

## Sac Malzemelerin Boyanabilme Kabiliyetlerine Temper Haddeleme Ezme Miktarının Etkisi

Batuhan ÖZAKIN<sup>1\*</sup>, Emir YILMAZ<sup>2</sup>

### Öz

Boyalı çelik sac malzemelerin yüzeyleri otomotiv, beyaz eşya vb. sektörlerde ürünün son kalitesini ortaya koyduğundan tüketicinin dikkate aldığı önemli unsurlardan biridir. Bu sektörlerde kullanılan çelik sac malzemeler genellikle soğuk haddeleme üretim sürecinin son basamağında boyanabilme ve şekillendirme açısından pürüzlü olarak üretilir. Yüzeyde meydana gelen pürüzlülük profili sac malzemelerin boyanabilme kabiliyetini etkilemektedir. Aynı zamanda sac malzemelerin farklı pürüzlülüklerde temin edilebilmesinden dolayı yapışma mukavemetlerinin ve boyanabilme kabiliyetlerinin farklı olduğu ortadadır. Ayrıca yine haddeleme ve yüzey pürüzlülük parametreleri boya ve kaplamaların malzeme yüzeyine yapışma mukavemetini ve boyanabilme kabiliyetini etkilemektedir. Bu çalışmada HC420LA sac malzemelerin boyanabilme kabiliyetlerine temper haddeleme ezme miktarının etkisi araştırılmıştır. İlk olarak sac malzeme numuneleri farklı ezme miktarlarıyla temper haddeleme işlemine tabi tutulmuştur. Temper haddelenmiş HC420LA sac malzeme numunelerinin yüzeylerinin pürüzlülük parametreleri belirlenmiştir. Farklı ezme miktarları ile haddelenmiş ve farklı pürüzlülüklere sahip çelik sac malzemeler poliüretan akrilik esaslı boya ile kaplanmıştır. Son olarak boyanmış yüzeylerin yapışma mukavemetleri, dolayısıyla boyanabilme kabiliyetleri çapraz kesim (cross-cut) testinden elde edilmiştir. Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça yüzeyin pürüzlülük profilinde değişimler meydana gelmiştir. Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça (%0-1 aralığında) boyanın yapışma mukavemeti artmış ve %1 ezme miktarının üzerindeki artışlarda boyanın yapışma mukavemetinin azaldığı tespit edilmiştir. Tepelerin yüksekliklerinin ( $R_{pk}$ ) ve vadilerin derinliklerinin ( $R_{vk}$ ) boyanın yapışma mukavemetinde oldukça etkili olduğu sonucuna varılmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** Sac malzemeler, Temper haddeleme, Yüzey pürüzlülüğü, Boyanabilme kabiliyeti, Çapraz kesme (Cross-Cut) testi.

## The Effect of Reduction Ratio of Temper Rolling on the Paintability of Sheet Materials

### Abstract

Since the surfaces of painted steel sheet materials reveal the final quality of the product in sectors such as automotive, white goods, etc., it is one of the important factors that the consumer takes into account. Steel sheet materials used in these sectors are generally produced as rough in the last step of the cold rolling manufacturing process in terms of dyeability and shaping. The roughness profile on the surface affects the paintability of sheet materials. At the same time, since sheet materials can be supplied in different roughnesses, it is obvious that their adhesion strength and paintability are different. In addition, rolling parameters and surface roughness parameters affect the adhesion strength and paintability of paints and coatings to the material surface. In this study, the effect of reduction ratio of skin-pass rolling on the paintability of HC420LA sheet materials was investigated. Firstly, the sheet material samples were subjected to skin-pass rolling process with different crushing amounts. The roughness parameters of the surfaces of the skin-pass rolled HC420LA sheet material samples were determined. Steel sheet materials rolled with different crushing amounts and having different roughness are coated with polyurethane acrylic based paint. Finally, the adhesion strength of the painted surfaces, thus their ability to be painted, were obtained from the cross-cut test. As the reduction ratio of skin-pass rolling increased, changes occurred in the roughness profile of the surface. It was determined that the adhesion strength of the paint decreased as the reduction ratio of skin-pass rolling increased (in the range of 0-1%) and the adhesion strength of the paint increased with an increase above 1% reduction ratio. It was concluded that the peaks heights ( $R_{pk}$ ) and valleys depths ( $R_{vk}$ ) were highly effective on the adhesion strength of the paint.

**Keywords:** Sheet materials, Skin-pass (temper) rolling, Surface roughness, Paintability, Cross-Cut test.

<sup>1</sup> Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Samsun, Türkiye, [batuhan.ozakin@samsun.edu.tr](mailto:batuhan.ozakin@samsun.edu.tr)

<sup>2</sup> Samsun Üniversitesi, Kavak Meslek Yüksekokulu, Samsun, Türkiye, [emirbyc1616@outlook.com](mailto:emirbyc1616@outlook.com)

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0003-1754-949X>

<sup>1</sup><https://orcid.org/0000-0002-5967-0223>

## 1. Giriş

Boyalı çelik sac yüzeylerin görselliği, özellikle otomotiv, beyaz eşya vb. endüstrilerde, genellikle ürünün kalitesini ortaya koyduğundan her zaman yakından ilgilenilmiştir. Yüzeyin görselliği açısından çevresel etkilerde önemli zorluklardan biridir. Genellikle pürüzlülük ne kadar yüksek olursa, şekillendirme yeteneğinin o kadar iyi olduğu, ancak boyamadan sonraki görünümün daha kötü olduğu gözlemlenir. Artan dalgalılık ve profil yüksekliği ile ilişkili tüm pürüzlülük parametreleri ile boyama sonrası yüzey görünüm kalitesinin azaldığı bulunmuştur. Pik ve vadi yoğunluğu pürüzlülük parametrelerinin artmasıyla boya görünümünün iyileştiği raporlanmıştır. Metal şekillendirmede çelik sacların yüzey yapısı, yaygın olarak çeşitli yöntemlerle pürüzlendirilen merdaneler ile elde edilmektedir. Bu yöntem soğuk haddeleme sürecinin son basamağı olan temper haddeleme prosesi olarak bilinir. Temper haddeleme, tavlanan soğuk haddelenmiş şerit veya sac malzeme özelliklerinin, düzlüğünün ve yüzey morfolojisinin müşteri gereksinimlerini karşılayacak şekilde uyarlandığı son haddeleme aşamasıdır. Temper haddeleme ile oluşturulan yüzeyin işlevi, bitmiş ürün üzerinde mükemmel bir boya görünümü elde etmek içindir (Pfestorf ve ark., 1998; Scheers ve ark., 1998; Plicht ve ark., 2007; Nunes ve ark., 2014; Özakın ve Kurgan, 2019; Özakın ve Kurgan, 2022a).

Temper haddelemenin en önemli parametrelerinden biri ezme miktarıdır. Ezme miktarının değişimi sonucunda farklı pürüzlülük profiline sahip yüzeyler elde edilebilmektedir. Ezme miktarının artması ile yüzeyin pürüzlülük değeri genellikle artmaktadır (Wu ve ark., 2019; Özakın ve ark., 2021). Dolayısıyla piyasaya arz edilen sac malzemelerin farklı ezme miktarları ile üretildiği varsayılırsa, ezme miktarı yüzey pürüzlülüğünü etkileyen en önemli parametrelere dendir. Ayrıca ezme miktarının yüzey pürüzlülük özelliklerini değiştirmesinden dolayı boya ve kaplamaların sac malzeme yüzeyine yapışma mukavemetini de etkilemektedir. Metal şekillendirmede soğuk haddeleme ile üretilen çelik sacların yüzey yapıları farklı profil yüksekliğine sahip olabilmektedir. Dolayısıyla bu farklı yüzey pürüzlülük profilleri değerlendirildiğinde genel olarak, “Avrupa Otomobil Endüstrisi” üreticileri için SEP 1940 standardına göre otomotiv endüstrisinde kullanılan yassı ürün çelik sac malzeme yüzeyinin, aritmetik ortalama pürüzlülük ( $R_a$ ) değeri  $1.5 \mu\text{m}$ 'den az ve standartta tanımlanan tepe sayısının ( $R_{pc}$ )  $50 \text{ cm}^{-1}$  değerinden fazla olması istenmektedir (Scheers ve ark., 1998; Özakın, 2021). Bununla birlikte belirtilen sınırlamalar göz önüne alındığında farklı pürüzlülüğe sahip sac malzemelerin çevresel etkilere karşı boya gibi organik kaplamalar ile kaplanmasında yapışma mukavemetinin farklı olacağı bir gerçektir. Ayrıca haddeleme parametreleri ve yüzey pürüzlülük parametreleri yapışma mukavemetini ve boyanabilme kabiliyetini etkileyecektir.

Literatür bilgisi dahilinde boya ve kaplamaların yapışma kabiliyetinin veya yapışma mukavemetinin incelendiği çalışmalar şu şekildedir. Almeida ve arkadaşları (1999), boya

sistemlerinin antikorozyf performansını anlamak için kaplamaların yapışma ölçümlerini çapraz kesme (cross-cut) ve çekme (pull-off) testleri kullanarak yapmışlardır. Çalışmada en iyi antikorozyf davranışın çinko bakımından zengin astarlar ve epoksi-poliamid boya sistemleri tarafından sağlandığı sonucuna varmışlardır. Zhao ve arkadaşları (2008), AZ31 magnezyum alaşımı üzerine organik kaplamalar ve akımsız biriktirme tekniklerini kullanarak bir bakır film kaplamışlardır. Çapraz kesme testi ile alt tabaka ve ara tabaka arasındaki yapışmanın iyi olduğunu göstermişlerdir. Eslami ve arkadaşları (2014), çeşitli konsantrasyonlarda iki tip şeffaf poliüretan akrilik esaslı nanokompozit kaplamalara uygulanan çapraz kesme ve çekme testi bulgularından çeliğe iyi bir yapışmanın elde edilebileceği sonucunu elde etmişlerdir. Monetta ve arkadaşları (2015), su bazlı bir epoksi reçinesine grafen nano-pulları dahil etmişler ve daha sonra AA2024-T3 numunelerine hibrit kaplama uygulamışlardır. Çapraz kesim testi sonuçlarından hareketlenerek grafen ilavesinin kürlenme sürecini veya yapışma özelliklerini etkilemediğini göstermişlerdir. Deyab ve arkadaşları (2018), korozyon önleyici uygulamalar için H<sub>2</sub>Pc/Epoksi nanokompozit kaplama üretmişler ve H<sub>2</sub>Pc parçacıklarının epoksi reçinenin çapraz kesim yapışmasını, darbe direncini ve termal stabilitesini iyileştirdiğini bulmuşlardır. Asmatulu ve arkadaşları (2019), vakumlu fırında hazırlanmış ve ardından bir dizi farklı yüzey işleme (oksijen plazması, UV ışığı) prosesi görmüş karbon fiber takviyeli kompozitlere iki kat astar ve bir son kat koruyucu kaplama uygulamışlardır. Kaplamaları, suya batırma/daldırma ve kapsamlı UV ışığına maruz bırakma testlerinden önce ve sonra çapraz kesim testleri ile analiz etmişlerdir. Çapraz kesim ve optik mikroskop çalışmaları, suya daldırma ve UV'ye maruz kalma testleri sırasında kaplama yüzeylerinin pullanma, kemikten ayrılma ve tabakalara ayrılma yoluyla ciddi şekilde hasar gördüğünü göstermişler ve bununla birlikte, yüzeyi işlenmiş kompozit panellerin daha az hasar gördüğü sonucuna ulaşmışlardır. Literatür bilgisi değerlendirildiğinde boya, polimer vb. organik kaplamaların bir yüzey üzerine yapışma kabiliyetinin veya yapışma mukavemetinin çapraz kesme (cross-cut) ve çekme (pull-off) testlerinin yaygın bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Bu çalışmaya yakın olan literatür kaynakları şu şekildedir. Kim ve arkadaşları (1998), sac malzemelerin boyanabilme kabiliyetlerinin, baz metalin topografik özelliklerinden (pik sayısı, yüzey pürüzlülüğü) güçlü bir şekilde etkilendiğini belirtmişlerdir. Kim ve Kim (2008), otomobil dış kısmında kullanılan suda çözünür boyaların görüntü kalitesini ve parlaklığını iyileştirmek için boyama işleminde zımparalamanın etkisini test etmişlerdir. P80 boyutlu aşındırıcı zımparanın yüzeyde aşırı çizikler meydana getirdiğini, P400 boyutlu aşındırıcı zımparanın ise kusurları kapatamadığını bu yüzden kaplama yapılması gereken malzemenin üç farklı aşamada zımparalanmasının parlaklık ve görüntü kalitesini iyileştirdiğini tespit etmişlerdir. Ayrıca suda çözünür boya ile kaplama filminin kalınlığı 120 µm veya daha fazla olması durumunda, farklı yüzey pürüzlülüğüne sahip altlık malzemelerinin yapışma mukavemeti açısından benzer sonuçlar sergilediğini ifade etmişlerdir. Nunes ve arkadaşları tarafından yapılan çalışmada (2014), soğuk

haddeleme işleminden elde edilen farklı yüzey dokuları beş farklı katmanda boyanmış, boyanabilirlik testleri (derecelendirme ve spektral eğri) açısından dış görünüşleri değerlendirmiş, soğuk işlenmiş saclardan elde edilen pürüzlülük parametreleri (2D ve 3D) ile ilişkilendirmiş ve bazı eğilimler oluşturmuşlardır. Araştırmacılar bu parametreler arasında bir ilişki olduğunu ve daha ayrıntılı çalışmalara ihtiyaç olduğunu belirtmişlerdir. Guo ve arkadaşları (2018), sıcak daldırma galvanizli %55Al-Zn alaşımının şekillendirme, elektrokimyasal, eğilme, boyanabilme kabiliyeti vb. performansına kaplama içerisine eklenen 0.5-4.0 mm çaplı boyutlarda pul ilavesinin etkilerini araştırmışlardır. Pul ilavesi ile hazırlanan boyalı numunelerin çapraz kesme (cross-cut) testi sonuçlarından farklı pul boyutlarına sahip numunelerin boyama katmanlarında pul pul dökülme olmadığını yani boyama kabiliyetinin %100 yeterli olduğunu göstermişlerdir. Schirmer ve arkadaşları (2018), farklı yöntemlerle ön işleme (kimyasal işlem, yaşlandırma, O<sub>2</sub>-plazma) tabi tutulmuş esnek polietilen tereftalat (PET) altlık malzeme üzerine gümüş bir macun kaplama yapmışlar ve yapışma kalitesini çekme (pull-off) ve çapraz kesme (cross-cut) testi ile belirlemişlerdir. Kimyasal işlem uygulanan yüzeyde boyanın daha fazla miktarda söküldüğünü, O<sub>2</sub>-plazma uygulanan yüzeyde ise en az miktarda sökülme olduğunu belirlemişlerdir. Ayrıca yapışma kabiliyetinin değerlendirilmesinde yeni bir değerlendirme önermişler ve her iki yöntemde de benzer sonuçlar almışlardır. Tüm literatür değerlendirildiğinde farklı pürüzlülüğe sahip sac malzemelerin çevresel etkilere karşı boya gibi organik kaplamalar ile kaplanmasında boyanabilme kabiliyetlerinin araştırılması ve ayrıca haddeleme parametreleri ile birlikte yüzey pürüzlülüğünün boyanabilme kabiliyetine etkisinin belirlenmesinin önem arz ettiği görülmektedir. Bununla birlikte sac malzemeler esasen temper haddeleme ile üretim süreci sonrasında nihai kullanıma sunulmaktadır. Çoğunlukla görsel olarak yüzeylerin pürüzlülüklerindeki farklılıkların belirlenmesi zor olduğundan bilinçsiz bir şekilde kullanılabilir. Bu doğrultuda sac malzemelerin, üretim parametrelerinden ezme miktarının boyanabilme kabiliyeti etkisi hakkında yeterli bir bilgi bulunmamaktadır. Dolayısıyla bu durumun açıklığa kavuşturulması gerekmektedir.

Bu çalışmada HC420LA sac malzemenin boyanabilme kabiliyetine temper haddeleme ezme miktarının etkisini araştırmak için numuneler farklı ezme miktarlarıyla temper haddeleme işlemine tabi tutulmuştur. Temper haddelenmiş HC420LA sac malzeme numunelerinin boyanabilme kabiliyetleri çapraz kesim (cross-cut) testinden elde edilmiştir. Ezme miktarı ve yüzey pürüzlülüğünün sac malzemelerin üzerine uygulanan boya kaplamalarının yapışma mukavemetine etkisi değerlendirilmiş ve tartışılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

### 2.1. Malzeme

Çalışmada kullanılan malzeme, motorlu araçlarda yakıt tüketimi, CO<sub>2</sub> emisyonları ve ağırlıklarının azaltılabilmesi amacıyla kullanılan geleneksel yüksek mukavemetli çeliklerden (HSS), yüksek mukavemet düşük alaşım (HSLA) kalite çelik sac malzemedir (Rodionova ve ark., 2020). HSLA kalite sac malzemelerden HC420LA (ERD7140) kalite sac malzeme (1.0 mm kalınlık) bu çalışmada tercih edilmiştir. Bu kalite sac malzemenin kimyasal bileşimi ve mekanik özellikleri daha önce yapılmış olan bir çalışmada elde edilmiştir (Özakın ve Kurgan, 2021). Malzemenin kimyasal bileşimi ve çekme özellikleri Tablo 1’de verilmektedir. Sac malzeme numuneleri, deneysel çalışmalar için 30 mm genişlik ve 250 mm uzunlukta kesilerek hazır hale getirilmiştir.

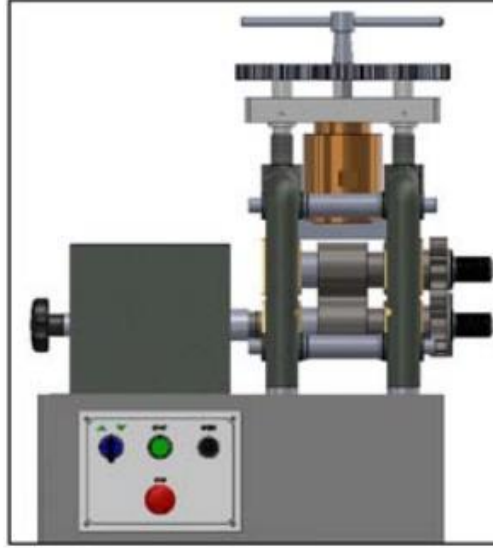
**Tablo 1.** HSLA kalite sac malzemenin kimyasal bileşimi ve çekme özellikleri (Özakın ve Kurgan, 2021)

Kimyasal bileşim (% ağı.)													
Fe	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu	Mo	Al	Nb	Ti	V
Dng	0.084	0.014	1.017	0.019	0.010	0.035	0.032	0.053	0.004	0.053	0.057	0.056	0.042
Malzeme kalitesi					Standart		Akma mukavemeti (MPa)		Çekme mukavemeti (MPa)		Toplam uzama (%)		
HC420LA					EN 10268		445 ± 10		549 ± 8		18.4± 0.2		

### 2.2. Temper Haddelme Deneyleri

Temper haddelme işlemi sac malzemeye %0.0-%5.0 aralığında ezme miktarı verilerek gerçekleştirilir (Çolak ve Kurgan, 2018). Deneysel çalışmada özel olarak imal edilen haddelme düzeneği kullanılmıştır. Haddelme düzeneği 1.5 kW güce sahiptir. 0-100 dev/dk aralığındaki haddelme hızlarında çalışabilmektedir. 2’li merdane düzenine sahip düzenekte merdaneler 75 mm çapında ve 50 mm uzunluğundadır. Merdane çiftleri soğuk iş takım çeliğinden üretilmiş ve elmasla özel olarak pürüzlendirilmiştir (Özakın ve ark., 2021; Çolak, 2021). Merdane çiftinin aritmetik ortalama pürüzlülük değeri 3.4 µm’dir. Deney düzeneğinin şematik resmi Şekil 1’de gösterilmektedir. Bu çalışma kapsamında dört farklı ezme miktarı ile malzemeler temper haddelme testine tabi tutularak yüzeylerine pürüzlülük transfer edilmiştir. Temper haddelme testleri sonrasında sac malzeme yüzeylerine ait pürüzlülük parametreleri, Mitutoyo SJ-410 pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Çalışmada pürüzlülük parametrelerinden R<sub>a</sub> (aritmetik ortalama pürüzlülük), R<sub>k</sub> (çekirdek pürüzlülüğü), R<sub>pk</sub> (çekirdek pürüzlülük üzerinde bulunan tepelerin

yüksekliği) ve  $R_{vk}$  (çekirdek pürüzlülük altında bulunan vadilerin derinliği) dikkate alınmıştır (Özakın ve Kurgan, 2020).



Şekil 1. Temper haddeleme deney düzeneği (Çolak, 2021)

### 2.3. Yüzeylerin Boyanması ve Çapraz Kesim (Cross-Cut) Testi

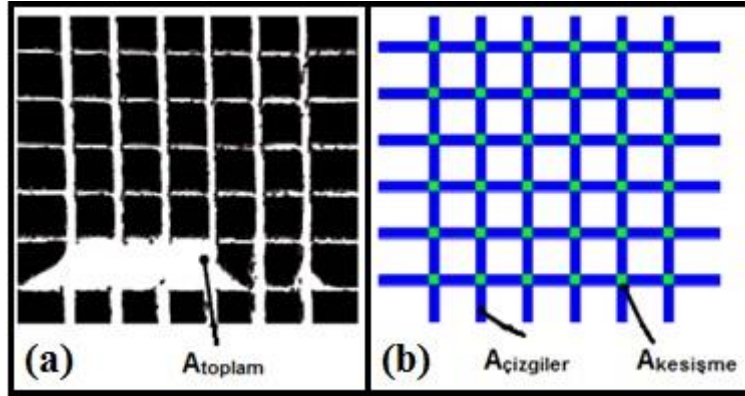
Yüzeylerin boyanması aşamasında polietilen akrilik esaslı otomotiv boyası piyasadan temin edilmiştir. Bu temin edilen boya karışımı püskürtme tabancası kullanılarak numuneler üzerinde homojen bir film tabaka oluşturacak şekilde yüzeye püskürtülmüştür. Boya tabakası astarlama işlemi dahil olmak üzere 3 kat uygulanmış ve her bir kat için kurutma işlemi 24 saat oda sıcaklığında sağlanmıştır. Boya tabakasının kalınlığı sac malzemenin boya öncesi ve sonrası kalınlığı mikrometre ile ölçülerek  $60 \pm 5 \mu\text{m}$  olarak hazırlanmıştır.

Yapışma mukavemeti ve dolayısıyla boyanabilme kabiliyeti, çapraz kesme (cross-cut) testi ile belirlenmiştir. Bu testin uygulama aşamasında numuneler ilk olarak 3 kat boya tabakası ile kaplanmıştır. Boyanan sac malzeme numuneleri fırça ile temizlenmiş ve ardından yüzey kareleme-kesme işlemine tabi tutulmuştur. Kareleme-kesme işlemi uygulanan kaplama yüzeylerine adezyon bandı yapıştırılmış ve  $90^\circ$ 'lik açı ile yüzeyden sökülüştür. Sökülen yüzeyin şekline göre (Şekil 2) yapışma mukavemeti, Denklem (1)'de yerine konularak tayin edilmiş ve yapışma mukavemeti belirlenmiştir.

$$A_{\text{sökülen}}(\%) = \frac{A_{\text{toplam}} - (A_{\text{çizgiler}} - A_{\text{kesişme}})}{A_{\text{resim}} - (A_{\text{çizgiler}} - A_{\text{kesişme}}} \times 100 \quad (1)$$

Denklemden;  $A_{\text{toplam}}$ : Şekil 2.a'daki beyaz bölgelerin,  $A_{\text{resim}}$ : Şekil 2.a'daki siyah bölgenin alanıdır. En başta yüzeyin kareleme-kesme işleminden meydana gelen alanlardan  $A_{\text{çizgiler}}$ : malzeme

yüzeyinden kesilen alanı (Şekil 2.b),  $A_{kesişme}$  ise kesişen alanları (Şekil 2.b) bir defa hesaba katılması için kullanılan alanları tanımlamaktadır (Schirmer ve ark., 2018).



Şekil 2. Yapışma mukavemetinin belirlenmesi (Schirmer ve ark., 2018)

### 3. Bulgular ve Tartışma

Temper haddeme testleri dört farklı ezme miktarı ile gerçekleştirilmiştir. Temper haddeme testleri sonrasında malzeme numunelerinde ezme miktarı Denklem (2) yardımıyla hesaplanmıştır. Bu denklemde  $r_0$ ; numunelerin haddeme işlemi öncesinde kalınlığı iken  $r_s$ ; haddeme sonrasında malzemenin kalınlığıdır. Malzeme numunelerinin kalınlıkları hassas mikrometre ile ölçülerek sac malzemelerde meydana gelen ezme miktarları ve numunelerin isimlendirilmeleri Tablo 2’de verilmiştir. HC420LA kalite sac malzeme numunelerinde meydana gelen ezme miktarları değerlendirildiğinde; literatür ile uyumlu olarak %0.0-5.0 aralığında ezme miktarları ile malzemenin haddeme işlemine tabi tutularak yüzeyine özel pürüzlülük profili kazandırılmıştır (Koh ve ark., 2010).

$$r (\%) = \frac{r_0 - r_s}{r_0} \times 100 \quad (2)$$

**Tablo 2.** Sac malzeme numunelerinde meydana gelen ezme miktarları ve numunelerin isimlendirilmeleri

Numune adı	Ezme miktarı (%)
S0	0.00
S025	0.25
S075	0.75
S275	2.75
S425	4.25

Farklı ezme miktarları ile temper haddelenen HC420LA sac malzeme numuneleri kesildikten sonra yüzeyleri Şekil 3’teki gibi görüntülenmiştir. Bu yüzeyler görsel olarak değerlendirildiğinde

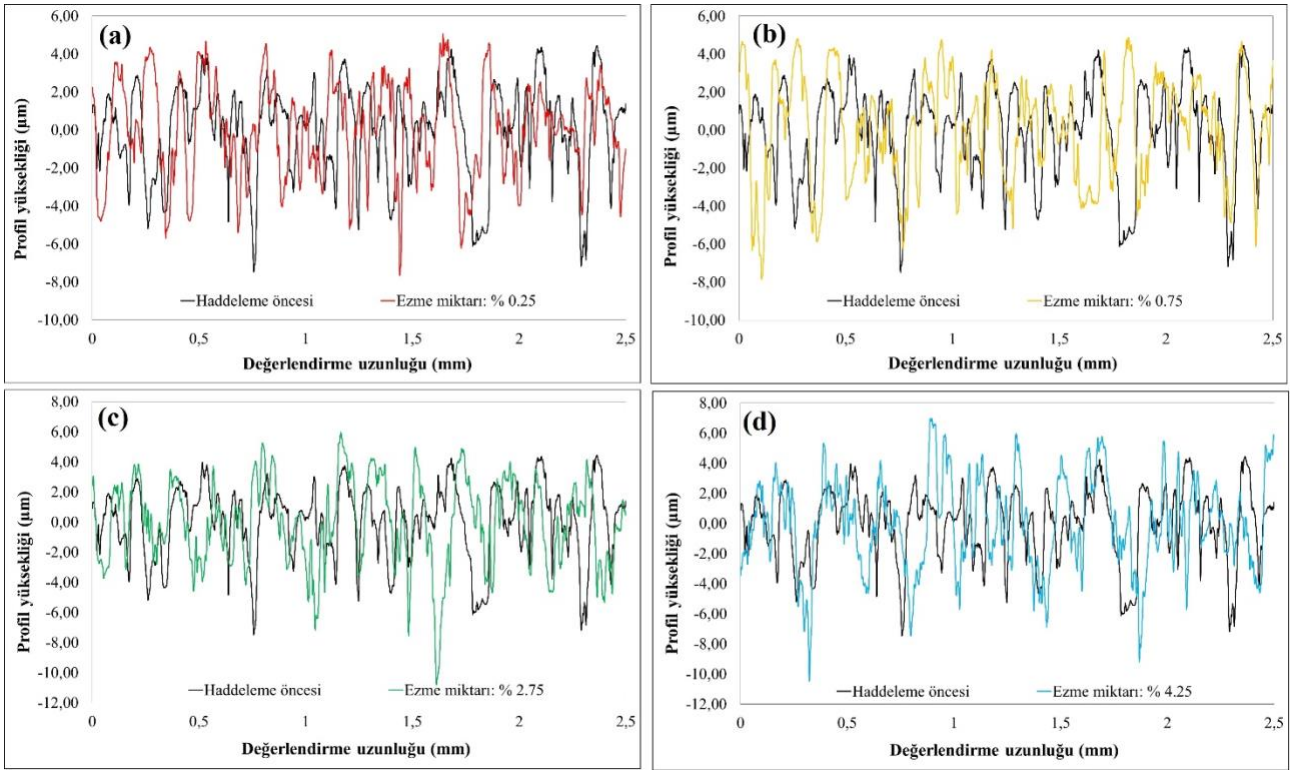
ezme miktarı arttıkça yüzeyde meydana gelen pürüzlülüğün arttığı belirgin bir şekilde göze çarpmaktadır. Numuneler içerisinde S0 yani haddelenme öncesi numunenin yüzey pürüzlülük dokusunun %4.25 ezme miktarı ile haddelenen numuneye göre daha az olduğu görülmektedir.



**Şekil 3.** Farklı ezme miktarları ile temper haddelenen HC420LA sac malzeme numunelerinin yüzey görüntüleri

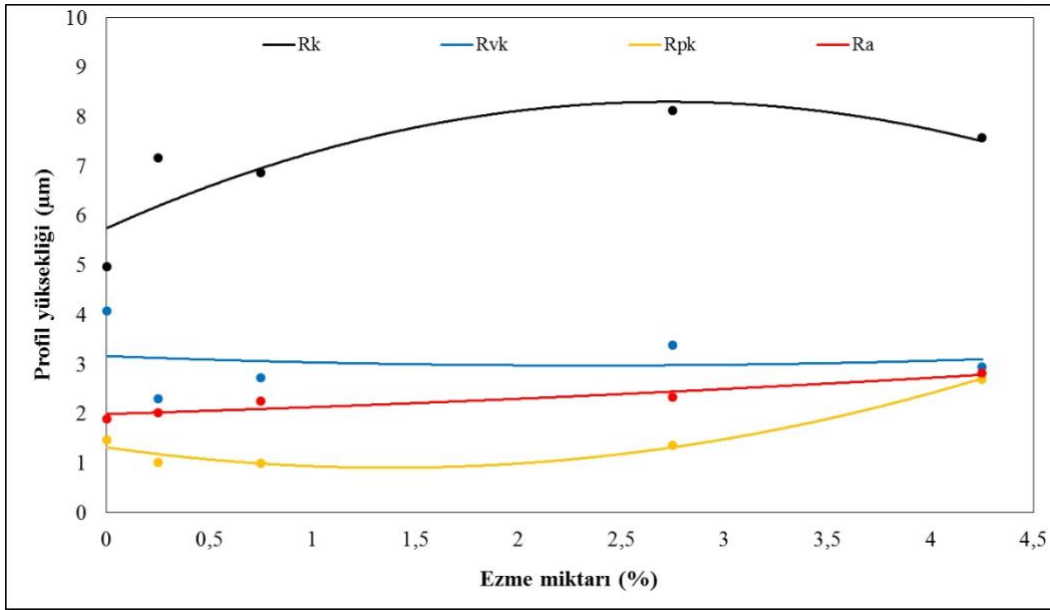
Yüzeylerin boyanma işleminden önce sac malzeme numunelerinin yüzeylerinden pürüzlülük ölçümleri, çizgisel olarak hareket eden probun yüzeyi taraması sonucunda belirlenmiştir. Temper haddelenen yüzeylerden alınan pürüzlülük ölçümlerinden elde edilen pürüzlülük profilleri, Şekil 4'te gösterilmektedir. Bu durumda haddelenme öncesi malzeme yüzey pürüzlülük profili ile %0.25 ezme miktarı (Şekil 4.a), %0.75 ezme miktarı (Şekil 4.b), %2.75 ezme miktarı (Şekil 4.c) ve %4.25 ezme miktarı (Şekil 4.d) kullanılarak gerçekleştirilen temper haddelenme neticesinde yüzeylerdeki pürüzlülük profil yükseklikleri karşılaştırılmıştır. Ezme miktarı arttıkça haddelenme öncesi duruma göre profil yüksekliklerinde pozitif ve negatif bölgede bir artış gerçekleştiği görülmektedir. Profil yüksekliğindeki bu artış, pürüzlülük parametrelerinden aritmetik ortalama pürüzlülük ( $R_a$ ) değerini artırmaktadır. Temper haddelenme ezme miktarının artması ile birlikte yüzey pürüzlülüğü artış göstermektedir. Ayrıca tepe yükseklikleri ile vadi derinliklerinde de bir artış meydana geldiği görülmektedir. Bu durumdan hareketle yüzey pürüzlülüğünün yükseklik profilini yansıtan parametrelerinin değerlendirilmesi gerektiğini açıkça ortaya koymaktadır.





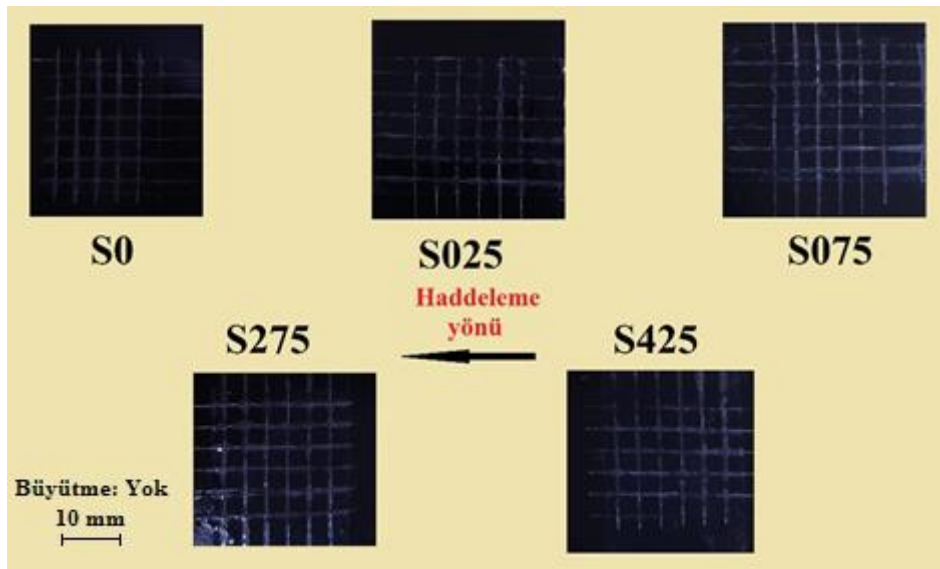
Şekil 4. Temper haddelenen yüzeylerden alınan pürüzlülük ölçümlerinden elde edilen pürüzlülük profilleri

Yüzey pürüzlülüğünün yükseklik profilini yansıtan parametreleri belirlenerek değerlendirilmiştir. Pürüzlülük ölçümlerinde  $R_a$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$  ve  $R_{vk}$  parametreleri ölçülen parametreler arasındadır. Bu doğrultuda Şekil 5'te bu parametreler için ezme miktarı ile yüzey profil yüksekliği arasındaki grafiksel ilişki verilmektedir.  $R_a$  parametresi yüzeyin aritmetik ortalama pürüzlülüğünü göstermektedir. Sıklıkla kullanılan pürüzlülük parametrelerinden biridir. Ancak bazı durumlarda yüzeyi değerlendirilmesinde tek başına yeterli değildir. Bundan ötürü çalışma temelinde yüzeyin pürüzlülük profilinin tepelerin yükseklikleri ( $R_{pk}$ ) ve vadilerin derinlikleri ( $R_{vk}$ ) boyama açısından önemli olmasından ötürü bu pürüzlülük parametreleri ölçülmüştür. Ayrıca tepe yükseklikleri ve vadi derinliklerinin yüzey profilinin değerlendirilmesinde yine çekirdek pürüzlülük değeri ( $R_k$ ) vazgeçilmez olup bu dört parametrenin ( $R_a$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$  ve  $R_{vk}$ ) değerleri bu çalışmada ölçülmüştür. Şekil 5 değerlendirildiğinde ezme miktarı arttıkça çekirdek pürüzlülük ( $R_k$ ) değeri ve aritmetik ortalama pürüzlülük ( $R_a$ ) değeri genel olarak bir artış sergilemiştir. Bununla birlikte küçük ezme miktarlarında  $R_a$  ve  $R_k$  parametreleri daha hızlı bir artış içerisindedir. Tepe yükseklikleri ( $R_{pk}$ ) ve vadi derinlikleri ( $R_{vk}$ ) parametreleri ise %0.75 ezme miktarına kadar azalma sergilerken, bundan daha büyük ezme miktarlarında  $R_{pk}$  ve  $R_{vk}$  parametrelerinde bir artış meydana geldiği gözlemlenmiştir. Bu durumun boyama kabiliyetine yani yapışma mukavemetine %0.75 ezme miktarına kadar olumlu etkisi olmuş ve bir sonraki aşamada değerlendirmesi cross-cut (çapraz kesim) testlerinin sonuçları ile birlikte değerlendirilmiştir.



Şekil 5.  $R_a$ ,  $R_k$ ,  $R_{pk}$  ve  $R_{vk}$  pürüzlülük parametreleri için ezme miktarı ile yüzey profil yüksekliği arasındaki ilişki

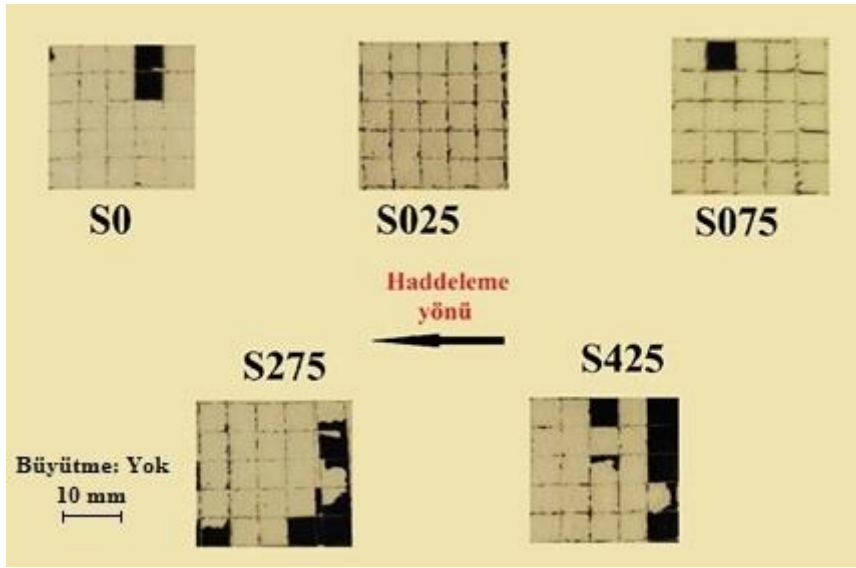
Temper haddelemede ezme miktarının boyanabilme kabiliyetine etkisini değerlendirmek için gerçekleştirilen cross-cut (çapraz kesim) testinde yüzeylerde meydana getirilen kareleme-kesme işlemi Şekil 6'da gösterilmiştir. Test gerçekleştirilmeden önce malzeme üzerindeki boya tabakasının kalınlığı ölçülmüş ve yaklaşık  $60 \pm 5 \mu\text{m}$  olarak tespit edilmiştir. Boya tabakasının kareleme-kesme işlemleri sonrasında yüzeylere adezyon bant yapıştırılmış ve bantların yüzeyden sökülmesi sonucunda boyanın yapışma mukavemeti tayin edilmiştir.



Şekil 6. Cross-cut (çapraz kesim) testinde yüzeylerde meydana getirilen kareleme-kesme işlemi

Çapraz kesim testi ile yüzeyden ayrılan bantların üzerinde kalan siyah katmanlar ile boyanın yapışma mukavemeti belirlenmiştir. Bu doğrultuda cross-cut (çapraz kesim) testi sonrası yüzeyden

ayrılan adezyon bantları Şekil 7’de gösterilmiştir. Yüzeylerden sökülen boya parçalarının alanları belirlenerek Denklem 1 yardımıyla yapışma mukavemetleri tayin edilmiştir. Temper haddeleme testleri neticesinde yüzeylerden sökülen alanlara ait çizelge Tablo 3’de verilmiştir. Sökülen alanların büyüklüğüyle orantılı olarak yapışma mukavemetleri orantılıdır. Dolayısıyla ezme miktarı %0.25 iken sökülen alan en az olup yapışma mukavemeti en yüksektir. En yüksek oranda yüzeyden boyanın söküldüğü %4.25 ezme miktarında ise yapışma mukavemeti en düşüktür. %15 oranından fazla sökülen alan otomotiv endüstrisinde uygun görülmeyen bir yapışma mukavemeti olduğu göz ardı edilmemelidir (Schirmer ve ark., 2018).



Şekil 7. Cross-cut (çapraz kesim) testi sonrası yüzeyden ayrılan adezyon bantları

Tablo 3. Temper haddeleme testleri neticesinde yüzeylerden sökülen alanlara ait çizelge

Numune adı	$A_{\text{sökülen}}$ (%)
S0	8.5
S025	2.5
S075	4.5
S275	17.5
S425	22

Çalışmadan elde edilen bulguların tümü birlikte değerlendirildiğinde temper haddeleme işleminde ezme miktarı artışının merdane yüzeyinden sac malzeme yüzeyine transfer edilen pürüzlülük dokusunun belirgin bir şekilde oluşmasına katkıda bulunduğu görülmektedir. Ezme miktarı arttıkça pürüzlülük parametrelerindeki farklılıklar, boyanın yüzeye yapışmasında farklılıklar oluşmasına sebebiyet vermiştir. Pürüzlülük profilinde ezme miktarı arttıkça (%0-1 aralığında) tepelerin yüksekliklerinde ( $R_{pk}$ ) ve vadilerin derinliklerinde ( $R_{vk}$ ) bir azalma meydana gelmiştir. Boyanın yüzeye yapışma mukavemeti de benzer bir davranış sergilediği göz önüne alındığında tepelerin yüksekliklerinin ve vadilerin derinliklerinin boyanın yapışma mukavemetinde oldukça etkili

olduğunu ortaya koymaktadır. Temper haddeleme ezme miktarının artması  $R_a$  ve  $R_k$  parametrelerinin artmasına sebep olmuştur. Bununla birlikte  $R_a$  ve  $R_k$  parametrelerinin boyanın yapışma mukavemeti üzerinde net bir etkisinden bahsedilememektedir. Ayrıca ezme miktarının artmasının yüzey sertliğinin de artmasına sebep olmasından ötürü yapışma mukavemetinin azalmasına katkıda bulunduğu söylenebilir (Özakın ve Kurgan, 2022b).

#### 4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada temper haddelenmiş HC420LA sac malzeme numunelerinin boyanabilme kabiliyetleri çapraz kesim (cross-cut) testinden elde edilmiştir. Ezme miktarı ve yüzey pürüzlülüğünün sac malzemelerin üzerine uygulanan boya kaplamalarının yapışma mukavemetine etkisi değerlendirilen çalışmanın sonuçları ve gelecekte yapılması önerilen çalışmalar aşağıda sunulmaktadır.

- Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça yüzeyin pürüzlülük profilinde değişimler meydana gelmiştir.
- Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça yüzeyin  $R_a$ ,  $R_k$  değerleri haddeleme öncesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %30 ve %20 oranında artmıştır. Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça (%0-1 aralığında) yüzeyin  $R_{pk}$ ,  $R_{vk}$  değerleri haddeleme öncesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %25 ve %10 oranında azalmıştır. %1 oranının üzerindeki ezme miktarı artışlarında  $R_{pk}$  ve  $R_{vk}$  değerleri haddeleme öncesine göre yaklaşık olarak sırasıyla %80 ve %10 oranında artış sergilemiştir.
- Temper haddeleme ezme miktarı arttıkça (%0-1 aralığında) boyanın yapışma mukavemeti kayda değer bir oranda (haddeleme öncesine göre yaklaşık olarak %50-100) artmıştır. %1 oranının üzerindeki ezme miktarı artışlarında boyanın yapışma mukavemetinin yüksek bir oranda (haddeleme öncesine göre yaklaşık olarak %200-250) azaldığı tespit edilmiştir.
- Yüzey profilindeki tepelerin yükseklikleri ve vadilerin derinlikleri arttıkça boyanın yapışma mukavemetinin azaldığı ve bu durumun tersinin de geçerli olduğu sonucuna varılmıştır.
- Gelecekte yapılabilecek araştırmalara bakılacak olursa; sac malzemelere uygulanan farklı boya türlerinin yapışma mukavemetine etkilerini araştıran bir çalışma gelecekte yapılabilir. Ayrıca sac malzemelere uygulanabilen farklı yüzey pürüzlendirme tekniklerinin boya yapışma mukavemetine etkisinin incelendiği araştırma ileride yapılabilecek çalışmalara konu olabilir.

## **Teşekkür**

Bu çalışma, TÜBİTAK 2209-A Üniversite Öğrencileri Araştırma Projeleri Destekleme Programı tarafından desteklenmiştir.

## **Yazarların Katkısı**

Tüm yazarlar çalışmaya eşit katkıda bulunmuştur.

## **Çıkar Çatışması Beyanı**

Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

## **Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı**

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

## **Kaynaklar**

- Almeida, E., Santos, D., and Uruchurtu, J. (1999). Corrosion performance of waterborne coatings for structural steel, *Progress in Organic Coatings*, 37(3-4), 131-140.
- Asmatulu, R., Erukala, K. S., Shinde, M., Alarifi, I. M., and Gorji, M. R. (2019). Investigating the effects of surface treatments on adhesion properties of protective coatings on carbon fiber-reinforced composite laminates, *Surface and Coatings Technology*, 380, 125006.
- Çolak, B., and Kurgan, N. (2018). An experimental investigation into roughness transfer in skin-pass rolling of steel strips, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 96(9), 3321-3330.
- Çolak, B. (2021). How the skin-pass rolling reduction ratio affects the strain aging behaviour of low-carbon steel sheets”, *Ironmaking & Steelmaking*, 48(10), 1254-1260.
- Deyab, M. A., De Riccardis, A., Bloise, E., and Mele, G. (2018). Novel H2Pc/Epoxy nanocomposites: Electrochemical and mechanical property investigation as anti-corrosive coating”, *Progress in Organic Coatings*, 119, 31-35.
- Eslami, R., Bagheri, R., Hashemzadeh, Y., and Salehi, M. (2014). Optical and mechanical properties of transparent acrylic based polyurethane nano silica composite coatings, *Progress in Organic Coatings*, 77(7), 1184-1190.
- Guo, T., Liu, C., Ran, C., and Dong, X. (2018). Effects of spangle size on performances of hot-dip 55% Al-Zn alloy coating, *International Journal of Electrochemical Science*, 13, 9505-9519.
- Kim, S. K., Kim, M. K., and Jeon, E. C. (1998). A study on the characteristics of electro-discharge texturing for temper mill work roll, *KSME International Journal*, 12(1), 153-159.
- Kim, S. K., and Kim, M. K. (2008). A study on the painting characteristics of waterborne paint for automotive refinish, *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, 7(4), 68-75.
- Koh, Y. H., Lee, M. H., and Kim, S. K. (2010). Texture evolution in low-C flat rolled steels on the physical properties. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 11(3), 445-452.
- Monetta, T., Acquesta, A., Bellucci, F. (2015). Graphene/epoxy coating as multifunctional material for aircraft structures, *Aerospace*, 2(3), 423-434.

- Nunes, E., de Oliveira, A. F., Sekeres, T., Wichern, C., and Plaut, R. L. (2014). Inter-relationship among skin pass reduction, 3d and 2d roughness parameters and the stampability/paintability of cold rolled steel sheets for the automotive industry: a preliminary analysis, *In Materials Science Forum*, 783, 1039-1045.
- Özakın, B., ve Kurgan, N. (2019). Temper haddelemede pürüzlülük transferini etkileyen parametrelerin incelenmesine yönelik bir derleme çalışması, *International Periodical of Recent Technologies in Applied Engineering*, 1(2), 67-78.
- Özakın, B., ve Kurgan, N. (2020). DC04 kalite sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde yağlayıcının etkisinin incelenmesi. *Uluslararası Doğu Anadolu Fen Mühendislik ve Tasarım Dergisi*, 2(2), 325-336.
- Özakın, B. (2021). *Temper haddelemede mekanik özellik-yüzey pürüzlendirme ilişkisinin incelenmesi*. Doktora Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Samsun.
- Özakın, B., and Kurgan, N. (2021). Experimental investigation of roughness transfer with skin-pass rolling to high strength low alloy (HSLA) material, *Arabian Journal for Science and Engineering*, 46(12), 12137-12144.
- Özakın, B., Çolak, B., and Kurgan, N. (2021). Effect of material thickness and reduction ratio on roughness transfer in skin-pass rolling to DC04 grade sheet materials, *Industrial Lubrication and Tribology*, 73(4), 676-682.
- Özakın, B., ve Kurgan, N. (2022a). AISI 304 paslanmaz çelik sac malzemelere temper haddeleme ile pürüzlülük transferinde haddeleme parametrelerinin etkisinin incelenmesi. *Politeknik Dergisi*, 25(3), 1201-1209.
- Özakın, B., and Kurgan, N. (2022b). Effect of temper rolling reduction ratio on microhardness and microstructure of DC04 grade sheet material. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 11(2), 393-399.
- Pfectorf, M., Engel, U., and Geiger, M. (1998). 3D-surface parameters and their application on deterministic textured metal sheets, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(5-6), 607-614.
- Plicht, G., Schillak, H., Lin, M., Edwards, R., Mebrahtu, T., Hofinghoff, H. and Demski, T. (2007). Skin-pass rolling of steel strip using liquid nitrogen, *Materials Science & Technology (MS&T) 2007*, (s. 149-157). Michigan.
- Rodionova, I. G., Amezhnov, A. V., D'yakonov, D. L., Shaposhnikov, N. G., Baklanova, O. N., and Gladchenkova, Y. S. (2020). Study of the effect of microstructure characteristics on corrosion resistance of cold-rolled micro-alloyed sheet steels (HSLA) of strength classes 340–420 for automobile building, *Metallurgist*, 63(11), 1165-1177.
- Scheers, J., Vermeulen, M., De Mare, C., and Meseure, K. (1998). Assessment of steel surface roughness and waviness in relation with paint appearance, *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 38(5-6), 647-656.
- Schirmer, J., Roudenko, J., Reichenberger, M., Neermann, S., and Franke, J. (2018). Adhesion measurements for printed electronics: A novel approach to cross cut testing, *41st International Spring Seminar on Electronics Technology (ISSE)*, (s. 1-5). Zlatibor: University of Novi Sad.
- Wu, C., Zhang, L., Qu, P., Li, S., and Jiang, Z. (2019). A new method for predicting the three-dimensional surface texture transfer in the skin pass rolling of metal strips. *Wear*, 426, 1246-1264.
- Zhao, H., Huang, Z., and Cui, J. (2008). A novel method of electroless plating on AZ31 magnesium alloy sheet, *Journal of Materials Processing Technology*, 203(1-3), 310-314.