

Maden ve Tünelcilik Sektöründe Kullanılan Sıcak Haddelenmiş TH34 Profilin Bükme Prosesine İlişkin Simülasyon Destekli Tasarımı, Prototip Üretimi ve Tahribatsız Muayene Yöntemi ile Analizleri

Aytaç BAŞSÜLLÜ^{*1}, Hülya DURMUŞ²

¹*Kocaer Haddecilik San. Tic. ve A.Ş., İzmir*

²*Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Manisa*

Geliş tarihi: 15.07.2018

Kabul tarihi: 27.03.2019

Öz

Son yıllarda ülkemizde yaşanan maden kazaları sebebiyle birçok can kaybı yaşanmıştır. Bundan dolayı madencilik ve tünel inşaa sektöründe yeni araştırmalar ortaya çıkmıştır. Yeni gelişmelerle tünel kısa zamanda, düşük maliyet ve yüksek kalitede tamamlayarak projelerinde beklenen hassasiyeti güvence altına almak mümkündür. Geçmişten günümüze kadar tahkimat malzemeleri maden ve tünelcilik sektörünü etkilemiştir. Son zamanlarda madencilik ve tünelcilik sektöründe farklı amaçlar için kullanım alanlarına sahip malzemelerden biri çeliktir. Çelik, ahşaba göre daha yüksek dayanıma sahiptir, çeşitli mekanizmalara göre şekillendirilebilir ve bu mekanizmaların yükü altında bozulmadan kullanılabilir. Çelik tahkimat sistemlerde son zamanlarda kullanılan profil ise Toussaint-Heitzmann (TH)'dir. TH profili tahkimatların servis ömrünü büyük oranda etkileyen soğuk deformasyon proseslerinin kontrollü ve en verimli süreç tasarımları ile elde edilebilirliğini ortaya çıkarmıştır. Bu çalışmada, sıcak haddeleme yöntemi ile elde edilen S480W malzemesinden TH34 profiller için, madencilik ve tünelcilik sektöründe kullanımı amacıyla galeri kesitlerine göre profilin bükme ile şekil verme süreçleri, sonlu elemanlar yöntemi ile tasarlanmıştır. Elde edilen çıktılar ile birlikte prototip üretim gerçekleştirilmiştir. Referans alınan galeri ark ölçüsüne göre prototip üretimi gerçekleştirilen profilin büküm yüzeyleri tahribatsız muayene yöntemleri kullanılarak incelenmiş ve plastik deformasyon kaynaklı çatlak oluşuma rastlanılmamıştır. Elde edilen sonuçlara göre çelik tahkimatların soğuk plastik deformasyonuna (bükme) ait en verimli proses tasarımının gerçekleştirildiği belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, Tahkimat, Bükme prosesi, Simülasyon, Tahribatsız muayene

*Sorumlu Yazar (Corresponding author): Aytaç BAŞSÜLLÜ, a.bassullu@kocaergroup.com

Simulation Assisted Design, Prototype Production and Non-Destructive Testing Methods of Bending Process of Hot Rolled TH34 Profile Used in Mining and Tunneling Sector

Abstract

In recent years there have been many casualties due to mining accidents in our country and there have been searches and anticipations for new developments in mining and tunnel construction sector. With the emergence of new developments, it is possible to secure the expected precision of tunnel projects in a short time, at low cost and high quality. From past to present day, ground support materials have affected the orientation of the mining and tunneling sector. One of the materials that have recently been used for various purposes in the mining and tunneling sector is steel. Steel is higher in strength than wood and can be shaped according to various mechanisms and can be used undisturbed under a load of these mechanisms.

The profile recently used in steel support systems is Toussaint-Heitzmann (TH). The TH profile reveals that the cold deformation processes affecting the service life of the ground supports can be achieved with controlled and efficient process designs. In this study, S480W material TH34 profiles obtained by the hot rolling method are designed by using finite element method for bending and shaping processes according to gallery sections for use in mining and tunneling sector. Prototype production was carried out with the results obtained. According to the reference gallery arc gauge, the bending surfaces of the profile produced prototype were examined by using non-destructive inspection methods and crack formation due to plastic deformation was not found. According to the results obtained, it has been determined that the most efficient process design for cold plastic deformation (bending) of steel ground supports is carried out.

Keywords: Mining, Ground supports, Bending process, Simulation, Non-destructive inspection

1. GİRİŞ

Maden ve tünelcilik sektörünün en önemli kısımlardan biri tahkimatlardır. Tahkimat, yeraltı işletmelerinde çeşitli nedenlerden açılan yeraltı boşluklarının, belirli bir süre emniyetli bir şekilde tutulması için kullanılan destek üniteleridir. Oldukça fazla çeşitlilik gösteren tahkimat işlemleri, teknolojinin gelişimi ve işletme maddi olanakları ile birlikte, basit ahşap malzemelerle yapılan tahkimatlardan, hidrolik sistem ile çalışan makineler kadar değişiklik göstermektedir [1].

Son yüzyılda dünyada gerçekleşen hızlı gelişmeler, maden ve tünelcilik sektörünün ihtiyaçlarına bağlı olarak hızla geliştiği belirlenmiş ve günümüzde tünelcilik çalışmalarında ortaya çıkan yeni gelişmeler tünel projelerinin istenilen hassasiyette, güvenli olarak en kısa zamanda ve düşük maliyet

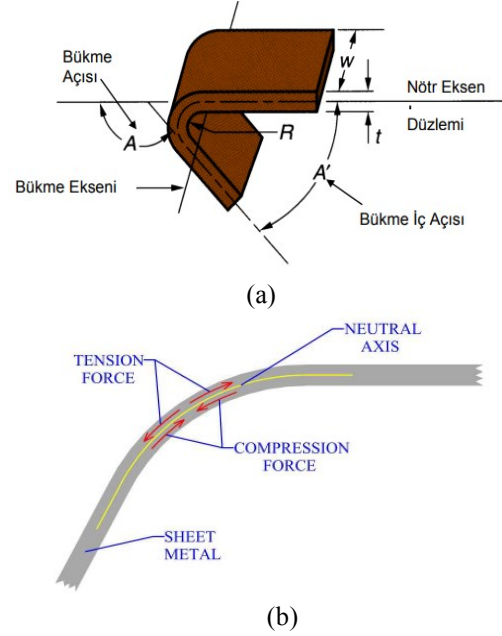
ve yüksek kalite ile tamamlanmasını sağlamaktadır [2,3]. Tahkimat uygulamasındaki çeşitli eksiklikler nedeniyle, yeni malzeme kullanım ihtiyaçları artmıştır. Son zamanlarda farklı amaçlarla farklı kullanım alanlarına sahip malzeme çeliktir. Çelik esaslı malzemelerin şekillendirilmesinde en sık kullanılan plastik şekil verme metotlarından biri, haddelemedir. Haddeleme prosesi, soğuk ve sıcak olmak üzere ikiye ayrılmaktadır [4,5].

Sıcak haddeleme prosesi, metal esaslı malzemelerden çeşitli tasarımlara sahip profillerin elde edilmesi amacı ile kütük, slab ve bloom gibi hammaddelerin tav fırınlarında östenitleme sıcaklığına kadar ısıtılarak merdanelerden geçirilmesi ile plastik deformasyona uğratılması, kontrollü soğutma ile tane oluşumunun tamamlanarak akabinde standartlarda belirtilen ölçü toleranslarına getirilmesi için doğrultma

merdanelerinden geçirilmesini takip eden plastik şekil verme yöntemidir. Haddeme ile üretilen ürünler, demiryolu, yapı sektörü, otomotiv, maden ve tünelcilik sektörü gibi farklı sektörlerde kullanılmaktadır. Sıcak haddeme yöntemiyle üretilen Toussaint-Heintzmann (TH) profilleri'nin sahip olduğu özel kesit tasarımı nedeniyle dikey ve yatay eksenlerdeki mukavemet momentleri birbirine çok yakın olup ayrıca bu profiller, burkulma, eğilme, burulma gibi mekanik zorlamaların olduğu sistemlerde kullanılabilir ve iyi profillerdir [6].

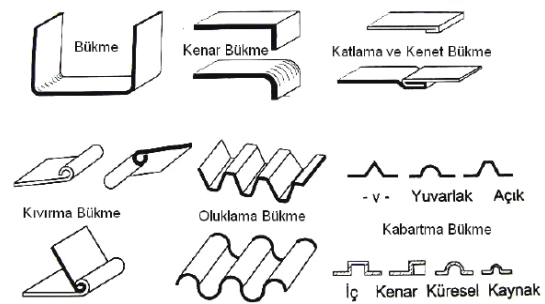
Belirtilen özellikler sebebiyle maden ve tünelcilik sektöründeki faaliyetlerde tahkimat sistemlerinde kullanılan başlıca elemanlardır. Sıcak haddeme yöntemiyle uzun profiller halinde üretilen bu profiller, galeri ve tünellerde bu halleri ile kullanılmamaktadır. Standartlarda yer alan galeri ve açıklıklarda olması gerekmektedir. Bu sebeple TH profillerinin kayar tahkimat, trapezoid gibi şekillerde montajlanabilmesi için soğuk deforme edilmeleri ya da bükme yöntemiyle şekillendirilmeleri gerekmektedir. Bükme işlemleri sırasında malzemelerde bir takım geri yaylanma meydana gelmekte olup, geri yaylanma davranışları kesit şekline, ölçülerine, büküm yarıçapına, hadde yönüne, malzemenin mekanik özelliklerine göre değişiklik göstermektedir [7-10].

Bükme yöntemi, malzemelerin ısıtılarak ya da ısıtılmadan ve talaş kaldırılmadan, belirli bir eksen etrafında döndürülmesi ile şekillendirilmesi olarak tanımlanabilmektedir [11]. Son zamanlarda bükme ile şekillendirme yöntemlerinin gelişmesiyle, birçok sektörde bükme makineleri ihtiyaç haline gelmiştir. Günümüzde hidrolik sanayi, demir-çelik sektörü, denizcilik gibi birçok sektörde bükme makineleri kullanılmaktadır. Demir esaslı ve demir dışı malzemelerin üzerine bir kuvvet uygulanması ile bükme prosesleri gerçekleşmektedir. Malzeme üzerine uygulanan kuvvet ile malzeme bükmeye zorlandığında dış yüzeyde çeki, iç yüzeyde bası gerilmeleri oluşmaktadır. Böylece çeki gerilmelerinin bulunduğu yüzey uzayacak, bası gerilmelerinin bulunduğu yüzey ise kısılacaktır (Şekil 1) [12].



Şekil 1. (a) Bükme işlemlerinde kullanılan parametreler ve (b) Bükme işlemlerinde meydana gelen çeki ve bası gerilmeleri [12]

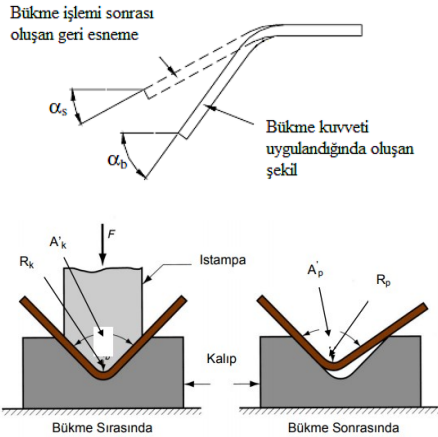
Bükme prosesi; bükme, kenar bükme, kıvrıma bükme, katlama ve kenet bükme, oluklama bükme, kabartma bükme ve vals topları ile bükme olarak altı ana başlık altında sınıflandırılmaktadır (Şekil 2) [12].



Şekil 2. Bükme proses çeşitleri ve örnekleri [12]

Şekil verme işlemlerinin akabinde yük boşaltımı sırasında metal levhanın şeklinin elastik olarak değişime uğraması sonucunda geri esneme meydana gelmektedir (Şekil 3). Bükme işlemleri

sırasında oluşan geri esneme yok edilemez, toplu bükme işlemlerinde makine kapasitelerine göre tek kademede veya daha fazla kademede bükme işlemleri uygulanarak kalıcı şekil değişimi sağlanmakta ve bu sebeple bu yöntem diğerlerine göre daha yavaştır [12-14].



Şekil 3. Geri esnemenin şematik görüntüsü [6]

Bükme ile şekillendirme proseslerinde, akma dayanımlarının aşıldığı ancak çekme dayanımının aşılmadığı, dayanım sınırları içerisinde şekillendirilmesi için gerilme dayanımlarının gözlemlenmesi gerekmektedir. Plastik bölgede işlem yapıldığı için malzeme esnekliğinin bir kısmı korunmakta bu sebeple geri esneme olayı ile meydana gelmektedir [15,16]. İstenilen ölçülerde bükülmüş profillerin elde edilmesi için gerilme-şekil değişimi dağılımlarının kontrol edilmesi gerekmektedir. Sonlu elemanlar metodu gibi sayısal yöntemlerle malzemelerin maksimum dayanımlarını gerçeğe yakın aralıklarda tespit etmek mümkündür. Ayrıca bu yöntemlerle çarpılma oluşumları, artık gerilme miktarı ve malzeme özellikleri gibi parametreler hakkında detaylı bilgi aktarımı sağlamakta, ayrıca sonlu elemanlar yöntemi birçok yapı malzemesinin karakteristiği için öngörü sağlamaktadır [17].

Hudovernik ve arkadaşlarının [18] yapmış oldukları çalışmada; bükme parametrelerinden eğilme kuvveti ve momenti için sayısal modelin geçerliliğinin sağlanmasını yapmışlardır. Ayrıca yüklenme ve boşaltma koşullarında gerilim-gerinim

durumlarının daha ileri incelemelerini gerçekleştirmişlerdir.

Vatter ve Plettice [19] yaptıkları çalışmada; üç boyutlu geometrilerin üretimi için işlem davranışlarını incelemişlerdir. Makinenin kinematiği, sürtünmesi ve rijitliği gibi bütün ilgili faktörleri dikkate alan sonlu elemanlar modeli geliştirmişlerdir. Ortaya çıkan sarmal yapıların şekil üzerindeki etkisini araştıran bir varyant simülasyon gerçekleştirmişlerdir.

Yang ve Shima [20] gerçekleştirdikleri deneyde; U şekilli kesite sahip iş parçasının deformasyonunu üç toplu bir bükme işlemine göre simüle etmişlerdir. İş parçasının özelliklerine bağlı olarak eğrilik ve eğilme momentinin dağılımını silindirlerin yer değişimi-dönüşüne göre hesaplamışlardır. Silindirlerin pozisyonu ve iş parçasının son eğimi arasındaki eğimi elde etmişlerdir. Deney gerçekleştirilmiş ve simülasyonun doğruluğu onaylanmıştır.

He ve arkadaşları [21] gerçekleştirdikleri inceleme çalışmasında; boru bükme prosesinin hafif ürün oluşumu için anahtar üretim teknolojilerinden biri haline geldiğini belirtmişlerdir. Bükme karakteristikleri ve çoklu kusurların analizi yoluyla, boru bükümündeki yaygın problemleri keşfetme konusundaki ilerlemeler, iç kemerdeki buruşmazlık dengesizliği, dış kemerdeki duvar incilmesi (çatlama), yayılma olayı, kesit deformasyonu, şekillendirme limiti ve prosesi hakkında bilgileri özetlemişlerdir.

Feng ve Champlaud [22] çalışmalarında; silindirik rulo bükme sırasında yanal silindirin pozisyonunun tahmin edilmesi ile ilgili gerekli kabulleri yaparak hem deney hem de sonlu elemanlar metodu vasıtasıyla modelleyerek simülasyonunu gerçekleştirmişlerdir. Deney ve simülasyon sonucunun yüksek oranda birbiri ile örtüştüğünü belirtmişlerdir.

Ghiotti ve arkadaşları [23] yapmış oldukları çalışmada, üç toplu bükme süreci boyunca bükülmüş geometrinin doğru ve gerçek zamanlı ölçümüne izin veren atalet ölçüm tekniklerine dayanan yeni bir hat üzeri yaklaşım sunulmaktadır.

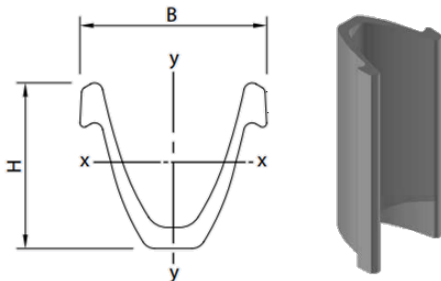
Doğrulama deneyleri yanı sıra ölçüm doğruluğunun değerlendirilmesi de sunulmaktadır.

Hermes ve arkadaşları [24] yaptıkları çalışmada; profillerin 3 boyutlu bükülmesi için yeni bir yöntem göstermişlerdir. Bu sayede çok uzun simetrik ve asimetrik profiller yüzeyde hasar olmaksızın üç boyutlu olarak bükülebilir ve asimetrik profillerin istenmeyen torsiyonunun benzer bir dengeleme momenti ile önlenebileceğini vurgulamışlardır.

Simonetto ve arkadaşları [25] yapmış oldukları çalışmada; üç toplu bükme makinesinde işlem sırasında borunun bölümlerinin kararsızlığına bağlı kusurları tespit etmek için dinamik analiz tekniklerinin uygunluğunu kanıtlamayı amaçlamışlardır. Yaklaşımlarını farklı endüstriyel işlem koşullarına uygulamış ve sonuçları karşılaştırmış, tartışmışlardır. Önerdikleri yaklaşımın burada görülen buruşukluğun tespiti için umut verici olduğunu belirtmişlerdir. Ayrıca proses parametrelerinin gerçek zamanlı ayarlanması için doğru geri bildirim verebildiğini bildirmişlerdir.

1.1. Malzeme

Kimyasal kompozisyonu belirlenmiş olan kütük malzemeler, maden ve tünelcilik sektöründe kullanılacak olan Toussaint-Heintzmann profillerinin elde edilmesi amacıyla sıcak haddeleme süreçlerinin de kullanılacaktır. Maden ve tünelcilik profillerinin bükme prosesi tasarımında kullanılacak olan TH34 profiller referans alınmış olup, ilgili profile ait görsel Şekil 4'te profile ait kesit özellikleri ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 4. TH34 Profil ve profil kesiti

Çizelge 1. TH34 profile ait kesit özellikleri

Profil Cinsi	B	H	I_x	I_y	W_x	W_y
	mm	mm	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³
TH34	171	136,5	870	1.182	122	138

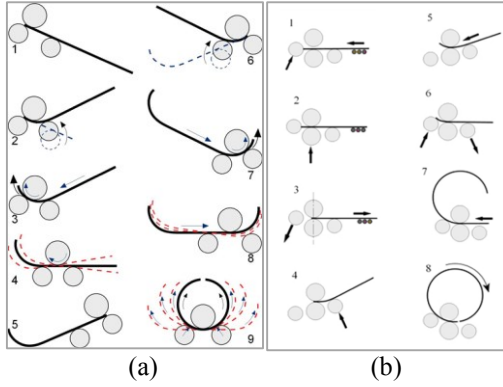
Maden ve tünelcilik sektöründe tahkimat elemanı olarak kullanılan profillerin bükülmesi ve tasarımlarda istenilen geometriye getirilmesi aşamalarında yararlanılan bükme makinesi ile bükme prosesi tasarımları süreçlerinde kullanılan 31Mn4 ve S480W malzemelerine ait mekanik özellikler Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2. 31Mn4 ve S480W malzemelerine ait mekanik özellikler

Malzeme	31Mn4	S480W
Akma Mukavemeti (MPa)	350	480
Çekme Mukavemeti (MPa)	550	650
% Uzama	18	17

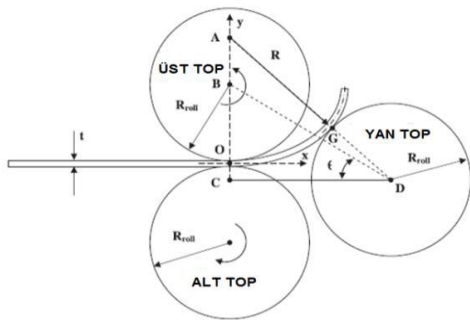
1.2. Yöntem

Üç ve dört toplu bükme prosesleri metal şekillendirme sektörü, enerji mühendisliği yapıları, inşaat sektörü, maden ve tünelcilik sektörlerinde kullanılmaktadır [26-29]. Kalıpta bükme, germe bükme gibi uygulamalar, metal bükme işlemlerinde sıklıkla kullanılmaktaydı. Ancak konvansiyonel yöntemlerin kullanımları sebebiyle oluşan geri esnemenin engellenmesinde meydana gelen güçlükler, bükme işlemi sırasında oluşan yüksek malzeme fireleri ve bu sebeple oluşan yüksek üretim maliyeti, proses sonunda şekillendirmeden kalan düzlemsel yüzeylerin geniş olması gibi sorunların engellenmesi ve daha dar toleranslarda tek pasoda veya birden fazla pasoda şekillendirme işlemlerinin gerçekleştirilmesi amacıyla üç ve 4 toplu bükme işlemleri uygulanmaya başlanmıştır [30]. Dört toplu profil bükme prosesinde, bükme işlemlerinin sonrasında profilin uç kısımlarında düzlemsel olarak kalan bölgelerin daha az oranda bulunması ve dar tolerans aralıklarında işlemlerin gerçekleştirilmesinden dolayı; dört toplu profil bükme proseslerinin üç toplu bükme prosesinden daha fazla avantaj sağladığı ve daha üstün özellik içerdiği görülmektedir [30,31].



Şekil 5. (a) 3 Toplu profil bükme prosesi ve (b) 4 toplu profil bükme prosesi [32]

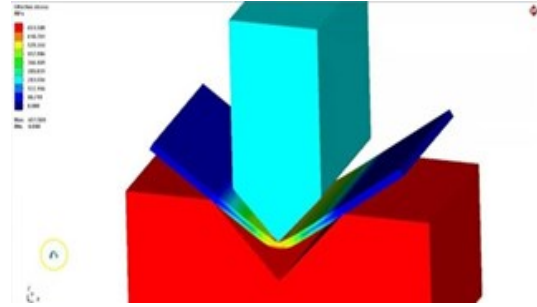
Üç veya daha fazla bükme vals topları profil bükme işlemlerinde kullanılmakta olup; alt topun konumu sahip, alt ve üst top dikey düzlemde eksenleri çakışık olarak çalışmaktadır (Şekil 6). Üst toplar ise y eksenli boyunca hareketlidir. Böylece deformasyon uygulanacak olan profil alt ve üst vals topları profili mesnetlenirken, yan vals topları bükme yarıçapı ölçülerinde bükme işleminin gerçekleşmesi amacıyla konum değiştirmekte ve vals toplarının dönme hareketi ile profilin itilerek bükme işlemi gerçekleşmektedir [13,30].



Şekil 6. 3 toplu bükme prosesi şematik görünüm [30]

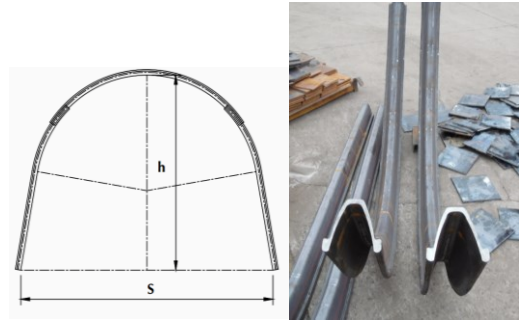
Mikroalaşımli çelik hammaddeye sahip olan maden ve tünelcilik sektöründe kullanılan profillerin şekillendirilebilirlik özelliklerinin inceleneceği sonlu elemanlar metodu temelli simülasyon faaliyetleri boyunca simufact.forming yazılımı vasıtasıyla elde edilen gerilme-şekil

değiştirme eğrilerine göre en verimli bükme prosesi tasarlanmıştır (Şekil 7). Tasarlanan bükme prosesine ilişkin vals toplarına etkiyen kuvvet, tork gereksinimleri elde edilerek gerçek uygulamalarda makinenin kapasitesine uygunluğu belirlenmiştir.



Şekil 7. Simufact forming yazılımı ile yapılmış olan örnek V bükme prosesi

Sonlu elemanlar metodu temelli simülasyon faaliyetleri kapsamında yapılan bükme simülasyonlarından elde edilen çıktılar neticesinde en verimli bükme prosesine ait parametrelerin kullanılması ile dört toplu bükme makinesinde prototip üretim uygulamaları gerçekleştirilmiştir (Şekil 8).



Şekil 8. Bükme makinesi tasarımı

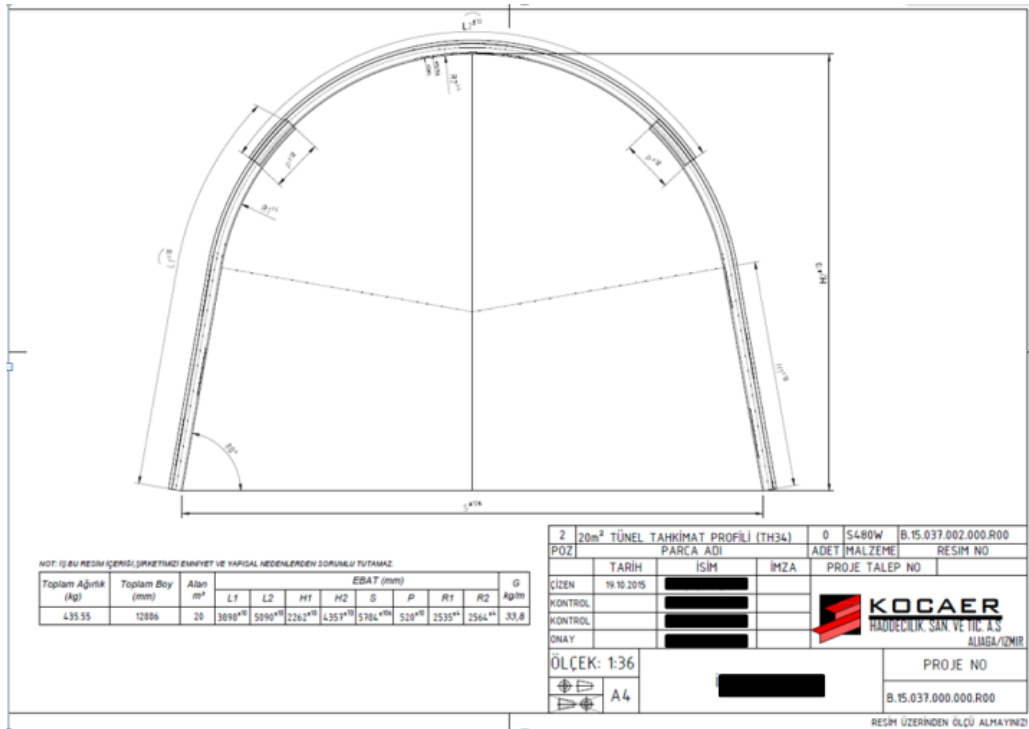
Prototip bükme uygulaması sonrasında elde edilen bükülmüş profillere ait geri esneme miktarının tespiti; bükme prosesi öncesinde referans alınan bükme radyüs ölçülerine göre tasarlanan master vasıtası ile kontrol edilmiştir. Ayrıca soğuk deformasyon aşamasında malzemede hasarın meydana gelip gelmediğinin belirlenmesi amacı ile bükülmüş malzemeye sıvı penetrant testi uygulanarak çatlak kontrolü yapılmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Sıvı penetrant testi örneği

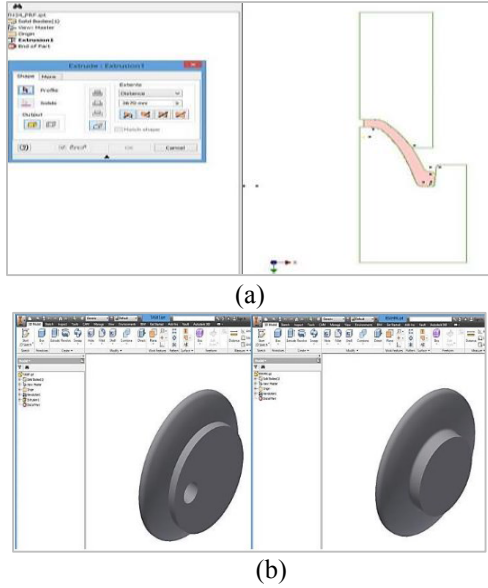
2. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Maden ve tünellerde kullanılan TH34 profillerin, belirtilen avantajlarda dahilinde, dört toplu bükme makinesinin kullanımının referans alınması ile tasarım faaliyetleri kapsamında, profil bazında bükme makinesi tasarımı gerçekleştirilmiş ve akabinde sonlu elemanlar metodu temelli çalışan simufact.forming yazılımı vasıtasıyla simülasyon faaliyetleri tamamlanmıştır. Simülasyon faaliyetleri, dört toplu bükme makinesinin iki farklı prototipe göre düzenlenmesi ile gerçekleştirilmiştir. Birincisinde, yan topların avare çalışmasının sağlanması ile profile eş zamanlı bükme kuvveti uygulanmıştır. İkincisinde ise, tüm topların tahrikli olarak çalışması ile yan topların biri profile bükme kavis yarıçapı ölçüsünde kuvvet uygulayacak, diğeri üst ölü noktada durması ile bükme prosesi boyunca destek işlevi görecektir. Bükme prosesi için profile ait büküm ölçüleri Şekil 10'da verilen ölçüler referans alınarak, simülasyon faaliyetleri belirlenen ölçülere göre yapılmıştır.

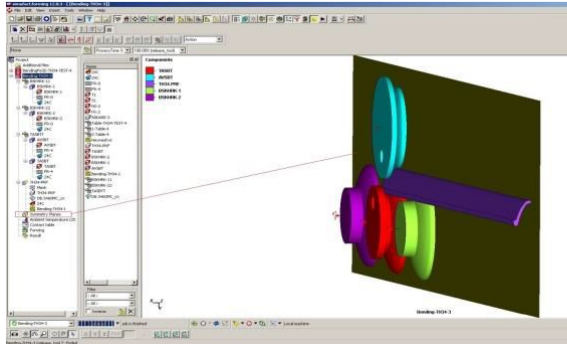


Şekil 10. Referans alınan TH34 tahkimat

Simülasyon faaliyetleri süresinde kullanılacak olan profilin kesitine uygun olarak tasarlanan bükme topları ve mekanik özellikleri daha yüksek olan S480W malzemeli TH34 profil ele alınarak bükme simülasyon faaliyetleri kurgulanmıştır. Bükme toplarının dönüş hızları 7 m/dk'dır (Şekil 11 ve 12).



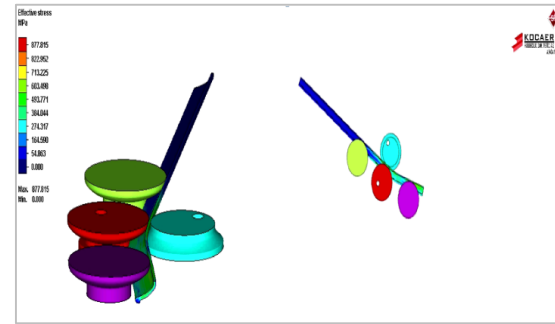
Şekil 11. (a) Bükme topu tasarımı (b) Tasarımı tamamlanan bükme topları



Şekil 12. Dört toplu bükme makinesine ait proses tasarımı

Simülasyon çalışmaları iki aşama olarak gerçekleştirilmiştir. İlk aşama 1. Prototipe ait sistem kurgusudur. Bu aşamada, yan toplar avare çalışırken, alt ve üst toplar tahrikli çalışacağı varsayılmıştır. Belirtilen varsayım ile profil bükme

enasında yan toplar profile baskı yapacak şekilde tasarlanmıştır ve söz konusu varsayıma ait simülasyon faaliyetleri gerçekleştirilmiştir. 1. Aşama sonunda elde edilen simülasyon faaliyetleri çıktıları irdelendiğinde, sistemi tahrik eden elemanların moment ihtiyaçlarının yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bu sebeple simülasyon çalışmalarının ikinci aşaması olan 2. prototipe ait sistemin analizine geçilmiştir. İkinci aşamada, tüm topların tahrikli olarak çalışacağı varsayılmıştır. Belirtilen varsayıma göre, profilin bükülmesi esnasında, yan toplardan biri profili eğecek, diğeri ise üst ölü noktada duracak bu sebeple herhangi bir eğme işlemi uygulamayacak şekilde kurgulanmıştır. İkinci aşamaya ait simülasyon faaliyetlerinin gerçekleştirilmiştir (Şekil 13).



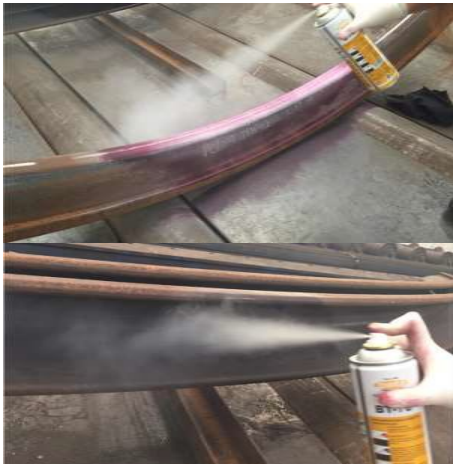
Şekil 13. Simülasyon çalışmalarının ikinci aşamasını oluşturan 2. Prototipe ait simülasyon kurgusu

Tasarım ve simülasyon faaliyetlerinde elde edilen çıktılarından yararlanılarak bükme prosesine ait prototip üretimler yapılmıştır (Şekil 14).



Şekil 14. Bükme prosesi uygulaması

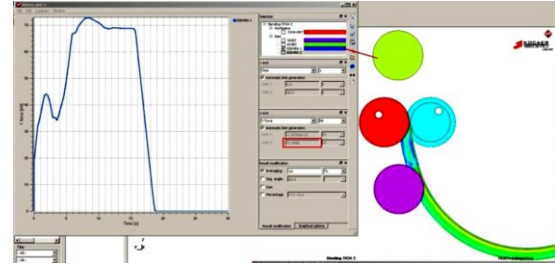
Maden ve tünel inşa sektöründe bükülmüş profillerin kullanılması ile oluşturulan tahkimatların servis ömürlerini belirlemede en büyük etken olan profil yüzeylerinde kılcal çatlakların tespit edilerek düşük kaliteli ürünlerin elde edilmesinin engellenmesi tahribatsız muayene yöntemleri ile bükme prosesi sonunda gerçekleştirilmektedir. Galeri ölçülerine göre büküm işlemi gerçekleştirilen profillerin yüzeylerinde meydana gelmesi muhtemel süreksizlikler, yapısal bozukluklar ve yüzeyin durumu gibi kaliteyi etkileyen parametrelerin belirlenmesi amacı ile öncelikli olarak gözle kontrol gerçekleştirilmiş, gözle görülmesi mümkün olmayan kılcal çatlakların belirlenebilmesi amacı ile penetrant sıvı tahribatsız muayene yöntemi ile kontrol gerçekleştirilmiştir (Şekil 15).



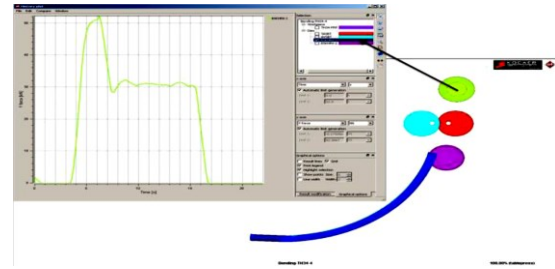
Şekil 15. Bükülmüş TH34 profillerin iç ve dış yüzeylerine sıvı penetrant yöntemlerinin uygulaması

3. SONUÇLAR

Simülasyon faaliyetlerini oluşturan, yan topların avare çalıştırılarak bükme prosesinin gerçekleştirildiği ilk aşama olan 1. prototip ve yan topların tahrikli olarak çalışması ile bükme prosesinin gerçekleştirildiği ikinci aşama olan 2. prototip sistemlere ait simülasyon çalışmaları tamamlanarak, elde edilen simülasyon faaliyetleri sonuç ve çıktılarını oluşturan profil bükme proseslerinde toplara etkiyen kuvvetler ile dönme momenti gereksinimleri Şekil 16-24'te verilmiştir.

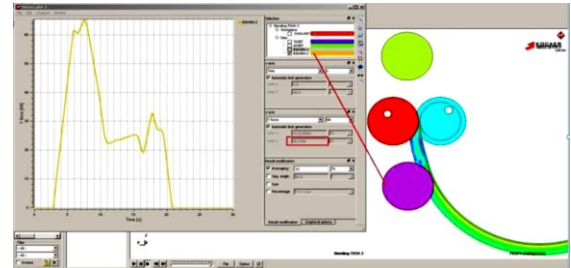


(a)

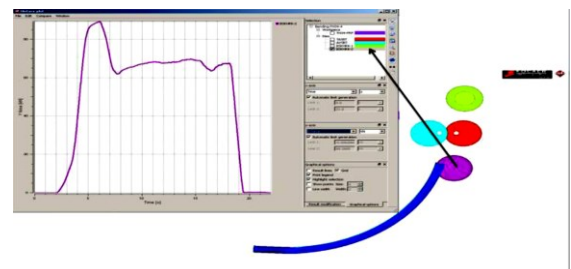


(b)

Şekil 16. (a) 1. prototipe ait sağ yan bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği (b) 2. prototipe ait sağ yan bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği

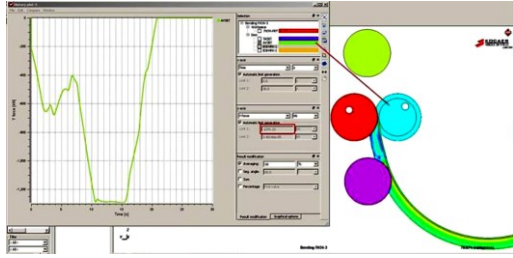


(a)

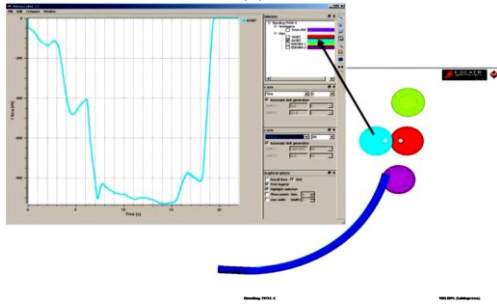


(b)

Şekil 17. (a) 1. prototipe ait sol yan bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği (b) 2. prototipe ait sol yan bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği

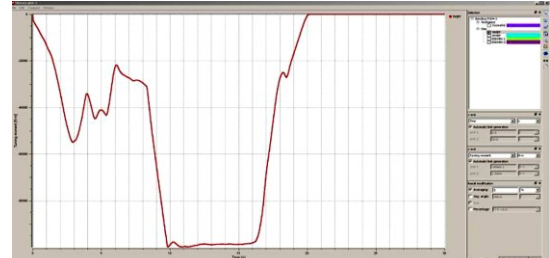


(a)

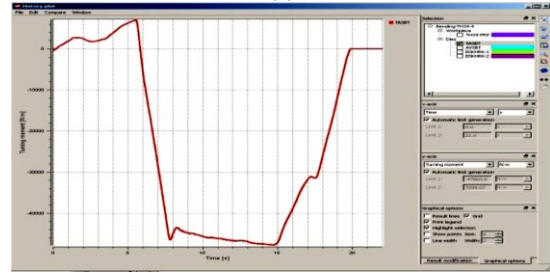


(b)

Şekil 18. (a) 1. prototipe ait alt bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği
(b) 2. prototipe ait alt bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği

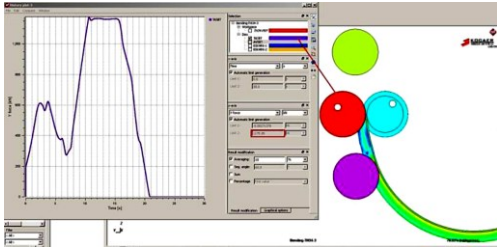


(a)

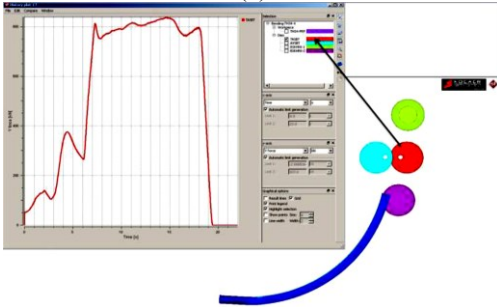


(b)

Şekil 20. (a) 1. prototip tasarımda kullanılan üst bükme topuna ait moment grafiği
(b) 2. prototip tasarımda kullanılan üst bükme topuna ait moment grafiği



(a)

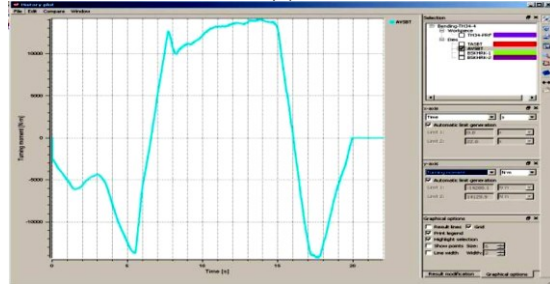


(b)

Şekil 19. (a) 1. prototipe ait üst bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği
(b) 2. prototipe ait üst bükme topuna etki eden kuvvet dağılım grafiği

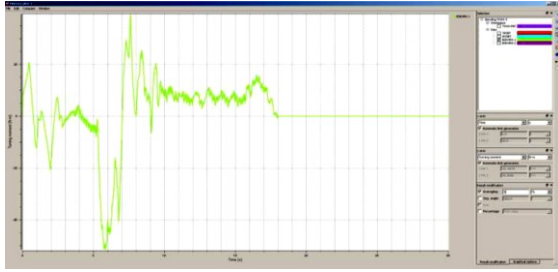


(a)

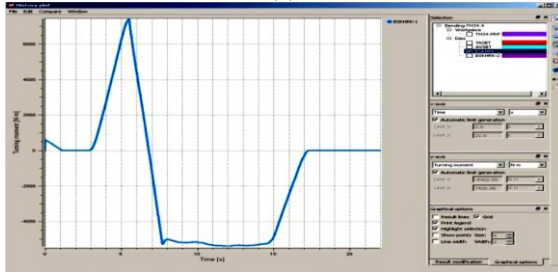


(b)

Şekil 21. (a) 1. prototip tasarımda kullanılan alt bükme topuna ait moment grafiği
(b) 2. prototip tasarımda kullanılan alt bükme topuna ait moment grafiği

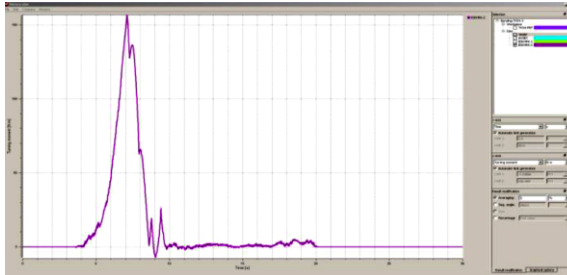


(a)

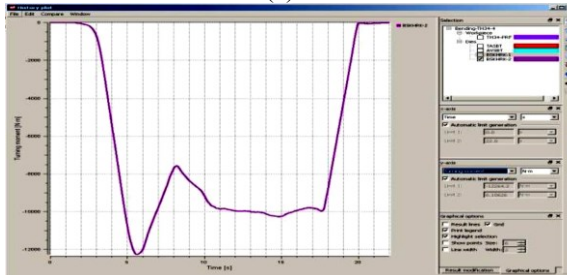


(b)

Şekil 22. (a) 1. prototip tasarımda kullanılan sağ yan bükme topuna ait moment grafiği
(b) 2. prototip tasarımda kullanılan sağ yan bükme topuna ait moment grafiği

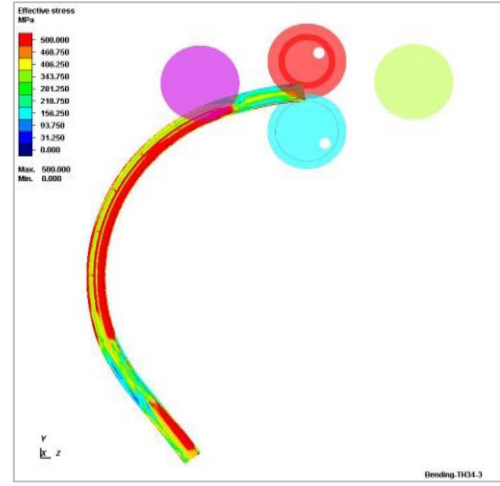


(a)

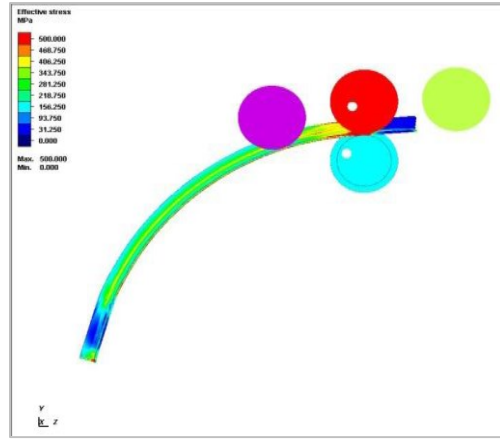


(b)

Şekil 23. (a) 1. prototip tasarımda kullanılan sol yan bükme topuna ait moment grafiği
(b) 2. prototip tasarımda kullanılan sol yan bükme topuna ait moment grafiği



(a)



(b)

Şekil 24. (a) 1. prototip tasarım kullanılarak gerçekleştirilen bükme prosesi sonunda malzemede ki gerilme dağılımları
(b) 2. prototip tasarım kullanılarak gerçekleştirilen bükme prosesi sonunda malzemede ki gerilme dağılımları

Çizelge 3. Prototip tasarımlara ait simülasyon çıktıları

Bileşen Adı		Sağ Top	Sol Top	Alt Top	Üst Top
Dönme Momenti Nm	Prototip 1	102,8	313,0	40615,6	199938,2
	Prototip 2	14853,8	24528,4	28560,2	95607,2
Etkiyen Kuvvet kN	Prototip 1	145,6	130,6	2582,4	2350,2
	Prototip 2	104,2	178,6	1855,4	1674,0

Prototip bükme prosesi sonucunda elde edilen profile uygulanan sıvı penetrant tahribatsız muayene sonuçları Şekil 25'te verilmiştir.



Şekil 25. Bükülmüş TH34 Profilin iç ve dış yüzeyinin tahribatsız muayene sonundaki yüzey görüntüsü

4. GENEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Maden ve tünelcilik sektöründe kullanılacak olan TH34 profillere farklı tahrik mekanizmaların göre uygulanan simülasyon faaliyetlerinin çıktuları irdelendiğinde aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- 1. ve 2. prototip tasarımlar uygulanan bükme simülasyonları sırasında TH34 profillerde meydana gelen eşdeğer gerilmeler incelenmiştir. Her iki

simülasyon sonuçlarının incelenmesi sırasında, meydana gelen eşdeğer gerilmeler malzemelerin akma dayanımlarından yüksek olduğu ve plastik şekil verme işlemlerinin maksimum çekme dayanımından düşük gerilmelerde olduğu belirlenmiştir. Böylece, malzemeye plastik bölge sınırları içerisinde gerilme uygulandığında, her iki prototip bükme makinesinde de elde edilen sonuçlara göre malzemelerde hasarın oluşmayacağı görülmektedir.

- Simülasyon faaliyetlerini oluşturan iki farklı aşama incelenmiş olup, birinci aşama olan yan topların avare şekilde çalıştığı ve her iki yan topun malzemeye prototip bükme sırasında kuvvet ve baskı uyguladığı 1. prototip tasarımda üst bükme topuna 2350,2 kN, alt bükme topuna 2582,4 kN, sağ yan bükme topuna 145,6 kN, sol yan bükme topuna 130,6 kN değerinde kuvvetlerinin etki ettiği belirlenmiştir. Yan topların tahrikli olduğu ve yan topun birinin bükme işlemi sırasında malzemeye kuvvet ve baskı uyguladığı diğerinin ise üst ölü bölgede durması ile söz konusu malzemeye kuvvet uygulamadığı 2. prototip tasarımda ise, üst bükme topuna 1674 kN, alt bükme topuna 1855,4 kN, sağ yan bükme topuna 104,2 kN, sol yan bükme topuna 178,6 kN kuvvet etki ettiği belirlenmiştir. 2. prototipte yan topların bükme işlemi için kuvvet uygulamaması durumunda ise, alt ve üst toplara etki eden kuvvetin sırasıyla %28,2 ve %28,8 oranında düşüş gösterdiği tespit edilmiştir. Böylece, bükme prosesi için gerekli olan kuvvetin ortalama %28,5 oranında azaldığı ve eş ark ölçüsüne sahip profilin belirlenen ortalama kuvvet aralığında bükülebileceği sonucuna varılmıştır.

- Simülasyon faaliyetlerini oluşturan iki farklı aşama incelenmiş olup, her iki aşamaya ait aynı ark ölçüsünde bükme işlemlerinin uygulanabilmesi amacıyla

gerekli olan dönme momenti ihtiyaçları belirlenmiştir. Bu sebep ile, 1. prototip için tahrik mekanizmalarının ihtiyacı olan döndürme momentleri, alt bükme topunun 40615,6 Nm, üst bükme topunun 199938,2 Nm, sağ bükme topunun 102,8 Nm, sol bükme topunun 313 Nm dir. 2. prototip için tahrik mekanizmalarının ihtiyacı olan döndürme momentleri ise, alt bükme topunun 28560,2 Nm, üst bükme topunun 95607,2 Nm, sağ bükme topunun 14853,8 Nm, sol bükme topunun 24528,4 Nm olup, yan bükme toplarının kontrollü bükme işlemlerini gerçekleştirdiği tespit edilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre 2. prototip tasarım için sağ ve sol bükme toplarının moment ihtiyaçlarının arttığı tespit edilmiş olup, üst bükme topunda %47 ve alt bükme topunda %30 azalış gerçekleştiği görülmüştür. Böylece, 2. prototip tasarımda aynı ark ölçüsünde bükme işlemlerinin yapılabilmesi için daha düşük güce sahip motor kullanılarak enerji sarfiyatının sağlanması ve bu nedenle daha tasarruflu ve enerji verimliliği daha yüksek olacağı tespit edilmiştir. Ayrıca daha homojen soğuk deformasyonun, yan bükme toplarının kontrollü bükme işlemlerine katkı sağlaması sebebiyle 2. Prototip tasarımda gerçekleşebileceği anlaşılmıştır.

Simülasyon faaliyetleri sonucunda elde edilen çıktılar göz önünde bulundurularak gerçekleştirilen prototip bükme prosesi sonrasında elde edilen TH34 profillere uygulanan sıvı penetrant tahribatsız muayeneye ait aşağıda belirtilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Maden ve tünelticilik sektöründe bükülmüş olan profillerin kullanılması için tahkimat servis ömrünün belirlenmesinde en önemli etkenlerden biri olan profil yüzeylerinde kılcal çatlakların tespit edilerek düşük kaliteli ürünlerin elde edilmesinin engellenmesi amacıyla

prototip bükme işlemleri sonucunda elde edilen TH34 profillerin iç ve dış yüzeyleri ilk olarak görsel olarak incelenmiş akabinde, tahribatsız muayene yöntemlerinden sıvı penetrant testi uygulanarak profilin iç ve dış yüzeyleri gözlemlenmiştir. Yapılan görsel muayene sonucunda, gözle görülecek boyutta hataların olmadığı tespit edilmiştir. Galeri ölçülerine ve açıklıklarına göre bükülmüş olan profillerin büküm bölgelerinin içi ve dış yüzeylerinde gözle görülemeyecek boyuttaki hataların, süreksizliklerin ve yapısal bozuklukların tespit edilmesi amacıyla yapılan sıvı penetrant sonucunda her iki yüzeyde de herhangi bir hata ile karşılaşılmamıştır. Bu sebeple, ürün kalitesini etkileyen bir sebep olmadığından en verimli bükme prosesinin gerçekleştiği anlaşılmıştır.

5. KAYNAKLAR

1. Doğan, İ., 2012. Tabanyolu Tahkimatı Olarak Geçme (TH) Bağ Uygulamaları ve Performans Değerlendirmeleri, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak.
2. Özer, S.C., 2011. Tünel Kazılarında Optimum Çelik Boru Kemer Boyutunun Nümerik Modelleme ile Tayini, Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Bölümü Maden İşletme Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
3. Ünlü, K., 2010. Bir Demiryolu Tünelinin Tahkimat Analizleri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı Yüksek Lisans Tezi, Konya.
4. Kömürlü, E., Kesimal, A., Çolak, Ü., 2014. Poliüre Türü Püskürtülen İnce Kaplamaların Kaya Saplamaları Performansları Üzerindeki Etkileri, Madencilik TMMOB Maden Mühendisleri Odası Dergisi, 53(3-4), 13-18.
5. Toptaş, C., 2015. Yassı Çelik Haddelemede Kullanılan Sıcak Şerit Haddehane Hadde Merdanelerinin Aşınma Parametrelerinin Optimizasyonu ile Servis Ömürlerinin Uzatılması, İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri

- Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Konstrüksiyon Programı Yüksek Lisans Tezi,
İstanbul.
6. Witthaus, H.P.R., Breedlove, J., 2009. Development in Steel Roadway Support- A Track Recod. The 27th International Conference on Ground Control in Mining, Morgantown, West Virginia 2009 Strata Products (USA) Inc., 358-365.
 7. Panthi, S.K., Ramakrishnan, N., Ahmed, M., Singh, S.S., Goel, M.D., 2010. Finite Element Analysis od Sheet Metal Bending Process to Predict the Springback. Journal of Materials and Design 31, 657-662.
 8. Öztürk, F., Toros, S., Kılı., S., 2009. Tensile and Sprindback Behaviour of DP600 Advanted High Strength Steel at Warm Temperatures, Journal of Iron and Steel Research, 16(6), 41-46.
 9. Gomes, C., Onipede, O., Lovell, M., 2005. Investigation of Springback in High Strength Anisotropic Stells, Journal of Material Processing Technology 159, 91-98.
 10. Sitar, M., Kosel, F., Brojan, M., 2015. Numerical and Experimental Analysis of Elastic-plastic Pure Bending and Springback of Beams of Asymmetric Crosssections, International Journal of Mechanical Sciences, 77-85.
 11. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., 2008. V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti. Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 23, 231-238.
 12. Uzun, İ., Erişkin, Y., 1997. Sac Metal Kalıpcılığı, MEB, 253-286, Ankara.
 13. Semiatin, S.M., 1988. Forming and Forging Volume 14-9th Edition Metals Handbook, ASM International, 1499-1451.
 14. Erişkin, Y., 1986. Uygulamalı Sac Metal Kalıp Konstrüksiyonu, Gazi Üniversitesi Eğitim Fakültesi, 73-126, Ankara.
 15. Tekaslan, Ö., Gerger, N., Şeker, U., 2008. V Bükme Kalıplarında Bakır Sac Malzemelerin Geri Esneme Miktarlarının Tespiti, Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 23(1), 231-238.
 16. Tan, Z., Persson, B., Magnusson, C., 1992. An Empiric Model for Controlling Springback in V-Die Bending of Sheet Metals, Journal of Materials Processing Technology, 34(1-4), 449-455.
 17. Spoorenberg, R.C., Snijder, H.H., Hoenderkamp, J.C.D., 2012. Mechanical Properties of Roller Bent Wide Flange Sections-Part 1: Experimental Investigations, Journal of Constructional Steel Research 68, 51-62.
 18. Hudovernik, M., Staupendahl, D., Gharbi, M., Hermes, M., Tekkaya, A.E., Kuzman, K., Slabe J.M., 2013. 3D Numerical Analysis of 2D Profile Bending with the Torque Superposed Spatial Bending Method, Journal of Mechanical Engineering 59(3), 139-147.
 19. Vatter, P.H., Plettke, R., 2013. Process Model for the Design of Bent 3-dimensional Free-form Geometries for the Three-roll-push-bending Process, Forty Sixth CIRP Conference on Manufacturing Systems 2013, Procedia CIRP 7, 240-245.
 20. Yang, M., Shima, S., 1988. Simulation of Pyramid Type Three-Roll Bending Process, Printed in Great Britain, Int. J. Mech. Sci., 30(12), 877-886.
 21. He, Y., Heng, L., Zhiyong, Z., Mei, Z., Jing, L., Guangjun, L., 2012. Advances and Trends on Tube Bending Forming Technologies, Chinese Journal of Aeronautics 25, 1-12.
 22. Feng, Z., Champlaud, H., 2011. Modeling and Simulation of Asymmetrical Three-roll Bending Process, Simulation Modelling Practice and Theory 19, 1913-1917.
 23. Ghiotti, A., Simonetto, E., Bruschi, S., Bariani, P.F., 2017. Springback Measurement in Three Roll Push Bending Process of Hollow Structural Sections, CIRP Annals-Manufacturing Technology, CIRP-1677, 4.
 24. Hermes, M., Chatti, S., Weinrich, A., Tekkaya, A.E., 2008. Three-Dimensional Bending of Profiles with Stress Superposition, International Journal of Material Forming Suppl 1,133-136.
 25. Simonetto, E., Ghiotti, A., Bruschi, S., 2017. Dynamic Detection of Tubes Wrinkling in Three Roll Push Bending, Procedia Engineering 207, 2316-2321.
 26. Spoorenberg, R.C., Snijder, H.H., Hoenderkamp, J.C.D., 2011. Finite Element Simulations of Residual Stresses in Roller Bent

- Wide Flange Sections, Journal of Constructional Steel Research 67, 39-50.
27. Spoorenberg, R.C., Snijder, H.H., Hoenderkamp, J.C.D., 2010. Experimental Investigation of Residual Stresses in Roller Bent Wide Flange Steel Sections, Journal of Constructional Steel Research 66, 737-747.
 28. Hudovernik, M., Staupendahl, D., Gharbi, M., Hermes, M., Tekkaya, E., Kuzman, K., Slabe, J.M., 2013. 3D Numerical Analysis of 2D Profile Bending with the Torque Superposed Spatial Bending Method, Journal of Mechanical Engineering 59(3), 139-147.
 29. Chatti, S., Hermes, M., Tekkaya, A.E., Klenier, M., 2010. The New TSS Bending Process: 3D Bending of Profiles with Arbitrary Cross-sections, CIRP Annals-Manufacturing Technology 59, 315-318.
 30. Feng, Z., Champlaud, H., 2011. Modeling and Simulation of Asymmetrical Three-roll Bending Process. Simulation Modelling Practice Theory, 19, 1913-1917.
 31. Hua, M., Baines, K., Cole, I.M., 1999. Continuous Four-roll Plate Bending: a Production Process for the Manufacture of Single Seamed Tubes of Large and Medium Diameters., International Journal of Machine Tools & Manufacture 39, 905-935.
 32. Url:<https://www.thefabricator.com/article/bending/plate-rolls-keep-rolling-heavier-plate> (Erişim Tarihi: 28.06.2018)

