

ÇELİK DİRSEK ÜRETİMİNİN SONLU ELEMANLAR ANALİZİ YÖNTEMİ İLE MODELENMESİ VE ÜRETİM PARAMETRELERİNİN OPTİMİZASYONU

MODELING OF STEEL ELBOW MANUFACTURING PROCESSES VIA FINITE ELEMENT METHOD AND OPTIMIZATION OF PRODUCTION PARAMETERS

Prof. Dr. Mustafa Ay 

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı,
İstanbul, Türkiye

Dr. Öğr. Üyesi Selim Hartomacioğlu 

Marmara Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü, Tasarım ve İmalat Anabilim Dalı,
İstanbul, Türkiye

Mak. Mühendisi Murat Manav 

Euroform Çelik İmalat Müdürü, Bursa, Türkiye

Şaban Saraç 

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü, Marmara Üniversitesi, İstanbul, Türkiye

Geliş Tarihi / Received: 12.05.2021
Kabul Tarihi / Accepted: 29.06.2021

Araştırma Makalesi/Research Article
DOI: 10.38065/euroasiaorg.582

ÖZET

Günümüzdeki teknolojilerin ilerlemesi ile boru ve dirsek elemanlarının parçaları, doğalgaz boru hatları, petrokimya, makine imalat sanayi, su dağıtım ve akış sistemleri, kanalizasyon sistemleri, temel kazıkları, gemi inşa sanayi, basınçlı kaplar, havacılık, uzay ve savunma sanayi, borular ağırları, rafineriler, çelik yapılar, tüp ve boru mühendisliği vb. alanlarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada dirsek boruların soğuk şekillendirme yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon yöntemi incelenmiştir.

Literatür incelendiğinde, çelik boruların üretim şartları, üretimde meydana gelen sorunlar farklı kişiler tarafından incelenmiş ve öneriler ortaya konmuştur. Bu çalışmada AISI 316L (EN 1.4404) kalite paslanmaz çelik dirsek boruların üretim süreci incelenmiştir. Solidworks programı ile oluşturulan kalıp tasarım modeli, doğrusal olmayan sonlu elemanlar analizi yazılımı ANSYS programına analizlerin gerçekleştirilebilmesi için aktarılmıştır. ANSYS programının zamana bağlı yapısal analiz bölümünde süreç modellenerek analizi yapılmıştır. Borunun, dirsek ürününe dönüştürülmesi sürecinde gerilme dağılımları ve dirsek üzerinde oluşan toplam deformasyon değişimlerinin elde edilmesi konularında bilgi sahibi olunmuştur. Analizlerde yapılan çalışma ve deneysel veriler karşılaştırılarak üretim sürecinin parametreleri optimize edilmiştir. Bu sayede üretim maliyetleri minimize edilerek maliyet etkin üretim amaçlanmıştır. Üretim ortamı ve şartlar analiz edilerek veriler çıkarılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Dirsek, Boru, AISI 316L Paslanmaz Çelik, Optimizasyon, Sonlu Elemanlar Analizi

ABSTRACT

With the advancement of today's technologies, parts of pipe and elbow elements, natural gas pipelines, petrochemicals, machinery manufacturing industry, water distribution and flow systems, sewage systems, foundation piles, shipbuilding industry, nurse containers, aviation, space and defense industry, pipe networks, refineries, steel structures, tube and pipe engineering, etc. widely used in areas. In this study, extrusion method, which is one of the cold forming methods of elbow pipes, has been investigated.

When the literature is examined, the production conditions of steel pipes and the problems that occur in production have been examined by different people and suggestions have been made. In this study, the production process of AISI 316L (EN 1.4404) quality stainless steel elbow pipes has been investigated. The mold design model created with the Solidworks program was transferred to the non-linear finite element analysis software ANSYS program for simulations. The process was modeled and simulated in the transient structural analysis section of the ANSYS program. In the process of transforming the pipe into an elbow product, we have learned about the stress distributions and obtaining the total deformation changes on the elbow. The parameters of the production process have been optimized by comparing the work done in the simulation and experimental data. In this way, cost-effective production is aimed by minimizing production costs. The data was extracted by simulating the production environment and conditions.

Keywords: Elbow, Pipe, AISI 316L Stainless Steel, Optimization, Finite Element Analysis

1. GİRİŞ

Düz borulardan dirsek üretiminde birçok yöntem kullanılmaktadır. En çok kullanılan yöntemlerden biri ise ekstrüzyon yöntemi ile düz borunun plastik deformasyon sürecinden geçirilerek ürünün elde edilmesidir. Bu süreçte ürün ilk olarak ölçülerine göre boydan kesilmekte ve gerekli kenar açıları verilerek üretim sürecine hazır hale getirilmektedir. Daha sonra kalıp içerisine yerleştirilerek itici malafa yardımıyla kuvvet uygulanarak ürün soğuk şekillendirme işleminden geçmektedir. Bu süreçte malzeme üzerinde farklı gerilme türleri, kalıcı gerilmeler ve hasarlar oluşabilmektedir. Bu sürecin üretim parametrelerinin optimize edilmesi, araştırma ve geliştirme süreci için son derece önemlidir. Bu sürecin performansını arttırmak, maliyetleri azaltmak ve çevreye en az zararlı ürün geliştirmek için sonlu elemanlar analizi yöntemi kullanılmaktadır.

Sonlu elemanlar analizi havacılık, otomotiv, kalıpcılık ve savunma sanayisinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Sonlu elemanlar analizinin verileri sonucunda, deneysel testlerin varyasyonlarının analiz edilmiş halini görmemiz önemli ölçüde zaman ve para tasarrufu sağlamaktadır. Parametreler, ortam koşulları, sınır şartları ve analiz programı uyum sağladığı sürece analiz sonuçları yüksek oranda doğru çıkmaktadır. Sonlu elemanlar analizi sonucu ulaşılan veriler ile deneysel veriler karşılaştırılarak süreçler iyileştirilebilir.

K.M. Prabhakaran ve V. Venkat Raj 2002 yılında, üretim sorunlarından biri olan çatlaklıklar üzerinde çalışmışlardır. Boruların aksenal çatlaklıklarını formülize etmek için sabit türetmişlerdir. Bükme işlemindeki dirsek boruların çatlama karşı hassasiyeti incelenmiştir. Çalışmalarında farklı çatlak boyutlarını, geometri ve gerilme sertleştirme sabitine sahip dirsekleri, elastik-plastik FEM kullanılarak analiz etmişlerdir. (Prabhakaran ve diğ., 2003)

Do-Sik Shim, Kee-Poong Kim ve Ki-Yong LeeGreen 2016 yılında, silindirik boruların şekillendirme sürecinin optimizasyonu için çalışmıştır. Endüstriyel uygulamalar için, bükülmüş borular hatasız 2 boyutlu veya 3 boyutlu olarak doğru bir biçimde şekillendirilmelidir. Ürün kalitesinin iyileştirilmesi ve mükemmelleştirilmesi için, boruların davranışı analiz edilmiş ve incelenmiştir. (Shim ve diğ., 2016)

Seok SuSohn ve arkadaşları 2010 yılında boruların mikro yapı ve akma mukavemeti optimizasyonu için çalışmışlardır. (SuSohn ve diğ., 2010)

S.Sumeshn, AR.Veerappan ve S.Shanmugam 2009 yılında, yapısal olarak çarpık duvardan, çevresel olarak çatlak boru kıvrımları için büyük yerdeğistirmeye bağlı olarak küçük yerdeğistirme ve çökme momentlerine dayanan sınır momentlerinin karşılaştırmalı değerlendirmesini ve düzlem içi kapatma eğilimi altında sonlu elemanlar analizi kullanılarak incelenmiştir. (Sumeshn ve diğ., 2019)

Min Chul Joa ve arkadaşları 2011 yılında, molibden içeriği ve kıvrılma ısı kontrol edilerek imal edilen X70 (483 MPa) ve X80 (552 MPa) hat borusu çeliklerinde mikro yapı ve kalınlık / çap

parametrelerinin akma mukavemeti değişimleri üzerine etkilerini araştırmışlardır. (Joa ve diğ., 2011)

M. Ahmed ve M.S.J. Hashmi sonlu elemanlar analiziyle sabit uğlu ve serbest uğlu boruların üretim esnasındaki gerilme özelliklerini incelemişlerdir. (Hashmi ve diğ., 1999)

Merve Yavuz 2011 yılında boru bükme işleminin problemlerinin önlenmesi ve karşımıza çıkabilecek olası problemlerin önlenmesi için neler yapılması gerektiği açıklanmaya çalışmıştır. (YAVUZ, 2011)

Hakan Karabulut 2007 yılında borulama sistemlerinde kullanılan paslanmaz çelik dirsek parçalarının soğuk şekil verme yöntemi ile imalatını kalıp-ana boru malzemeleri arasındaki boşluk mesafelerinin analizini sonlu elemanlar yöntemi ile gerçekleştirmiştir. (Karabulut, 2007)

2. MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.Sonlu Elemanlar Analizi ve Modelleme

Soğuk şekillendirme yöntemlerinden biri olan ekstrüzyon yöntemi ile boru üretim işlemi öncesi sonlu elemanlar yönteminin kullanılması yapılacak olan ilk numune ürünün hatasız bir şekilde üretilmesine büyük bir katkı sağlayacaktır. Bu nedenle şekillendirilecek olan AISI 316L paslanmaz çelik 6" (inç) boru, erkek kalıp, alt ve üst kalıp ve hidrolik itici kolu simgeleyen, itici Solidworks programında modellenmiştir. Modellenen tasarım geometrisi Ansys programının Transient Structural bölümüne aktarılmıştır. Aşağıda mekanik özellikleri paylaşılan AISI 316L malzemesinin verileri Ansys malzeme verileri bölümüne girilmiştir.

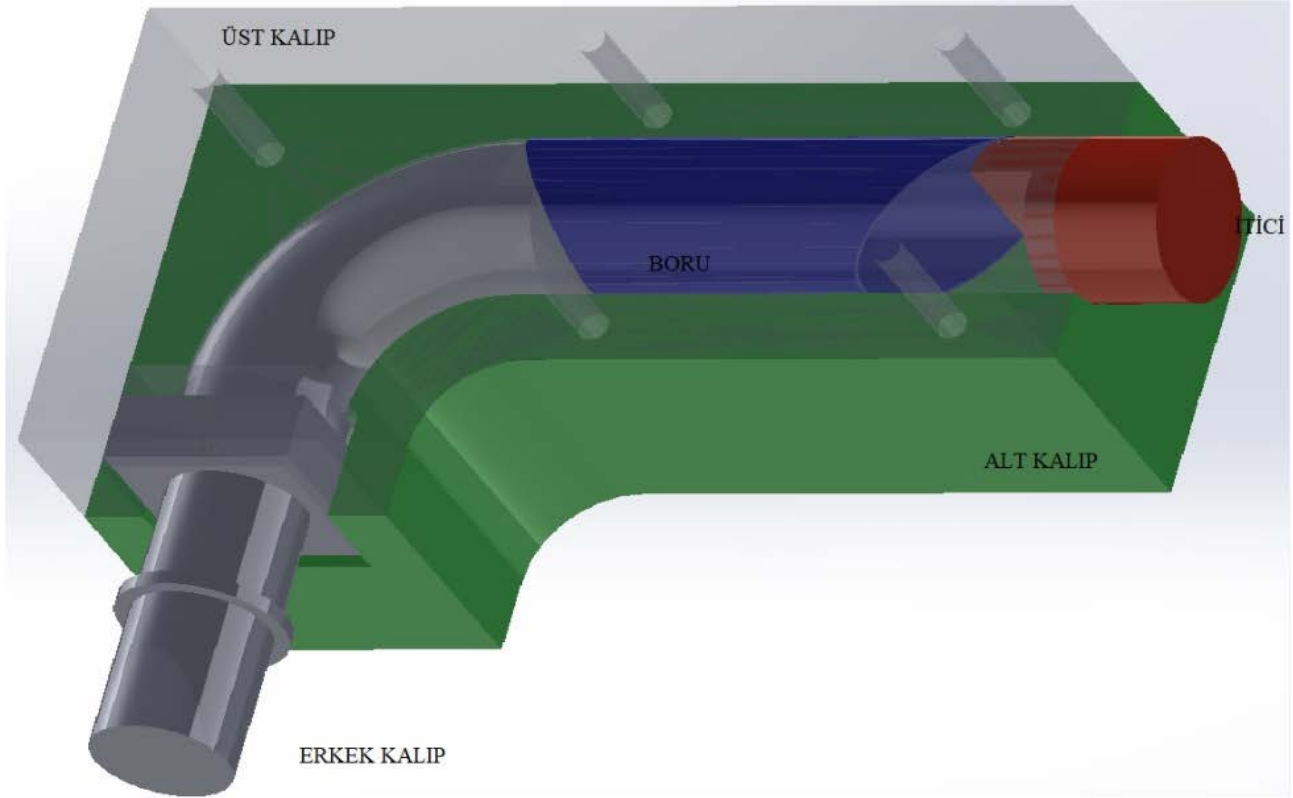
Tablo 1. AISI 316L Malzemesinin Mekanik Özellikleri

Yoęunluk	8000 kg/m ³
Sertlik Rockwell B	79
Çekme Dayanımı	560 MPa
Akma Dayanımı	290 MPa
Kopma Uzaması	50%
Elastisite Modülü	193 GPa
Poisson Oranı	0,29

(Möller, 2017)

Solidworks programında çizilen kalıp tasarımı modelinde 5 farklı parça řu şekilde modellenmiştir:

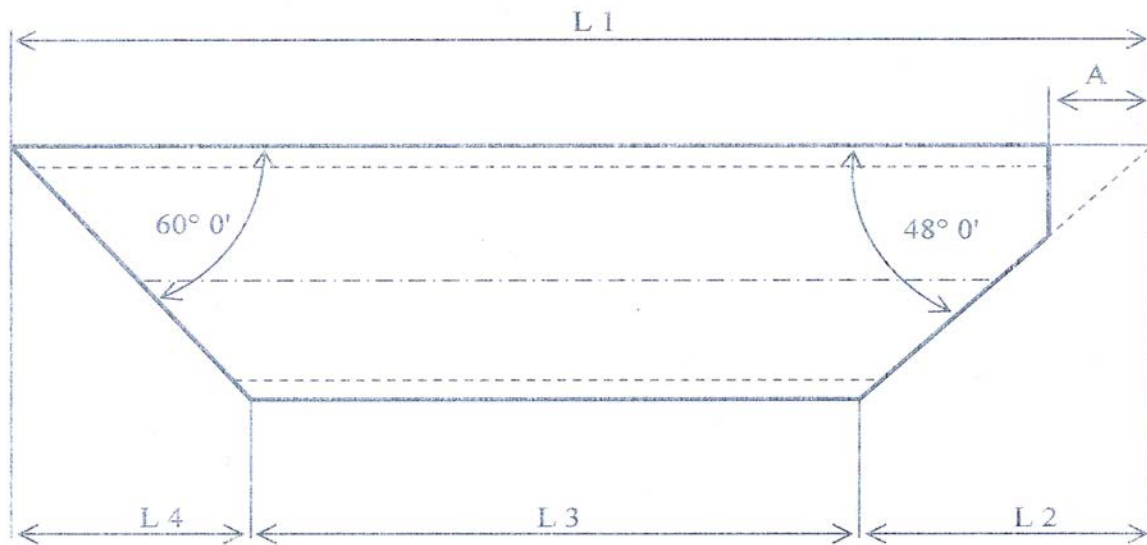
Alt kalıp (L: 980 mm, İç çap: 168.3 mm) (b) Üst kalıp (L: 980 mm, İç çap: 168.3 mm), (c) Erkek kalıp (İç çap 160.5 mm R: 223 mm), (d) İtici (Çap: 167.5 mm), (e) Boru (Dış Çap: 168.3 mm L:517mm)



Şekil 1. Kalıp Tasarımı

2.2 Deneysel Geçerlilik

Bükme işleminde alt ve üst dişi kalıbın birbirini tamamlayarak kapatılması, bükme süreci boyunca borunun dış çeperinde deformasyonu engellemeyi amaçlamaktadır. Hidrolik iticinin kuvveti etkisinde kalan boru kalıbın şeklini ortam sıcaklığı, yağlama koşulları şekil verilecek olan son ürün geometrisini etkileyecek olan faktörlerdendir. Sabit erkek borunun şekil verme süreci boyunca iç kısmın deformasyonunu engelleyen kalıbın bir parçasıdır. 6" paslanmaz çelik dirsek üretim standardı ASTM A403'tür. Üretilen dirseğin ölçüm standardı ise ASME B16.9'dur. Boru 60° ve 48° derecelerde kaynak ağzı açılma işlemi yapılır. Büküm işlemine ön hazırlık yapılır. (Euroformcelik.com.tr, 2020)



Şekil 2. EN10253-4 A403 STANDARDI

Tablo 2. Standart Ölçüler

Nominal Boru Dış Çapı (inch)	Boru Çapı (mm)	L1 (mm)	L3 (mm)	L2 (mm)	L4 (mm)	A(mm)
1"	ø33,4	100	51	30	19	4
1.1/4"	ø42,16	122	60	44	24	6
1.1/2"	ø48,26	139	68	49	28	6
2"	ø60,33	183	94	55	35	6
2.1/2"	ø73,03	232	120	70	42	8
3"	ø88,9	270	139	80	51	8
4"	ø114,3	366	191	109	66	10
5"	ø141,3	450	243	126	81	12
6"	ø168,28	535	287	151	97	18
8"	ø219,08	695	372	197	126	20

(EN 10253-4 Standardı, 2008)

Borunun dış yüzeyinin zarar görmemesi, yapılan işlem içerisinde borunun kaymasının kolaylaştırılması ve sürtünme ve eksenel kuvvetlerin azalması için borunun dışına büküm işlemi öncesi jelatin geçirilmekte ve yağlama işlemi yapılmaktadır. Hidrolik alt ve üst kalıbın kapanması sonrasında, hidrolik mandrel itici malafa yardımıyla süreci tamamlamaktadır. (MANAV, 2018)



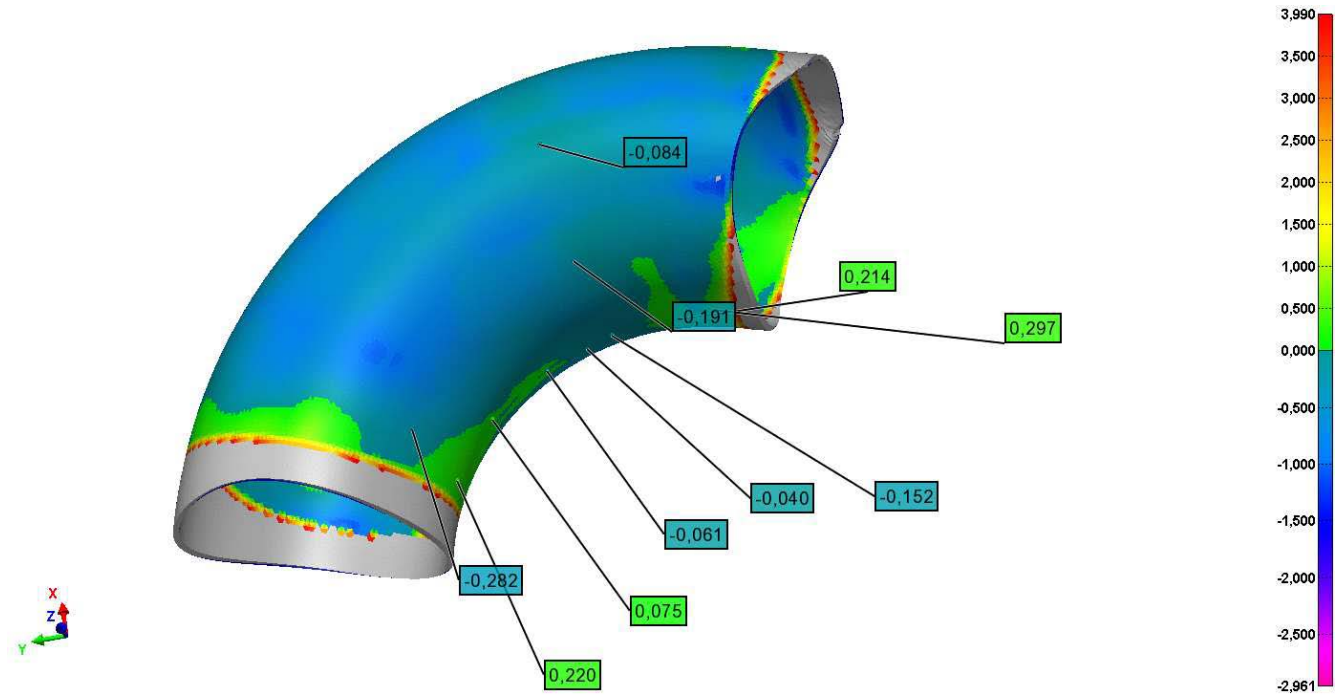
Şekil 3. Deney Düzenegi

Büküm işlemi yapılan 2 adet numune CMM (Coordinate Measuring Machine), kalınlık ölçer (Thickness Gage), Lazer Optik Ölçüm Cihazı, Mahr Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı, Kontur Ölçüm Cihazı yardımıyla ölçülmüştür. Çap, yarıçap, et kalınlığı, yüzey pürüzlülüğü ve 3 boyutlu

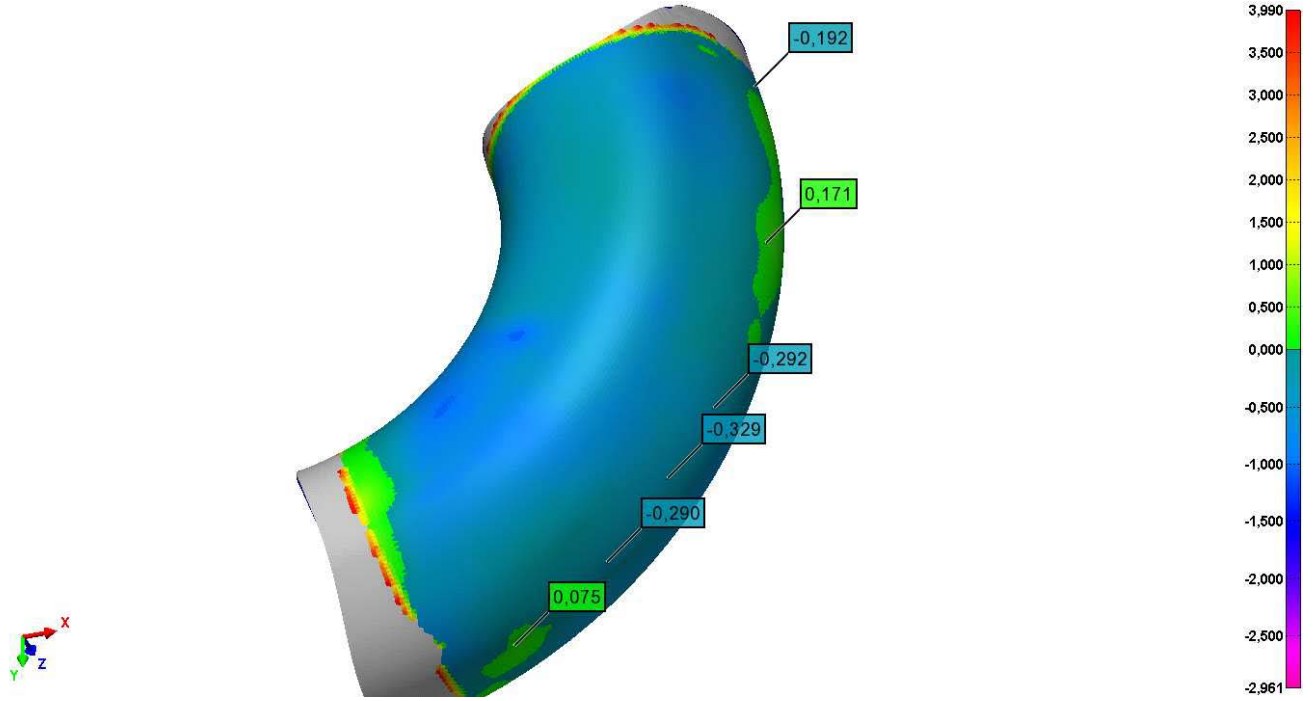
veriler elde edilmiştir. Lazer optik ölçüm cihazı ile elde edilen geometri ile Ansys Transient Structural analizi sonucu elde edilen geometri Polyworks programında karşılaştırılmıştır. 1. Ve 2. Numune işlenmiş olan parçalar ile sırasıyla 25, 30, 35 ve 40 saniye süreç uzunluğunda hesaplanan analiz çıktısı geometrisi karşılaştırılmıştır.



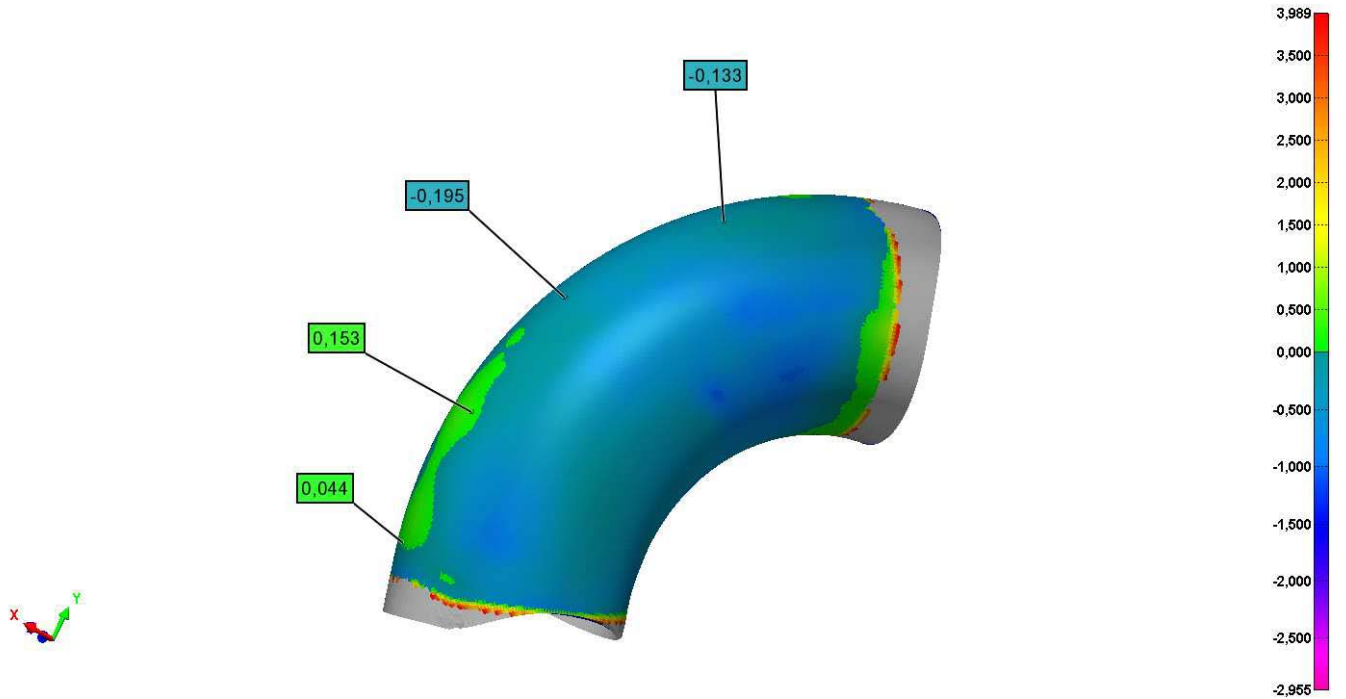
Şekil 4. Lazer Optik Ölçüm Cihazı ile Ölçüm



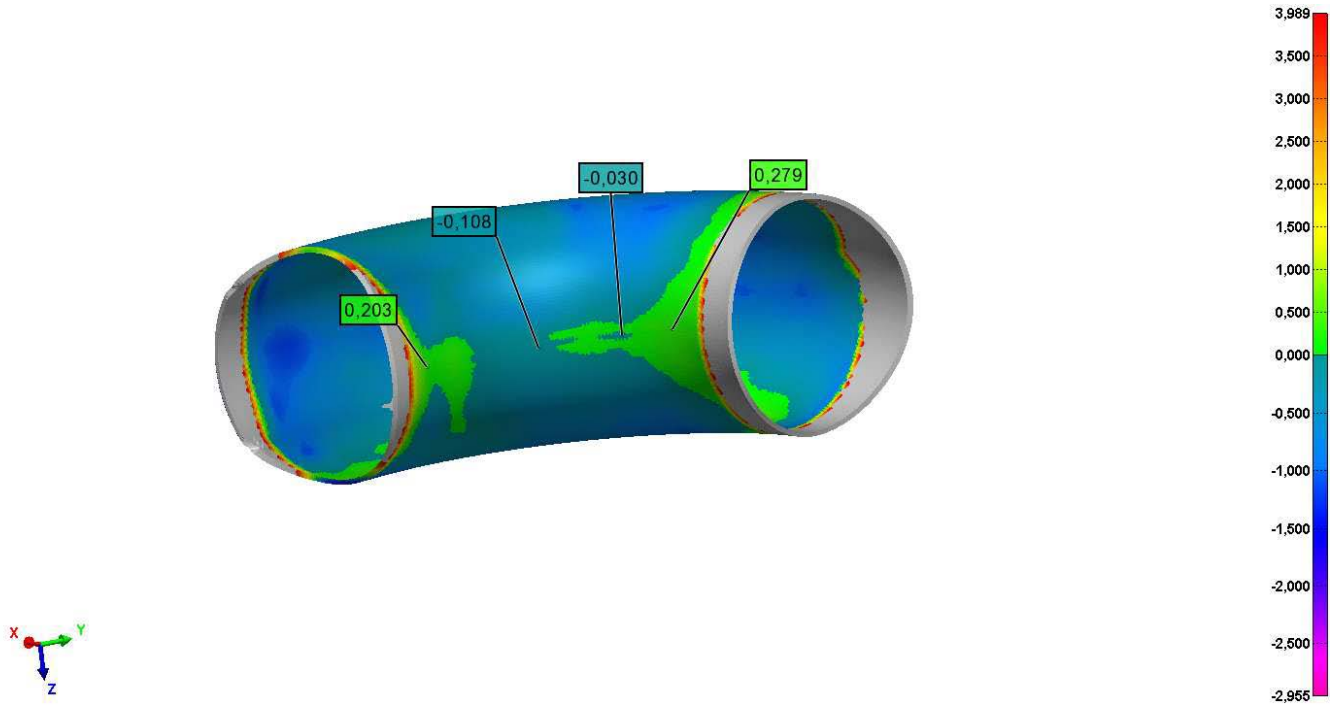
Şekil 5. 1. Numune ile 25 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



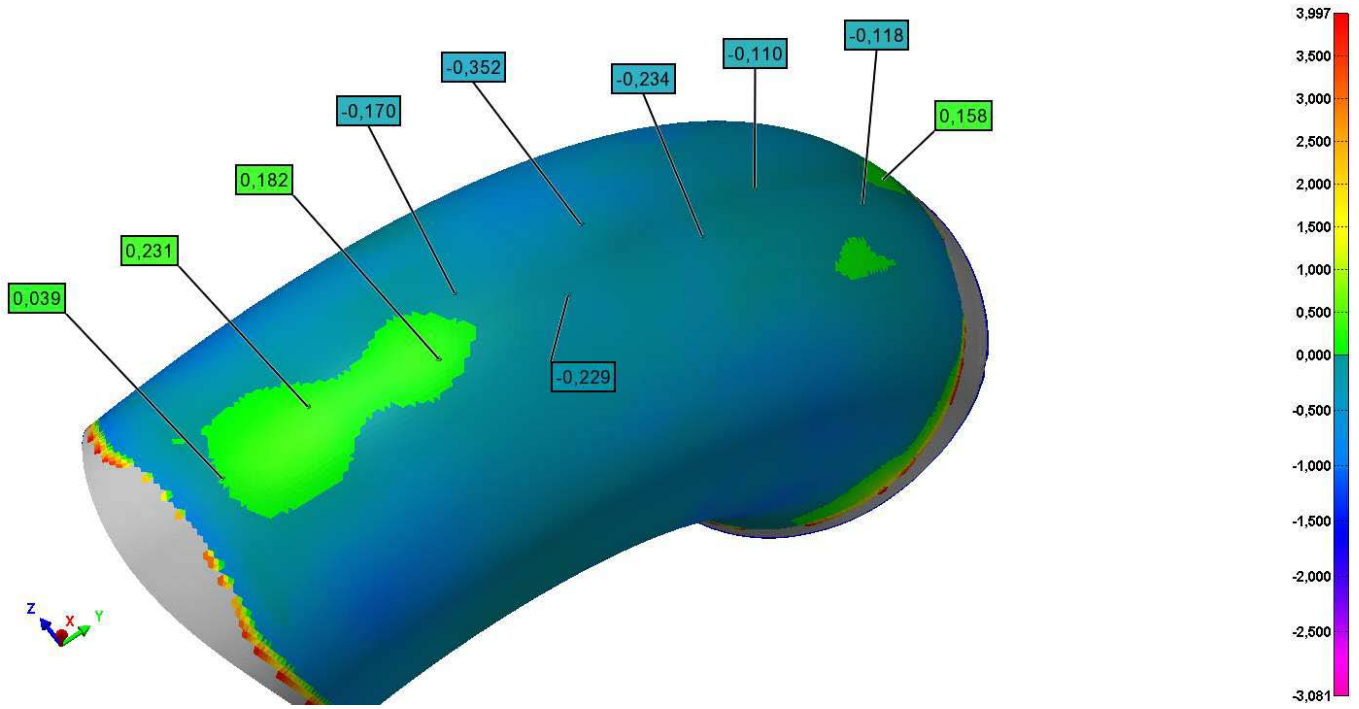
Şekil 6. 1. Numune ile 25 saniyelik süreç karşılaştırılması-2



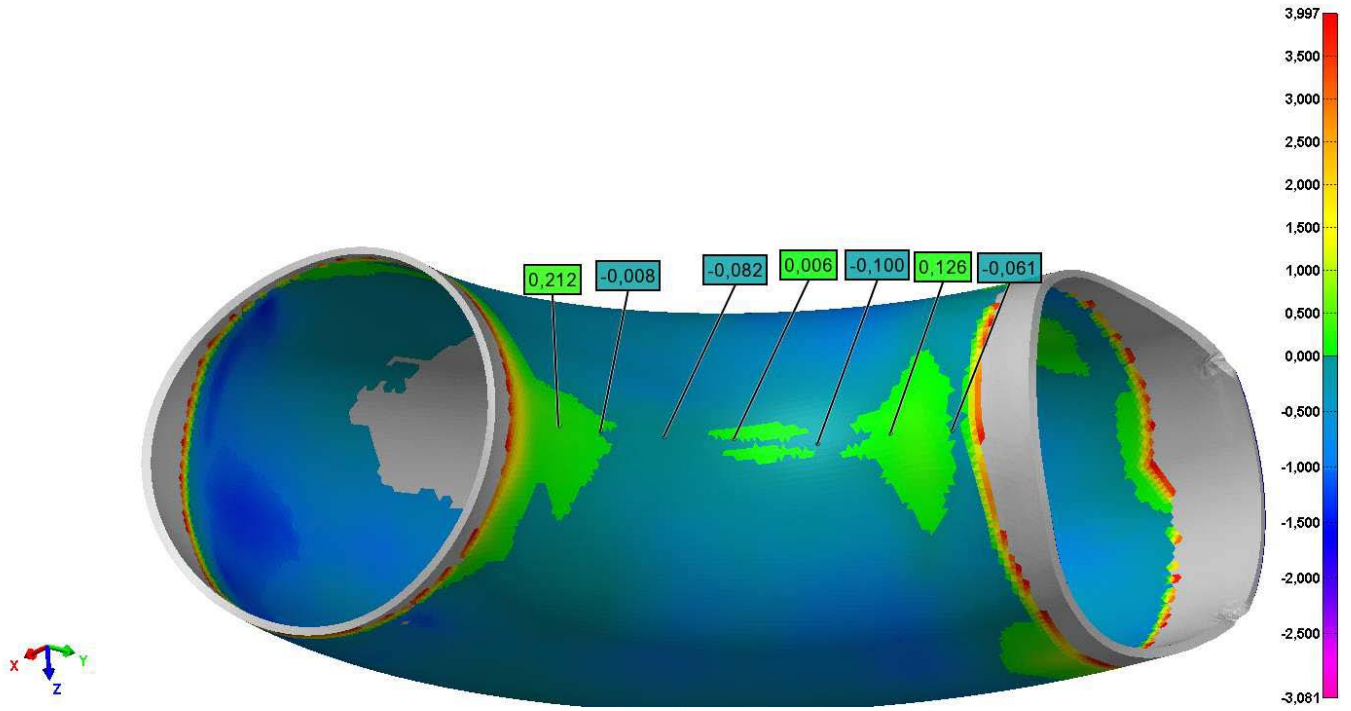
Şekil 7. 1. Numune ile 30 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



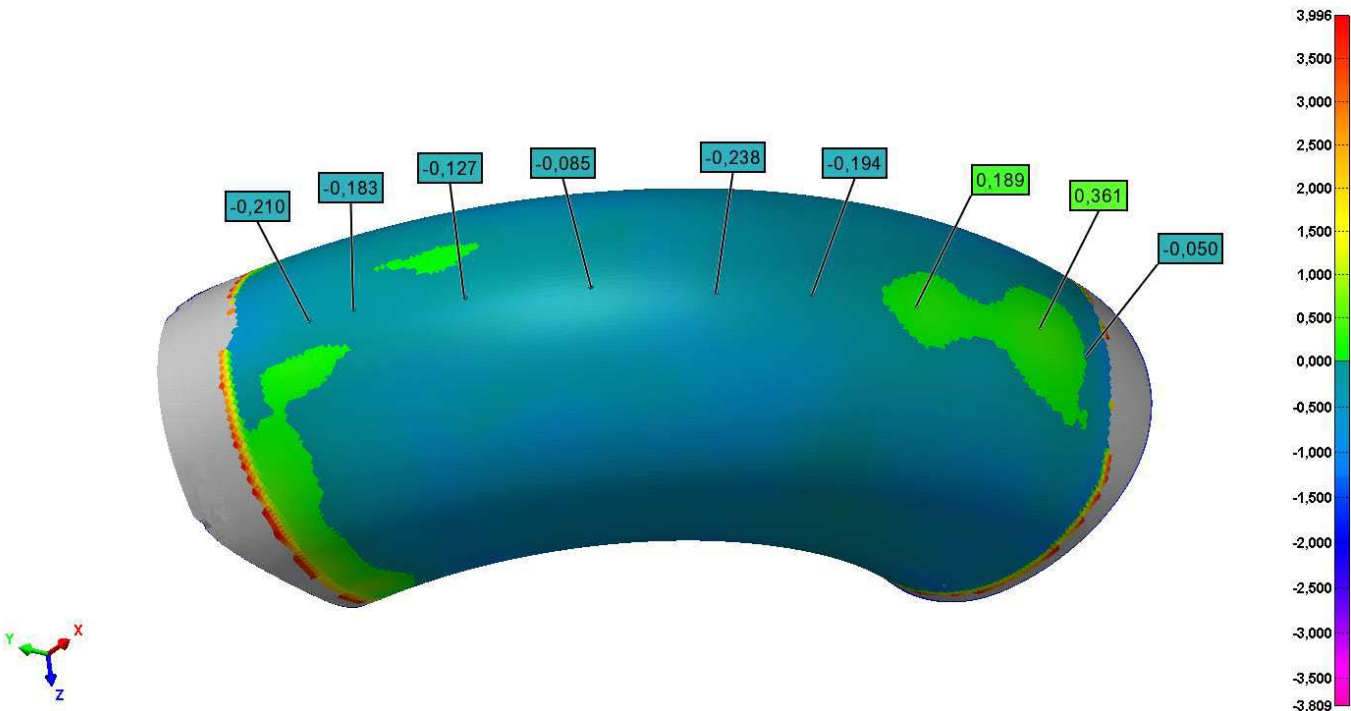
Şekil 8. 1. Numune ile 30 saniyelik süreç karşılaştırılması



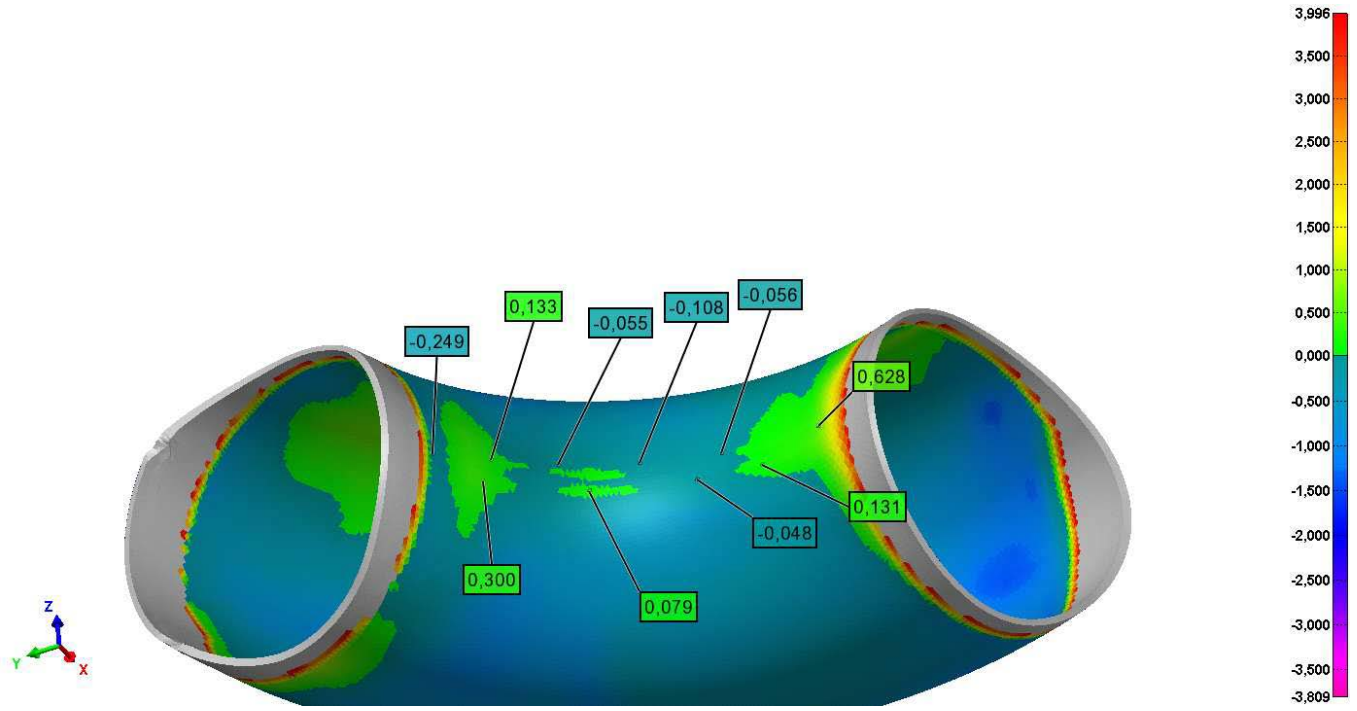
Şekil 9. 1. Numune ile 35 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



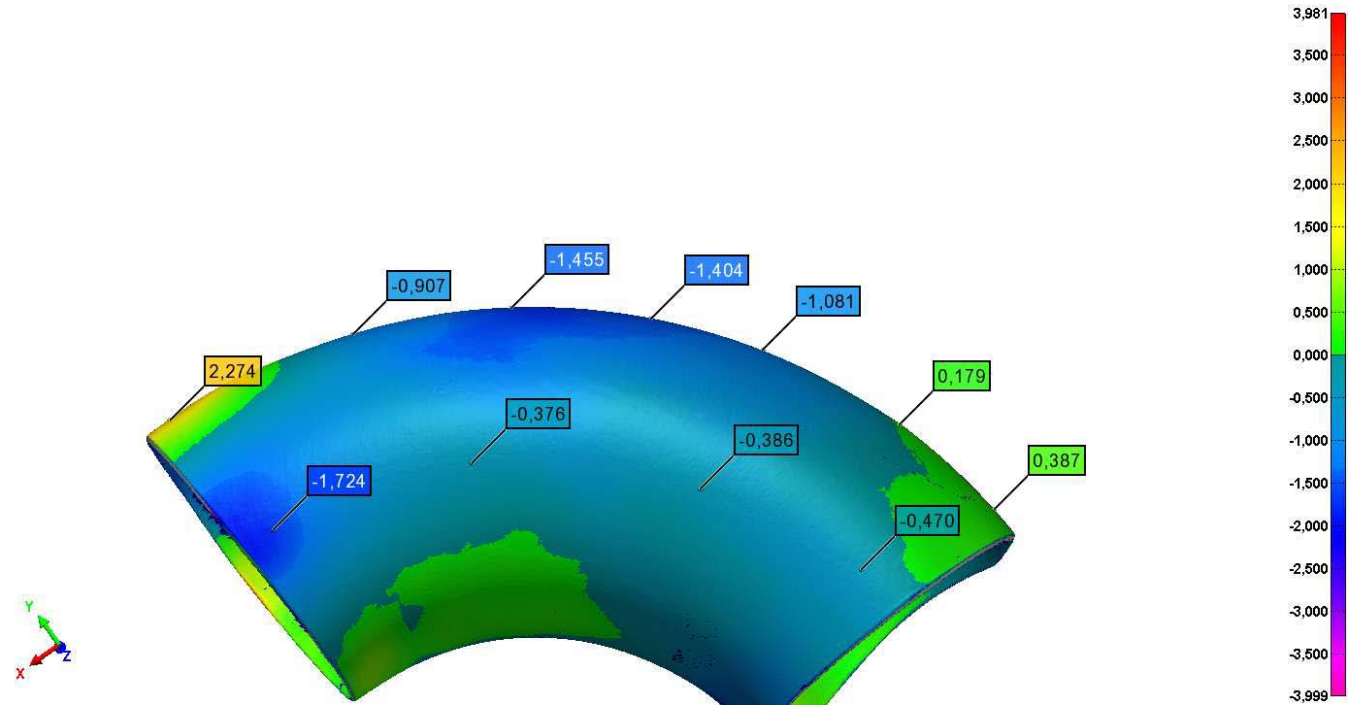
Şekil 10. 1.Numune ile 35 saniyelik süreç karşılaştırılması-2



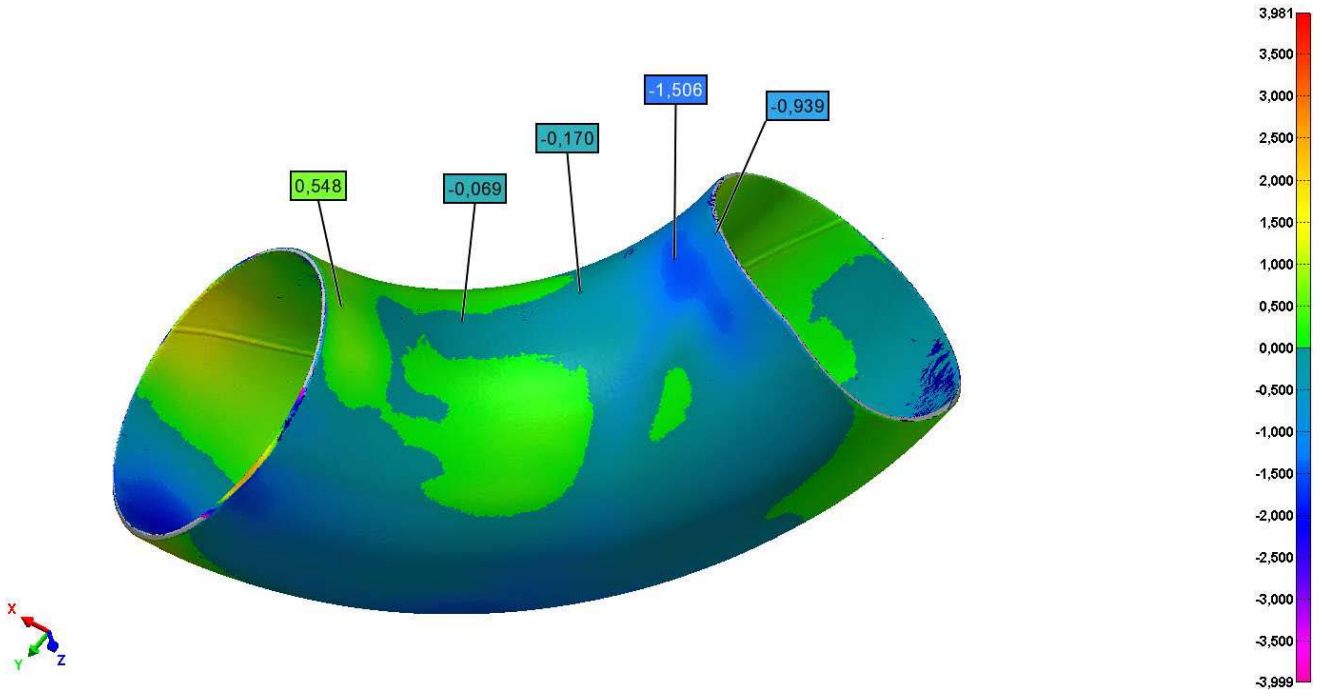
Şekil 11. 1.Numune ile 40 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



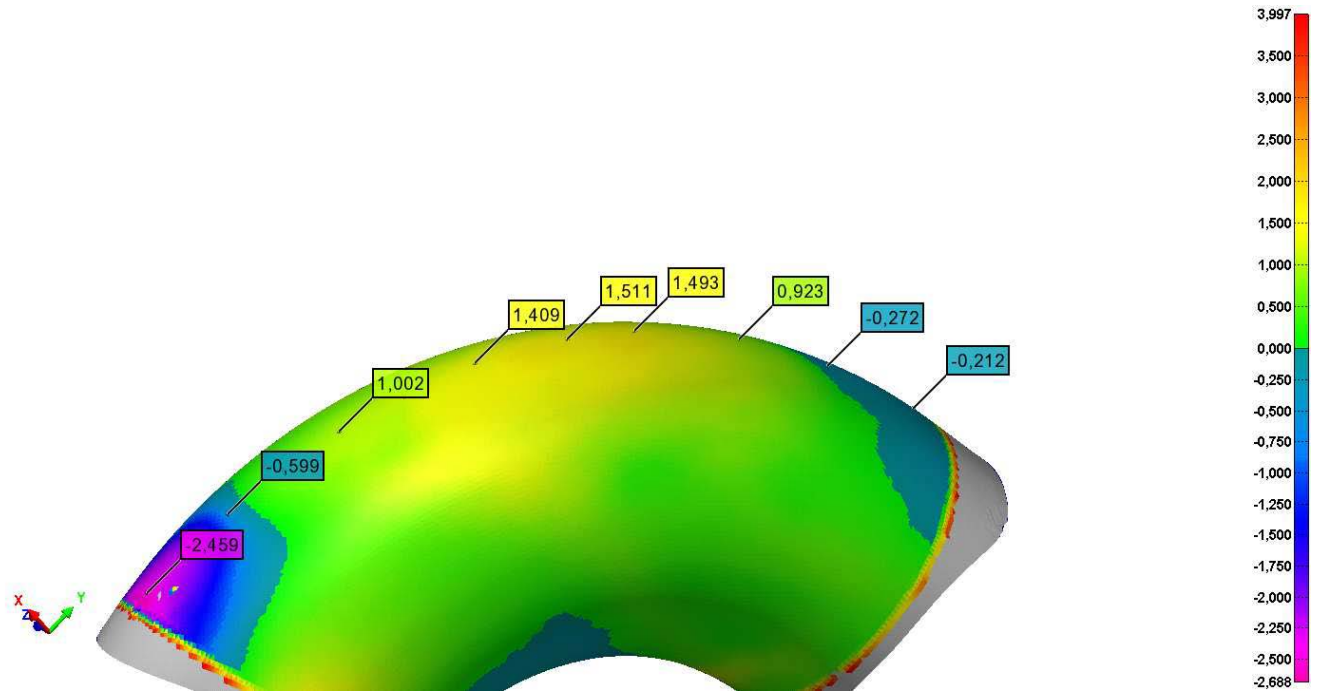
Şekil 12. 1.Numune ile 40 saniyelik süreç karşılaştırılması



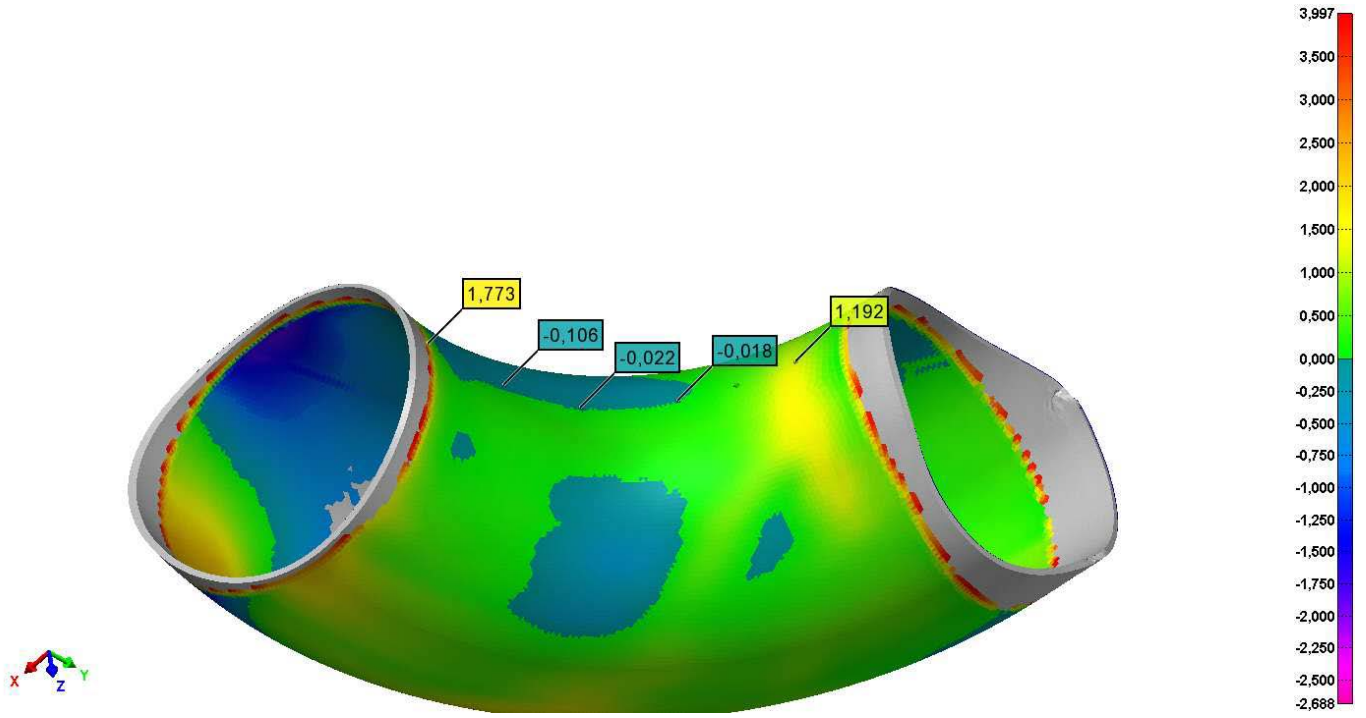
Şekil 13. 2.Numune ile 25 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



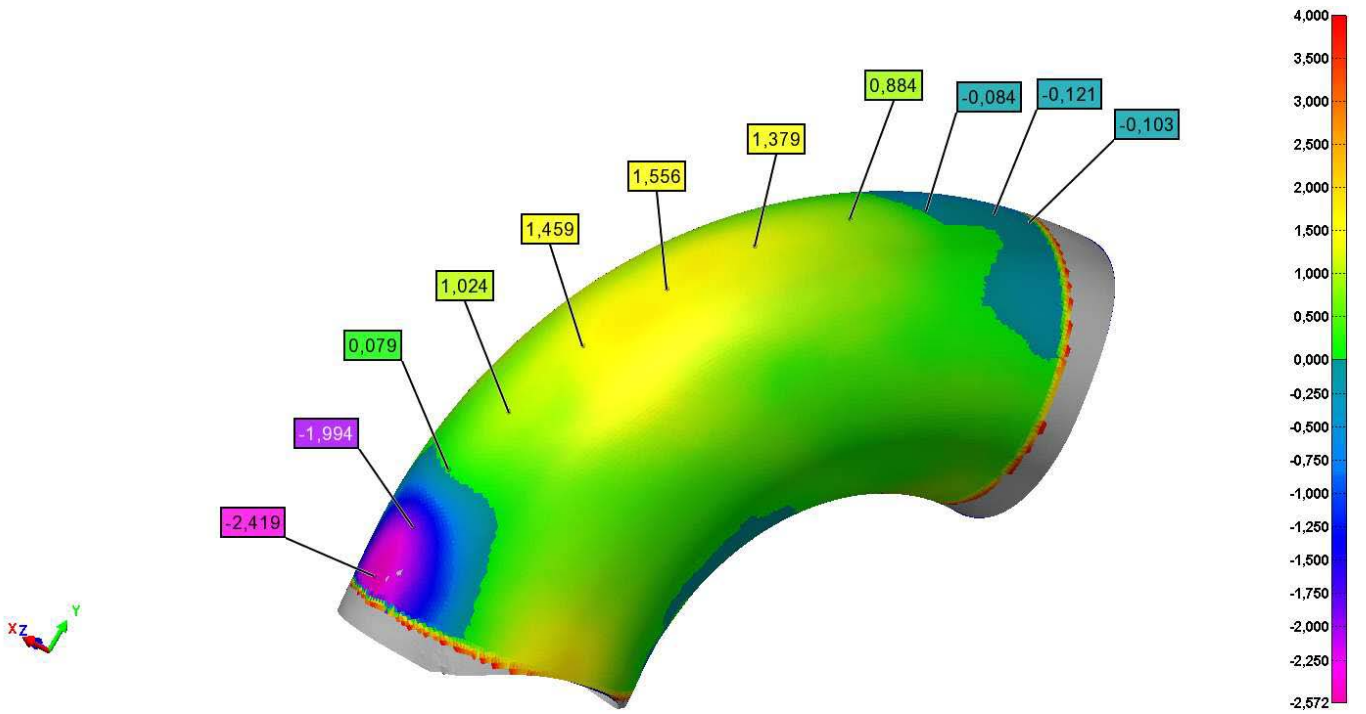
Şekil 14. 2.Numune ile 25 saniyelik süreç karşılaştırılması-2



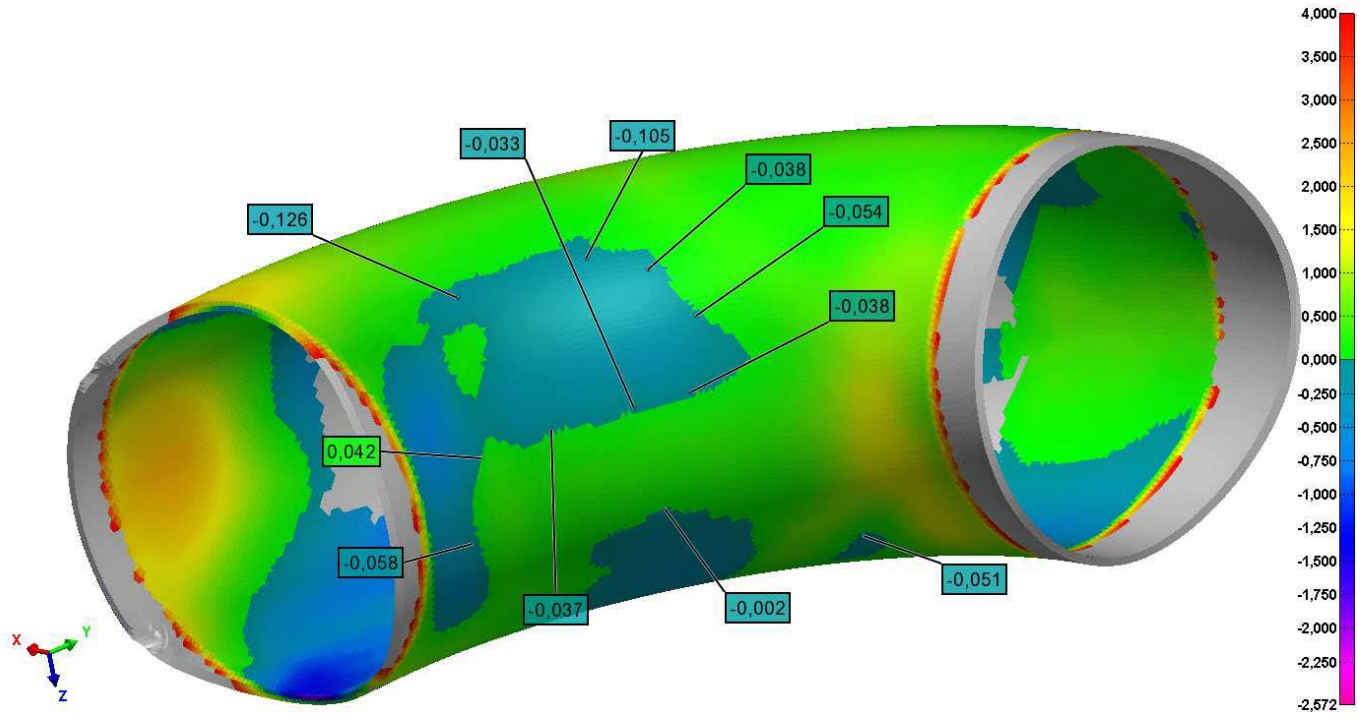
Şekil 15. 2.Numune ile 30 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



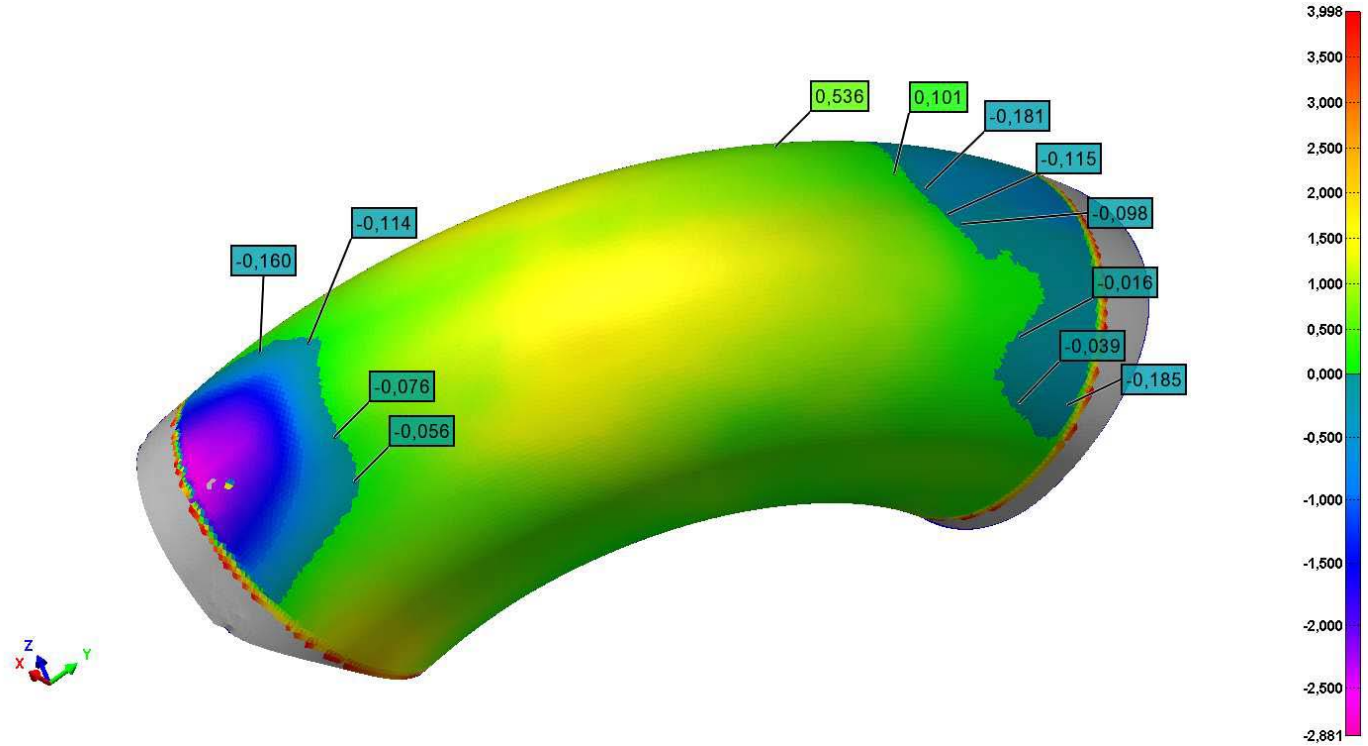
Şekil 16. 2.Numune ile 30 saniyelik süreç karşılaştırılması-2



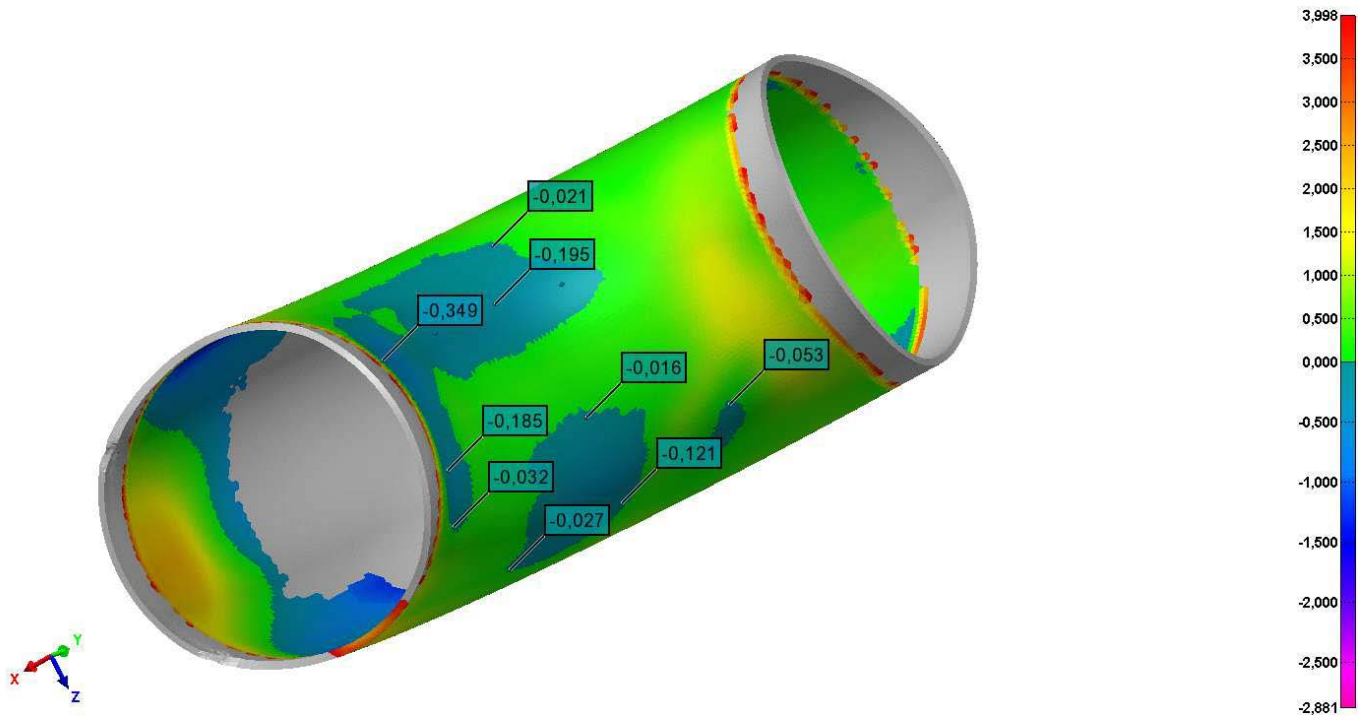
Şekil 17. 2.Numune ile 35 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



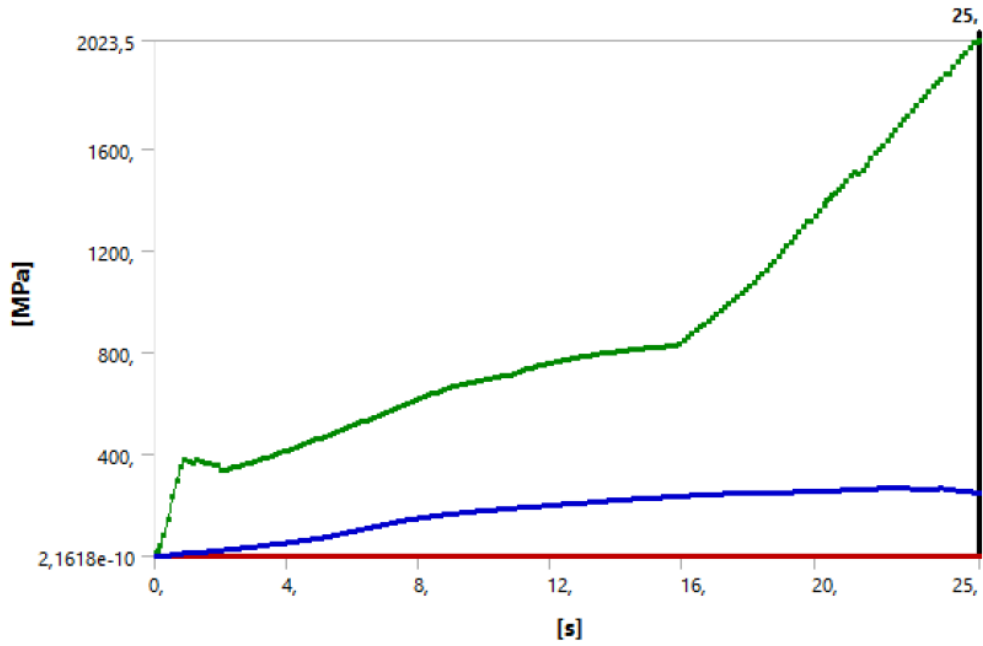
Şekil 18. 2.Numune ile 35 saniyelik süreç karşılaştırılması-2



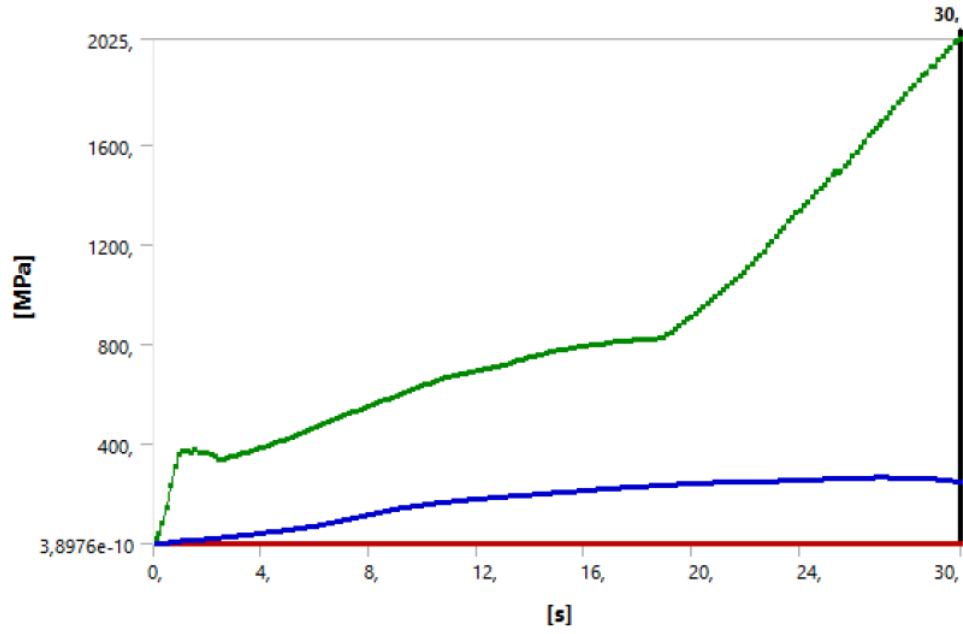
Şekil 19. 2.Numune ile 40 saniyelik süreç karşılaştırılması-1



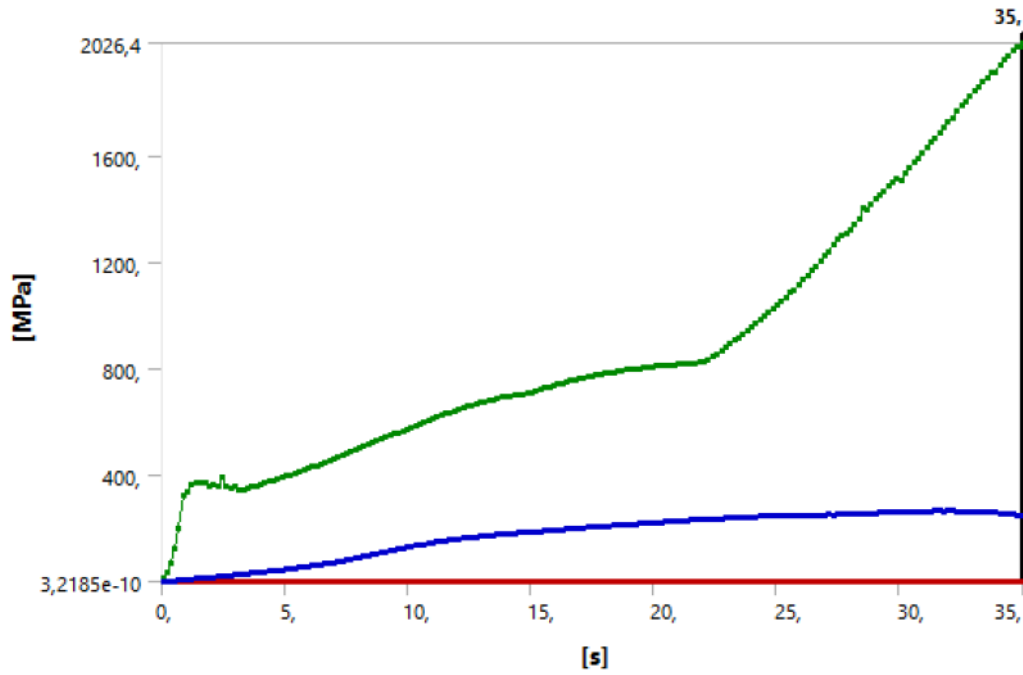
Şekil 20. 2.Numune ile 40 saniyelik süreç karşılaştırılması



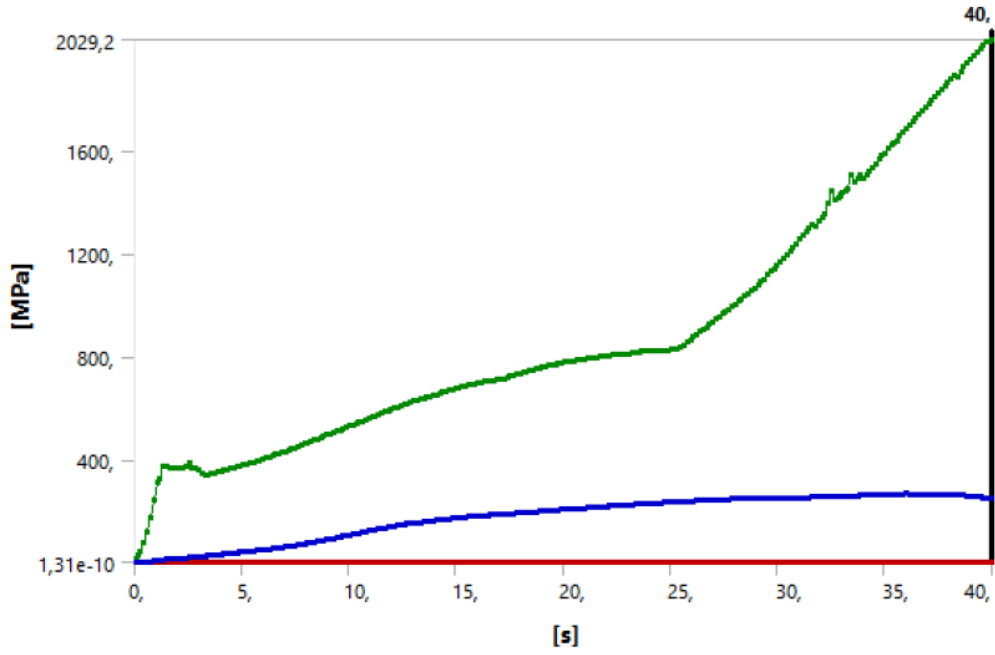
Şekil 21. 25 saniyelik sürecin Von-Mises maksimum ve minimum gerilme grafiği



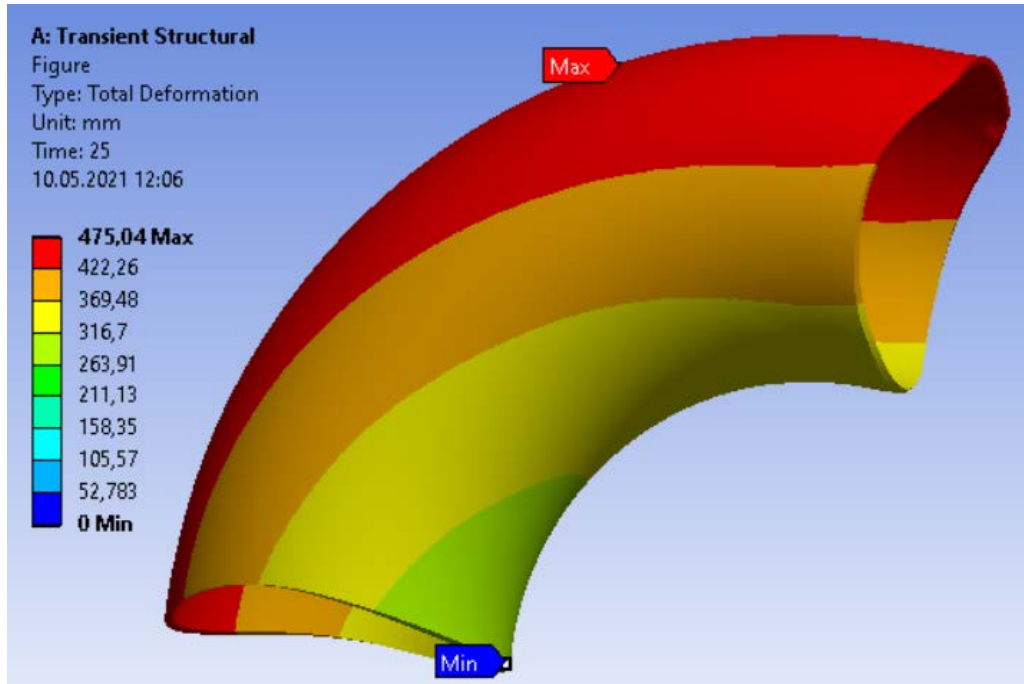
Şekil 22. 30 saniyelik sürecin Von-Mises maksimum ve minimum gerilme grafiği



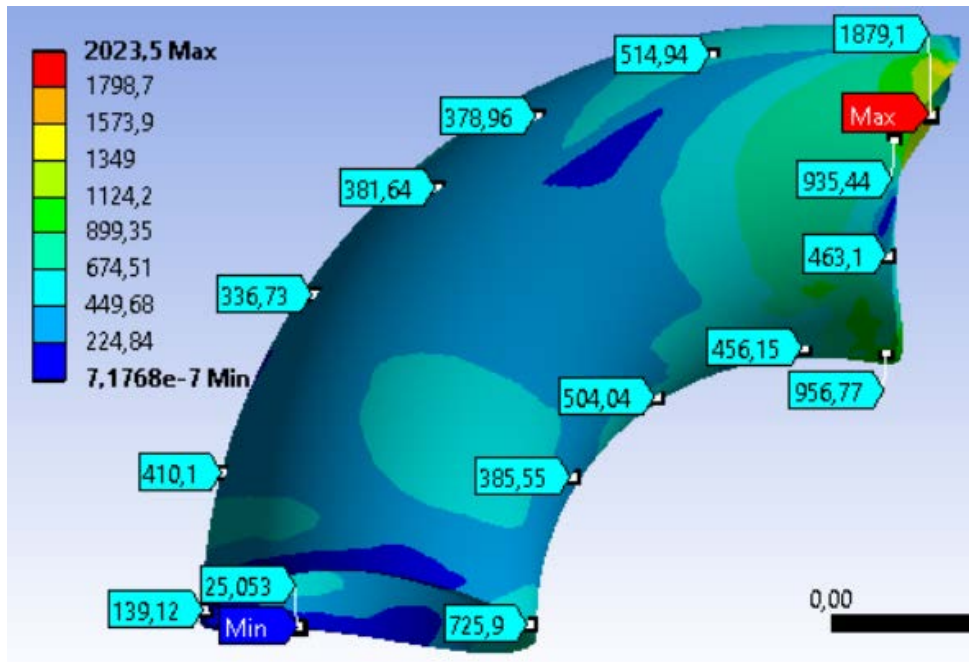
Şekil 23. 35 saniyelik sürecin Von-Mises maksimum ve minimum gerilme grafiği



Şekil 24. 40 saniyelik sürecin Von-Mises maksimum ve minimum gerilme grafiği

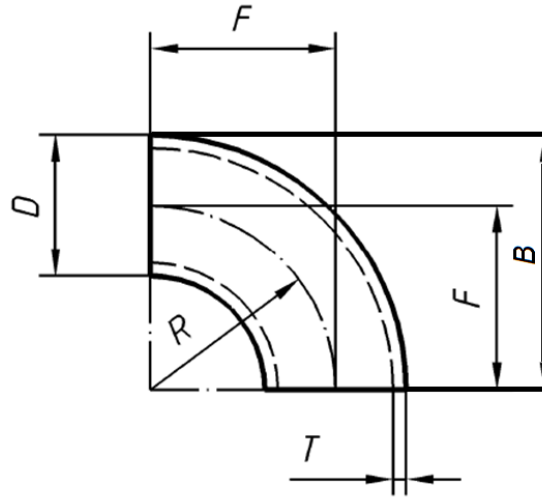


Şekil 25. Dirsek borunun analizinin toplam deformasyon dağılımı



Şekil 26. Dirsek borunun analizinin Von-Mises gerilim dağılımı

3. SONUÇ VE TARTIŞMA



Şekil 27. Dirsek Ölçüleri (EN 10253-4 Standardı, 2008)

Tablo 1. Standard ve Ölçüm Sonuçları Karşılaştırması

D	ÇAP (mm)	TOLERANS ARALIĞI	1.NUMUNE	2.NUMUNE
6"	168,3	166,78-170,58	168,684	168,344
T	ET KALINLIĞI	TOLERANS ARALIĞI	1.NUMUNE	2.NUMUNE
6"	3,4	min.2.98	3,42-4,58	3,10-4,08
B	MAKSİMUM YÜKSEKLİK (mm)	TOLERANS ARALIĞI	1.NUMUNE	2.NUMUNE
6"	313,15	310,75-315,9	311,261	312,069
R	YARIÇAP (mm)	TOLERANS ARALIĞI	1.NUMUNE	2.NUMUNE
6"	229	227-231	226,4805	228,1055

Tablo 2. Sürelerin veri karşılaştırma tablosu

Süre (sn)	Toplam Deformasyon (mm)	Von-Mises Gerilme (MPa)	Min. Kuvvet (N)	Max. Kuvvet (N)	İterasyon Sayısı
20	475,07	2023,7	4,1151	434000	690
25	475,04	2023,5	1,5886	330290	807
30	475,05	2025	4,0446	318860	804
35	475,06	2026,4	3,4668	218780	753
40	474,95	2029,2	1,597	184130	1207

Tablo 3. Analizlerin geometrik ölçülerinin karşılaştırma tablosu

ZAMAN (sn)	ÇAP (mm)	Dış Yarıçap (mm)	Merkez Yarıçap (mm)	İç Yarıçap (mm)
20	169,278	311,83	230,3515	143,55
25	169,286	313,65	230,3288	145,37
30	169,262	314,23	230,3994	145,95
35	169,286	314,78	230,3548	146,5
40	169,289	315,04	230,5477	146,76
Nominal Ölçü	168,28	313,15	229	144,85
ZAMAN (sn)	Çap % Sapma	Dış Yarıçap % Sapma	Merkez Yarıçap % Sapma	İç Yarıçap % Sapma
20	0,5931	-0,4215	0,5902	-0,8975
25	0,5978	0,1597	0,5803	0,3590
30	0,5837	0,3449	0,6111	0,7594
35	0,5978	0,5205	0,5916	1,1391
40	0,5996	0,6035	0,6759	1,3186

Karşılaştırma sonuçları incelenmiştir. Et kalınlıkları EN 10243-4 standardına 6" boru için tolerans içerisinde. Analiz 5 farklı hız referans alınarak yapılmıştır. Sürecin toplam süresi 20, 25, 30, 35 ve 40 saniye olmak üzere 5 farklı zaman diliminde çalışılmıştır. Gerilme kuvvetleri karşılaştırılmıştır. Gerilme kuvvetinin maksimum olduğu bölge bükme yarıçapının dış yarıçapına denk gelen bölgesidir. Analiz ile gerçek veriler yüksek oranda birbirleri ile uyumaktadır. Gerilme kuvvetinin maksimum olduğu dış yarıçap bölgesinde yağlamanın ve kalıp pürüzlülüğünün ideal olması üretim hatalarının önüne geçecektir. Gerilme kuvvetlerinin maksimum olduğu alan hidrolik iticinin temas alanı olduğu belirlenmiştir. Bükme işleminin öncesinde yapılan kaynak ağzı açma işleminin standardının dışına çıkılmaması önem taşımaktadır. Toplam deformasyonun erkek kalıba temas eden alanda diğer alanlarla karşılaştırıldığında maksimum olduğu belirlenmiştir. Kalıp tasarımı ve bakımı için, gerilme bölgelerinin maksimum olduğu alanlar yüksek hassasiyette ve ideal yüzey pürüzlülüğünde üretilmelidir. Zaman parametresi, toplam deformasyon ve Von-Mises gerilme kuvvetleri ile karşılaştırıldığında, 25 saniyelik süreç optimum olarak belirlenmiştir. Sürecin zaman olarak kısaltılması ve optimum sürede işlemin bitirilmesi zaman tasarrufu, işçilik süresinin azaltılması kaynaklı maliyetlerin azalmasını ve maliyet etkin ürün üretilmesini sağlayacaktır.

Günümüz İşlem parametrelerinden biri olan işlem zamanının bükme işlemi sonrasında dirsek parçasının geometrik yapısı üzerine olan etkileri incelenmiştir. Geometrik ölçüm sonuçları ve veriler paylaşılmıştır.

4. KAYNAKÇA

(2020, Ocak 6). Euroformcelik.com.tr: <http://www.euroformcelik.com.tr/tr/fitings.php/> adresinden alındı

EN 10253-4 Standardı. (2008, 12 04). Alın kaynaklı boru bağlantı elemanları-Özek muayene şartlarına sahip biçimlendirilebilir östenitik ve östenitik ferritik (dubleks) paslanmaz çelikler.

Hashmi ve diğ. (1999). Finite element simulation of bulge forming of an elbow of box section from circular tube. *Journal of Materials Processing Technology*, 410-418.

Joa ve diğ. (2011). Effects of cooling temperature and pipe-forming strain on yield strength variation after ERW pipe forming of API X70 and X80 linepipe steels. *REHVA journal*, 38-39.

Karabulut, H. (2007). Boru Parçalarının Sonlu Elemanlar Yöntemi ile Şekillendirilmesi. 4-98.

MANAV, M. (2018). Kişisel Görüşme-Euroform Çelik İmalat Sanayi ve Ticaret Ltd. Şti. Bursa, Bursa/Orhangazi, TÜRKİYE.

Möller, M. (2017). *Robust structural verification of pressurized nuclear components subjected to ratcheting, part two-stress-strain curves for cyclic elastoplastic analysis*. Report number: 2017:05 ISSN: 2000-0456.

Prabhakaran ve diğ. (2003). Closed form expression for plastik J-Integral for an elbow with through-wall crown crack under opening bending moment. *International Journal of Pressure Vessels and Piping* 80, 31-39.

Shim ve diğ. (2016). Double-stage forming using critical pre-bending radius in roll bending of pipe with rectangular cross-section. *Manufacturing Process Technology Center, KITECH, Wolchul-dong, Gwangju, South Koreaa*, 460-500.

Sumeshn ve diğ. (2019). Assessment of plastic loads of critical throughwall circumferentially cracked pipe bends with structural distortions under in-plane bending. *Official Journal of the European Union*, 2009/125/EC.

SuSohn ve diğ. (2010). Effects of microstructure and pipe forming strain on yield strength before and after spiral pipe forming of API X70 and X80 linepipe steel sheets. *Official Journal of the European Union*, 785-790.

YAVUZ, M. (2011). Boru Bükme Kalıp Tasarımı ve Üretim Parametrelerinin İncelenmesi. 5.