

Otomotiv Endüstrisinde Roll Form Uygulamaları¹

Mete Han Boztepe², İlyas Kacar³

Bu çalışmada rulo şekillendirme tekniğinin otomotiv alanında uygulamaları araştırılmış, ülkemizdeki ve dünyadaki son gelişmeler, mevcut sac işleme ve şekillendirme tekniklerine göre değerlendirilerek kıyaslamalı olarak verilmiştir. Rulo şekillendirme yöntemiyle üretilmiş profiller, diğer yöntemlerle üretilenlere göre daha fazla yapısal dayanıma sahiptir. Diğer yöntemlerle üretilmesi zor olan ince kesitli ve boru formu profiller üretilir.

1. GİRİŞ

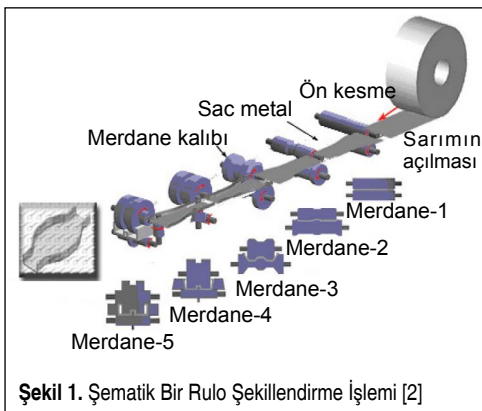
Otomotiv endüstrisinde şekillendirme işlemleri için; sıcak-ılık-soğuk sac şekillendirme, kenetleme-presleme, sıvı basıncı ile sac şekillendirme, markalama gibi teknikler uygulanmakta ve bu suretle de kenar bükme, katlama, kıvrıma, oluklama ve bükme gerçekleştirilebilmektedir. Roll form (rulo şekillendirme), genellikle rulo haldeki sacın, ardışık dizilmiş dönen merdanelerin ve kalıplarının

arasından geçirilerek istenen kesit ölçülerine ulaşıncaya kadar, aşamalı büyük ölçekli, sürekli bir şekillendirme işlemi için kullanılan genel bir terimdir. Uzun ve çok adetli profil kesitlerinin üretimi için en uygun yöntemdir. Rulo şekillendirme, istenen kesitteki profilleri en dar toleranslarda ve sürekli aynı ölçüde üretmeyi sağlamaktadır. Hat üzerinde bulunabilecek diğer ilave pres üniteleriyle, delme, şişirme gibi operasyonları da yaparak, üretim zamanında ciddi tasarruf sağlamaktadır. Şekil 1’de rulo şekillendirme işlemi şematik olarak verilmiştir. Rulo şekillendirme işlemi maksimum 160 m/dk hızına kadar ulaşabilmiştir. Rulo şekillendirme işleminde her şekillendirme adımında malzemeyi şekillendirmeye yarayan 2 veya 4 adet merdane bulunur. Şekillendirme adımlarının sayısı sadece geometriye bağlı değildir. Aynı zamanda yüzey kalitesi, yağlayıcılar ve

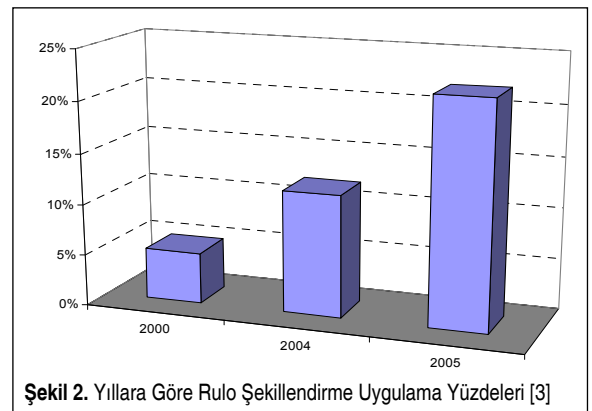
giriş malzemesinin sarım veya önceden kesilmiş levha olup-olmadığına bağlıdır. Bu en temel rulo şekillendirme makinesi bileşenidir [1].

İmalat için kullanılan tezgahlar “açık profil çekme tezgahları” olarak adlandırılmaktadır. Bu tezgahlar, rulo halindeki sac (şerit, bant) metal levhayı merdaneler arasından geçirerek, özel formlarda açık profil ürünler haline dönüştüren, ilave donanımlar eklenerek kapalı profillerin üretilmesini de mümkün kılan, delik delme, havşalama, şişirme ve markalama (poz numarası yazma) gibi işlemleri de yapabilen, sac malzeme şekillendiren tezgahlarıdır. Şekil 2’de rulo şekillendirme uygulamalarının yıllara göre değişimi görülmektedir.

Otomotiv endüstrisinde yapısal gövde parçaları genellikle stamping ve hidroforming teknikleri kullanılarak şekil-



Şekil 1. Şematik Bir Rulo Şekillendirme İşlemi [2]



Şekil 2. Yıllara Göre Rulo Şekillendirme Uygulama Yüzdeleri [3]

¹ 6-7 Aralık 2013 tarihlerinde Makina Mühendisleri Odası tarafından Bursa’da düzenlenen 7. Makina İmalat Teknolojileri Kongresi’nde bildiri olarak sunulmuştur.

² Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Balcalı, Adana - mboztepe@cu.edu.tr

³ Çukurova Üniversitesi, Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, Balcalı, Adana - ikacar@cu.edu.tr

lendirilmektedir. Bu parçaların yapısal ve karmaşıklık potansiyelleri çok yüksektir fakat şekillendirme tekniğinin otomobil parçalarına olan yatkınlığı ve fiyatlarının çok değişken olması dikkate değerdir. Hem ekonomik ve hem de esnek bir alternatif rulo şekillendirme-dir. Otomotiv endüstrisinde kullanılan sabit kesite sahip uzun parçalara örnek olarak tampon, kapı direkleri, otomotiv kayar kapı ve ray profilleri, otoyol bariyer profilleri, tavan sacı, kapı kirişleri verilebilir [1].

Gelişen teknoloji ile birlikte maliyet, kalite ve zaman açısından uygulanabilirliği gün geçtikçe arttığından dolayı kullanım alanı hızla artmaktadır. Özellikle otomotiv endüstrisi sac metal ile profil şekillendirme gerektiren işlemler içerdiğinden dolayı bu alanda gelecek vaat eden bir uygulamadır. Günümüzde taşıt imalatında rulo şekillendirme uygulama miktarının artmasına yardımcı olan umut verici gelişmeler yaşanmaktadır.

Rulo şekillendirme; son yarım yüzyıl boyunca, en verimli metal şekillendirme metodu olarak geliştirilmiştir. Kuzey Amerika çelik fabrikaları tarafından üretilen yassı çeliğin yaklaşık % 35-40'ı bu teknikte üretilir. Bu değer otomotiv endüstrisinde kullanılanlardan daha fazladır [4]. Günümüzde yıllık dünya çelik üretiminin yaklaşık %8'i rulo şekillendirme ile işlenmektedir. Rulo şekillendirmenin uygulandığı temel uygulamalar şunlardır:

- Taşıt konstrüksiyonu
- Demiryolu araçları, gemi konstrüksiyonu
- Nakliye ve yükleme/boşaltma ekipmanları
- Elektrikli raflar, kontrol kabinleri ve depolama rafları
- İnşaat sektörü

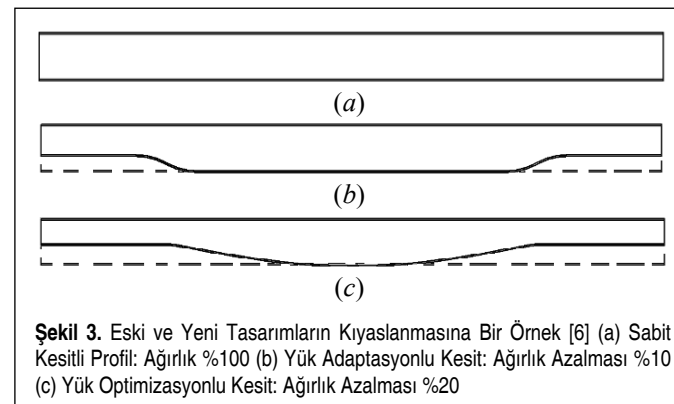
Bu alanlarda literatürde pek çok çalışmaya rastlanmıştır. Son zamanlardaki çalışmalar rulo şekillendirmenin araç gövdesi imalatında kullanılmasının, ağırlığın azaltılması gibi bazı avantajla-

ra sahip olduğunu göstermiştir. Kullanılan metodun tekniği ve imalat sistemine uygunluğu önemli iki faktördür. Şu ana kadar araç gövdelerinde kullanılan parçalar, genellikle kendinden destekli, bütünlük tek blok yapılar olarak üretilmekteydi. Rulo şekillendirme ile şekillendirilen profiller, bu parçalar için yardımcı uygulamalar olmuştur.

Hafif ağırlık için malzeme bazında uygulanan stratejiler; yüksek çekme dayanımlı çelikler, titanyum, Al-Mg-Plastik malzeme kullanımıdır. Konsept olarak ise yeni eğilim gelişmiş, işlev-ağırlık ilişkisine sahip konstrüksiyon metodu uygulanmasıdır. Tasarım olarak ise kilitleme ve şişirme kullanılan yapısal veya kaplama çelik malzeme kullanımı yönündedir. İmalat metodu olarak ise dikişli malzemeler-tüpler, yapıştırılmış malzemeler, yama teknikleri kullanılmaktadır. HSS (Yüksek Mukavemetli Çelikler) ve UHSS (Çok Yüksek Mukavemetli Çelikler) bu bağlamda daha çok kullanılmaktadır. HSS ya da UHSS malzeme kullanılarak sac kalınlığının azaltılması sağlanabilmiştir. Rulo şekillendirme tekniği büyük sayıdaki sabit profillerin seri imalatında uygun maliyet sağlamaktadır. Tablo 1'de rulo

Tablo 1. Takviye kiriş; Uzunluk:1000 mm, Ağırlık:3,5 kg [5]

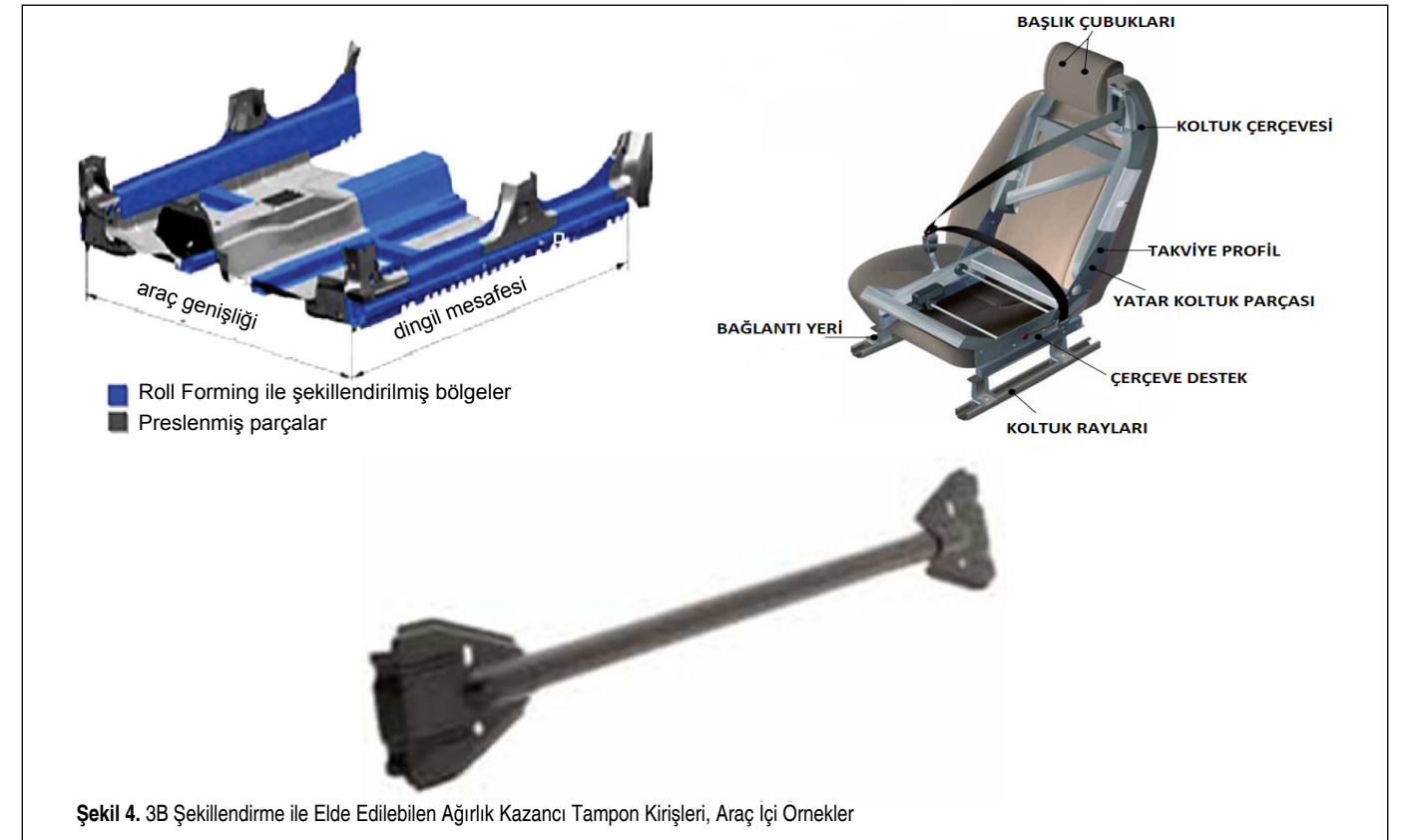
	Roll Forming	Pres Şekillendirme
Takım Maliyeti	130,000 \$	800,000 \$
Malzeme Kullanımı	%95	%70
Performans	30 adet/dk	12 adet/dk
Tedarik Süresi	3 ay	12 ay



Şekil 3. Eski ve Yeni Tasarımların Kıyaslanmasına Bir Örnek [6] (a) Sabit Kesitli Profil: Ağırlık %100 (b) Yük Adaptasyonlu Kesit: Ağırlık Azalması %10 (c) Yük Optimizasyonlu Kesit: Ağırlık Azalması %20

şekillendirme ile pres şekillendirme arasındaki kıyaslama verilmektedir.

Alışlagelmiş rulo şekillendirme ile, sabit kesitli profil üretilmesi kısıtlaması günümüzde aşılmış olup, esnek veya diğer adı ile üç boyutlu rulo şekillendirme olarak adlandırılan teknoloji vasıtasıyla sadece farklı uzunluklarda değil aynı zamanda da değişken kesitlere sahip profillerin imalatı mümkün hale gelmiştir. Elbette 2B rulo şekillendirmenin tasarımlarında karşılaşılan kısıtlayıcı unsur doğası gereği parçaların uzunlukları boyunca profillerin kesitlerinin sabit olmasıdır. Yani değişken kesite sahip profil üretimi ancak 3B ile sağlanabilmektedir. 3B rulo şekillendirme ile yükseklikte ve/veya genişlikte değişen tasarımlar yapılabilmesi mümkündür. Otomatik kontrol tekniklerinin rulo şekillendirme prosesine bütüleştirilmesiyle de takım değişimine gerek kalmadan çok değişken geometrilere sahip profiller sabit üretim hatlarında üretilebilir hale gelmiştir. Bu sayede yapılabilen yeni tasarımlarla da ağırlık azalması sağlanabilmiştir. Günümüzde çelik malzeme ile gerçekleştirilen uzay çerçeve sistemleri ağırlık azaltmada ve maliyet konusunda uygun bir malzeme-



Şekil 4. 3B Şekillendirme ile Elde Edilebilen Ağırlık Kazancı Tampon Kirişleri, Araç İçi Örnekler

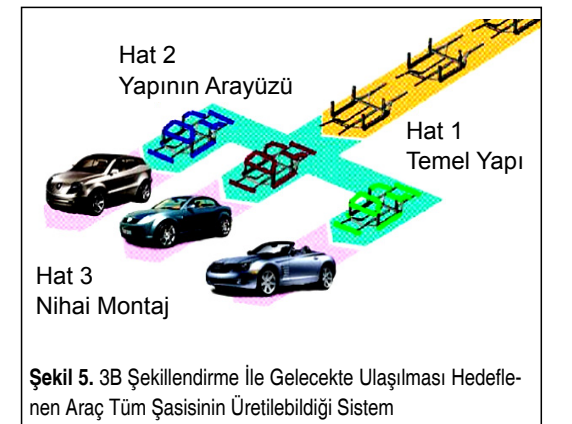
dir. Şekil 3'te eski ve yeni tasarımlar arasında yapılan kıyaslama verilmiştir. Şekil 4 ise üç boyutlu bazı araç parçalarına yer verilmiştir [7]. Şekil 5'te gelecekteki üç boyutlu hali verilmiştir [8].

Düzgün bir şekilde tasarlanmış rulo şekillendirme ile, geleneksel metotlarla şekillendirilmesi kolay olmayan ve aynı zamanda da otomotiv endüstrisinde kullanımı önemli olan UHSS malzemeler için tek parça kapalı profil halinde şekillendirilebilmesi mümkündür. UHSS kullanılan tampon kirişlerinin imalatında rulo şekillendirme, dikkate değer fiyat verimliliği sağlamıştır [6]. Araç tamponlarında yüksek hızda çarpma gibi darbe durumlarında fiyat ve verimlilikçe hayli iyi bir yapı elde edildiği görülmüştür.

2. SAYISAL ANALİZLER

Tasarım geliştirme aşamalarındaki büyük kolaylığı nedeni ile sonlu eleman analizinin yapılması önemlidir. Ayrıca uygulanabilen bu analizlerin geçer-

li olması yani başka parçalar için de güvenle uygulanabilir olması gerekmektedir. Şekillendirme işlemlerinde oluşturulacak modellerde dikkate alınması gereken; eleman tipi, kullanılacak sürtünme kanunu, büyük deformasyon-nonlinear analiz, temas algoritması, malzeme modeli, sıcaklık-zaman ilişkisinin önemli olduğu ısıl işlem durumu gibi pek çok parametre vardır ve hepsinin değerlendirilerek kullanışlı bir model-analiz oluşturulabilmesi hayati ve büyük bir problemdir. Sac metal şekillendirmelerinde oluşabilen en önemli hatalardan biri geri esnemedir. Doğru tahmin edilebilmesi bu hatanın giderilebilmesi-tolere edilmesi açısından önemlidir. Bu hataları bulmak için yapılan analizlerde geometri, kesit incelenmesi ve pekleşme parametrelerinin deneysel olarak elde edildiği veriler kullanılmaktadır. Analizlerde, pek çok kabullere rastlanmaktadır, ancak bu



Şekil 5. 3B Şekillendirme ile Gelecekte Ulaşılmayı Hedeflenen Araç Tüm Şasisinin Üretilbildiği Sistem

kabuller yapılan analizlerin tekrarlanabilirliklerini zayıflatan durumlardır zira ne kadar çok kabul yapılırsa, gerçek işlem şartlarından o kadar çok uzaklaşmaktadır. Örneğin takımın dönmediği (gerçekte dönmektedir) ve sürtünmenin olmadığı (gerçekte vardır) kabulü ile simülasyonlar yapılmıştır. Bununla beraber şekil değiştiren cisimler mekanizmadaki Lagrange metodu esaslı, elastik-plastik şekil değiştirme, kanal şekli sunarak büyük

lanılmıştır [13]. Ayarlanabilir merdane ayarlarıyla yapılan proses işlemlerinde istenilen boyutsal kaliteye ulaşılmıştır. Bu sayede proses değişkenleri ve rulo şekillendirme hataları arasında ilişki belirlenmiştir. Örneğin merdane boşluğu boylamsal eğilme ve geri esneme konusunda en büyük etkiye sahiptir. Çözüm olarak merdane boşluğunun azaltılması önerilmiştir.

Ekonomik avantajlar nedeniyle ilave imalat teknolojilerinin, mevcut rulo şekillendirme makinesine entegrasyonu sağlanabilmektedir. Bu ilave işlemler rulo şekillendirme öncesi olabileceği gibi rulo şekillendirme esnasında olabilir veya işlem sonrasında da olabilir. Kesme, eğilme, kaynak, markalama gibi çeşitli entegre edilebilen işlemler Şekil 9'da görülmektedir [14].

4. SONUÇ

Bu çalışmada otomotiv endüstrisindeki rulo şekillendirme uygulamalarını inceledik. Şu anki araç parçaları üzerinde birçok rulo şekillendirme uygulaması gelişerek artmaktadır. Rulo şekillendirme ile parçaları şekillendirme tekniği otomotiv sektöründe gelecek vaat eden konulardan birisi olduğu hiç şüphesizdir. Bu teknikle daha hızlı, verimli üretim yapmak firmaların ve dolaylı yollardan ülkelerin ekonomisine büyük katkı sağlayacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma Öğretim Üyesi Yetiştirme Programı (ÖYP) tarafından desteklenmektedir. Bu desteği bize sağlayan Yüksek Öğretim Kurumuna teşekkürlerimizi içtenlikle sunarız.

KAYNAKÇA

1. **Jeswiet, J., Geiger, M., Engel, U., Kleiner, M., Schikorra, M., Duflo, J., Neugebauer, R., Bariani, P., Bruschi, S.** 2008. "Metal Forming Progress Since 2000," CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology, vol. 1, iss. 1, p. 2-17.
2. Malaysia Automotive Institute. 2012. "Lower Vehicle Development Cost Thru Flexible Roll Forming Technology," Technology Development, iss. 23, www.mai.org.my, son erişim tarihi: 15.02.2014.
3. American Iron and Steel Institute. 2006. "Steel Bumper Systems for Passenger Cars and Light Trucks," Revision Number Three, June 30.
4. **Halmos, G. H.** 2006. Roll Forming Handbook, Taylor&Francis, Germany.
5. **Weber, H.** 2006. "New Technologies for Rollform Intensive Autobody Structures," Great Designs in Steel Seminar, Dreierstern.
6. **Dutton, T., Richardson, P., Tomlin, M., Harrison, T.** 2007. "Simulating the Complete Forming Sequence for a Roll Formed Automotive Bumper Beam," 6th European LS-DYNA Users' Conference, Sweden.
7. SSAB. 2013. "Docol AHSS for the automotive industry/Roll Forming and tubes enable smarter and lighter solutions."
8. **Salzgitter, Karmann.** 2013. "ScaLight-Study from 2007/Concept for conventional roll forming." www.scalight.de, son erişim tarihi: 15.02.2014.
9. **Han, Z-W., Liu., C., Lu, W-P., Ren, L-Q.** 2002. "Simulation of a Multi-stand Roll-forming Process for Thick Channel section," Journal of Materials Processing Technology, 127(3): 382-387.
10. **Groche, P., Henkelmann, M., Götz, P., Berner, S.** 2008. "Cold Rolled Profiles for Vehicle Construction," Archives of Civil and Mechanical Engineering vol. VIII 2008, no: 2.
11. **Watari, H., Ona, H.** 2001. "Cold-Roll Forming of Small-diameter Pipes with Pre-notches," Journal of Materials Processing Technology, vol.119, iss. 1-3, December 20, p. 122-126.
12. **Larrañaga, J., Galdos, L., Uncilla, L., Etxaleku, A.** 2010. "Development and Validation of a Numerical Model for Sheet Metal Foll Forming," International Journal of Material Forming, vol. 3, Supplement 1, p. 151-154(4).
13. **Clees, T., Steffes-lai, D., Helbig, M., Sun, D.-Z.** 2010. "Statistical Analysis and Robust Optimization of Forming Processes and Forming-to-Crash Process Chains," International Journal of Material Forming, vol. 3, iss. 1, p. 45-48.
14. **Sweeney, K., Grunewald, U.** 2003. "The Application of Roll Forming for Automotive Structural Parts," Journal of Materials Processing Technology, vol. 132, iss. 1-3, January, p. 9-15.
15. Automotive Steel Design Manual, 1996.
16. **Pennar.** "Strong Sturdy Stable/Systems in Steel," Pennar Industries Limited, Cold Roll Formed Sections Division.