



Makale / Research Paper

Çelik Taban Levhalarının Bağlantı Deliklerinde Tasarıma Aykırı Geometrik Değişimin Gerilme Dağılımına Etkisi

Salih ÖZDEMİR, Tuğba BAYTAK, Murat TOSUN, Osman BULUT*

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, İstanbul/TÜRKİYE
buluto@itu.edu.tr

Received/Geliş: 05.12.2019

Accepted/Kabul: 24.02.2020

Öz: Çelik yapılarda, yükleri kolondan tabana aktarmak için çeşitli tiplerde ve farklı sayıda montaj deliği içeren çelik taban plakaları kullanılır. Mukavemet açısından önemi nedeniyle, özellikle bir deprem durumu için, bu elemanların tasarımları hassas bir şekilde ele alınmalıdır. Kusursuz kaynak işlemi için kolon-taban levhası tek bir eleman olarak fabrikada üretilir. Sahada, beton tabana gömülü ankraj çubukları ve bu elemanlardaki montaj delikleri üst üste gelmelidir. Bu çubukların sabitlenmesi sırasında bir şablon kullanılsa da, istenilmeyen çeşitli etkiler altında bağlantı çubukları yanlış hizalanabilir. Bu tür problemler, inşaatın maliyet ve zaman sorunlarından dolayı genellikle herhangi bir analiz yapılmadan, deliklerin geometrisi değiştirilerek yönetilir. Bu çalışmada, montaj deliklerinin istenilmeyen geometrik değişiminin gerilme dağılımı üzerindeki etkisi sonlu elemanlar yöntemi ile araştırılmıştır. Sonlu elemanlar yöntemi için geliştirilen modeli doğrulamak için bir sarsma tablası deneyi de yapılmıştır.

Anahtar kelimeler: Çelik yapılar, kolon taban levhası, sarsma tablası, sonlu elemanlar yöntemi

The Effect of the Unanticipated Geometrical Change of Steel Base Plates' Mounting Holes on The Stress Distribution

Abstract: The steel base plates including various types and different number of mounting holes are used in the steel structure in order to transfer the loads from the column to the base. Because of the importance of these members in terms of strength, particularly in an earthquake, the design of them should be precisely considered. In order to provide a flawless welding process, the assembly of the column-base plate is produced in the factory as a single member. In site, the anchor rods embedded in the concrete base and the mounting holes in this assembly must overlap. Under various effects not desired, the anchor rods may be misaligned even if a template is used during the fixing of these rods. This type of problems is frequently managed by changing the geometry of holes without any analysis due to the cost and time issues of the construction. In this work, the effect of unanticipated geometrical change of mounting holes on the stress distribution is investigated by the finite element method. In order to verify the model developed for finite element model, an experiment of a shake table was also performed.

Keywords: Steel structures, column base plate, shake table, Finite Element Method

1. Giriş

Çelik yapıların tüm bağlantı noktalarının dayanım hesaplarının hassas bir şekilde yapılması, temel tasarım unsurudur. Bu tür yapıların temel ile bağlantısını sağlayan kritik eleman, kolon taban levhalarıdır (KTL) ve bu elemanlar kolonlara gelen ölü ve canlı yüklerin temele aktarılmasını sağlarlar. KTL, kompleks çelik yapılarda olduğu gibi açık alanlarda yer alan şehir mobilyaları, aydınlatmalar, reklam tabelaları türünden basit işlevleri bulunan yapılarda da kullanılmaktadır.

Bu makaleye atıf yapmak için

Özdemir, S., Baytak, T., Tosun, M., Bulut, O., "Çelik Taban Levhalarının Bağlantı Deliklerinde Tasarıma Aykırı Geometrik Değişimin Gerilme Dağılımına Etkisi" El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi 2020, 7(2); 461-473.

How to cite this article

Ozdemir, S., Baytak, T., Tosun, M., Bulut, O., "The Effect of the Unanticipated Geometrical Change of Steel Base Plates' Mounting Holes on The Stress Distribution" El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2020, 7(2); 461-473.

Hangi türde kullanılırsa kullanılsın, KTL'nin dayanımını rüzgâr ve deprem gibi dinamik yüklerin etkileyeceği göz ardı edilmemelidir (Şekil 1).

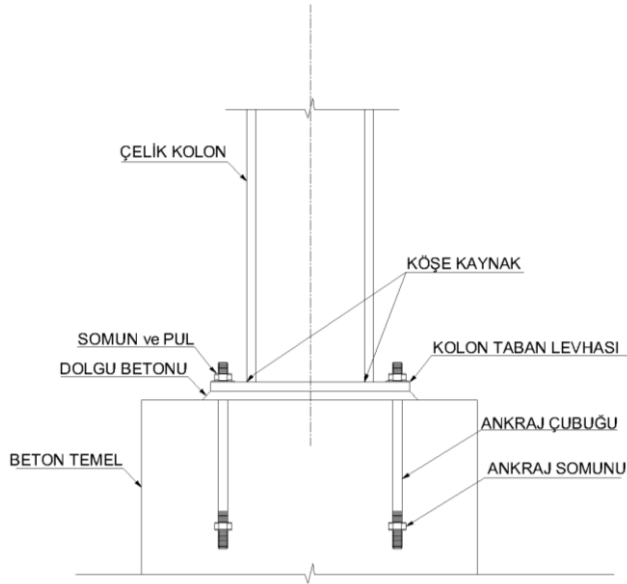
Şantiyede imalat sıralamasında ilk sıralarda yer alan taban levhaları ve ankraj çubukları, projelendirmede yapıdan gelen yük miktarının tam olarak hesaplanması sonrası tasarlanabilmektedir. Bu elemanların tasarımlarında yapısal gerekliliklerinden başka, ankraj çubuğunun montaj gerekliliklerine, inşa edilebilirlik ve tolerans sınırlarına da dikkat edilmesi gerekmektedir. Ankraj çubuklarının doğru konumlandırılması ve taban levhasının uygun şekilde bağlanması ile binanın temele yük aktarımını sağlayabilmesi ve dayanımı açısından önem taşımaktadır [1].

Taban levhalarının kolona montajı, kaynak hassasiyeti gözetilerek atölye imalatları sırasında gerçekleştirilir. Atölyede imalatı gerçekleştirilen KTL için ankraj deliklerine uygun, kılavuz bir şablon levha hazırlanır. Bu kılavuz levha, ankraj konumlandırması yapılırken, tasarımda belirlenen koordinatlara uygunluğun sağlanabilmesi için kullanılmaktadır. Bir kısım yapıım işlerinde süre ve maliyet gibi unsurlar göz önünde bulundurularak kılavuz levha kullanımı ihmal edilmektedir. Ancak kılavuz levhanın kullanılması durumunda dahi, şantiyede beton dökümü esnasındaki çalışma koşulları, kalıp koşulları ve dökülen betonun tam prizini almadan harita okumalarının yapılmayıp kılavuz levhasının erken alınması gibi nedenlerle ankraj çubukları, tasarımda belirlenen konumlarından kaymaktadır. Bu durum atölyede imalatı tamamlanmış KTL elemanının montajında problemlere sebep olmaktadır. Sahada hızlı bir yöntem olarak, taban levhası montaj deliklerinin çeşitli işlemlerle genişletildiği görülmektedir. Bu genişletme işlemi bazen kaynak ısısı kullanılarak yapılmaktadır; ki bu elemanın dayanımını etkilemektedir [2]. Bunun oluşturacağı olumsuz etkiler bazen delik üzerine yerleştirilen ek levhası ile çözümlenmeye çalışılmakta, ancak bu durumun analizi tekrar yapılmamaktadır (Şekil 1). Montaj deliklerinin plaka kenarlarına olan uzaklıkları ile ilgili çeşitli sınırlandırmalar çeşitli standart ve yönetmeliklerde belirtilmektedir [3, 4]. Tüm yapının güvenli ve ekonomik tasarım ve inşası için kolon taban levhalarının ne denli önemli olduğu göz ardı edilemez.

Teknik literatürde KTL hakkında çeşitli güncel çalışmalar mevcuttur. Pertold v.d., gömülü çelik kolon taban levhalarının iki farklı deneysel modelinin davranışlarını analiz etmişlerdir. Modeller, çelik kolon taban levhalarının aderans ve zımbalama dayanımlarını ölçebilecek şekilde tasarlanmıştır. Sonlu elemanlar analizinden, kolon temelindeki gerilme dağılımları elde edilmiştir. Sayısal sonuçlar, test sonuçlarına göre kalibre edilmiştir [5]. Bu çalışmadan sonra Pertold v.d. tarafından gömülü çelik kolon kaidesi için bir tasarım modeli önerilmiştir. Bunun sonucunda, plastik gerilme dağılım analizi kullanılarak moment, kesme ve düşey dayanım hesapları sunulmuştur [6].

Kulkarni ve Sawant, çelik bir yapının kolon taban levhasının bulon kullanılarak birleştirilmesi üzerine deneysel bir çalışma sunmuşlardır. Bu çalışmada çelik yapıdaki bağlantıların çevrimsel yükler altında göstereceği davranış incelenmiştir. Ele alınan numunelerde kaynaklı ve bulonlu birleşimlerin analizleri yapılmıştır. Çalışmada üç katlı bir binanın stabilitesi, sismik izolatörlü taban birleşimi ve izolatörsüz taban birleşimi olarak iki farklı duruma göre incelenmiştir. Modellerde sismik etkiler sarsma tablası ile sağlanmıştır [7].

Tsavdaridis v.d., çekme kuvveti etkisi altında çalışan tek başlıklı ankraj çubuğunda oluşan gerilmeleri sonlu elemanlar yöntemiyle araştırmış, betona gömülü ankraj çubuğunun sertliğini tanımlayan bir denklem türetmiştir. Ayrıca bu makalede, bağlantının uygulanmasından, ankraj çubuğu sayısı ve düzeninden bağımsız olarak taban plakası bağlantısının analizi için yalnızca rijitliği hesaba katan basit bir yaklaşım önerilmektedir [8].



Şekil 1. Taban levhasının ankraj çubuğu ile bağlantısı için kullanılan ek levha

Dumas v.d., güncel yapılarda genel kullanımda olan üç tip KTL bağlantısı için karakteristik denklemler ortaya koymuştur. Bunun için bir dizi deney ile moment-dönme eğrileri elde edilmiş ve taban levhalarının davranışları genelleştirilmiştir. Ayrıca sonlu elemanlar yöntemi ile benzer bir çalışma da yapılmıştır [9].

Delft Teknoloji Üniversitesi'nin Stevin Laboratuvarı'nda, deneysel ve teorik olarak kolon taban levhalarının kesme kuvveti ve normal kuvvet etkileri altındaki davranışları incelenmiştir. Makalede yük-deformasyon eğrisi için geliştirilen analitik model sunulmuştur [10].

Di v.d., çelik-beton kolon bağlantı tipleri için deneysel sonuçları sunmaktadır. Bu testler sonucunda ankraj civataları davranışının, bağlantının yapısal tepkisini önemli ölçüde etkilediği görülmüştür [11].

Çelik yapılarda kuvvetli deprem hareketi etkisi altında, kolonlardaki eksenel yük artışlarını hesaba katarak farklı yönetmeliklerdeki büyütme katsayıları literatürde incelenmiştir [12]. Yine kuvvetli deprem hareketinin çelik yapılarda merkezi çarpazlı çerçevelerin burulma davranışları çalışılmıştır [13].

Cui, çalışmalarında ankraj çubuğunun sayısı, ankraj çubuğunun düzeni, yanal yükleme tipi ve eksenel kuvvet parametrelerini deneysel olarak incelemiştir. Deney sonuçları, mevcut tasarım yaklaşımının makul moment direncinin tahmin edilebileceğini, fakat açık kolon tabanının kesme dayanımının tahmin edilenden fazla olduğunu göstermiştir [14].

Abdollahzadeh ve Ghobadi, kolon tabanı bağlantısı için moment-dönme ilişkisine bağlı yeni bir model önermişlerdir. Doğrusal olmayan bu model, muhtemel göçme modları ve bağlantı elemanlarının deformasyon karakteristiklerine bağlı olarak moment-dönme eğrilerini verecek bir yaklaşımı temsil etmektedir [15].

Bu çalışmada, çelik yapıların zemine bağlanması için betonarme kaideler içerisine yerleştirilen ankraj çubuklarının konumlandırılmalarındaki hatalardan dolayı, inşa sırasında montaj deliklerinde oluşturulan tasarım dışı geometrilerin gerilme dağılımına etkisi incelenmiştir. Bunun için öncelikle geçerli standartlara göre bir KTL modeli tasarlanmıştır. Bu model hem deney hem de sayısal

analizde kullanılmıştır. Bu sebeple model boyutları için deneysel imkanlar kısıtlayıcı olmuştur. Deney, sarsma tablasında zamana bağlı yer değiştirme türünde tanımlanan hareketle gerçekleştirilmiş, modelin montaj deliklerinden birisi civarındaki birim uzama strain gage kullanılarak ölçülmüştür. Bu veri ve sonuçlarla geliştirilen sayısal model Abaqus paket programı ile çözülmüş ve model mühendislik yaklaşımı içerisinde doğrulanmıştır. Ardından modeldeki deliklerde iki tür kusur denenerek etkileri incelenmiştir.

2. Model

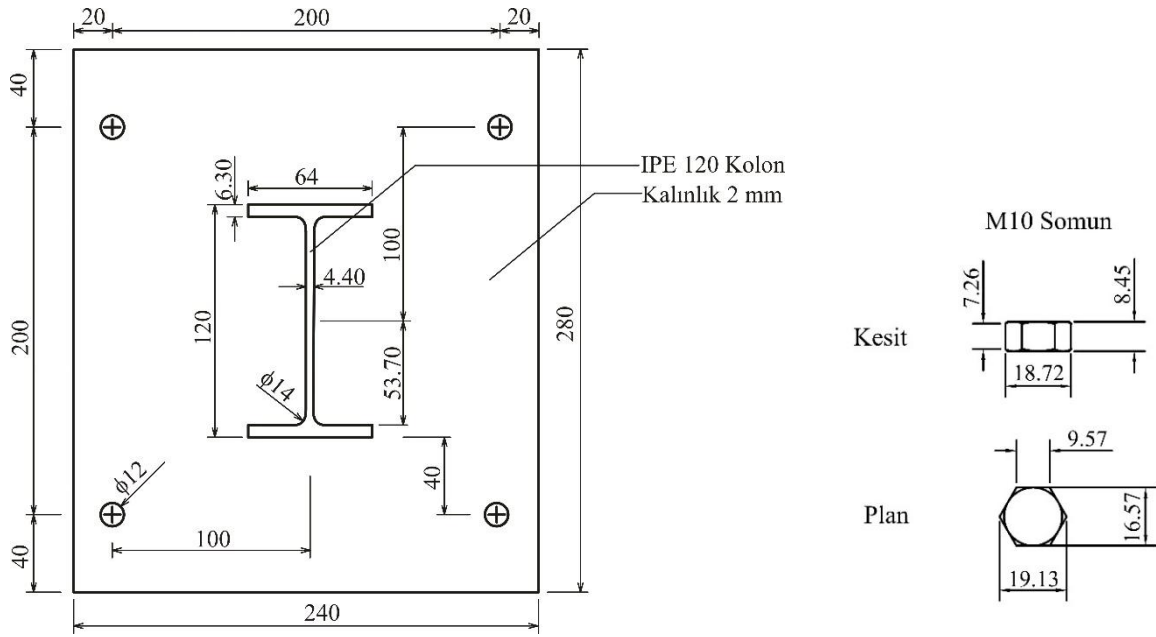
Bu çalışmada kullanılacak deney modeli, sarsma tablasının montaj detayları ve taşıma kapasiteleri göz önünde bulundurularak, veri ölçüm hassasiyetini sağlayacak şekilde, bu çalışmaya özel olarak boyutlandırılmıştır. KTL tasarımı için Amerikan Çelik Yapılar Enstitüsü (AISC), Taban Levhası ve Ankraj Çubuğu Tasarımı (BPARD) başlıklı kitabı bulunmaktadır. KTL analiz ve tasarımlarında sıkça kullanılan bu kitap genel standartları ve formülleri sunmaktadır [1]. BPARD 'de KTL için beş farklı yük durumu göz önünde bulundurulmuştur ve bunlar merkezi aksenal basınçlı yükler, aksenal çekme yükleri, küçük momentli taban levhaları, büyük momentli taban levhaları, kesme tasarımı olarak listelenmiştir. Bunun haricinde genel kabul gören “Yük ve Dayanım Katsayısı ile Tasarım” (LRFD- Load and Resistance Factor Design) veya “Emniyet Gerilimlerine göre Tasarım” (ASD- Allowable Stress Design) yöntemleri, AISC 360-16 Çelik Binalar Şartnamesi 'nde yer almaktadır [4]. Bu çalışmada, çeşitli kısıtlar göz önünde bulundurularak yapılan hesaplamalar ve ön analizler sonrasında önerilen Şekil 2 'de boyutları verilmiş modelin, belirtilen bu kitap ile şartnameye uygunluğu kontrol edilmiştir.

Deney modeli tasarımı için taban levhasına iletilecek aksenal yükün 1 kN ve eğilme momentinin 1 kNmm olduğu varsayılmıştır. Bu seçimde deney için modelin emniyetli tasarımının yapılması amaçlanmıştır. Modelde delik geometrisi civarında şekil değiştirme analizi yapılacağından, diğer gerekliliklerin sağlanacağı ön koşulu ile tasarım yapılmıştır. Beton kaidenin davranışı ile ilgili herhangi bir analiz yapılmayacağından bu kaidenin yeterli boyutlarda ve C30 beton sınıfında olduğu düşünülmüştür. Bu sayede ezilme ile göçmenin oluşmayacağı, tasarım için baştan varsayılmıştır. Kaide betonunun yüzey alanı ile taban levhası yüzey alanının oranı olan α , 1.5 alınarak gerekli minimum taban levhası alanı hesaplanmıştır. Levha kalınlığı, minimum koşulları sağlayacak şekilde 2 mm olarak belirlenmiştir. Levhaya tam olarak kaynaklanmış kolon IPE 120 kolondur. Montaj delikleri 10 mm çaplı olup bağlantı için M10 ankraj çubukları kullanılacaktır. Kolonun deliklere olan uzaklıkları ile delikler arasındaki mesafelerin hesapları, eksantrisite hesabı ile karar verilen küçük moment etkisindeki kolon taban levhasının ilgili kontrolleri, ilgili şartname takip edilerek yapılmıştır [4, 16].

3. Deney

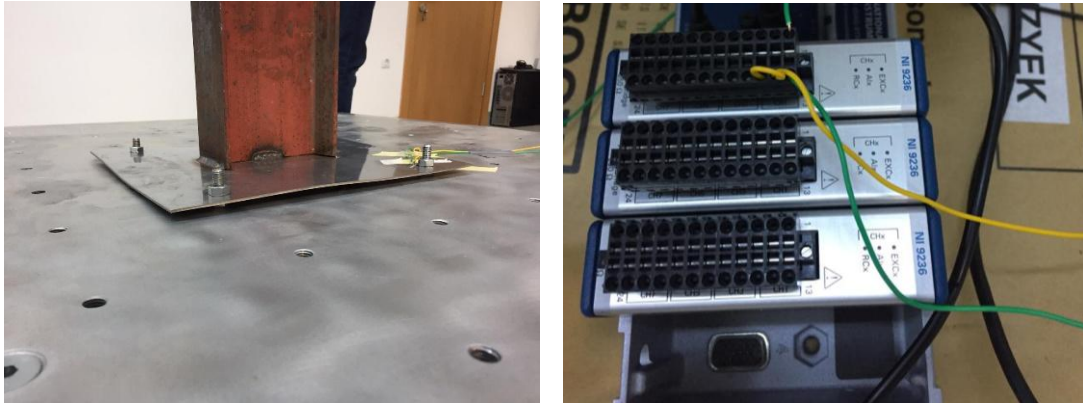
Kolon taban levhasında montaj delikleri civarında gerilme analizi için geliştirilen sayısal modelin doğrulanabilmesi amacıyla geliştirilen deney modeli sarsma tablasına, tablaya tam olarak bağlı ankraj çubukları ile mesnetlenmiştir. Bu çalışma kapsamında kullanılan sarsma tablası 125 kg kapasiteli 100 cm x 100 cm boyutlarında olup, bu sarsma tablasına bilgisayar yazılımı ile yer değiştirme - zaman veya ivme - zaman girişi yapılabilmektedir (Şekil 3).

Deney modeli daha önce de belirtildiği gibi sarsma tablasının yük kapasitesi ve laboratuvar alanı gibi limitlerden dolayı ikinci bölümde hesabı verilen boyutlarda tasarlanmıştır. Şekil 2 'de boyutları verilen deney modelinde IPE 120 profilin yüksekliği 20 cm 'dir. Modelin sarsma tablasına bağlantısı, M10 ankraj çubukları ile yapılmıştır (Şekil 3).



Şekil 2. Model için önerilen IPE 120 kolon ve 2 mm kalınlıklı taban levhası ile bağlantı elemanlarının mm biriminde boyutları

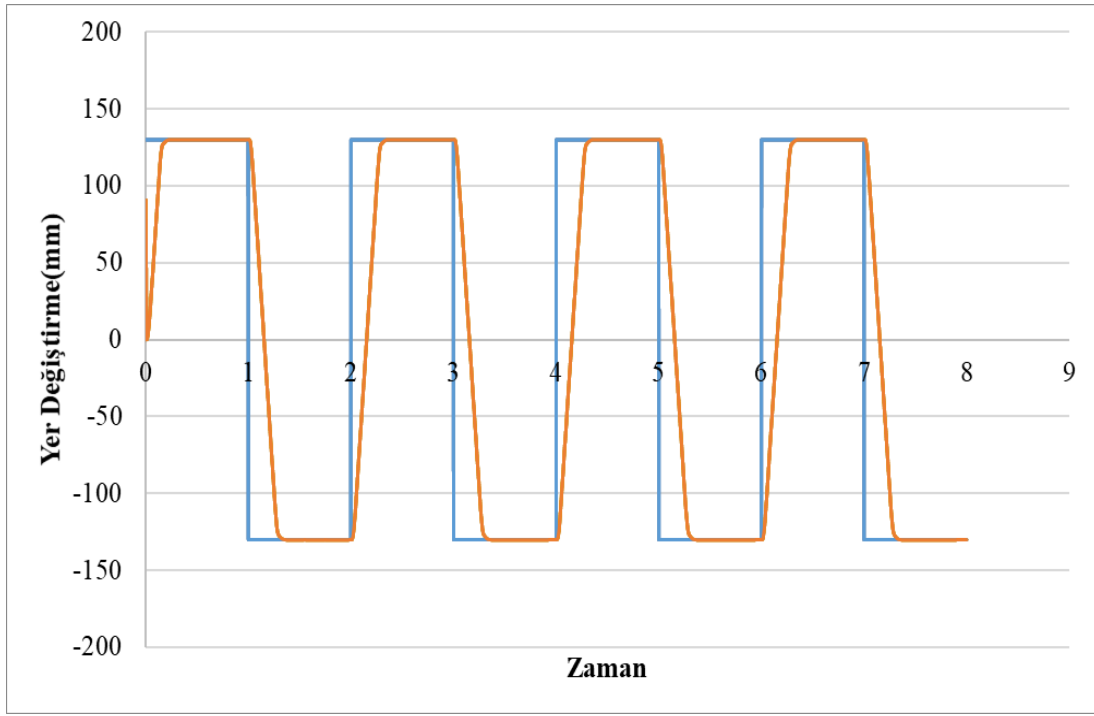
Ankrajlar önce bulonlar ile sabitlenmiş, ardından KTL bu bulonlar üzerine sabitlenmiştir. Sahada uygulamada da bu şekilde bağlantı yapılmaktadır. Dolayısıyla yük aktarımı KTL 'nin tüm taban yüzeyi üzerinden değil, bağlantı noktalarında bulon yüzey alanları üzerinden gerçekleşmektedir.



Şekil 3. Montajı tamamlanmış modelin fotoğrafı ve kullanılan strain gage veri toplama istasyonu

Deney, bu modelin belirli bir yer değiştirme-zaman girdisine göre hareketini gözlemlemeye dayanmaktadır. Şekil 4 'te genliği 130 mm olan yer değiştirmenin zamana göre değişim grafiği verilmiştir. Bu grafikte sarsma tablasının gerçekleştirdiği eğri, turuncu renkle gösterilmiştir.

Deney süresince montaj deliklerinin biri civarında, daha önce yapılan ön sayısal analizlerle karar verilmiş noktadan, strain gage yardımıyla şekil değiştirme değerleri okunmuştur. Kullanılan veri toplayıcı National Instruments marka NI-9236 model, çeyrek köprü olup 10000 veri/saniye hızında veri toplamaktadır. Kullanılan strain gage, 350 Ω genel kullanım amaçlı Micro-Measurements markadır ve gage faktörü $K=2.15\pm0.5\%$ olarak verilmiştir. Planda strain gage 'in yapılandırıldığı yer ve modelin fotoğrafı Şekil 5 'te görülmektedir.



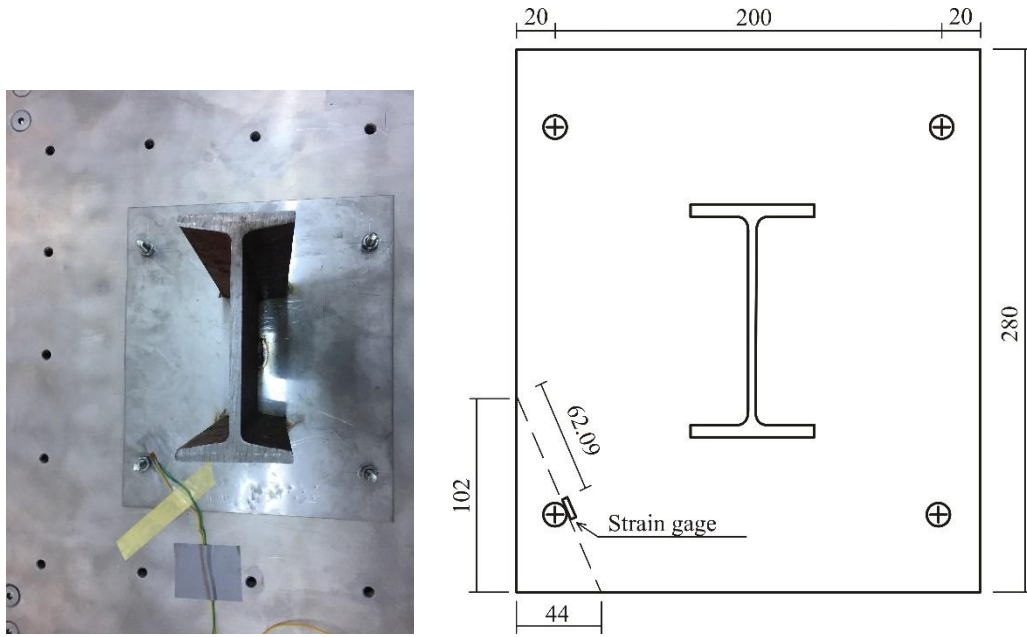
Şekil 4. Modele verilmek istenilen yer değiştirme-zaman grafiği (mavi renk), modele verilebilen yer değiştirme-zaman grafiği (turuncu renk)

Deney süresince veri toplayıcıdan alınan data ile çizilen şekil değiştirme-zaman grafiği Şekil 6'da verilmiştir. Bu grafikte okunan en büyük değer -9.6×10^{-4} olarak belirlenmiştir.

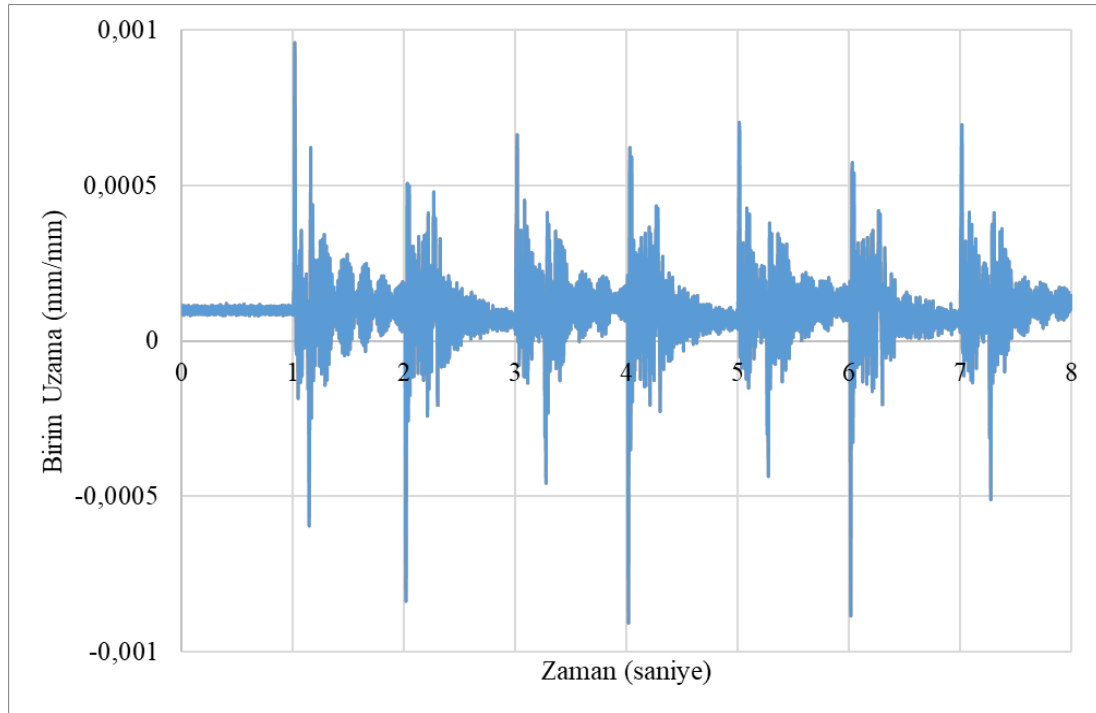
4. Sonlu Eleman Analizi

Bu çalışmada sonlu eleman paket programı ABAQUS 6.13 kullanılmıştır. Deney öncesi deney modelinin boyutlarına karar verilirken bazı sonlu eleman analizleri ön çalışma olarak yapılmıştır. Ancak deneyden elde edilen verilerle sonlu elemanlar modelinin doğrulanması için sayısal model, deneyden sonra geliştirilmiştir. Bu çalışmada deney modeli ile aynı boyutlara sahip ve aynı yer değiştirme hareketini yapan sonlu eleman modelinden ilgili noktada veri alınarak sonlu eleman modeli doğrulanmıştır. Ardından taban plakasının bir deliğinde iki farklı kusur durumu benzer koşullar altında sayısal yöntemle analiz edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Sayısal modeller üç boyutlu olarak tanımlanmış deney modelindeki boyutlara sahip bir adet kolon ile bir adet taban levhasının birleşiminden oluşmaktadır. Montaj delikleri ilgili yerlerde açılmış, bu deliklerden geçen ankraj çubuklarını temsilen programda referans noktaları tanımlanmıştır. Düzenli geometriye sahip deliklerde bu noktalar delik merkezlerinde konumlandırılmıştır. İlgili kusurlarda ankraj çubuklarının konumları farklı seçilmiştir.



Şekil 5. Strain gage uygulanan model ve bunun planda konumu



Şekil 6. Strain gage 'den alınan verilerle çizilen şekil değiştirme-zaman grafiği

Montaj delikleri etrafında, taban levhasını ankraj çubuğuna sabitleyen bulonların yüzey alanları tanımlanmıştır. Altıgen bulon için eşkenar altıgen şeklinde tanımlanmış bu alanlar, bulonların sıkıştırıldıktan sonra farklı pozisyonlarını temsil etmek amacıyla belli açılarla döndürülmüştür. Bu amaçla modellerde dört adet delik için 0, 15, 45 ve 90 derecelerle döndürülmüş alanlar tanımlanmıştır. Böylece bulon konumunun etkisi de gözlemlenmek istenilmiştir. Katı ve homojen cisim olarak tanımlanan sayısal model için çelik malzeme sabitleri olan elastisite modülü ve Poisson oranı sırasıyla

$$E = 200000 \text{ MPa}, \nu = 0.3 \quad (1)$$

olup birim hacim ağırlığı

$$U1 = 130 \text{ mm}, U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0 \quad (2)$$

olarak alınmıştır. Eksplisit yöntemle analiz edilen dinamik modelde, deney modelinde tanımlanan hareketin ilk 2.2 saniyelik kısmındaki konum-zaman verileri kullanılmıştır. Böylece model için tam bir periyot tanımlanmıştır (Şekil 4). Modeli oluşturan taban levhası ile I kesitli kolon birbirine tam olarak bağlanmıştır. Bunun için taban levhası yüzeyinde ilgili alan programa girilmiştir. Birbiri ile etkileşimi olan ankraj çubuğu ile montaj deliklerinin iç yüzeyleri de modelde birbirlerine kinematik koşulla bağlanmıştır. Bunun için ankraj çubuğunu temsil eden referans noktası, bulunduğu deliğin iç yüzeyine tüm yer değiştirme bileşenleri cinsinden birleştirilmiştir. Ancak bu durum geometrisi değiştirilen deliklerde bir miktar farklıdır. Bu deliklerde referans noktası tüm serberstlikler cinsinden levhada tanımlanmış temas alanları ile birleştirilmiştir.

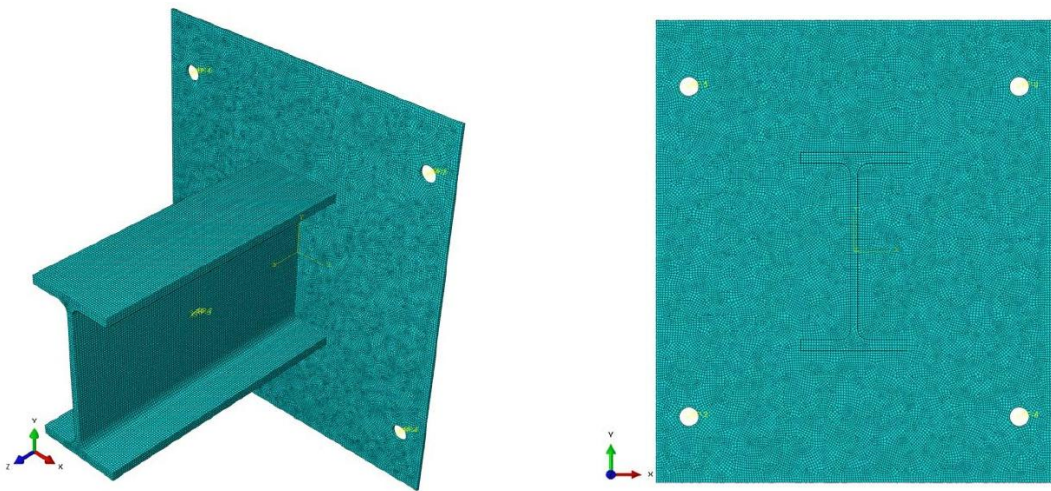
Modelde sınır koşulu olarak bulon yüzey alanlarına ve referans noktalarına atamalar yapılmıştır. Bulonlar levhanın kalınlık doğrultusunda hareketini ve diğer doğrultular etrafında dönmesini tuttuğundan, bulon yüzeylerinin levhada tanımlandığı alanlarda

$$U3 = UR1 = UR2 = 0 \quad (3)$$

olarak alınmıştır. Model, deneyde yalnızca bir doğrultuda genliği belli olan ötelenme hareketini zamana bağlı olarak gerçekleştirmiştir. Dolayısıyla sayısal modelde referans noktalarında sınır koşulu olarak, bir doğrultuda ilgili genlikte hareketi ve diğer doğrultularda hiçbir hareketin olmamasını ifade eden

$$U1 = 130 \text{ mm}, U2 = U3 = UR1 = UR2 = UR3 = 0 \quad (4)$$

koşulları tanımlanmıştır. Tanımlanan bu ötelenmenin zamana bağlı değişimi programa tanımlanan tablo ile sağlanmıştır. Bu tablodaki veriler deneyde sarsma tablasından elde edilen yer değiştirme-zaman verileri ile oluşturulmuştur. Bu veriler Tablo 1 'de verilmiştir. Modelin sonlu eleman ağı programın kütüphanesinde bulunan C3D8R ve C3D6 elemanları kullanılarak oluşturulmuştur. Eleman sayıları tüm modellerde yaklaşık aynı tutulmuştur. Deney ile doğrulanan modelde toplam 118205 eleman kullanılmıştır. Bu modelde oluşturulan sonlu eleman ağı Şekil 7 'de verilmiştir.

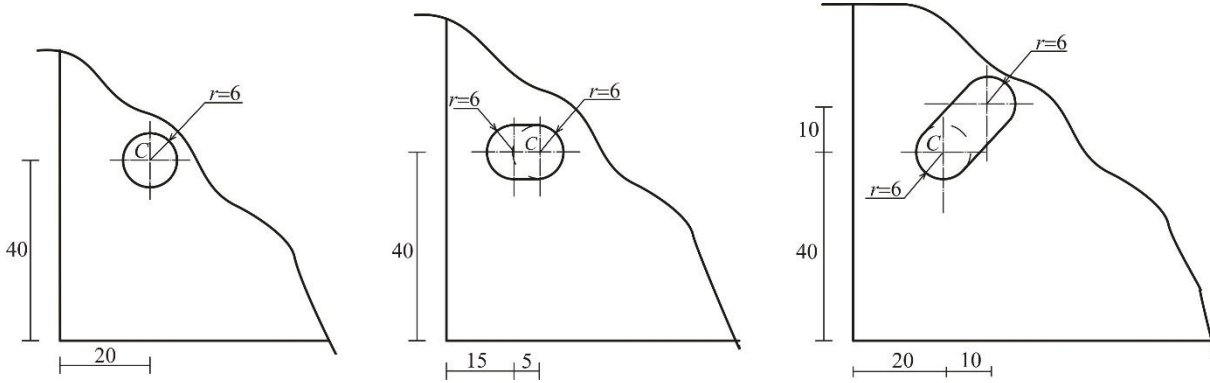


Şekil 7. Deney modeli ile doğrulanmış sayısal modelde sonlu eleman ağı yapısının 3D ve plan görünüşü

Tablo 1. Modele verilen yer değiştirmeyi tanımlayan konum-zaman verileri

Zaman (s)	Konum (mm)
0	0.000769231
0.1	0.203846154
0.2	0.943076923
0.3	1
1	1
1.1	0.797692308
1.2	0.016153846
1.3	-0.75538461
1.4	-0.99923076
1.5	-1.00076923
2	-1.00076923
2.1	-0.79307692
2.2	-0.16923077

Deney sonuçları ile doğrulaması yapılacak sayısal modelin boyutları Şekil 2 'de görülmektedir. Deneyden alınan veriler sol alt köşedeki montaj deliği civarından olduğundan sayısal modelde de aynı yerden veri alınmıştır. Ayrıca diğer modellerde bu deliğin geometrisi değiştirilmiş ve gerilme dağılımı ile deformasyona etkisi incelenmiştir. Deneyde delik, yarıçapı 6 mm olan dairesel boşluktur. Sayısal modelde bu oyuğun deneydekinden farklı olarak iki farklı geometrisi de incelenmiştir. Modellerden birisinde oyuğun sol kenara doğru 5 mm, diğerinde ise delik boşluğunun 45 derece açı ile kolon birleşimine doğru 14.142 mm genişletilmesi durumları incelenmiştir. Bu farklı durumlar Şekil 8 'de gösterilmiştir.



Şekil 8. Sayısal modellerde geometrisi değiştirilen montaj deliklerinin konum ve boyutları

5. Sonuçlar

Deney modeli ile aynı geometriye sahip sayısal modelde yapılan dinamik analiz sonucunda öncelikle şekil değiştirme bileşenleri incelenmiştir. Deneyden elde edilen veriler strain gage 'in yapıştırıldığı noktada ilgili doğrultuda ölçülen birim uzamalardır. Bunlardan mutlak değerce en büyük olanı sayısal modelde ilgili noktadaki veri ile karşılaştırılmıştır. Bu amaçla sayısal analizde öncelikle ilgili deliğin bulon bölgesinde Şekil 5 'de görülen strain gage uygulama noktası civarında alınan on dört elemandaki en büyük birim uzama (LEmaks) değerleri çizdirilmiştir (Şekil 9).

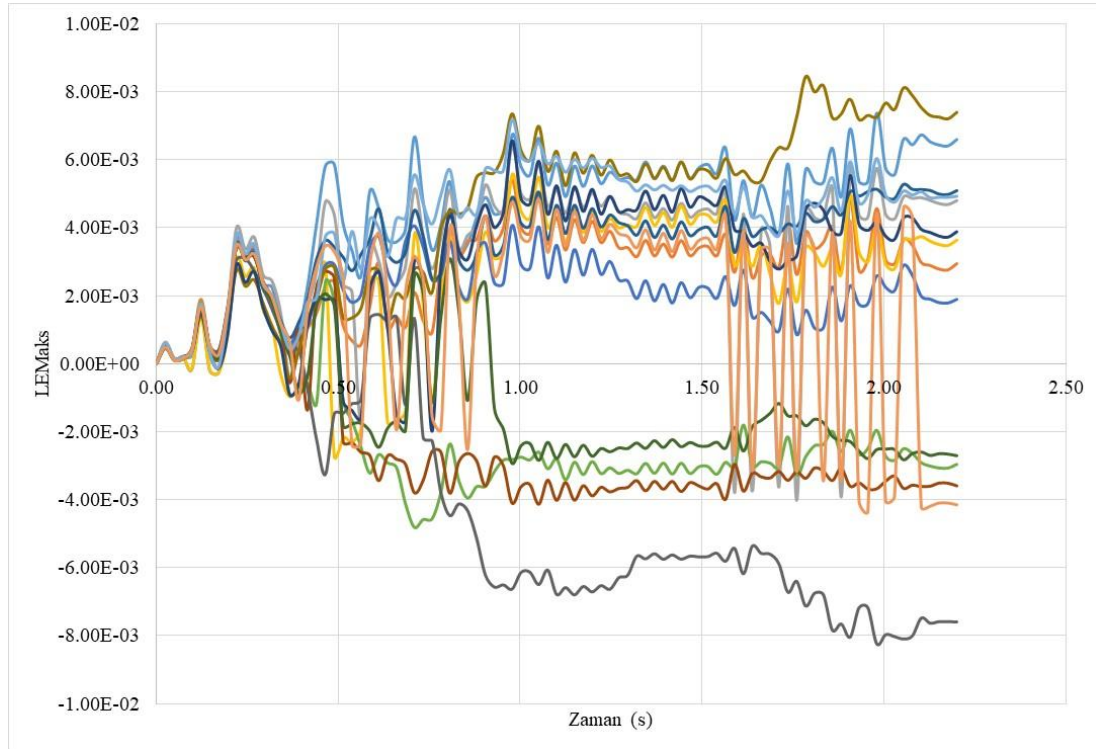
Bu değişimlerin verileri değerlendirildiğinde en büyük zorlanmaların analizin 81 numaralı adımı olan 1.98 saniyesinde olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu bölgede strain gage doğrultusunda birim uzama hesabı bu adımda yapılmıştır. İlgili doğrultu Şekil 5 'ten hesaplanmış ve mukavemetin

dönüşüm formülleri kullanılarak yüzeyde ilgili bölgede alınan doğrultuda şekil değiştirme, -8.6×10^{-4} olarak hesaplanmıştır.

Yapılan bu doğrulama işlemi sonrasında incelenen delikler etrafındaki Von Mises gerilmelerinin dağılımları 81 numaralı adım için ele alınan üç modelde karşılaştırılmıştır (Şekil 10, 11). Modellerin analizi sonucu 81 numaralı adımda oluşan Von Mises gerilmelerinin planda dağılımı ve oluşan deformasyon Şekil 12 'de verilmiştir.

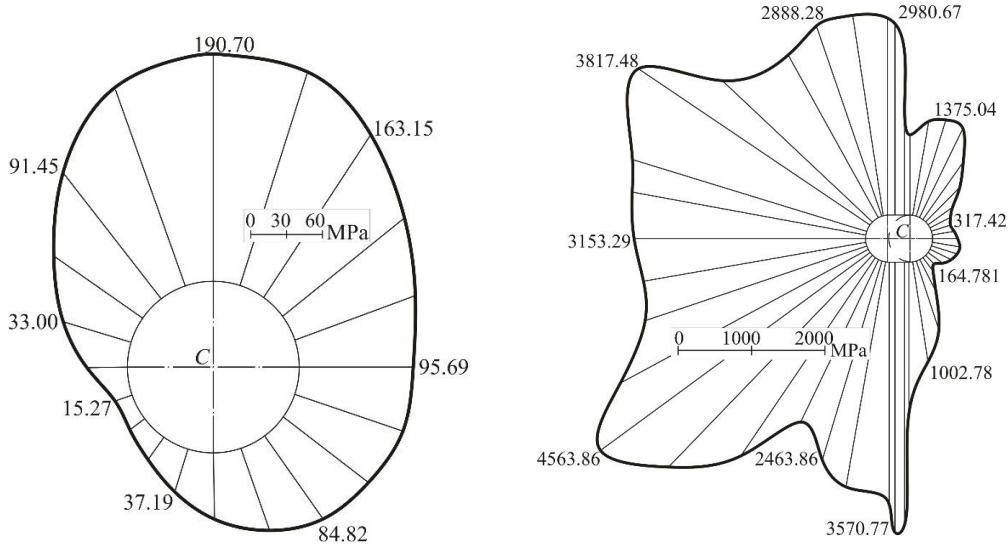
5. Değerlendirme ve Çıkarımlar

Çelik yapıların taşıdığı yükleri güvenli bir şekilde zemine aktarabilmeleri için analizlerle boyutlandırılan taban levhaları, şantiyede montaj esnasında karşılaşılan problemlerden dolayı bazı geometrik değişikliklere maruz kalmaktadırlar. Bu problemler beton bloklar içerisine yerleştirilmiş bağlantı ankraj çubukları ile montaj deliklerinin merkezlenememesinden kaynaklı olup, zaman kısıtı daha önemli görülerek çözüm için genelde delik büyütülmesi yöntemi uygulanmaktadır. Her ne kadar geometrisi bu şekilde değiştirilen deliğin bağlantısı sırasında bulon altına ek levha yerleştirilse de deprem gibi önemli dinamik etkiler altında bu bağlantıların davranışları bilinmemektedir.

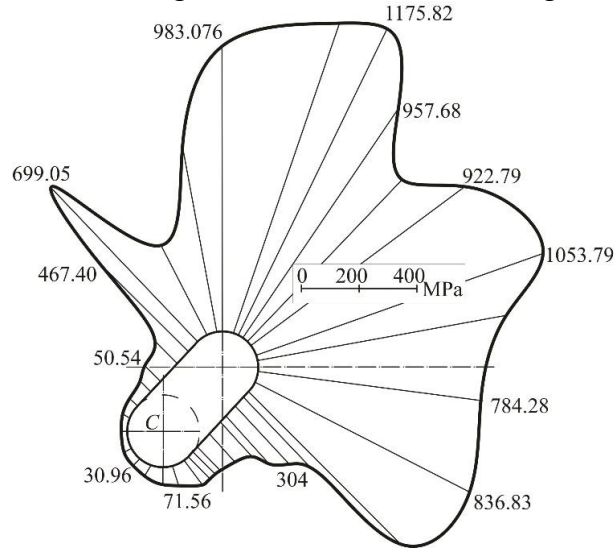


Şekil 9. Deneysel ile karşılaştırılan sayısal modelde strain gage 'in yapıştırıldığı nokta civarından alınan elemanlarda en büyük birim uzama değeri LEmax 'ın zamana göre değişimi

Bu konunun araştırılması ve sayısal modellerin geliştirilmesi amacıyla bu çalışmada bir kolon ve taban levhası birleşimi deney modeli olarak imal edilmiş ve sarsma tablasında deneyleri gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler esnasında montaj deliğinin biri civarından birim uzama değerleri strain gage kullanılarak elde edilmiştir. Geliştirilen sonlu eleman modelinden elde edilen verilerin bu değerler ile karşılaştırılması ile sonlu eleman modeli doğrulanmıştır. Burada yapılan karşılaştırmada deney ile sayısal analizden elde edilen sonuçlar arasındaki farkın %10 civarında olduğu görülmektedir. Bu sonuç, sayısal modelin araştırma için yeterli doğrulukta kullanılabileceğini göstermektedir.

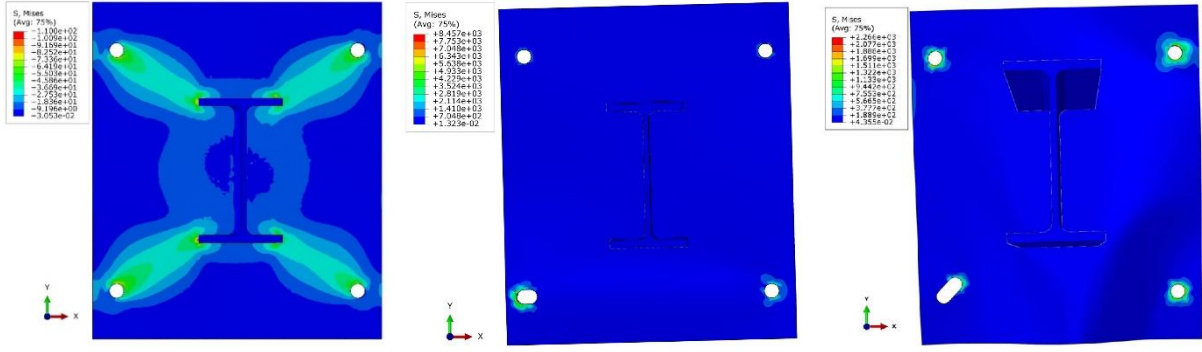


Şekil 10. Tasarlanan delik ve bunun 5 mm kenara doğru genişletilmesi ile oluşan delik etrafındaki Von Mises gerilmelerinin 81. adımda dağılımları



Şekil 11. Tasarlanan deliğin kolona doğru genişletilmesi ile oluşan delik etrafındaki Von Mises gerilmelerinin 81. adımda dağılımları

Ardından aynı sonlu eleman modelinde deliklerden birinde iki farklı geometri analiz edilmiştir. Bu delikler etrafındaki Von Mises gerilmeleri, modelde tanımlı dinamik hareket süresince en büyük zorlanmanın olduğu adım için karşılaştırılmıştır. İlk modelde, deneyde tasarlanan dairesel boşluk geometrisindeki delik çevresinde gerilme değerleri çelik için elastik sınırın altında kalmaktadır (Şekil 11). Bu durumda oluşan en büyük gerilmeler deliğin tepesinde ve kolona bakan tarafında oluşmuştur. İlgili deliğin kenara doğru 5 mm yaklaştırılması halini belirten ikinci modelde delik kenarında oldukça yüksek gerilme değerleri oluşmuştur (Şekil 11). Bu değerler çeliğin taşıma kapasitesinin oldukça üzerindedir. Geometrinin bu şekilde değiştirilmesi yalnızca levha kenarına yakın delik civarını değil, kolona bakan delik civarını da etkilemiştir. Bu bölgede de taşıma kapasitesinin üzerinde gerilme değerleri görülmektedir. Üçüncü modelde delik kolon birleşimine doğru, yataydan 45 derece eğimli doğrultuda 14.14 mm yaklaştırılmıştır. Buna ait gerilme dağılımında yalnızca kolona bakan delik yüzündeki gerilme değerlerinin taşıma kapasitesinden yüksek olduğu görülmektedir (Şekil 12). Ancak son durumdaki gerilme değerleri ikinci durumda oluşanlara göre oldukça düşüktür. Bu sonuçlara göre deliğin kenara doğru büyütülmesinin çok daha



Şekil 12. Modellerde analiz sonucu 81. adımda oluşan Von Mises gerilmelerinin planda dağılımı ve oluşan deformasyon

riskli olduğu ve delik çevresindeki tüm gerilme dağılımında etkili olduğu anlaşılmıştır. Başlangıçta, deliğin kenara bakan tepe noktasının levha kenarına uzaklığı 14 mm iken delik çevresinde oluşan en büyük Von Mises gerilmesi, bu uzaklığın 9 mm 'ye düşürülmesi ile yaklaşık yirmi dört kat artmıştır. Buradaki deliğin kenara yaklaştırılma miktarı delik yarıçapından küçüktür. Buna göre taban levhalarının montajında özellikle deliklerin levha kenarına yaklaştırılmaması için önlem alınmalıdır.

Üç modelden elde edilen genel Von Mises gerilmelerinin dağılımları ve deformasyon durumları incelendiğinde ilk modelde elde edilen simetrik durumun diğer modellerde önemli ölçüde bozulduğu görülmektedir. Ayrıca ikinci ve üçüncü modelde delik civarında gerilme yığılmalarının ilk modele göre daha fazla olduğu görülmektedir (Şekil 12). Bu durum ikinci modelde daha fazla belirgindir. Buradan da yine, levhanın dış kenarına doğru yapılacak delik genişletmesinin profile doğru yapılacak genişletmeye göre daha riskli durumlar oluşturacağı anlaşılmaktadır. Ayrıca ikinci ve üçüncü modellerdeki levhalarda önemli deformasyonların oluştuğu da gözlenmiştir.

Sonraki çalışmalarda farklı geometrilere sahip kolon-taban levhası modellerinin deneysel analizlerinin artırılması, bunlarla doğrulanan çok sayıdaki sonlu eleman analizleri ile standartlarda belirtilecek değişik delik genişletmelerine ait önerilerin geliştirilmesi amaçlanmaktadır.

Kaynaklar

- [1]. Fisher, J.M. ve Kloiber, L.A. Steel Design Guide 1: Base Plate and Anchor Rod Design, 2006.
- [2]. Akkaş, M., Çulha, O., Sıcak Haddelenmiş Düşük Karbonlu Gemi İnşa Çeliklerinin Farklı Ortamlarda Soğutulmasının Mekanik Özelliklerin Değişimine Tesirinin İncelenmesi, El-Cezeri Journal of Science and Engineering, 2018, 5(3), 862 – 874.
- [3]. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı (2016). Çelik yapıların tasarım, hesap ve yapım esaslarına dair yönetmelik, Resmi Gazete.
- [4]. AISC 360-16, Specification for structural steel buildings, 2016.
- [5]. Pertold, J., Xiao, R.Y., Wald, F., Embedded steel column bases: I. Experiments and numerical simulation”, Journal of Constructional Steel Research, 1999, 56(3), 253-270.
- [6]. Pertold, J., Xiao, R.Y., Wald, F., “Embedded steel column bases: II. Design model proposal”, Journal of Constructional Steel Research, 1999, 56(3), 271-286.
- [7]. A. P. Kulkarni, M. K. Sawant, M.S.S., “Experimental Study using Earthquake Shake Table”, International Research Journal of Engineering and Technology, 2017, 4(4), 3612-3617.
- [8]. Tsavdaridis, K.D., Shaheen, M.A., Baniotopoulos, C. ve Salem, E., “Analytical approach of anchor rod stiffness and steel base plate calculation under tension”, Structures, 2016, 5, 207-218.

- [9]. Dumas, M., Beaulieu, D. ve Picard, A., “Characterization equations for steel column base connections”, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2006, 33(4), 409–420.
- [10]. Gresnigt, A., A Romeijn, A., Wald, F. ve Steenhuis, C., “Column bases in shear and normal force”, *Heron*, 2008, 53 (1/2).
- [11]. Di Sarno, L., Pecce, M.R. ve Fabbrocino, G., “Inelastic response of composite steel and concrete base column connections”, *Journal of Constructional Steel Research*, 2007, 63(6), 819–832.
- [12]. Akşar, B., Doğru, S., Akbaş, B., “Amplified seismic loads in steel moment frames under strong ground motion”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018, 33(2), 439–454.
- [13]. Akşar, B., Akbaş, B., Kaya, E. Ş., Çakır, F., “Relative story displacements and torsional effects caused by strength variations in concentrically braced frames”, *Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2018, 33(1), 13–30.
- [14]. Cui, Y., “Shear behavior of exposed column base connections”, *Steel and Composite Structures*, 2016, 21(2), 357–371.
- [15]. Abdollahzadeh, G. ve Ghobadi, F. “Mathematical modeling of column-base connections under monotonic loading”, *Civil Engineering Infrastructures Journal*, 2014, 47(2), 255–272.
- [16]. Özdemir, S., Çelik kolon taban levhalarının montajlama kusurlarına bağlı gerilme analizi, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, 2019.