods used in the base-plate connections affects the deformation and stresses. It has been observed that the total rigidity of the connections has a dominant role in the mechanical behavior of the joints.

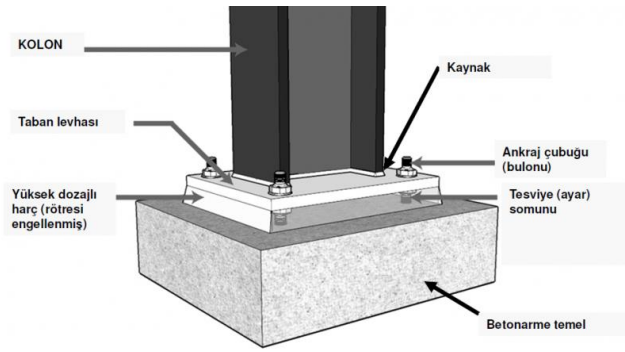
Keywords: Finite element method, column base plate, steel connections

*¹ Sorumlu Yazar: Tokat Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Mühendislik ve Mimarlık Fak., İnşaat Müh. Böl., Taşlıçiftlik Kampüsü, 60150 Tokat, Türkiye, sahin.sozen@gop.edu.tr, +90(533) 473 75 88

Doi: 10.21541/apjes.779577

1. GİRİŞ

Bir çelik yapıda, diğer betonarme yapılarda da benzer olmak üzere, yapı performansını doğrudan etkileyen en kritik yapı bölgelerinin, birleşimler olduğu rahatlıkla söylenebilir. Birleşimlerin yüklemeler altındaki kapasiteleri, aslında yapı toplam kapasitesini de belirleyen önemli ayrıntılardan olduğundan, özellikle deprem yükleri altında çelik yapıların performansı, o yapı içindeki birleşimlerin performansı ile doğrudan ilgili olmaktadır. Bu gerçek, mühendis ve araştırmacıları, çelik yapıların bu önemli bölümlerini daha yakından incelemeye ve araştırmaya yönlendirmiştir. Zayıflatılmış kiriş-kolon birleşimleri [1], kolon-kiriş birleşimleri [2], kolon ekleri [3], kiriş ekleri bu çerçevede değerlendirilebilirler. Kuşkusuz bu birleşimlerin en önemlilerinden birisi de, üst yapıdan gelen yükleri betonarme temele aktaran çelik kolon, taban levhası-temel birleşimidir [4]. Tipik bir kolon-betonarme temel birleşimi Şekil 1'de görülmektedir. Tipik bir birleşim çelik kolon, kolona kaynakla bağlanmış taban levhası, taban levhasını betonarme temele bağlayan ankraj çubukları ve somunlarından oluşmakla birlikte, aktarılacak yükün çeşitliliği ve fiziksel büyüklüğüne bağlı olarak daha farklı birleşim elemanlarının kullanıldığı birleşimler de mevcuttur.



Şekil 1. Tipik kolon temel birleşimi [5].

Ülkemizde, çelik yapılara olan ilgi, yaşadığımız büyük depremlerin de etkisiyle, özellikle son yıllarda giderek artmaktadır. Çelik yapıların kullanımının artması ve yaşanan depremlerden elde edilen tecrübeler beraberinde yeni birleşim detayı sorunları getirmekte ve bu sorunlar için çözümleri zorunlu kılmaktadır.

Kolon ayakları, kolondan gelen yükleri beton veya betonarme temele güvenli bir şekilde aktarmak üzere tasarlanırlar. Bu yükler, yapı türüne bağlı olmak üzere, sadece düşey kuvvet veya düşey kuvvetle birlikte yatay kuvvet ve eğilme momenti olabilir [6, 7]. Düşey ve yatay kuvvetlerin yanında, temele moment aktaran kolon ayaklarına ankastre ayak denir. Kolon ayakları, bunun dışında basit mesnet veya elastik ankastre mesnet olarak da tasarlanabilirler [8]. Kolondan gelen yükleri temel yüzeyine yayan levha, temele ankraj çubukları aracılığı ile bağlanır. Ankastre kolon ayaklarında büyük momentler bahis konusu olduğunda, ankraj çubuklarına büyük çekme kuvvetleri gelebilir. Rosca ve ark. [9] büyük dışmerkezlik etkisindeki

kolon ayaklarının beton temel ile birlikte analizi için modeller oluşturmuş ve deneylerle doğrulamasını yapmıştır. Ankraj çubuklarının ve taban levhalarının, temele bu kuvvetleri aktaracak şekilde tasarlanıp imal edilmiş olmaları gerekir. Kolon ayaklarına üst yapıdan gelen yüklerin temele aktarılmasında oluşabilecek sorunlar, doğal olarak yapının taşıyıcı sistemini de olumsuz etkileyecektir [10].

Kolon ve beton/betonarme temel arasında bir arayüz işlevi icra eden taban levhaları, çoklukla standart özelliklere sahiptir. Bu levhalar genellikle piyasa koşullarında en kolay temin edilebilecek kalitede yapı çeliğinden imâl edilmektedirler. Kolon-temel birleşimlerinde kullanılan çelik levhalar, günümüz ileri teknolojik imkânları kullanılarak genellikle sıcak kesme ile boyutlandırılırlar [11]. Bu amaçla lazer ve plazma kesim tezgâhları yaygın olarak kullanılmaktadır. Taban levhaları ile birleşimde kullanılacak diğer unsurların malzeme seçimi ve diğer tasarım detayları, çelik yapıların yük altındaki performansının yanında kurulum maliyetini de önemli ölçüde etkileyebilmektedir [11]. Çelik kolon-temel birleşimi, yapılarda açıkta imal edilebileceği gibi, estetik vb gerekçelerle betonarme temele gömülü olarak da imal edilebilirler. Pertold ve ark. [12] iki farklı tip gömülü kolon ayağı için deneysel ve nümerik çalışmalar ile birleşimlerin mekanik davranışını araştırmıştır. Aynı çalışmanın devamı olmak üzere, gömülü kolon ayağı için tasarım modeli önerisi sunulmuştur [13]. Adany ve ark. [14] kolon taban levhası birleşimini tekrarlı yükler altında test ederek birleşimler üzerindeki bulon öngerme etkisini, birleşimlerin deformasyon kapasiteleri aracılığı ile araştırmıştır. Amaral çalışmasında, bileşik eğilme ve aksel kuvvet etkisi altındaki bir kolon taban levhası birleşiminin, moment kapasitesini elde etmeyi sağlayacak bir prosedürü geliştirilmeye çalışarak, birleşim kapasitesinin önceden belirlenebilmesini amaçlamıştır [15]. Astanceh-Asl ve Bergsma, çelik kolon taban levhalarının tersinir yükler etkisindeki davranışını anlamak için sismik tasarım önerileri geliştirmek üzere, altı çelik kolon-taban levhası birleşim örneğini test ederek davranışlarını analiz etmişlerdir. [16]. Borzouie ve ark. çalışmalarında, tamamen sonradan gerilmiş ankraj çubukları ve bunlar olmadan temele bağlanan taban levhası birleşimlerinin tersinir yüklemeye altındaki mekanik davranışı üzerine deneysel çalışmalar yaparak, mevcut tasarım prosedürleri ile tasarlanan bu birleşimleri düşük hasar açısından değerlendirmişlerdir [17].

Bu çalışmada, belirli boyut ve detaylara sahip olan çelik kolon-taban levhası temel birleşimlerinin sonlu elemanlar yöntemi ile analizleri ANSYS® [18] yazılımı kullanılarak gerçekleştirilerek, birleşimlerin mekanik davranışı araştırılmıştır. Sayısal modelde çelik kolon, taban levhası ve diğer rijitlik levhaları, ankraj çubuk ve bulonları ile beton temel yer almıştır. Birleşimlere ait ayrıntılar ikinci bölümde verilmiştir.

Birleşimlerin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda, 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. İlk üç yüklemeye, taban levhasına kaynakla bağlanmış kolonun üst

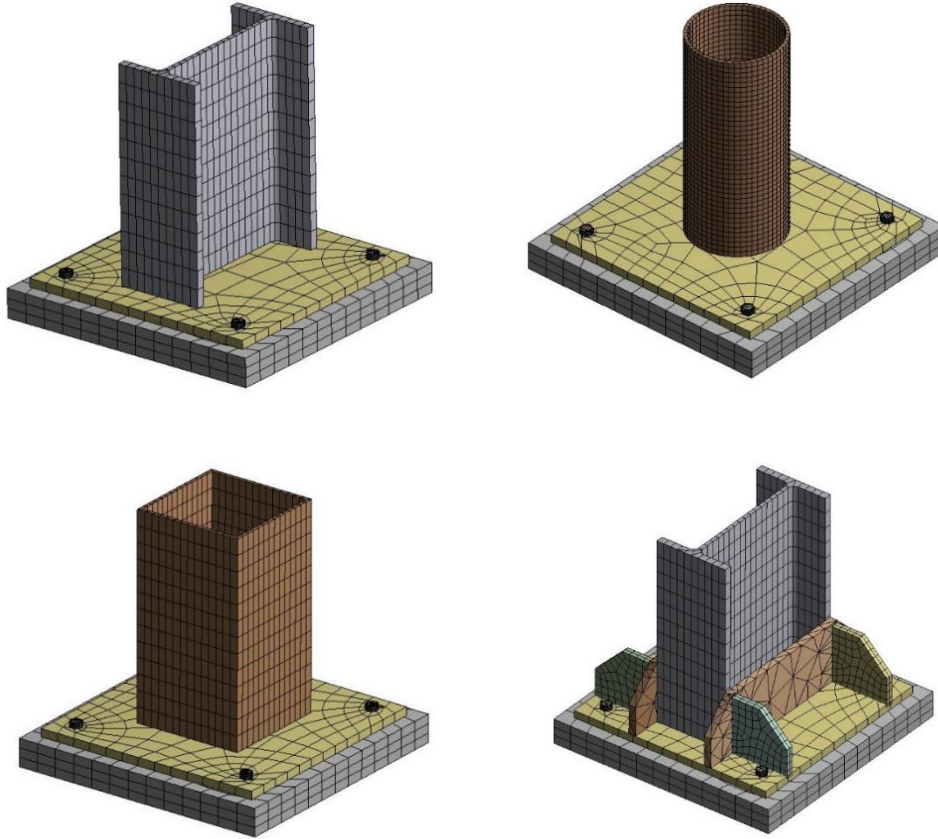
ucuna 50, 100 ve 150 kN olarak değişen sabit yatay yükler uygulanmıştır. Yükler asimetrik enkesit özelliklerine sahip profillerde kuvvetli eksene dik doğrultuda uygulanmıştır. Dördüncü yükleme, analizleri SAP2000 [19] yapısal analiz yazılımı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde [20] yer alan yükleme protokollerine göre yapılmış olan 15 katlı çelik konut binasının temel mesnet reaksiyon kuvvetlerinden oluşmaktadır. Bütün yüklemeler için gerçekleştirilen analizlerde hem geometrik hem de malzeme için doğrusal olmayan analiz parametreleri dikkate alınmıştır.

2. MATERYAL ve YÖNTEM

2.1. Birleşimler

Sayısal modelde kullanılmak üzere, temel-kolon birleşimini

oluşturan elemanlardan piyasada sıklıkla kullanılan farklı tipte kolon profilleri, farklı kalınlıkta taban levhası ve 30 mm çaplı olmak üzere farklı sayıda ankraj çubukları (4 ve 6 adet) kullanılarak 16 farklı birleşim tasarlanmıştır. Birleşim unsurlarından kolon olarak, HE600B, KUTU 400×400×12,5, BORU 339,7×13 profilleri seçilmiştir. Taban levhasında en ve boy 840×840 mm olarak sabit tutulmuş olup kalınlık, 20 ve 30 mm olarak seçilmiştir. Her birleşim, 30 mm çapa sahip 4 ve 6 adet ankrajlı olarak ayrı ayrı tasarlanmıştır. Birleşimlerin sonlu elemanlar modelleri Şekil 2'de görülmektedir. HEB profili kullanılarak oluşturulan birleşim basit ve ankastre olarak tasarlanmış, bu amaçla rijitlik levhaları kullanılmıştır. Tasarlanan birleşimlere ait detaylar Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 2. Birleşimlerin sonlu elemanlar modeli.

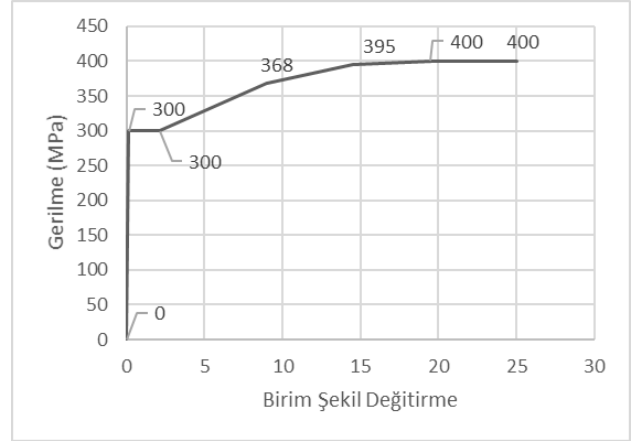
Tablo 1. Kolon temel birleşimleri detay bilgileri.

Birleşim Kodu	Kolon Profili	Taban Levhası Kalınlığı (mm)	Ankraj Adedi	Rijitlik Levhası	Sayısal Modelde	
					Nokta Sayısı	Sonlu Eleman Sayısı
HE20A4	HE600B	20	4	Yok	14915	2320
HE30A4	HE600B	30	4	Yok	14915	2320
HE20A4R	HE600B	20	4	Var	18847	3371
HE30A4R	HE600B	30	4	Var	19464	3559
HE20A6R	HE600B	20	6	Var	22430	3929
HE30A6R	HE600B	30	6	Var	23047	4117
HE20A6	HE600B	20	6	Yok	18904	2966
HE30A6	HE600B	30	6	Yok	18904	2966
K20A4	400×400×12,5	20	4	Yok	16642	2544
K30A4	400×400×12,5	30	4	Yok	16642	2544
K20A6	400×400×12,5	20	6	Yok	20412	3141
K30A6	400×400×12,5	30	6	Yok	20412	3141
B20A4	339,7×13	20	4	Yok	26738	4056
B30A4	339,7×13	30	4	Yok	26738	4056
B20A6	339,7×13	20	6	Yok	30405	4636
B30A6	339,7×13	30	6	Yok	30405	4636

2.2. Sayısal Analiz

Yapısal modelleme ve analiz için ilk olarak, birleşimlerde kullanılacak malzemeler ve bu malzemelerin mekanik özellikleri sonlu elemanlar programında tanımlanmıştır. Birleşimlerde temel betonunu temsil eden malzeme, ANSYS program kütüphanesinde yer alan malzemelerden C30 betonu olarak tanımlanmıştır. Beton temel, analizleri kolaylaştırması bakımından gerçek yüksekliği ile değil, 100 mm yükseklikli olarak tanımlanmış, ankraj çubukları bu temel içinde temas noktalarında temele bağlı olarak modellenmiştir. Temel betonu ile çelik taban levhası sürtünmeli yüzey olarak tasarlanmıştır.

Birleşimlerde kullanılan çelik malzemenin gerçek davranışına olabildiğince yakın temsil edilebilmesi için, sonlu elemanlar modelinde elastik olmayan, izotropik multi-lineer malzeme modeli kullanılmıştır. Malzeme parametreleri yazarın daha önceki çalışmasından alınmıştır [21]. Birleşimlerde kullanılan çelik malzeme modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği Şekil 3'te verilmiştir. Bu modelde, akma gerilmesi $\sigma_y=300 MPa$, kopma gerilmesi $\sigma_u=400 MPa$, elastisite modülü $215 GPa$ ve poisson oranı $0,35$ olarak alınmıştır. Malzeme modelinde bu gerilme değerleri için sırasıyla, akma gerilmesine karşılık %0.14 elastik birim şekil değiştirme ve kopma gerilmesine karşılık %25 kopma birim şekil değiştirme malzeme modeline yansıtılmıştır.



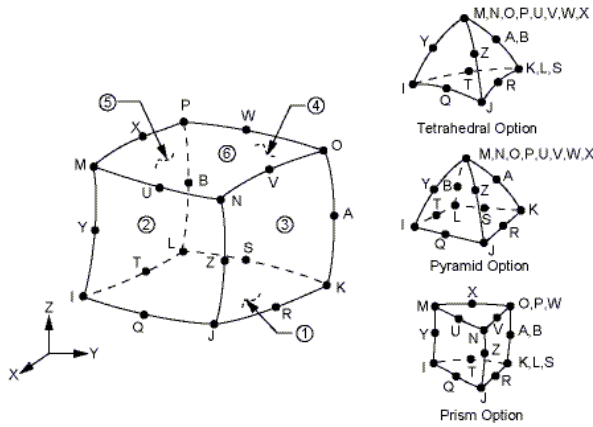
Şekil 3. Çelik malzeme modeline ait gerilme-birim şekil değiştirme grafiği.

Sayısal modelde program kütüphanesinde yer alan 20 serbestlik derecesine sahip SOLID 186 sonlu elemanı kullanılmıştır. Sonlu elemana ait detaylar Şekil 4'de görülmektedir. 16 farklı birleşimin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. İlk üç yüklemeye, taban levhasına kaynakla bağlanmış kolonun üst ucuna 50 kN, 100 kN ve 150 kN olarak değişen yatay yükler uygulanmıştır. Analizlerde malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan davranış benimsendiğinden, yatay yükün doğrusal artışının sonuçlara aynı şekilde yansımayaacağı düşünüülerek, bu üç

farklı büyüklükteki statik yükün, kolon taban levhaları üzerindeki etkilerinin araştırılması hedeflenmiştir. Dördüncü yükleme, analizleri SAP2000 yapısal analiz yazılımı ile Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde [20] yer alan yükleme protokollerine göre yapılmış olan 15 katlı çelik konut binasının temel mesnet reaksiyon kuvvetleri kullanılarak uygulanmıştır [22]. Bu yüklemede, temel üst seviyesinde olmak üzere, kullanılan statik yükler Tablo 2'de verilmiştir. MNT yüklemesi olarak kodlanan bu yüklemenin amacı, tasarlanan birleşimlerin gerçek bir yükleme altındaki performanslarının izlenebilmesidir.

Tablo 2. Dördüncü yükleme durumuna ait statik etkiler.

Eksenler	Statik etkiler		
	Kesme Kuvveti (N)	Eğilme Momenti (Nmm)	Normal Kuvvet (N)
x-x	-3223	34012.20	-
y-y	-21430	-45005.60	-
z-z	-	-	-3047559



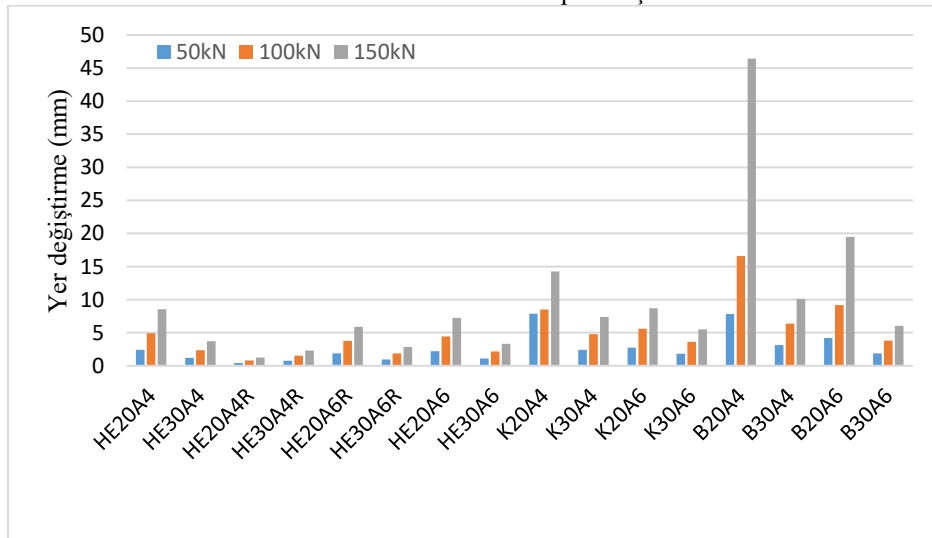
Şekil 4. SOLID186 sonlu elemanı

30 mm çapındaki ankraj çubukları, gerçek davranışına en yakın olabilecek şekilde temel içinde temel yüzeyine temas noktalarından tutunmuş olarak modellenmiştir. Ayrıca,

temel-taban levhası, taban levhası-bulonlar ve taban levhası-ankraj etkileşimleri lineer olmayan sürtümlü birleşim olarak tanımlanmıştır ve sürtünme katsayısı 0.25 olarak hesaba alınmıştır. Bütün analizlerde malzeme ve geometri bakımından doğrusal olmayan hesap yöntemi tercih edilmiştir.

3. BULGULAR ve TARTIŞMA

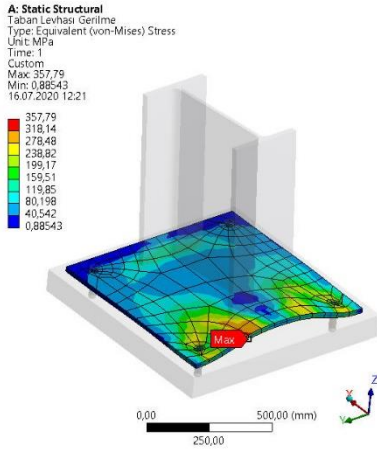
Bu makalede, sayısal analizlerden elde edilen, kolon üst ucunun yatay yer değiştirmesi, kolon taban levhasında meydana gelen gerilmeler ve aynı levhanın toplam deformasyonu karşılaştırmalı olarak değerlendirilmiştir. Buna göre; kolon üst ucunda meydana gelen ve yükleme yönündeki yatay yer değiştirmeler Şekil 5'te görülmektedir. Kolon üst ucunda meydana gelen yer değiştirmeler, önemli ölçüde kolon profilinin rijitliğine bağlı olmakla birlikte, aynı kolon profilinin farklı temel birleşimlerinde yaptığı yer değiştirmeyi ortaya koyması bakımından önemlidir. Buna göre, en büyük yer değiştirme boru profilden yapılan kolonun üst ucunda ortaya çıkmış olup, 46.443 mm olarak hesaplanmıştır. Bu birleşimde gerek kolon profilinin, gerekse taban levhasının görece daha az olan rijitliklerinin bu yer değiştirmeye sebep olduğu düşünülmektedir. Beklendiği üzere, daha rijit kolon profillerinde daha küçük yatay yer değiştirmeler ortaya çıkmıştır. Ayrıca, aynı kolon profili kullanılarak oluşturulmuş, ancak daha kalın taban levhası kullanılmış veya temel birleşimi ankastre birleşim olarak tasarlanmış modellerde kolon üst ucu yer değiştirmelerinin küçüldüğü gözlenmiştir. Örneğin; HEB kolon profili ile oluşturulmuş basit temel birleşiminde hesaplanan yatay yer değiştirme 2.3976 mm iken, aynı kolon profili kullanılarak oluşturulan ankastre birleşimde yer değiştirme, 0.412 mm olarak hesaplanmıştır. İlave olarak, taban levhası kalınlığının ve ankraj sayısının artmasının da kolon üst ucu yatay yer değiştirmelerinde azalmaya sebep olduğu gözlenmiştir. Örnek olarak, levha kalınlığı 20 mm olan HE20A4 birleşiminde kolon üst ucu yer değiştirmesi 8.5478 mm iken, taban levhasının 30 mm olarak kullanıldığı HE30A4 birleşiminde bu yer değiştirme 3.7232 mm olarak hesaplanmıştır.



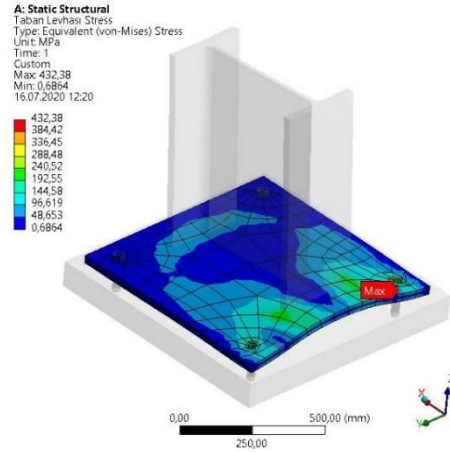
Şekil 5. Kolon üst ucu yer değiştirmeleri.

Taban levhası üzerinde oluşan gerilmeler değerlendirildiğinde, levha kalınlığının artırılmasıyla, levha üzerinde oluşan gerilmenin genellikle azaldığı görülmüştür. Buna mukabil, levha kalınlığı artmasına rağmen taban levhasındaki gerilmenin arttığı birleşimler de olmuştur. Örneğin, HE20A4 birleşiminde en büyük gerilme 357.79 MPa olarak hesaplanmışken, 30 mm kalınlıklı levha ile tasarlanan HE30A4 birleşiminde en büyük gerilme, 432.38 MPa olarak hesaplanmıştır. Daha rijit olmasına rağmen gerilmenin arttığı izlenen birleşimlerde, en büyük gerilmenin taban levhası üzerinde değil, ankraj bulonu deliği çevresinde ortaya çıktığı, levha genelinde ise gerilmelerin azalma eğiliminde olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6 (a) ve (b)'de, HE20A4 ve HE30A4 birleşimlerinin taban levhası üzerinde oluşan von-Mises gerilmeleri, 150 kN'luk yatay yüklemeye için verilmiştir. Levhalar üzerindeki gerilme dağılımları dikkatle incelendiğinde, 30 mm kalınlıklı taban levhası genelinde gerilmelerin daha küçük hesaplanmasına karşın,

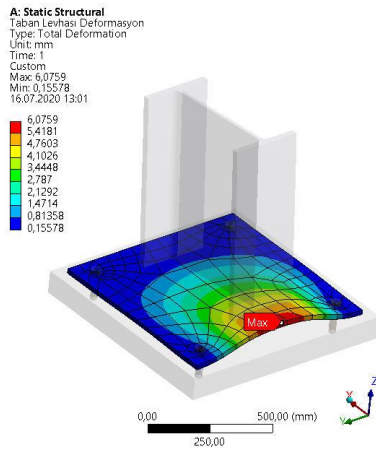
delik çevresinde oluşan gerilmelerin daha büyük hesaplandığı görülmektedir. Bu durumun, birleşim rijitliği ile ilgili olduğu düşünülmektedir. HE20A4 birleşiminin orta üst yüzeyinde hesaplanan gerilme 98.465 MPa iken, HE30A4 birleşiminde taban levhasının aynı bölgesi için hesaplanan gerilme 61.105 MPa'dır. Ankraj bulonu delikleri çevresinde hesaplanan gerilmeler değerlendirildiğinde, bu bölgelerde plastik deformasyonların olduğu rahatlıkla söylenebilir. Aynı birleşimlerin taban levhaları üzerinde oluşan deformasyonlar bu gerçeği doğrulamaktadır. Şekil 6 (c) ve (d)'de aynı birleşimlerin taban levhasında hesaplanan toplam deformasyonlar verilmiştir. 20 mm kalınlıklı taban levhasında oluşan en büyük toplam yer değiştirme 6.0759 mm olarak hesaplanmışken, aynı yüklemeye için 30 mm kalınlıklı levhada en büyük toplam yer değiştirme 2.4376 mm olarak hesaplanmıştır. Bütün birleşimler içinde en büyük gerilme, boru profilli birleşimdeki levhada ankraj bulonu deliği çevresinde 491.36 MPa olarak hesaplanmıştır.



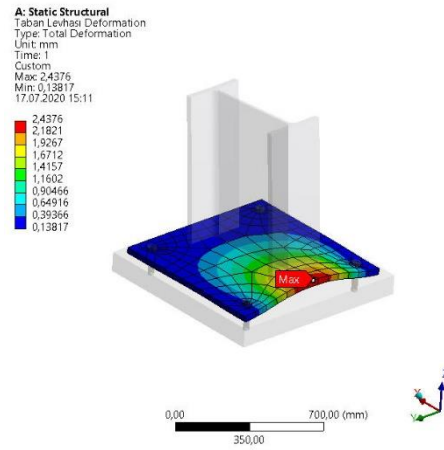
(a) HE20A4 gerilme dağılımı



(b) HE30A4 gerilme dağılımı



(c) HE20A4 deformasyon dağılımı



(d) HE30A4 deformasyon dağılımı

Şekil 6. HE20A4 ve HE30A4 birleşimlerinde von-Mises gerilmeleri ve deformasyonlar.

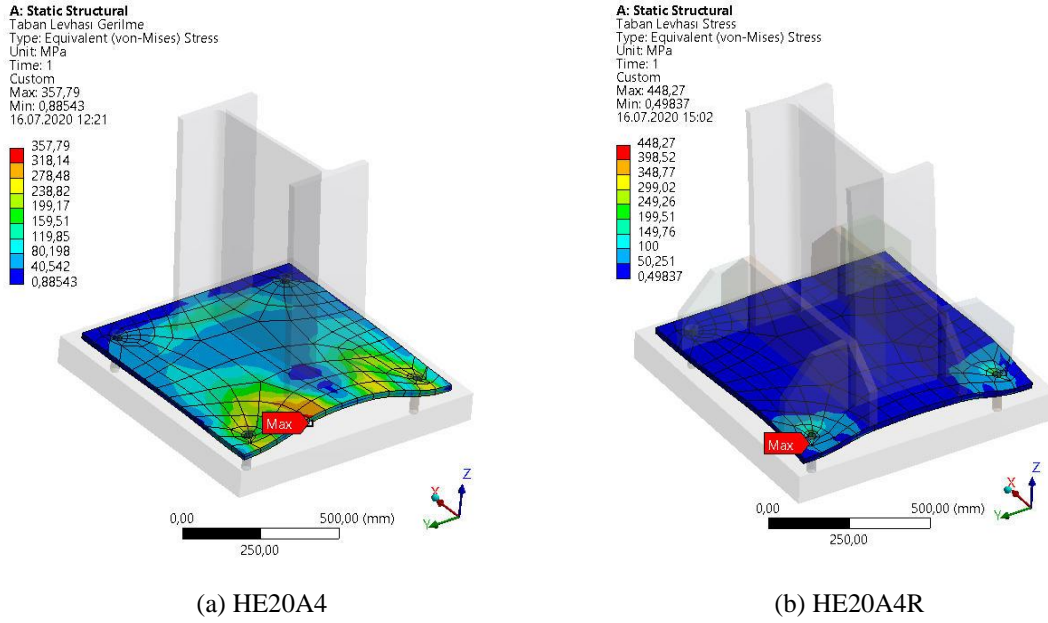
Sonuçlar bütün olarak değerlendirildiğinde; çelik kolon-temel birleşimlerinde rijitlik levhası kullanımının ve ankraj sayısını artırmanın, levha üzerinde oluşan gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Kolon yüklerini, temel yüzeyine

aktarmakla görevli çelik elemanın taban levhası olduğu düşünüldüğünde, bu levhaya ait boyutların bu yükleri aktarabilecek şekilde seçilmiş olmaları tasarımın gereklerinden olmakla birlikte bu çalışmada amaç,

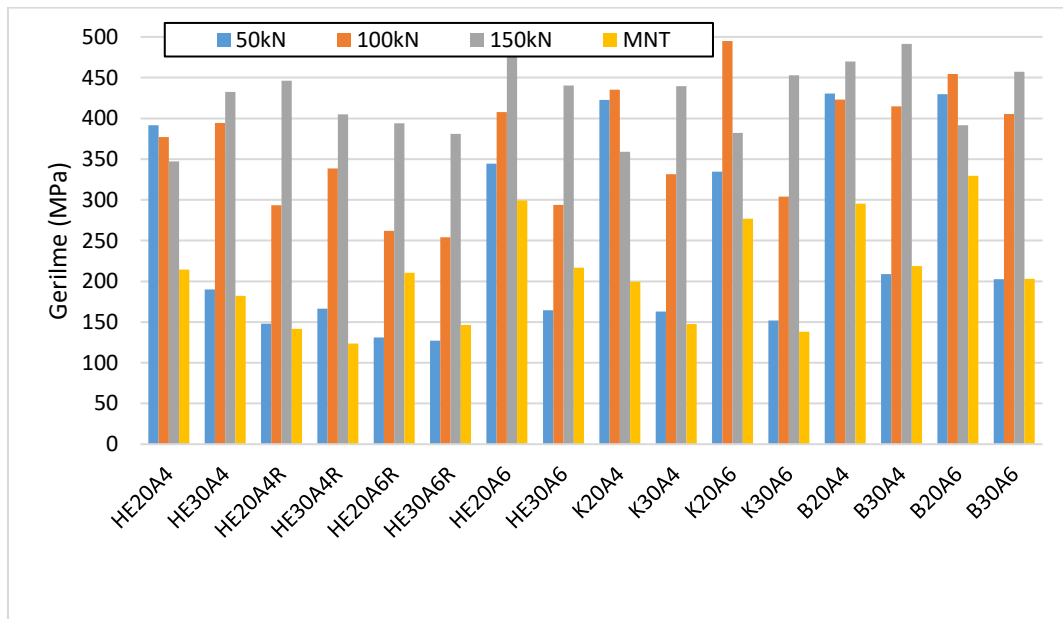
birleşimlerin mekanik davranışları karşılaştırmak olduğundan söz konusu boyutlar ve yükler rastgele seçilmiştir.

Yüksek rijitliğe sahip birleşimlerde, levha üzerinde oluşan deformasyon ve gerilmelerin azalma eğilimi gösterdiğini, hesaplanan en büyük gerilmelerin çoğunlukla ankraj delikleri civarında ortaya çıktığını, bu artış veya azalışların levha genel karakteristiğini yansıtmadığını da ifade etmek gerekmektedir. Rijitlik levhali ve basit birleşimlerden iki

örnek Şekil 7’de verilmiştir. Şekil 7 incelendiğinde, rijitlik levhasına sahip birleşim taban levhasının üzerindeki gerilmelerin küçük olmasına karşın, bu levha üzerinde hesaplanan en büyük gerilme değerinin, diğer birleşim levhası üzerindeki gerilmelerden de büyük olmak üzere yine ankraj bulunu deliği çevresinde 448.27 MPa olarak hesaplandığı görülmektedir. Birleşimin ana unsurlarından taban levhası üzerinde oluşan en büyük Von-Mises gerilmeleri toplu olarak bütün birleşimler ve bütün yüklemeler için Şekil 8’de verilmiştir.



Şekil 7. Taban levhası üzerinde oluşan von-Mises gerilmeleri.



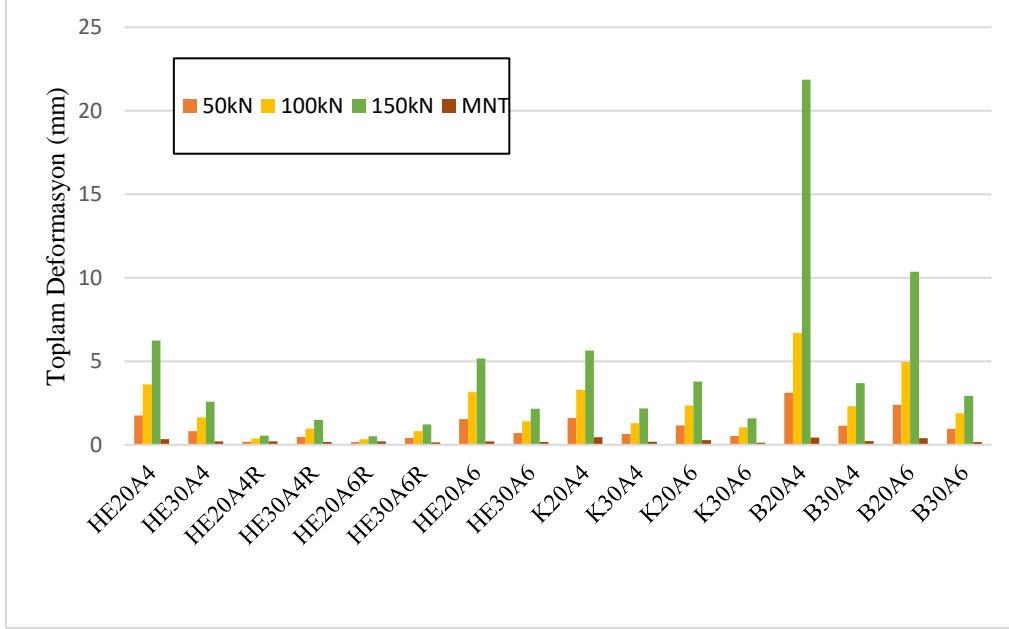
Şekil 8. Taban levhasında oluşan en büyük von-Mises gerilmeleri.

Benzer şekilde, bütün birleşimler ve bütün yüklemeler için taban levhası üzerinde oluşan en büyük toplam

deformasyonlar Şekil 9’da verilmiştir. Şekilden de rahatlıkla görülebileceği üzere, en büyük levha deformasyonu kolonu

boru profil olarak tasarlanan birleşimde ve 21.87 mm olarak ortaya çıkmıştır. Ankraj çubuğu sayısının 6 adet olarak tasarlandığı birleşimde deformasyonun azalarak 10.354 mm ye gerilediği tespit edilmiştir. Benzer şekilde, levha kalınlığının artmasıyla, levhada oluşan deformasyonun

azaldığı tespit edilmiştir. Örneğin, 20 mm kalınlıklı taban levhasına sahip HE20A4 birleşiminde en büyük levha deformasyonu 6.0759 mm iken, levha kalınlığının 30 mm olarak tasarlandığı birleşimde bu değer 2.4376 mm olarak hesaplanmıştır.



Şekil 9. Taban levhasında deformasyonlar.

Sonuç olarak; rijitlik levhası kullanımının ve ankraj sayısını artırmanın, levha üzerindeki deformasyon ve gerilmeleri azalttığı görülmüştür. Levha kalınlığı artırıldığında birleşimin rijitliğinin arttığı ve levha üzerinde oluşan gerilmenin azaldığı görülmüştür. Levha üzerinde oluşan gerilme dağılımları incelendiğinde, yatay yüklemeler için özellikle rijit birleşimlerde, gerilmelerin ankraj deliklerinin çevresinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Çalışmada yer alan tüm birleşim tipleri karşılaştırıldığında yatay yükler altında boru ve kutu kolon profilli birleşimlerde kolon üst ucu yer değiştirme değerlerinin HE600B profilli birleşimlere göre daha büyük olduğu görülmüştür. Birleşimlerde kullanılan bağlantı elemanlarından taban levhası kalınlığının ve ankraj sayısının artırılmasının ve rijitlik levhası kullanılmasının birleşimin rijitliğini arttırdığı, böylelikle de deformasyonu azalttığı gözlenmiştir. Mesnet reaksiyonları (MNT) analizleri için tüm birleşim tipleri incelendiğinde; taban levhası kalınlığını, ankraj sayısını artırmanın ve rijitlik levhası kullanmanın taban levhası deformasyonu ve gerilmesini azaltmanın yanında, kolon üst ucu yer değiştirmesini de azalttığı görülmüştür.

4. SONUÇLAR

Bu çalışmada, boyutları ve detayları belirlenmiş olan açıkta çelik kolon-taban levhası birleşimlerinin ANSYS® programı kullanılarak sonlu eleman yöntemi ile analizi gerçekleştirilerek, temel-kolon birleşim elemanlarının yük aktarmadaki etkisi ve mekanik davranışı incelenmiştir. Birleşimlerde farklı tipte kolon, farklı kalınlıkta taban levhası, farklı sayıda ankraj ve bazı birleşimlerde de rijitlik

levhaları kullanılmıştır. Birleşimlerin her biri 4 ayrı yüklemeye maruz bırakılarak toplamda 64 farklı statik analiz gerçekleştirilmiştir. Birleşimlere, 3 farklı yatay yük ile analizleri Türkiye Deprem Yönetmeliği'nde yer alan yüklemeye protokollerine göre yapılmış olan 15 katlı konut binasının temel mesnet reaksiyon kuvvetleri uygulanmıştır. Bu yüklemeler altında gerçekleştirilen sayısal analizlerden elde edilen, birleşimlerin taban levhaları üzerindeki gerilme, deformasyon ve kolon üst ucu yer değiştirme sonuçlarının karşılaştırmalı değerlendirilmeleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlarda; temel-kolon birleşimlerinde kullanılan taban levhası, ankrajlar ve rijitlik levhası bağlantı elemanlarının çelik taşıyıcı sistemler için yük aktarmada birinci dereceden etkili parametreler olduğu ve bu elemanlardaki yapısal değişikliklerin, birleşimlerin toplam mekanik davranışını önemli ölçüde etkilediği belirlenmiştir. Taban levhası kalınlığının, birleşimde kullanılan ankraj çubuğu sayısının ve birleşim tipinin birleşim davranışını etkileyen faktörlerin önde gelenleri olduğu gözlenmiştir.

Literatürde var olan benzer bir çalışmada [4], kolonlar üzerindeki aksenal yük sabit tutularak yatay yükler artırılmış ve birleşimler bu yükler altında analiz edilmiştir. Bu çalışmada elde edilen sonuçlara benzer olarak, yatay yükün artmasıyla yer değiştirme ve gerilmelerde artış olduğu ilgili çalışmada da gözlenmiştir. Söz konusu çalışmada bu makaledeki benzer olarak bulon delikleri etrafında gerilme yığılmalarının olduğu tespit edilmiştir [4].

Conflict of Interest: Bu çalışma, 2019 yılında kabul edilen Mustafa ATILGAN tarafından "Çelik Yapılarda Kullanılan Kolon Taban Levhalarının ve Ankrajlarının Analitik Olarak İncelenmesi" başlıklı YL tezinden üretilmiştir.

Financial Disclosure: Yazarlar bu çalışmanın finansal destek almadıklarını beyan etmişlerdir.

KAYNAKÇA

- [1].J. Jin and S. El-Tawil, "Seismic performance of steel frames with reduced beam section connections," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 61, no. 4, pp. 453-471, 2005.
- [2].J. Ocel *et al.*, "Steel beam-column connections using shape memory alloys," *Journal of Structural Engineering*, vol. 130, no. 5, pp. 732-740, 2004.
- [3].J. Shen, T. A. Sabol, B. Akbas, N. Sutchiewcharn, and W. Cai, "Seismic demand on column splices in steel moment frames," *Engineering Journal-Chicago*, vol. 47, no. 4, p. 223, 2010.
- [4].P. Hussein, "Çelik yapılarda kullanılan kolon taban levhalarının analitik olarak incelenmesi," Yüksek Lisans, Selçuk Üniversitesi, 2015.
- [5].URL-1. (10.07.2020). [Online]. Available: <https://insapedia.com/celik-yapilarda-kolon-ayaklari-temel-kolon-birlesimleri/>.
- [6]. Deren, E. Uzgider, F. Piroğlu, and Ö. Çağlayan, *Çelik Yapılar*. İstanbul: Çağlayan Kitabevi, 2012.
- [7].Y. Odabaşı, *Ahşap ve Çelik Yapı Elemanları*. İstanbul: Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ., 1997.
- [8].A. Kanvinde, D. Grilli, and F. Zareian, "Rotational stiffness of exposed column base connections: Experiments and analytical models," *Journal of structural engineering*, vol. 138, no. 5, pp. 549-560, 2012.
- [9].V.-E. Rosca, E.-C. Teleman, E. Axinte, and G. Baetu, "Design of steel column base connections for large eccentricities," *Buletinul Institutului Politehnic din Iasi. Sectia Constructii, Arhitectura*, vol. 59, no. 6, p. 137, 2013.
- [10].O. Civelek, "Süneklik Düzeyi Yüksek Çok Katlı Bir Çelik Yapının Tasarımı," Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul., 2010.
- [11].J. Fisher and L. Kloiber, "Base plate and anchor rod design, Steel Design Guide Series 1, American Institute of Steel Construction," *Inc., Chicago*, 2006.
- [12].J. Pertold, R. Xiao, and F. Wald, "Embedded steel column bases: I. Experiments and numerical simulation," *Journal of constructional steel research*, vol. 56, no. 3, pp. 253-270, 2000.
- [13].J. Pertold, R. Xiao, and F. Wald, "Embedded steel column bases: II. Design model proposal," *Journal of Constructional Steel Research*, vol. 56, no. 3, pp. 271-286, 2000.
- [14].S. Adany, L. Calado, and K. Dunai, "Experimental studies on cyclic behavior modes of base-plate connections," in *Proceedings of the Third International Conference on the Behavior of Steel Structures in Seismic Areas (STESSA 2000)*, Montreal, Canada, 2000, pp. 97-104.
- [15].P. M. Amaral, "Steel column bases under biaxial loading conditions," 2014.
- [16].A. Astaneh-Asl and G. Bergsma, "Cyclic behavior and seismic design of steel base plates," in *Structural Engineering in Natural Hazards Mitigation*, 1993: ASCE, pp. 409-414.
- [17].J. Borzouie, G. MacRae, J. Chase, and C. Clifton, "Experimental studies on cyclic behaviour of steel base plate connections considering anchor bolts post tensioning," 2014.
- [18].ANSYS. (2018). *Engineering Simulation & 3D Design Software*. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/>.
- [19].I. Computers and Structures. (2018). *Structural and Earthquake Engineering Programme*. [Online]. Available: <https://www.csiamerica.com/>, Accessed on: 01.01.2018.
- [20].*Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmelik*, 2007.
- [21].S. Sozen and M. Guler, "Determination of displacement distributions in bolted steel tension elements using digital image techniques," *Optics and lasers in engineering*, vol. 49, no. 12, pp. 1428-1435, 2011.
- [22].Z. Ü. Aslan, "Mevcut Çok Katlı Betonarme Bir Yapının Çok Katlı Çelik Yapı Olarak Tasarlanması ve Maliyetlerinin Karşılaştırılması: Tokat Ahi Evleri Örneği," Yüksek Lisans Tezi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gaziosmanpaşa Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Tokat., 2015.