

HEA 240 Profilinin Sıcak Haddelenmesinde Deneysel ve Simülasyon Sonuçlarının Karşılaştırılması

Gazi KURT¹, Nafiz YAŞAR^{2*}

¹ Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük, Türkiye

² Karabük Üniversitesi, Yenice Meslek Yüksekokulu, Karabük, Türkiye

MAKALE BİLGİSİ

Alınma: 12.07.2020

Kabul: 13.08.2020

Anahtar Kelimeler:

Haddelenme

HEA 240

FE analizi

ÖZET

Sıcak haddelenme, malzemenin yeniden kristalleşme sıcaklığı olan 0.5 Tm üzeri sıcaklıklarda olması nedeniyle farklı adımlarda peş peşe şekillendirebilme olanağı sağlamakta ve büyük deformasyon oranlarıyla şekil değiştirme imkânı vermektedir. Endüstride, Doğrudan gerçekleştirilen uygulamalar zaman ve maliyet açısından olumsuzluklar göstermektedir. Deneyerek pratikleştirme süreçleri bazı simetrik profil kesitli ürünlerde kısa sürelerde tamamlanabildiği gibi bazı asimetrik profil kesitli ürünlerde ise uzun süreler alabilmektedir. Tasarlanan kalibrelerin haddehanede denenmeden önce bilgisayar ortamında simülasyonu yapılarak ne gibi sonuçlar çıkacağı tahmin edilebilmek için Sonlu elemanlar yöntemi (FEM) uygulanabilir. Bu çalışma kapsamında öncelikli olarak S 275 JR (EN 10025) kalitede beam blank (profil taslağı) yarı mamulün haddelenmesi ile 21 pasoda oluşacak HEA 240 yapı profilinin ilk 3 pasoluk kaba haddesi sonunda elde edilen gerçek üretim parametreleri ile aynı yarı mamulün 3D FEM analizi sonuçlarının uyumluluğu karşılaştırılmış olup %95 ila %99.1 oranında geometrik benzerlik bulunmuştur. Kabul edilebilir küçük farkların olduğu bu simülasyonun, üretim proseslerinde oluşan kayıpları minimize etme ve verimli üretim hedeflerine ulaşmada önemli bir etkiye sahip olduğunu söylemek mümkündür.

Comparison of Experimental and Simulation Results for Hot Rolling of HEA 240 Profile

ARTICLE INFO

Received: 12.07.2020

Accepted: 13.08.2020

Keywords:

Rolling

HEA 240

FE analysis

ABSTRACT

Hot rolling allows the material to be shaped in successive steps in different steps since the material is at a temperature above 0.5 Tm which is the recrystallization temperature and gives the possibility of deformation with large deformation rates. In the industry, direct applications show negative effects on time and cost. Practical processes by experimenting can be completed in short periods in some symmetrical profile section products and long periods in some asymmetric profile section products. Finite element method (FEM) can be applied in order to predict the results obtained by simulating the designed calibrations in the computer environment before testing in the rolling mill. In this study, the production of HEA 240 profile in S275JR quality is experimentally made in 21 passes and the geometric dimensions of the first three passes of this structure was compared with 3D FEM analysis results. The comparison results are compatible and high similarity ratio as 95-99.1% was found. It is possible to say that this simulation, which has small acceptable differences, has a significant effect on minimizing losses in production processes and achieving production targets.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Günümüzde küresel rekabet, firmaları ürettikleri ürünü daha kaliteli ve daha düşük maliyetle nasıl üretebileceklerini bulmaya zorlamaktadır. Simülasyon, gerçek dünya süreçlerinin taklit edilmesi (benzetimi) olarak tanımlanır, alternatif şartların ve davranış şekillerinin gerçek etkilerini göstermek için kullanılabilir. Ayrıca ulaşılamayan, erişilemeyen, tehlikeli olan, çalıştırılması mümkün olmayan veya tasarım aşamasında olup henüz inşa edilmemiş ya da hiç mevcut olmayan sistemlerinde simülasyonu yapılabilir [1,2]. Genellikle simülasyon yapmanın temel nedeni düşük maliyettir.

* Sorumlu yazar, e-posta: nafizyasar@karabuk.edu.tr

Simülasyon sayesinde yapılacak bir işin doğru olup olmadığını oldukça hızlı ve ucuz bir şekilde anlamak mümkündür. Bu sayede yüksek maliyet ve zaman kaybı olmadan denemelerin yapılmasına fırsat tanıyacaktır. Ayrıca mevcut üretim süreçlerinin hızının artırılmasına ve ürün kalitesine olumlu katkıda bulunacaktır.

Haddelenecek metal malzemenin çekilerek, hadde boşluğundan geçirilip istenilen şeklin elde edildiği bir plastik şekil verme yöntemidir [3,4]. Haddelenecek malzeme, şekillendirme işlem sıcaklığına bağlı olarak, soğuk haddeleme ve sıcak haddeleme olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Sıcak haddeleme, mamul veya yarı mamul dökme ürünlerin üretimi için en önemli endüstriyel proseslerden biridir [5-7].

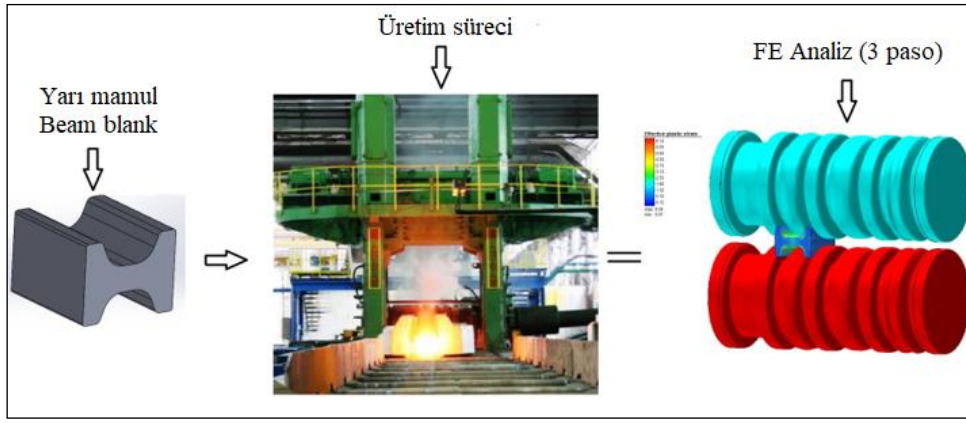
Hanoğlu ve ark. [8], FEM kullanarak asimetrik kesitli bir profilin haddelenmesinin analizi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmalarında haddeleme yönüne dik yönde belirli sayıda dilimleme modeli kullanarak elde ettikleri sonuçların, analiz ettikleri asimetrik kesitli profilin gerçek üretim sonuçlarıyla iyi bir uyum içinde olduğunu tespit etmişlerdir. Nalawade ve ark. [9], FEM tabanlı FORGE yazılımını kullanarak, mikro alaşımlı 38MnVS6 kalite çelik blumun termo-mekanik haddelenmesinin simülasyonunu yapmışlardır. Haddeleme parametrelerinin deformasyon davranışı üzerine etkilerini incelemişler ve haddeleme yükü, tork, sıcaklık dağılımı, gerilme dağılımı, tane büyüklüğü ve haddeleme aşamasındaki yapı fazı tahminlerini deneysel olarak doğrulamışlardır. Milenin ve ark. [10], iki pasolu oval yuvarlak haddeleme ile 6 pasolu eşit kenar olmayan köşebent haddeleme analizi yapmışlardır. Dislokasyon teorisine dayanan bir model üzerinden yaptıkları çalışmada FE tabanlı SortRoll bilgisayar yazılımını kullanmışlar ve her bir pasodaki malzeme akışlarının analizini yaparak gerçek değerler ile uyum halinde olduğunu açıklamışlardır. Xiong Shangwu ve arkadaşları [11], sıcak şerit profil haddelemede dikey-yatay haddeleme prosesinin simülasyonunu yapmak için üç boyutlu rijit-plastik Sonlu Elemanlar Yöntemiyle (FEM) ile termal kuplaj analizi yapmışlardır. Oluşturdukları teorik modelin sonuçları ile deneysel veriler arasında kabul edilebilir küçük farklar olduğunu bulmuşlardır. Shahani ve arkadaşları [12], AA5083 alüminyum alaşımının sıcak haddeleme prosesinde FEM kullanarak termomekanik analizini odaklamışlardır. Prosesin analizlerinde merdane ve kütükteki sıcaklık dağılımı, gerilim, uzama ve uzama oranı alanlarını çıkararak sistemin matematiksel ve geometrik modelini oluşturarak haddeleme prosesini niteleyen ana değişkenleri bir parametrik bir formda ifade etmişlerdir. Iankov, tel haddeleme prosesini iki ve üç boyutlu olarak simüle etmiştir. Simülasyon sonuçlarının deneysel veriler ile karşılaştırmasını yapmıştır [10].

Bu çalışma, 280x360 mm ölçü ve S 275 JR kaliteye sahip beam blank (profil taslağı) yarı mamulün kaba haddelenmesi (3 paso) ile oluşacak HEA 240 yapı profilinin numune üretim sonuçları aynı parametre ve yarı mamul ile 3D FE analizi kullanılarak elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını içermektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM (MATERIAL AND METHOD)

2.1. Deney Düzenegi (Experimental Setup)

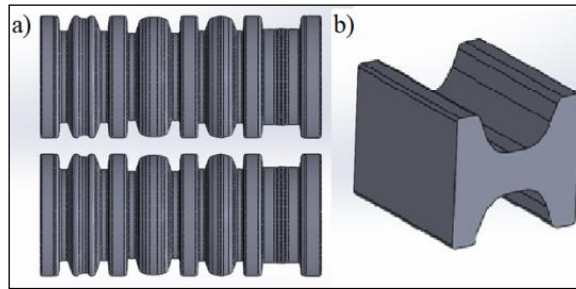
Bu çalışma 3D Finite Element (FE) analizi içermektedir. Gerçek üretim ile 21 pasoda elde edilen HEA 240 profilin ilk 3 pasosunun FE analizi yapılmış ve gerçek üretimden alınan numune sonuçları ile simülasyonun doğruluğu ispatlanmıştır. Şekil 1, çalışmada izlenen yöntemi şematik olarak göstermektedir.



Şekil 1. Şematik diyagram (Schematic diagram)

2.2. Malzeme ve Ekipman (Material and Equipment)

HEA 240 profil üretiminde yarı mamul olarak S275JR kalite profil taslağı (Beam Blank) kullanılmıştır. 1200 °C ye tavlanan profil taslağının, alaşımlı çelik merdanelerin kullanıldığı reversible hadde tezgahında, 3 pasuluk kaba haddeleme işleminden sonra numune alınmıştır. Üretimde kullanılan merdane seti ve yarı mamul Şekil 2’de gösterilmektedir. Yarı mamulün malzeme özellikleri Tablo 1-3’te verilmiştir.



Şekil 2. 3 pasuluk kaba haddeleme, a- merdane, b- yarı mamul (3-pass rough rolling process, a-roll, b- beam blank)

Tablo 1. S275JR yarı mamul için kimyasal bileşim (Chemical composition for grade S275JR) [13]

Kısa Gösteriliş	Anma Mamul Kalınlığı (mm) için				% Mn (en çok)	% P (en çok)	% S (en çok)	% N (en çok)
	DIN	%C (en çok)						
TS EN 10025-2	DIN 17100	≤ 16	> 16.40 ≤	> 40				
S275JR	St44-2	0.21	0.21	0.22	1.5	0.035	0.035	0.012

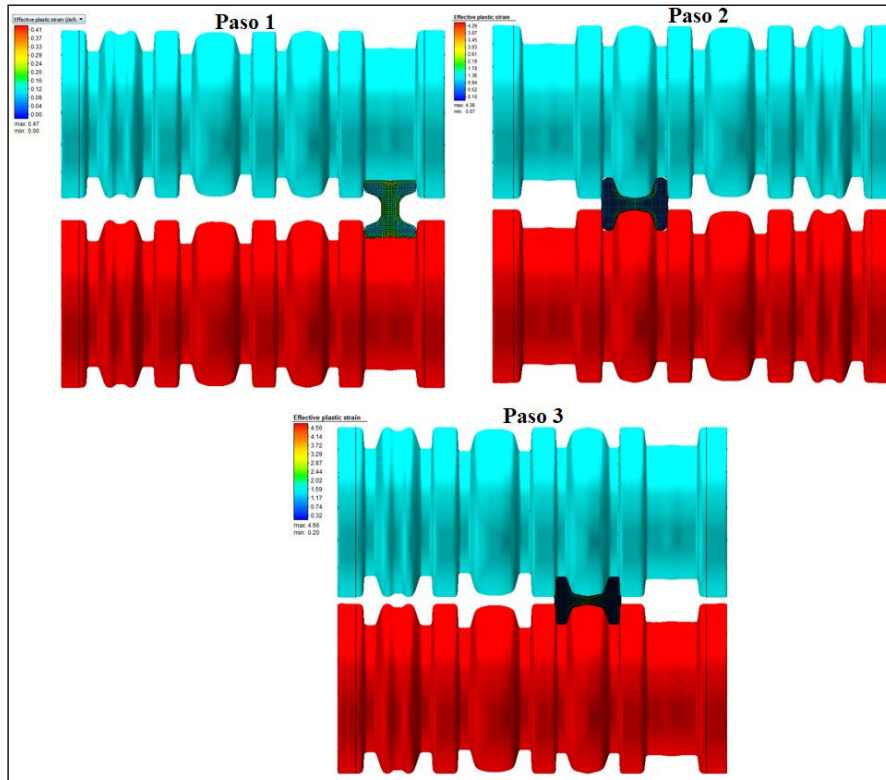
Tablo 2. S275JR çeliğinin ortam sıcaklığında mekanik özellikleri (Mechanical properties of grade S275JR steel at ambient temperature) [13]

TS EN	DIN	Asgari Akma Dayanımı, MPa								Çekme Dayanımı, MPa					
		Anma Kalınlığı, mm								Anma Kalınlığı, mm					
		≤1	>1 < 4	>4 < 6	>6 < 8	>8 < 10	>10 < 15	>15 < 20	>20 < 25	<3	≥3	>100	>150	>250	
10025-2	17100	6	≤4	≤6	≤8	≤10	≤15	≤20	≤25	≤40	3	≤100	≤150	≤250	≤40
	0	6	0	3	0	0	0	0	0	0				0	
		0	3	0	0	0	0	0	0	0				0	
S275JR	St44-2	27	26	25	25	235	225	215	205	-	430-580	410-560	400-540	380-540	-
	2	5	5	5	5										

Tablo 3. Yarı mamul için malzeme parametreleri (Material parameters for beam blank) [14,15]

Malzeme	Yoğunluk (kg/dm ³)	Poisson Oranı	Elastikiyet Modülü (MPa)	Termal İletkenlik (W/m.K)	Özgül Isı (J/kg°K)	Termal Uzama (10 ⁻⁶ °K ⁻¹)
Alaşimsız yapı çeliği	7.85	0.3	210	48-58	490	12

Çalışmada, simülasyonlar için ticari bir sonlu elemanlar yazılımı olan Simufact Forming programı kullanılmıştır. 3D FE analizlerinde; Profil taslağından (Beam Blank) üretimi yapılan HEA 240 ürününün ilk 3 pasosunun kaba haddeleme simülasyonu gerçekleştirilmiştir. Şekil 3'te HEA 240 profil için yapılan simülasyonların dizilimleri gösterilmiştir.



Şekil 3. FE simülasyonunun şematik gösterimi (Schematic view of FE simulation)

Analizlerde kullanılan düzenek, alt ve üst merdane, beam blank ve kütük, itici ve tutucu geometrilerinden oluşmaktadır. Merdane, beam blank ve kütük geometrileri katı model olarak CAD programında oluşturulduktan sonra analiz için programa import edilerek analiz gerçekleştirilmiştir. Analizlerde kullanılan merdaneler ısı iletimsiz ve rijit kalıp olarak tanımlanmıştır. Analizlerde beam blank ve kütüğün malzeme kalitesi olarak program kütüphanesinde bulunan St44-3_h kalitesi seçilmiştir. Analizlerde 1200 °C'de Heating prosesi uygulanmış olup 1. paso için bu prosten elde edilen geometriler kullanılmıştır. Diğer pasolarda ise her biri için bir önceki paso sonucu oluşan geometriler kullanılmıştır.

Analizlerde mesh tipi olarak Hexahedral seçilmiş olup her bir pasoda kullanılan eleman boyutu Tablo 4'te verilmiştir. Analiz çalışması ev tipi kişisel bilgisayarda gerçekleştirilmiştir. Bu nedenle, eleman boyutunun belirlenmesinde analiz süreci ve analiz sonucu elde edilen yüzey kalitesi etkili olmuştur. Çok küçük eleman boyutlarında analiz sürecinin uzaması, çok büyük eleman boyutlarında ise yüzey hassasiyetinin azaldığı çeşitli denemelerde görülmüştür.

Analizlerde, pres türü olarak Tabular Motion seçilmiştir. Ayrıca zamana bağlı olarak merdane dönme devri tanımlanmıştır. HEA 240 ve IPE 140 profilinin simülasyonlarında kullanılan bazı parametreler Tablo 4'te verilmiştir. Ayrıca, analizlerde mesh eleman boyutuna bağlı olarak step sayısı belirlenmiş olup her bir paso için step sayıları da verilmiştir.

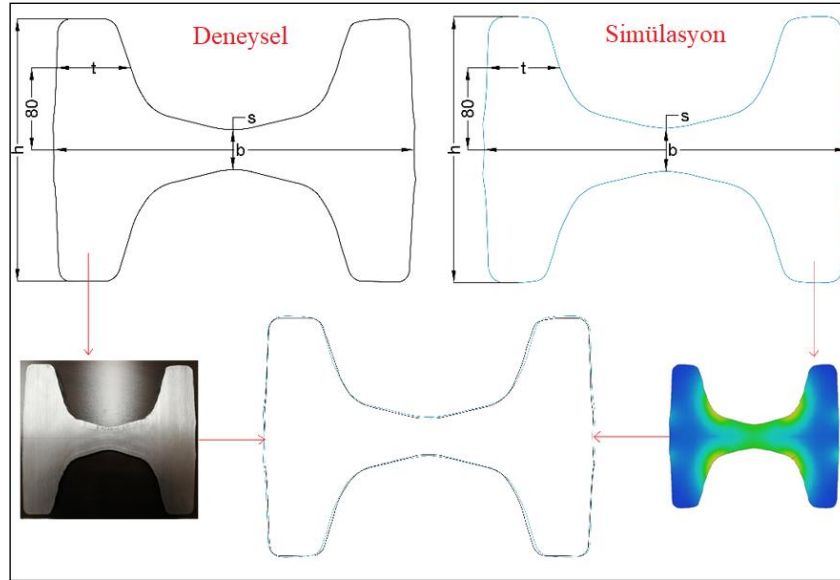
Tablo 4. Analizde kullanılan parametreler (Parameters used in analysis)

	HEA 240		
	Paso 1	Paso 2	Paso 3
Mesh (mm)	8	5	4
Dönme (dev/dak)	66	47	70
Süre (saniye)	0.35	0.5	0.4
Adım	330	670	1000

3. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSIONS)

HEA 240 profilin 3. Paso analiz sonucuna göre elde edilen kesit geometrisi ve numunenin kesit geometrisi Şekil 5'te gösterilmiştir. Ölçüler kesit geometrisinin temel ölçüleri olup değerler ise Tablo 5'te verilmiştir.

Simülasyon sonucu elde edilen geometri ve ölçüler, gerçek üretim sonucu alınan numunedeki geometri ve ölçülere %95 ile %99.1 aralığında benzerlik göstermektedir. Bu benzerlik, simülasyon sonuçları ile gerçek üretim verilerini tahmin edebilme imkanının olduğunu göstermektedir. Mesh eleman boyutunun azaltılarak yapılacak daha hassas analizlerde her iki kesit arasındaki ölçü farklılıklarının, örneğin s ve t ile belirtilen ölçülerde daha da azalacağı düşünülebilir.



Şekil 5. HEA 240 için deneysel ve simülasyon sonuçların karşılaştırılması (Comparison between experimental and simulation results for HEA240)

Tablo 6'da ise üretim esnasında hadde verisi olarak alınan haddeleme kuvvetleri ile analiz sonucu elde edilen haddeleme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Haddeleme kuvvetleri arasındaki fark, %10 ile %23 arasında değişmektedir. Gerçek üretim şartlarının tespitinin daha sağlıklı yapılması ile (sürtünme katsayısı, malzemenin haddeleme sıcaklığı vb.) aradaki bu farkın daha da azalacağı düşünülmelidir. Yine de %10.3 ile %17.1 lik fark sıcak haddeleme proseslerinde belirli bir ölçüde kabul edilebilir. Çünkü, deneysel üretimde üst ve alt merdanelerin dönmesi ile ileriye doğru hareket ederken, simülasyonlarda belirli bir yönde verilen itme kuvveti ile hareket elde edilmektedir. Bu durumun kuvvet sapmalarında etkili olduğu düşünülmektedir. Ayrıca, imalat yönteminin kaba haddeleme durumunda bu farkı etkileyebileceği söylenebilir.

Tablo 5. HEA 240 için deneysel ve simülasyon sonuçları (Experimental and simulation results for HEA240)

Sembol	Ölçü (mm)		% Fark
	Deneysel	Simülasyon	
h	256	260	1.6
b	352	355	0.9
s	40	42	5.0
t	73	71	2.7
Alan (mm²)	49485	50033	1.1

Tablo 6. HEA 240 için deneysel veri ve simülasyondan elde edilen haddeleme kuvveti değerleri (Rolling force values for HEA 240 calculated from experimental data and obtained from simulation)

	Paso 1		Paso 2		Paso 3	
	Deneysel	Simülasyon	Deneysel	Simülasyon	Deneysel	Simülasyon
Kuvvet (kN)	1450	1300	3000	3500	3500	4100
% Fark	10.3		16.6		17.1	

4. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

Bu çalışmada gerçek üretimi yapılmış bir yapı çeliğinin (HEA 240) ilk 3 pasosunun analizi yapılarak, üretim tesisinden alınan numune ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların sonuçları aşağıda verilmiştir.

- Kesit geometrileri karşılaştırıldığında, analiz sonucu elde edilen geometrik şekil ve ölçüler ile üretim tesisinden alınan numunenin şekil ve ölçüleri yüksek oranda benzerlik (%95-99.1) elde edilmiştir.
- Haddeleme kuvvetleri karşılaştırıldığında gerçek üretim verileri ile simülasyon arasında %82.1 - %89.7 benzerlik elde edilmiştir. Bu sonuçlar hem analitik hesaplamalarda hemde simülasyon parametrelerinde yapılacak iyileştirmelerle daha da geliştirilebilir.
- Genel olarak gerçek üretim verileri ile simülasyon sonucu elde edilen veriler incelendiğinde geometrik şekil hassasiyeti yüksek oranda yakalanmaktadır. Haddeleme kuvveti verilerinde ise bazı farklılıklar olmasına rağmen belirli bir ölçüde tatmin edici ve referans sayılabilir değerler elde edilmektedir. Bu durum simülasyon analizlerinin haddeleme prosesine uygulanabilirliğinin açık göstergesidir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. J. Banks, J. Carson, B. Nelson, D. Nicol, Discrete-event system simulation, Prentice Hall, US, 3 2001.
2. J.A. Sokolowski, C.M. Banks, Principles of modeling and simulation, Wiley, Hoboken, NJ, ISBN 978-0-470-28943-3, 6, 2009.
3. Z. Wusatowski, Fundamentals of rolling, Wistreich, J. G., Pergamon Press, London, Edinburgh, New York, Toronto, Sydney, Paris, 63, 71, 229-237, 267-270, 309-310, 372-375, 391-400, 494-500, 1969.
4. L. Esteban, M.R. Elizalde, I. Ocaña, Mechanical characterization and finite element modelling of lateral spread in rolling of low carbon steels, Journal of Materials Processing Technology 183, 2–3, 390-398, 2007.
5. X. Cheng, Z. Jiang, D. Wei, L. Hao, H. Wu, W. Xia, X. Zhang, S. Luo, L. Jiang, Effects of surface preparation on tribological behavior of a ferritic stainless steel in hot rolling, Wear 376-377, 1804–1813, 2017.
6. G.Y. Deng, Q. Zhu, K. Tieu, H.T. Zhu, M. Reid, A.A. Saleh, L.H. Su, T.D. Ta. Zhang, C. Lu, Q. Wu, D.L. Evolution of microstructure, temperature and stress in a high speedsteel work roll during hot rolling: Experiment and modelling, Journal of Materials Processing Technology 240, 200–208, 2017.
7. Y. Jiang, H. Tang, X. Zhang, Rotation mechanics and numerical simulation of hot rolling process under asymmetric rolls, International Journal of Mechanical Sciences 151, 785–796, 2019.

8. U. Hanoğlu, B. Sarler, Rolling simulation system for non-symmetric Groove types, *Procedia Manufacturing*, 15: 121-128, 2018.
9. R.S. Nalawade, A.J. Puranik, G. Balachandran, K.N. Mahadik, V. Balasubramanian, Simulation of hot rolling deformation at intermediate passes and its industrial validity, *International Journal of Mechanical Sciences*, 77: 8-16, 2013.
10. A.A. Milenin, H. Dyja, S. Mroz, Simulation of metal forming during multi-pass rolling of shape bars, *Journal of Materials Processing Technology*, 153-154: 108-114, 2004.
11. X. Shangwu, L. Xianghua, W. Guodong, Z. Qiang, A three-dimensional finite element simulation of the vertical-horizontal rolling process in the with reduction of slab, *Journal of Materials Processing Technology*, 101: 146-151, 2000.
12. A.R. Shalani, S.A. Nodamaie, I. Salehinia, Parametric study of hot rolling process by the finite element method, *Transaction B: Mechanical Engineering Sharif University of Techonology*, 16 (2): 130-139, 2009.
13. Türk Standardları Enstitüsü, TS EN 10025-2, Sıcak Haddelenmiş Yapı Çelikleri Bölüm2, Alaşimsız Yapı Çeliklerinin Genel Teknik Teslim Şartları, Nisan 2006.
14. European Standard, EN 1993-1-1, Design of steel structures Part 1-1, General rules and rules for buildings, May 2005.
15. U. Fischer, R. Gomeringer, M. Heinzler, R. Kilgus, F. Nahler, S. Oesterle., H. Paetzold, A. Stephan, *Metal ve Makina Tabloları El Kitabı*, Kurt R., Koçak H., Bolokur Teknik Yayıncılık, 113, 2015.