



S235 ÇELİK PROFİLLERİNİN EĞİLME DAVRANIŞLARININ FARKLI ZIMBA GEOMETRİLERİYLE DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Melike Nur BERBEROĞLU

Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 11000 Bilecik

ORCID ID: 0009-0001-1572-0284

Doç. Dr. Emre ESENER

Bilecik Seyh Edebali University, Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering, 11000 Bilecik

ORCID ID: 0000-0001-5854-4834

ÖZET

Bu çalışmada, S235 kalite kare kesitli çelik profillerin eğilme davranışları farklı zimba geometrileri altında deneysel olarak incelenmiştir. Deneylerde, 50×50×4 mm boyutlarında ve 300 mm uzunluğundaki kutu profiller kullanılmıştır. Eğilme deneyleri, Shimadzu üniversal test cihazında gerçekleştirilmiş ve yükleme hızı 2 mm/dk olarak sabit tutulmuştur. Çalışmanın temel amacı, farklı zimba yarıçaplarının malzemenin deformasyon davranışı, yük taşıma kapasitesi ve gerilme dağılımı üzerindeki etkilerini belirlemektir. Bu kapsamda R5, R10 ve R15 mm yarıçaplarına sahip üç farklı zimba geometrisi kullanılmıştır.

Deney sonuçları, zimba geometrisinin profil davranışı üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğunu göstermiştir. Küçük yarıçaplı zimbalarda temas alanının daralması nedeniyle gerilme yığılması artmış ve yerel plastik deformasyon daha erken başlamıştır. Buna bağlı olarak malzemenin taşıyabildiği maksimum kuvvet değerleri daha düşük seviyelerde kalmıştır. Buna karşın, büyük yarıçaplı zimbalarda yük daha geniş bir yüzeye yayılmış, böylece daha homojen bir gerilme dağılımı elde edilmiştir. Özellikle R15 zimba geometrisinde profil kesitinin tamamının plastik deformasyona katıldığı ve yaklaşık 95 kN seviyesine kadar yük taşıyabildiği belirlenmiştir. Elde edilen bulgular, temas geometrisinin S235 çelik profillerin mekanik performansı üzerinde kritik bir parametre olduğunu ortaya koymaktadır.

Anahtar kelimeler: S235 çeliği, 3 nokte eğme, zimba geometrisi, profiller

EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF THE BENDING BEHAVIOR OF S235 STEEL PROFILES WITH DIFFERENT PUNCH GEOMETRIES

ABSTRACT

In this study, the bending behavior of S235 square steel profiles under different punch geometries was experimentally investigated. Square hollow sections with dimensions of 50×50×4 mm and a length of 300 mm were used in the experiments. Bending tests were carried out using a Shimadzu universal testing machine at a constant loading speed of 2 mm/min. The primary objective of the study was to determine the effects of different punch radii on deformation behavior, load-carrying capacity, and stress distribution of the material. For this purpose, three different punch geometries with radii of R5, R10, and R15 mm were employed.

The experimental results demonstrated that punch geometry has a significant influence on the mechanical response of the profiles. In small-radius punches, the reduced contact area caused higher stress concentrations and earlier local plastic deformation. Consequently, the maximum

load-carrying capacity remained at lower levels. In contrast, larger-radius punches distributed the load over a wider surface, resulting in a more uniform stress distribution. Particularly for the R15 punch geometry, the entire cross-section participated in plastic deformation, and the profile was able to withstand loads up to approximately 95 kN. The findings indicate that contact geometry is a critical parameter affecting the mechanical performance and deformation characteristics of S235 steel profiles.

Keywords: S235 steel, 3 point bending, punch geometry, profiles

1. GİRİŞ

Mühendislik tasarımlarında malzemenin mekanik davranışının doğru analizi, yapısal güvenliğin temelini oluşturur. Bu bağlamda çelik; yüksek mukavemeti, sünekliği, ekonomik maliyeti ve şekillendirilebilirliği ile yapısal uygulamalarda en çok tercih edilen malzemedir. Çeliğin mekanik performansı büyük ölçüde karbon içeriğine bağlıdır (Callister and Rethwisch, 2014:152). Çalışmanın ana odağını oluşturan S235 (St-37) kalitesindeki çelikler, düşük karbon içerikleri (%0,20 altı) sayesinde mükemmel kaynaklanabilirlik (Smith and Hashemi, 2011:274) ve form verilebilirlik özellikleri sunarak inşaat, makine ve otomotiv sektörlerinde geniş bir kullanım alanı bulmaktadır (Dutton, 2001:42).

S235 çeliği, EN 10025 standardına göre minimum 235 MPa akma dayanımına sahiptir (Bolton, 2011:156). Malzemenin yüksek elastisite modülü (210 GPa), betonarme ve ahşap gibi alternatiflere kıyasla daha yüksek rijitlik sağlayarak sehim ve stabilite sorunlarının daha az malzeme kullanımıyla çözülmesine imkân tanır (Ashby, 2011:168). Ayrıca, çeliğin sünek yapısı sayesinde dinamik yükler altında gösterdiği yüksek enerji yutma kapasitesi, yapısal bütünlüğün korunmasında kritik rol oynar (Hibbeler, 2015:104).

Yapısal çelikler geometrik formlarına göre açık (I, H, U, L) ve kapalı (HSS; kutu, dairesel) kesitli profiller olarak sınıflandırılır. Açık kesitli profiller eğilme verimliliği ve düşük üretim maliyetleri ile öne çıkarken; kapalı kesitli profiller yüksek burulma rijitliği ve yerel burkulumaya karşı dirençleri ile modern yüksek katlı yapılarda avantaj sağlar (Segui, 2017:243). Literatürde bu profillerin davranışı genellikle tekil yükleme durumlarından ziyade, eksenel kuvvet ve eğilme momentinin birlikte etkidiği bileşik yükleme durumları altında incelenmektedir (Salmon et al., 2008:512).

Bu çalışma kapsamında, S235 çelik profillerin elastik ve plastik deformasyon sınırlarını belirlemek amacıyla Üç Nokta Eğme Testi (3-PBT) yöntemi temel alınmıştır. Üç nokta eğme yöntemi; malzemenin anizotropik özellikleri, yer değiştirme (displacement) ve mesnetler arası mesafenin geri esneme (springback) üzerindeki etkilerini saptamak için fonksiyonel bir araçtır (Cui et al., 2015:219).

Çalışmanın özgünlüğü, S235 çelik profillerin eğilme performansını; farklı plastisite yaklaşımları içeren nümerik modellemeler, deneysel veriler ve parametrik analizlerle bütüncül bir tabloda değerlendirmesinden kaynaklanmaktadır. Bu yaklaşım, yapısal çelik elemanların gerçek çalışma koşulları altındaki limit durumlarının ve taşıma kapasitelerinin daha doğru tahmin edilmesine katkı sağlamayı hedeflemektedir.

2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Bu bölümde, S235 çelik profillerin eğilme altındaki elastik ve plastik davranışlarını, geri esneme karakteristiklerini ve taşıma kapasitelerini belirlemek amacıyla gerçekleştirilen deneysel prosedürler detaylandırılmıştır.

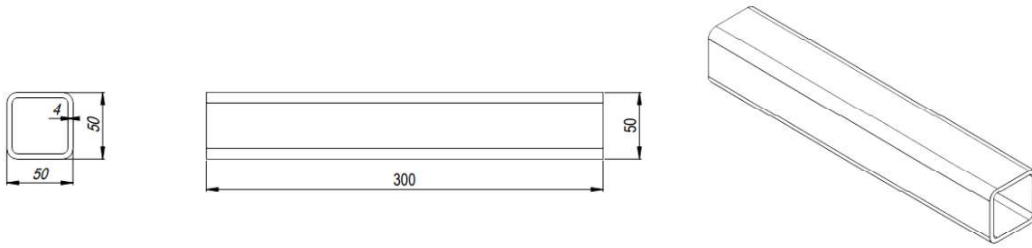
2.1. Eğme Testi Metodu

S235 profillerin eğilme performansını belirlemek amacıyla Üç Nokta Eğme (3-PBT) test yöntemi uygulanmıştır. Üç nokta eğme düzeneğinde, yükün tek bir noktadan uygulanmasıyla profil merkezinde oluşan yerel plastikleşme ve ezilme davranışları incelenmiştir.

2.2. Test Numularının Hazırlanması

Deneylerde, yapısal uygulamalarda yaygın olarak kullanılan S235 kalite, 50x50x4 mm L=300mm ölçülerine sahip kare kesitli kutu profiller kullanılmıştır. Numuneler, fabrika ortamında mekanik şerit testere kullanılarak hassas bir şekilde kestirilmiştir. Kesim işlemi sırasında aşırı ısınmayı önlemek için soğutma sıvısı kullanılmış, böylece malzemenin mikro yapısında oluşabilecek olası termal değişimlerin önüne geçilmiştir. Şekil 1. ve 2.'de deneyde kullanılan numune görüntüleri Şekil 3. ise numune hazırlığında kullanılan testereye aittir.

Şekil 1. Numuneye ait ölçüler



Şekil 2. Numuneye ait görüntüler



Şekil 3. Numune hazırlığı için kullanılan testere



2.3. Test Düzeneği ve Yükleme Parametreleri

Eğilme testleri, Shimadzu üniversal test cihazında gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.'te deneylerde kullanılan Shimadzu marka üniversal test cihazı gösterilmiştir.

Şekil 4. Deneylerde kullanılan Shimadzu marka üniversal test cihazı



Malzemenin statik davranışını karakterize etmek ve geri esneme verilerini en az dinamik etkiyle elde etmek için yükleme hızı 2 mm/dk olarak ayarlanmıştır.

Shimadzu test cihazının kontrol ünitesi aracılığıyla numunelere 40 mm strok (basma derinliği) uygulanmıştır. Bu derinlik, kutu profilin hem elastik hem de ileri derecede plastik deformasyon bölgelerinin analiz edilmesine olanak sağlamıştır.

Deney boyunca uygulanan kuvvet (N) ve yer değiştirme (mm) verileri, Shimadzu'nun orijinal yazılımı üzerinden eş zamanlı olarak kaydedilmiştir

2.4. Zimba Geometrisi ve Parametrik Çeşitlilik

Deneylerin en önemli parametrelerinden biri olarak, farklı temas yüzeylerinin ve gerilme yığılmalarının geri esneme üzerindeki etkilerini incelemek amacıyla üç farklı zimba (punch) geometrisi kullanılmıştır. Bu kapsamda; R5, R10 ve R15 mm radüslere sahip zimbalar ile testler tekrarlanmıştır.

Zimba yarıçapı küçüldükçe (R5), profilin üst flanşı ile zimba arasındaki temas alanı daralmaktadır. Bu durum, yükleme noktasında daha yüksek bir yerel basınç yığılmasına ve dolayısıyla profilin üst cidarında daha erken başlayan bir yerel plastikleşmeye yol açar. (R15) gibi daha büyük yarıçaplarda ise yük daha geniş bir alana yayılarak yerel ezilme etkisini azaltmakta ve profilin genel eğilme davranışını ön plana çıkarmaktadır. Deneylerde kullanılan zimba geometrileri Şekil 5. ve 6.'da verilmiştir.

Şekil 5. Deneylerde kullanılan farklı radüslere sahip (R5, R10, R15) zimba geometrileri



Şekil 6. Deneylerde kullanılan farklı radüslere sahip (R5, R10, R15) zımba geometrileri

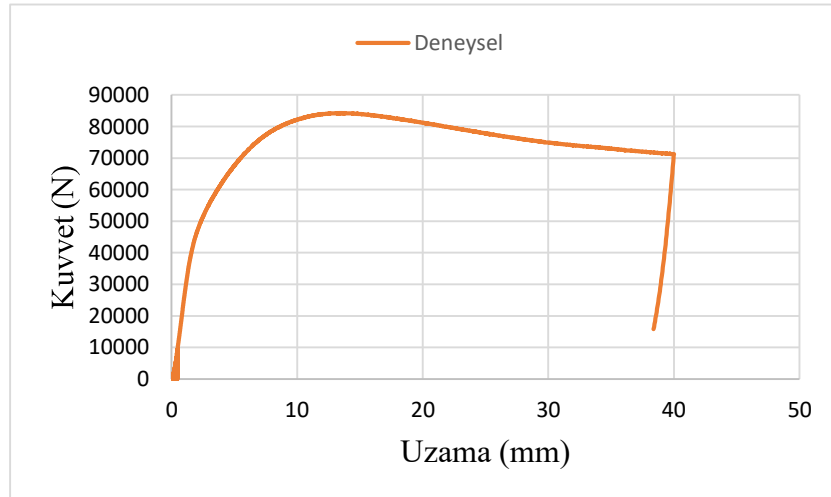


Farklı zımba geometrileri, profil kesiti boyunca oluşan gerilme gradyanını değiştirmektedir. Küçük yarıçaplı zımbalar (R5), profilin üst bölgesinde daha keskin bir gerilme değişimi yaratırken, büyük yarıçaplı zımbalar (R15) daha üniform bir gerilme dağılımı sağlayarak malzemenin süneklik limitlerinin daha homojen bir şekilde zorlanmasına imkân tanımaktadır.

2.5. Deneysel Sonuçlar

Üç nokta eğme testleri esnasında, cihaz üzerindeki yük hücreleri (load cell) aracılığıyla uygulanan kuvvet ve buna bağlı oluşan deplasman (sehim) verileri eş zamanlı olarak kaydedilmiştir. Elde edilen bu ham veriler işlenerek, malzemenin eğme altındaki mekanik davranışını temsil eden kuvvet-uzama grafikleri oluşturulmuştur. Bu grafiklerde Şekil 7.-9.-11.'de verilmektedir. Şekil 8.-10.-12. ise deneye ait görsellerdir.

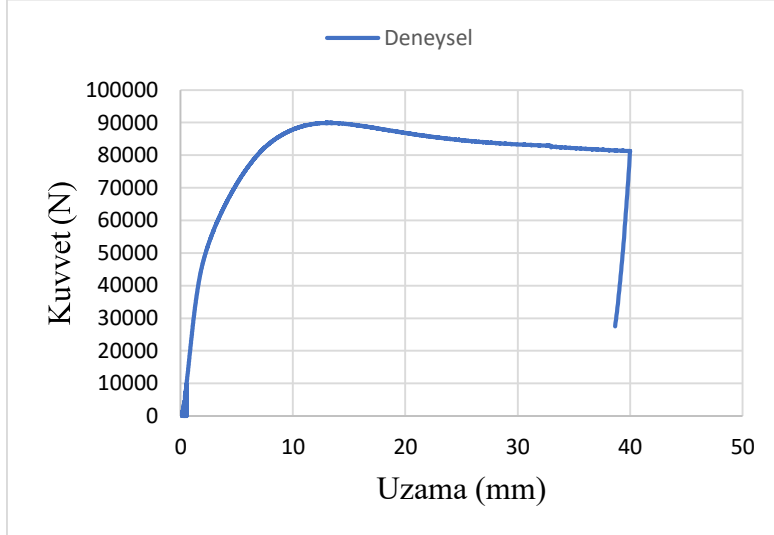
Şekil 7. R5 zımba yarıçapı için elde edilen kuvvet-uzama grafiği



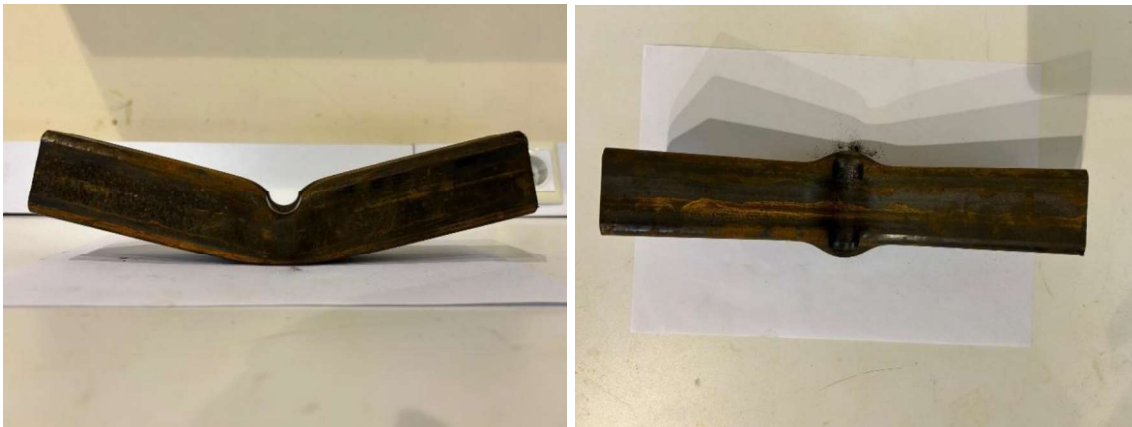
Şekil 8. Kare kesitli profilin R5 zımba yarıçapında deforme olmuş hali



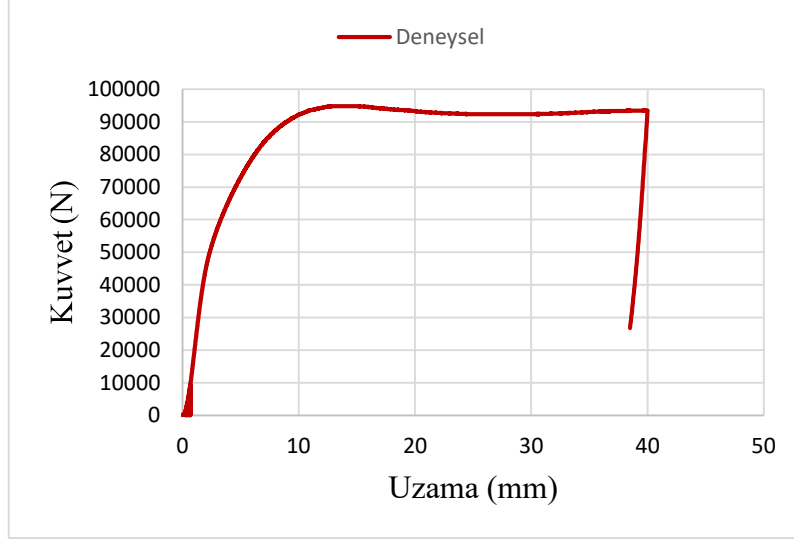
Şekil 9. R10 zımba yarıçapı için elde edilen kuvvet-uzama grafiği



Şekil 10. Kare kesitli profilin R10 zımba yarıçapında deforme olmuş hali



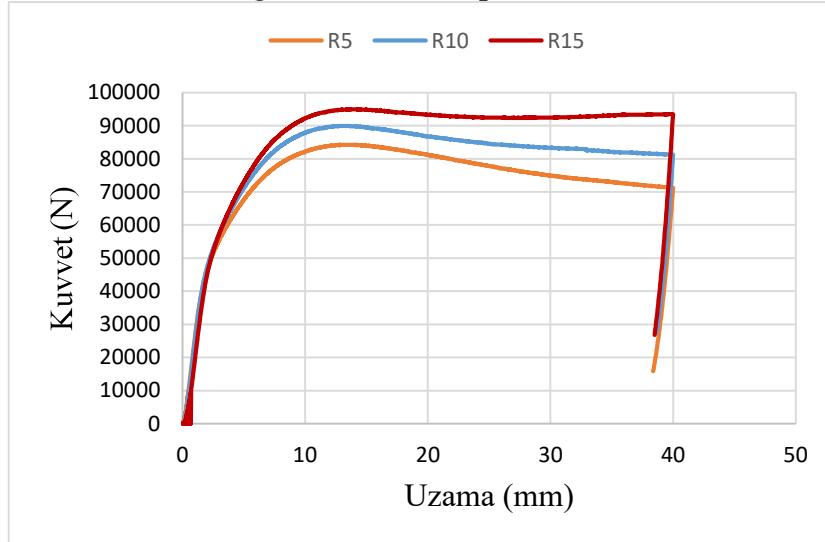
Şekil 11. R15 zımba yarıçapı için elde edilen kuvvet-uzama grafiği



Şekil 12. Kare kesitli profilin R15 zımba yarıçapında deforme olmuş hali



Şekil 13. 200 mm destek aralığında kare kesit profilin kuvvet-uzama karşılaştırması



3. DEĞERLENDİRME

St37 çelik kutu profillerin eğilme karakteristiklerini belirlemek amacıyla üç nokta eğme testi uygulanmıştır. Sabit hızda ve her numune için ikişer tekrarla gerçekleştirilen deneyler sonucunda, cihazdan alınan verilerle profillerin mekanik davranışını temsil eden kuvvet-sehim grafikleri oluşturulmuştur.

Deney sonuçları incelendiğinde, S235 (St37) yapı çeliğinin tipik sünek malzeme davranışı sergilediği görülmüştür. Üç nokta eğme deneyinde tüm numuneler elastik bölgede benzer bir eğilim göstermiştir.

Zımba geometrisinin etkisi incelendiğinde; zımba yarıçapı arttıkça (*R5'ten R15'e*), malzemenin taşıyabildiği maksimum kuvvetin de arttığı gözlemlenmiştir. *R5* gibi dar temas alanlarında meydana gelen yüksek gerilme yığılmaları, malzemenin daha düşük kuvvetlerde yerel boyun vermesine ve dolayısıyla kapasitesinin altında hasar almasına neden olmuştur. Buna karşın, *R15* geometrisi ile yükün daha geniş bir alana yayılması, yerel deformasyonu geciktirerek profil kesitinin tamamının plastik akmaya katılmasına izin vermiştir. Bu optimizasyon, yük transferini iyileştirerek malzemenin pekleşme kabiliyetini sonuna kadar kullanmasına ve kuvvet kapasitesini 95.000 N seviyesine taşımaya olanak tanımıştır.

Sonuç olarak yapılan testler; S235 kare profillerin gerek form verme operasyonlarında gerekse yapısal yüklemelerde temas geometrisine karşı aşırı duyarlı olduğunu kanıtlamaktadır. Dar temaslar (*R5*) malzemeyi bir yapısal elemandan ziyade bir "kesme yüzeyi" gibi zorlayarak erken yerel hasar riskini artırırken, geniş temas yüzeyleri (*R15*) malzemenin mekanik limitlerinin çok daha verimli kullanılmasını sağlamaktadır.

REFERANSLAR

- Ashby, M. F. (2011). *Materials Selection in Mechanical Design*. 4th edn. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Bolton, W. (2011). *Materials for Engineering*. 3rd edn. Oxford: Elsevier Butterworth-Heinemann.
- Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2014). *Materials Science and Engineering: An Introduction* (9th ed.). Wiley.
- Cui, J., Sun, G., Xu, J., Huang, X. and Li, Q. (2015). 'A comparative study on springback of high strength steels and aluminum alloys based on 3-point bending tests', *Thin-Walled Structures*, 89, pp. 217-226.
- Dutton, R. (2001). *Structural Steelwork: Design to Limit State Theory*. 3rd edn. London: Spon Press.
- Gere, J. M. and Goodno, B. J. (2012). *Mechanics of Materials*. 8th edn. Boston: Cengage Learning.**
- Hibbeler, R. C. (2015). *Statics and Mechanics of Materials*. 5th edn. New Jersey: Pearson Prentice Hall.**
- Salmon, C. G., Johnson, J. E. and Malhas, F. A. (2008). *Steel Structures: Design and Behavior*. 5th edn. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall.**
- Segui, W. T. (2017). *Steel Design*. 6th edn. Boston: Cengage Learning.
- Smith, W. F. and Hashemi, J. (2011). *Foundations of Materials Science and Engineering*. 5th edn. New York: McGraw-Hill.