

Investigation of Compatibility with CMT Method by Selecting Filler Wires Containing Different Alloys for SCGA440 Steels Used in Automotive Manufacturing

*¹Cihan Yakupoğlu, ²Ufuk Öztürk, ³Faruk Varol, ⁴Salim Aslanlar

*¹Akpres Metal Yedek Parça Mak. San. Ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye

²Graduate School of Education, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye

³Vocational School of Karasu, Sakarya University, Karasu, Sakarya, Türkiye

⁴Materials and Metallurgical Engineering, Sakarya University of Applied Sciences, Sakarya, Türkiye

Abstract

In this study, 2 mm thick SCGA440 (Double Phase) steel plates, which are used in the production of crash boxes that serve as crash absorbers in automotive, and whose surfaces are galvanized, are combined. These joints were made using the cold metal transfer (CMT) method. The applied welding position is determined as face-to-face. This application was carried out in a robotic system using 1 mm diameter copper-based CuSi₃, CuAl₈ and massive SG2 filler wires, keeping the welding speed constant at 60 cm/min. After joining processes with the cold metal transfer (CMT) method, the tensile strength (MPa), hardness values (HV), bending tests, evaporating Zn distances on the base metal surface, macro and micro tests were performed in the joint areas.

Key Words: SCGA 440 Steel, Cold Metal Transfer, CuSi₃, CuAl₈, SG2

Otomotiv İmalatında Kullanılan SCGA440 Çelikleri için Farklı Alaşımlar İçeren Dolgu Telleri Seçilerek CMT Yöntemi ile Birleştirilebilirliğinin İncelenmesi

¹Cihan Yakupoğlu, ²Ufuk Öztürk, ³Faruk Varol, ⁴Salim Aslanlar

¹Akpres Metal Yedek Parça Mak. San. Ve Tic. A.Ş., Sakarya, Türkiye

²Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

³Karasu Meslek Yüksek Okulu, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

⁴Malzeme ve Metalurji Mühendisliği, Sakarya Uygulamalı Bilimler Üniversitesi, Sakarya, Türkiye

Özet

Bu çalışmada, otomotivlerde çarpışma sönümleyici olarak görev üstlenen çarpışma kutularının üretiminde kullanılan 2 mm kalınlığa sahip ve yüzeyleri galvaniz kaplı SCGA440 (Çift Faz) çelik levhalar birleştirilmiştir. Soğuk metal transfer (CMT) yöntemi kullanılarak bu birleştirmeler yapılmıştır. Uygulanan kaynak pozisyonu alın altına olarak belirlenmiştir. Bu uygulama kaynak hızı 60 cm/dk'da sabit tutularak 1 mm çapındaki bakır esaslı CuSi₃, CuAl₈ ve masif SG2 dolgu telleri kullanılarak robotik sistemde gerçekleştirilmiştir. Soğuk metal transfer (CMT) yöntemi ile birleştirme işlemleri yapıldıktan sonra, bağlantı bölgelerindeki çekme mukavemeti (MPa), sertlik değerleri (HV), eğme testleri, ana metal yüzeyinde buharlaşan Zn mesafeleri, makro ve mikro testleri yapılarak incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: SCGA 440 çelik, soğuk metal transferi, CuSi₃, CuAl₈, SG2

1. Giriş

Gelişen teknoloji ile birlikte sürekli artan ekolojik kaygılar ve araç performanslarının iyileştirilmesi gerektiğinden otomotiv imalatında seçilen malzemelerin güvenlik, hafiflik, düşük yakıt tüketimi, düşük karbonmonoksit salınımı gibi kriterleri kapsama istenmekte ve bu önem arz etmektedir. Bu sebepten dolayı mukavemet bakımından güçlü aynı zamanda istenilen kriterleri sağlayabilen yüksek mukavemetli çeliklere talep çoğalmıştır ki bu çelikler otomotivi oluşturan gövde ve şasisinde bir çok bölgede (çarpışma sönümleyicilerde, yan panellerde, aks bağlantı parçalarında ve güçlendirme parçaları gibi çarpışmaya maruz kısımlarda) kullanılmaktadır. SCGA (Dual Phase) çift fazlı çelikler sünekliği sağlayan ferrit yapı ve mukavemet artırıcı etkisi bulunan martenzit yapıdan oluşmaktadır. Varol yapmış olduğu çalışmalarda TRIP 800 çelik sacını farklı akım şiddetlerinde birleştirmiş, aynı zamanda DP 600 çelik saclarının farklı birleşme özelliklerini incelemiştir (Varol vd., 2013-2015,)

Bu çalışmada 2 mm kalınlığındaki SCGA 440 (Dual Phase) çelik sacının CMT-birleştirme ile CuAl₈, CuSi₃ ve SG2 üç farklı dolgu telleri kullanılarak yapılan alın birleştirilmesindeki bağlantı bölgelerinin mekanik ve iç yapı özellikleri incelenmiştir.

2. DeneySEL Çalışmalar

2.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada test malzemesi olarak otomotiv sanayisinde oldukça fazla kullanım alanı olan SCGA 440 galvaniz kalpı çelik kullanılmıştır. Çelik sac 2 mm kalınlığında ve her iki yüzeyde 45-65 g/m² galvaniz kaplanmıştır. Dolgu teli olarak CuSi₃, CuAl₈, SG2 seçilmiştir. Test numunesine ait kimyasal bileşenleri Tab. 1.'de mekanik özellikleri Tab. 2.'de verilmiştir. CuSi₃, CuAl₈, SG2, dolgu tellerine ait kimyasal bileşimler Tab. 3.'te mekanik özellikler Tab. 4.'te gösterilmiştir.

Tablo 1. SCGA 440 kimyasal bileşenleri

%Fe	%C	%Si	%Mn	%P	%S	%Cr	%Ti	%Ni	%Al
Kalan	0,1601	0,017	0,612	0,016	0,007	0,022	0,002	0,026	0,033

Tablo 2. SCGA 440 mekanik özellikleri

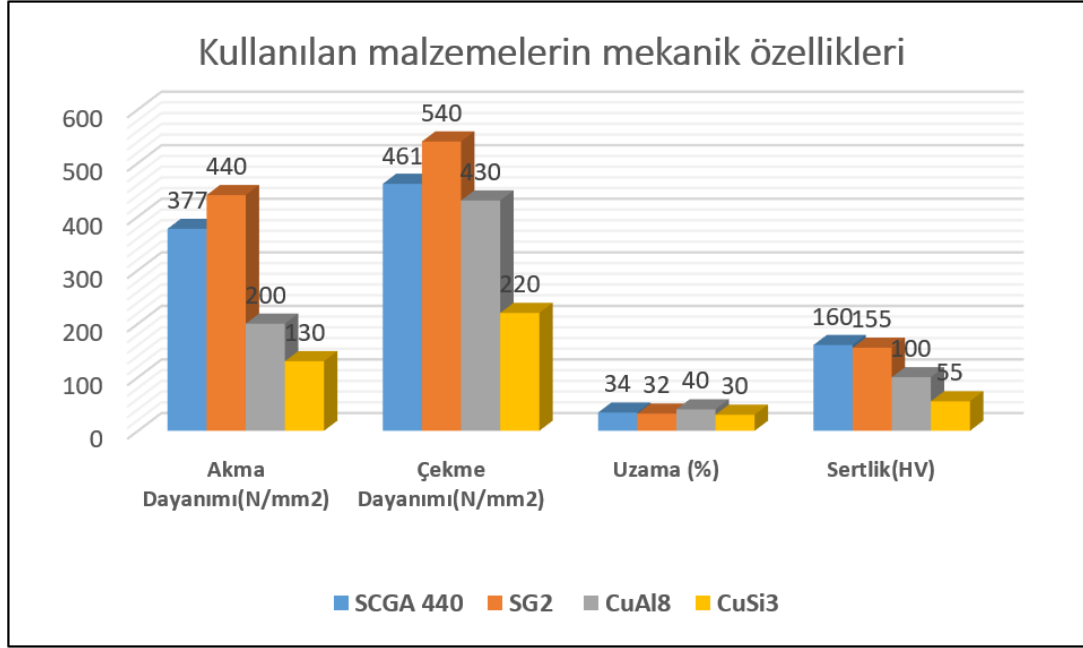
Akma Gerilmesi (σ_{Ak})	Maksimum Gerilme (σ_{max})	Uzama	Sertlik (Hv)
377 MPa	461 MPa	%34	160

Tablo 3. CuSi₃, CuAl₈, SG2, dolgu tellerine ait kimyasal bileşimler

Dolgu teli	% Alaşım	%Cu	%Si	%Al	%Mn	%Fe	%C
CuSi ₃		>94	3	<0,1	1,01	<0,2	<0,01
CuAl ₈		>91	<0,5	8	<0,5	<0,2	<0,01
SG2		<0,5	0,85	<0,5	1,5	>97	0,08

Tablo 4. CuSi₃, CuAl₈, SG2, dolgu tellerine mekanik özellikler

Mekanik Özellik	Akma Gerilmesi (σ_{Ak})	Maksimum Gerilme (σ_{max})	Uzama	Sertlik (HV)	Ergime Sıcaklığı (°C)
Dolgu teli					
CuSi ₃	130 MPa	220 MPa	%30	55	970-1025
CuAl ₈	200 MPa	430 MPa	%40	100	1030-1045
SG2	440 MPa	540 MPa	%32	155	1450-1650

**Şekil 1.** Deneylerde kullanılan malzemelere ait mekanik özellikler

2.2. Uygulanan Metod

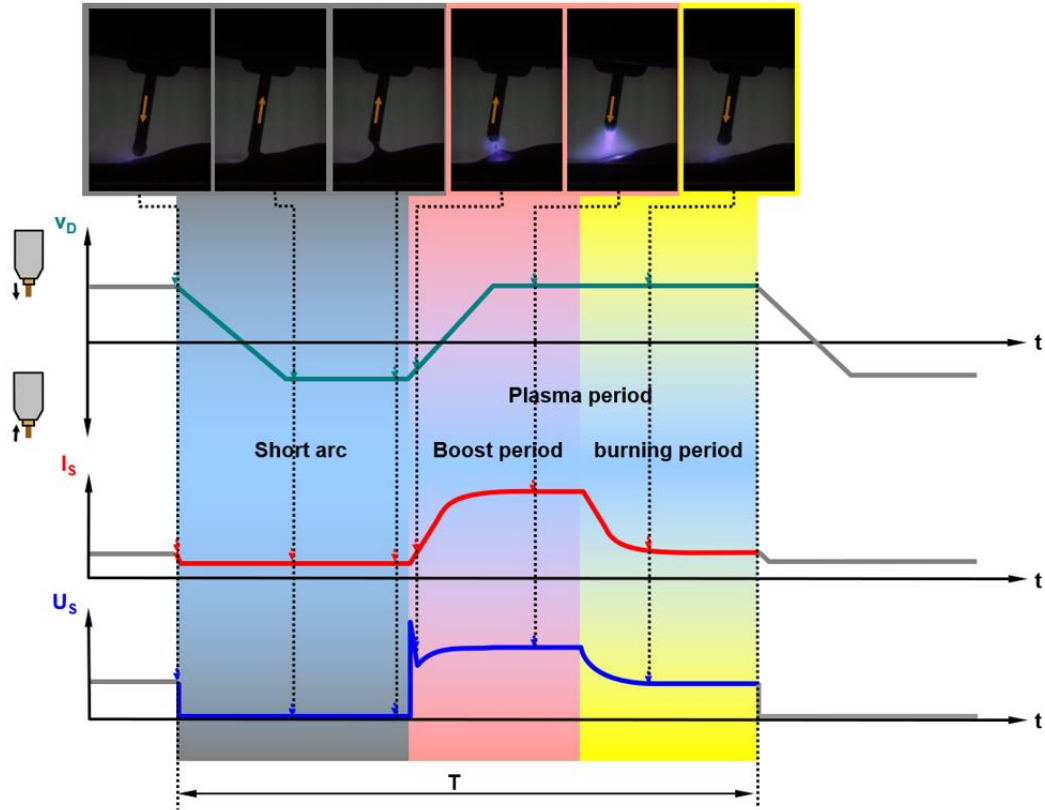
Alın birleştirme yöntemi, 1 mm çapında CuAl₈ ve CuSi₃ bakır teller kullanılarak CMT-lehimleme ve 1 mm çapında masif SG2 tel kullanılarak CMT-birleştirme metodu ile uygulamalar yapılmıştır. Test numuneleri 220x220x2 mm kesilip kaynak hızı 60 cm/dk'da sabit tutulmuştur. Bu deneylerde CuAl₈ ve CuSi₃ dolgu telleri için koruyucu gaz olarak %100 Argon gazı kullanılırken masif SG2 dolgu teli için HB205 (%92 Argon, %5 CO₂, %3 O₂) karışım gazı kullanılmıştır. Birleştirme işlemi yapılmadan önce test numunelerinin her iki yüzeyi temizlenmiş ve birleştirme işlemine uygun hale getirilmiştir. Birleştirilen çelik plakalardan çekme numuneleri TS EN ISO 4136:2012 normu standardına göre ve eğme numuneleri TS EN ISO 5173:2010/A1 normu standardına göre belirtilen ölçülerde lazer kesim kullanılarak hazırlanmış ve deneyler yapılmıştır. Her numunenin sertlik değerleri 100 gr yük vr piramit batıcı uç ile Vickers ölçüm test yöntemi kullanılarak sıra sertlik değerleri alınmıştır. Lehimleme ve yapılan kaynak parametreleri Tab. 5.'de gösterilmiştir.

Tablo 5. CMT-birleştirme parametreleri

Parametreler	CuSi ₃	CuAl ₈	SG2
Kaynak Akım (Amper)	145	160	187
Kaynak Gerilimi (V)	20,7	20,4	18,2
Kaynak Hızı (cm/dk)	60	60	60
Tel Sürme Hızı(m/dk)	8,2	8,3	8,8
Kullanılan Gaz	%100 Ar	%100 Ar	%92 Argon, %5 CO ₂ , %3 O ₂

2.2.1. CMT ile birleştirme yöntemi

Fronius firması tarafından geliştirilen, yeni nesil TPSi400 kaynak makinası ile soğuk metal transfer yöntemi (CMT – Cold metal transfer) MIG/MAG prosesi kullanılarak birleştirmeler/lehimlemeler yapılmıştır. Şekil 2.'de soğuk metal transfer yönteminin uygulama mantığı verilmiştir.



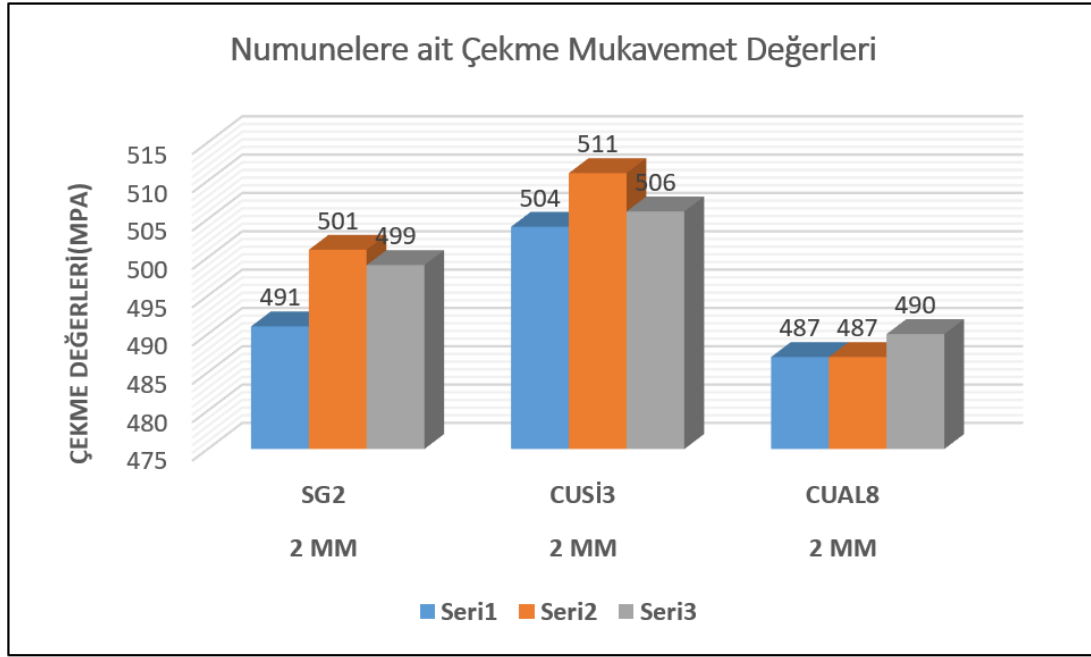
Şekil 2. Soğuk metal transfer yönteminin uygulama mantığı

Geliştirilmiş kaynak kalitesi, kısa devreyi algılayan ve sonra beslenen teli çekerek bir seferde tek bir ergiyik damlanın ayrılıp yığılmasına yardımcı olan bir dijital proses kontrolü yardımıyla elde edilir. Proses işleyişi sırası ile arkın yanması, dolgu telinin banyoya daldırılması, telin geri yöndeki hareketi ve damlacık transferi, telin geri doğru çekilmesi hareketlerinden oluşmakta ve tekrarlanmasıyla süreklilik sağlanmaktadır. Bu yöntemdeki amaç, ısı girdisini, distorsiyonu ve sıçramayı en aza indirgeyerek ana metalin daha az zarar görmesiyle birleştirmeyi sağlamaktır.

3. DeneySEL Sonuçlar

3.1. Çekme Deney Sonuçları

2 mm SCGA 440 galvaniz kaplı çelik plakaların 60 cm/dk sabit kaynak hızında, CuSi₃, CuAl₈ ve SG2 dolgu telleri kullanılarak alın altına pozisyonunda birleştirilmesi sonucu her bir birleştirme için çıkarılan 3'er adet numuneden ölçülen maksimum mukavemet değerleri Şekil 3.'de gösterilmiştir. Maksimum çekme gerilmesi (σ_{max}) CuSi₃ için 511 MPa, CuAl₈ için 490 MPa, SG2 için 501 MPa olarak ölçülmüştür.



Şekil 3. 2 mm SCGA 440 çeliğinin 60 cm/dk kaynak hızındaki alın birleştirmelerinin maksimum çekme mukavemet grafiği

3.2. Eğme Test Sonuçları

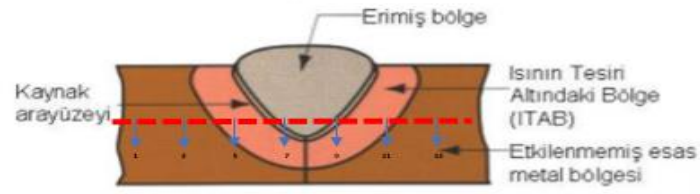
Gerçekleştirilen deneyler neticesinde numunelerin kaynak bölgeleri gözle muayene edildiğinde kep ve kök noktalarında kırılma veya çatlama gözlenmemiştir, numunelere ait testlerin sonuçları başarılı olarak tamamlanmıştır. Eğme test sonuçları Şekil 4.'de verilmiştir.



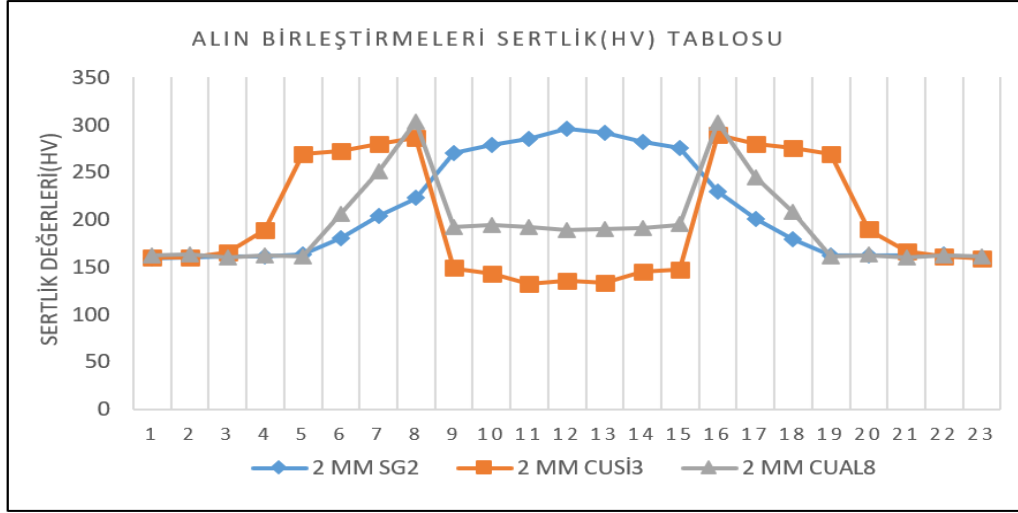
Şekil 4. 2 mm SCGA 440 çeliğinin alın birleştirmesi eğme test sonuçları

3.3. Sertlik Test Sonuçları

Şekil 6.'da üç farklı dolgu telleri ile elde edilmiş sertlik değerleri grafiği Şekil 5.'de belirtilen noktalar referans alınarak gösterilmiştir. SG2 ile birleştirmede en yüksek değer birleştirme bölgesinde daha sonrasında ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde ve en düşük ise ana malzemede olduğu görülmüştür. CuSi₃ ile lehimlemede en yüksek değer ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonrasında ana malzemede ve en düşük birleştirme bölgesindedir. CuAl₈ ile lehimlemede en yüksek değer ITAB (Isı Tesiri Altındaki Bölge) bölgesinde daha sonrasında birleştirme bölgesinde ve en düşük ana malzemede sertlikler olduğu tespit edilmiştir. Üç ayrı birleştirmeler incelendiğinde birleştirme bölgelerinde sertlik değerleri 130-295 Hv, ITAB bölgelerinde 200-303 Hv arasında değişiklik gösterdiği gözlemlenmiştir.



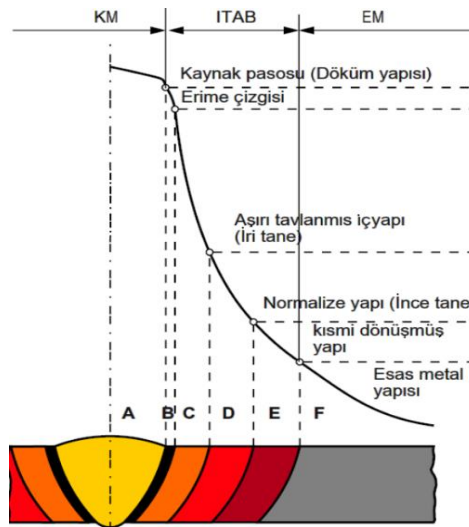
Şekil 5. Alın birleştirmesi sertlik(Hv) alınan noktalar



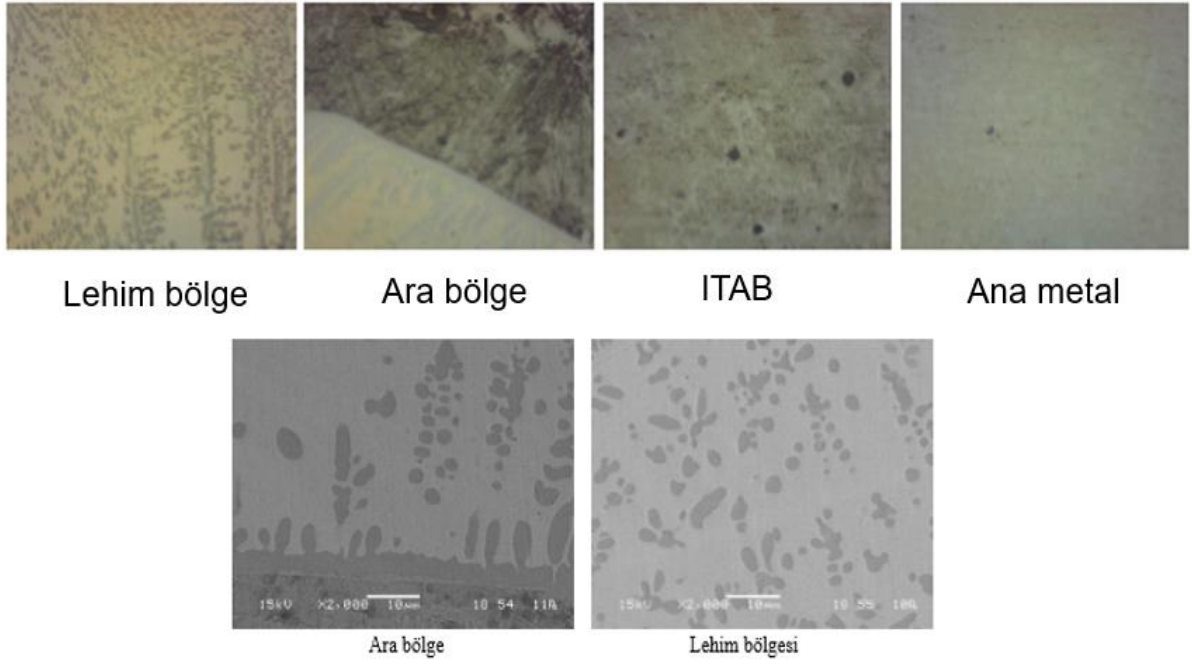
Şekil 6. 2 mm SCGA 440 çeliğinin alın birleştirmesi sertlik(Hv) değerleri

3.4. Mikroyapı

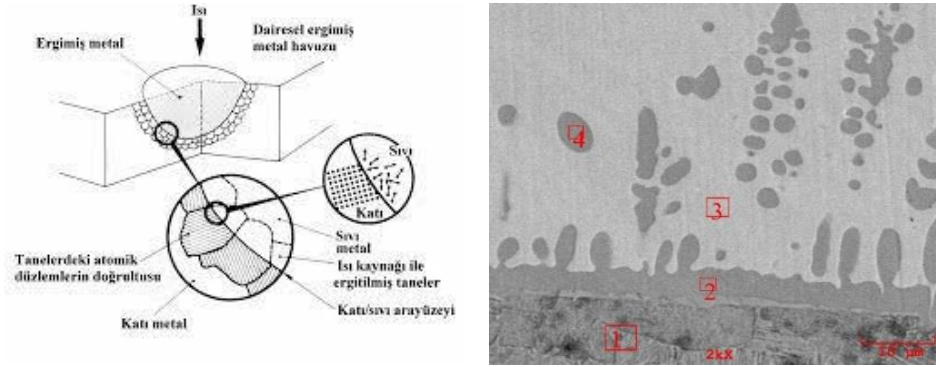
Şekil 8.'da CuAl_8 , Şekil 10.'de CuSi_3 ve Şekil 12.'de SG2 dolgu telleri ile birleştirilmiş test numunelerinin mikro yapılarına ait ara bölge, ITAB, lehim bölgesi, birleşme bölgesi ve ana metal olarak farklı şekillerde gösterilmiştir. CuSi_3 ve CuAl_8 ile lehimlemelerde atomların ana malzemeden birleştirme bölgesine difüzyon ile geçişi gözlemlenmiştir. Birleştirme bölgesinde oluşan dentritler açıkça görülmektedir. Ana malzemede ise sıcaklık tesiri ile tane boyutlarının büyüdüğü görülmektedir. Bu tane büyüklüğü dayanımın düşmesine neden olmaktadır. Şekil 7.'te numuneler üzerinden alınan görüntü noktalarının yer verilmiştir.



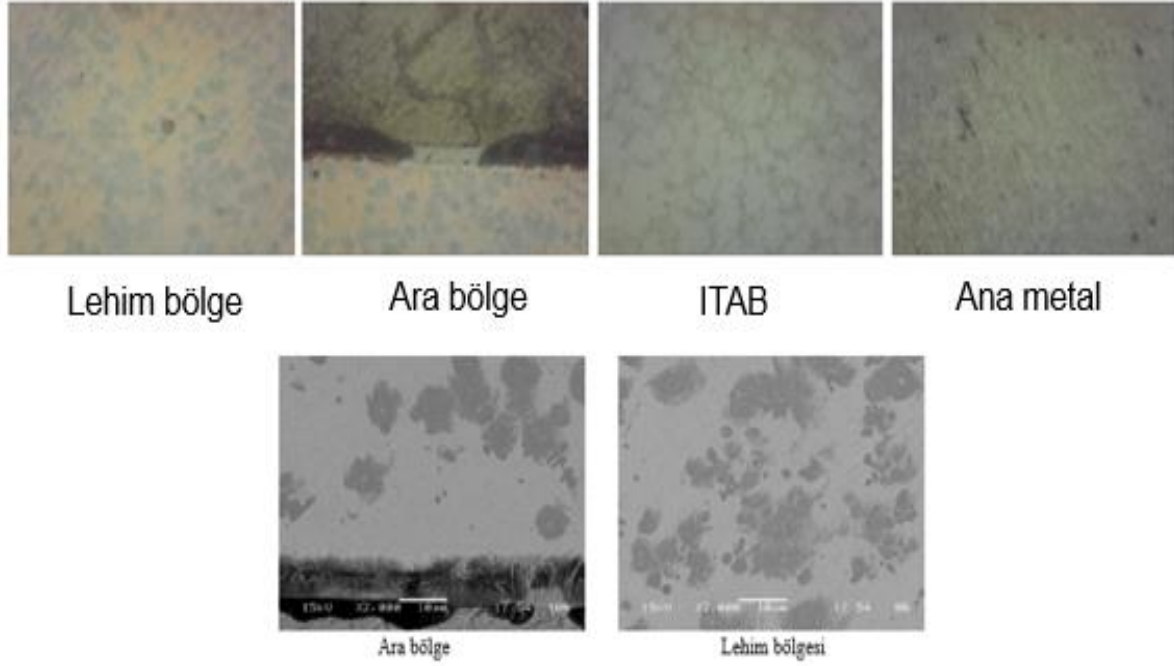
Şekil 7. Numunelerden alınan mikro görüntü noktaları A)Lehim Bölgesi, B)Ara Bölge, C-E)ITAB, F)Ana Metal

Şekil 8. CuAl₈ mikro yapı görüntüleri,

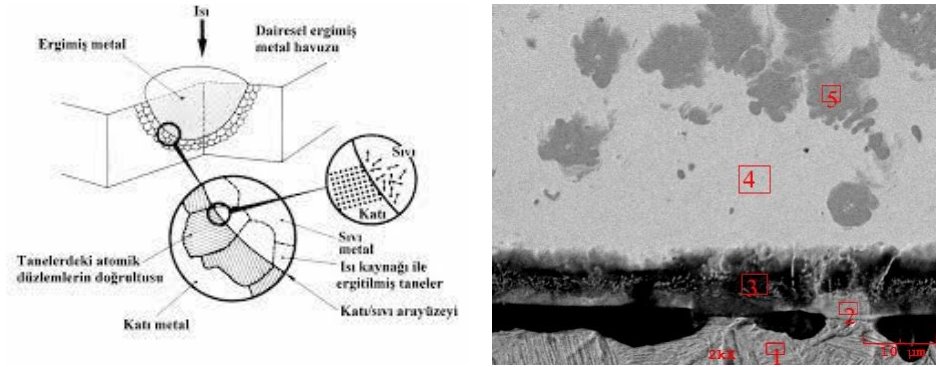
60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin SEM görüntüleri Şekil 9’da ve EDS analizi Tablo 6.’da verilmiştir.

Şekil 9. CuAl₈ ara bölgeden alınan noktasal SEM görüntüleri.Tablo 6. CuAl₈ ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi.

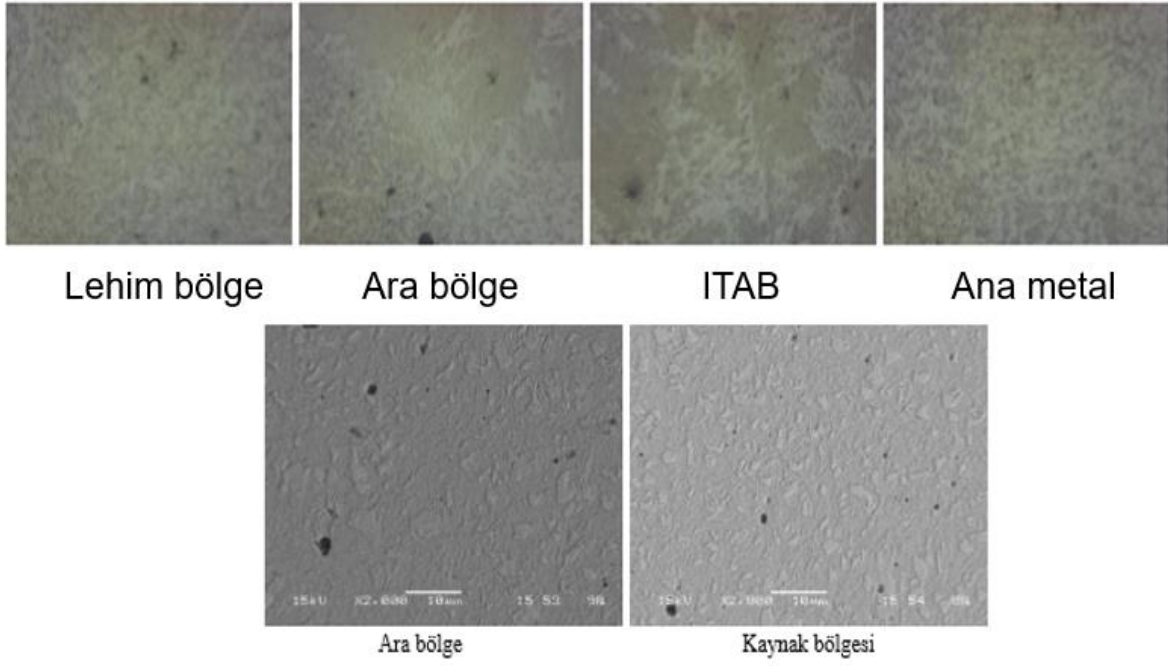
Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.852	1.618	0.283	0.822	93.028	3.396
2	0.710	7.001	0.360	0.310	77.038	15.291
3	0.821	8.329	0.415	0.549	6.529	84.179
4	0.668	7.492	0.735	0.249	73.207	18.316

Şekil 10. CuSi₃ mikro yapı görüntüleri

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunenin lehim bölgesindeki dentritlerin SEM görüntüleri Şekil 11’de ve EDS analizi Tablo 7.’de verilmiştir.

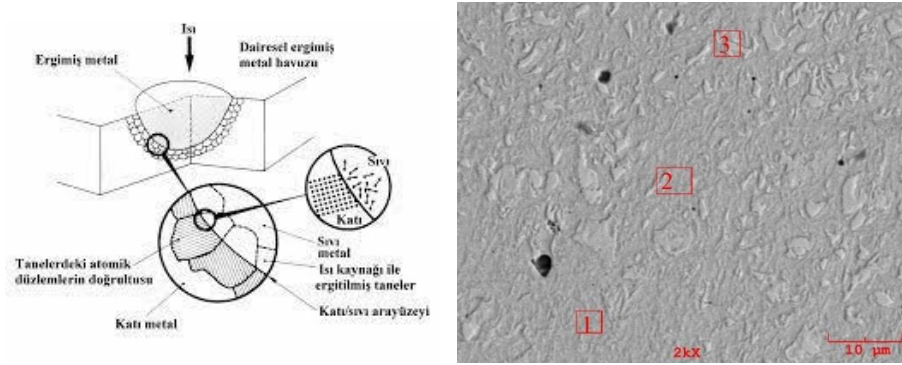
Şekil 11. CuSi₃ ara bölgeden alınan noktasal SEM görüntüleri.Tablo 7. CuSi₃ ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi

Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.588	0.250	0.496	0.433	95.702	2.531
2	0.136	0.731	7.153	0.632	81.974	9.374
3	1.421	0.487	24.565	0.068	48.408	25.052
4	0.233	0.297	2.578	0.813	4.858	91.454
5	0.188	0.175	12.500	0.415	76.649	10.260



Şekil 12. SG2 mikro yapı görüntüleri,

60 cm/dk sabit hız ile birleştirilmiş numunedeki kaynak bölgesine ait SEM görüntüleri Şekil 13’de ve EDS analizi Tablo 8.’de verilmiştir.



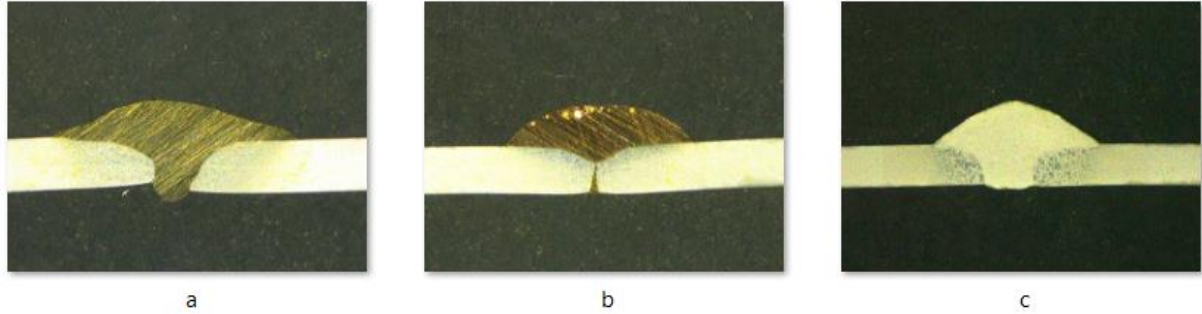
Şekil 13. SG2 ara bölgeden alınan noktasal SEM görüntüleri.

Tablo 8. SG2 ara bölgeden alınan noktasal EDS analizi

Alınan nokta	Element (Ağırlıkça %)					
	C	Al	Si	Mn	Fe	Cu
1	0.061	0.156	0.360	1.078	97.681	0.725
2	0.077	0.182	0.573	0.825	97.997	0.346
3	0.052	0.057	0.971	0.739	98.233	0.251

3.5. Makroyapı

Şekil 14.'de (a)CuAl₈, (b)CuSi₃, bakır alaşımlı dolgu telleri ve masif (c)SG2 dolgu teli ile yapılan CMT-birleştirme makro görüntüleri verilmiştir. SG2 dolgu teli ile yapılan birleştirme diğer iki bakır alaşımlı CuSi₃ ve CuAl₈ dolgu telleri ile yapılan lehim işlemindeki ısı girdisine göre daha yüksek olduğundan ana metaldeki ergime daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 14. Birleştirme sonrası makro görüntüler (200X büyütme), a)CuAl₈, b) CuSi₃, c)SG2

Isı girdisi formülü;

$$Q\left(\frac{j}{mm}\right) = n \frac{I(Ampere) \times U(Volt) \times 60}{v\left(\frac{mm}{dakika}\right)} \quad (1)$$

Q = Isı girdi miktarı (kJ/mm veya J/mm)

U = Kaynak gerilimi (Volt)

I = Kaynak akımı (Amper)

v = Kaynak hızı (mm/dakika veya mm/saniye)

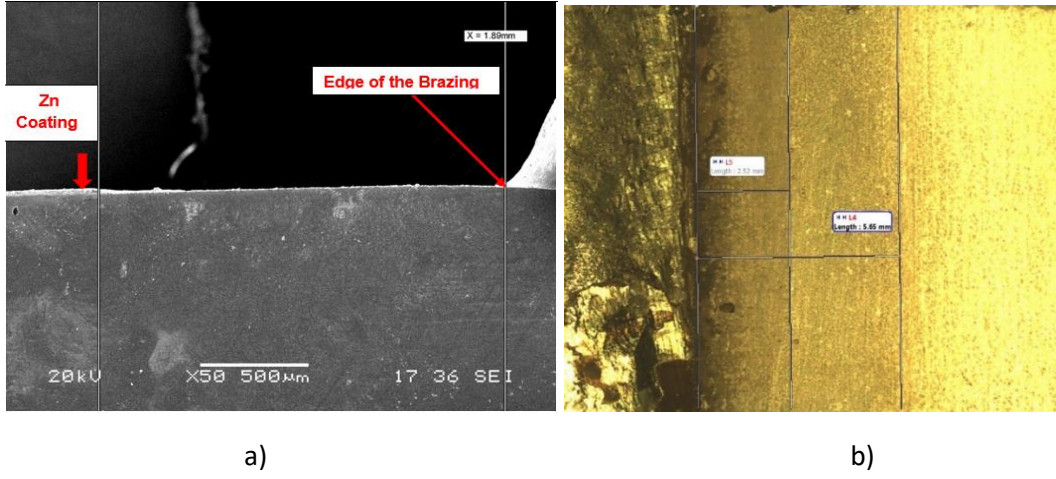
n = Enerji verimlilik faktörü (MIG/MAG için sabit 0,8)

Tablo 9. Kaynak hızına bağlı ısı girdileri(j/mm)

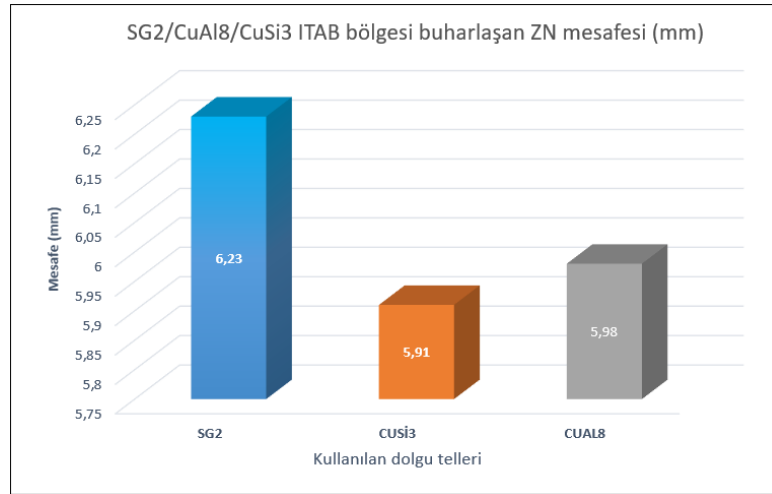
Kullanılan Dolgu Teli	Kaynak Hızı	60 cm/dk
CuSi ₃		240 (j/mm)
CuAl ₈		261 (j/mm)
SG2		272 (j/mm)

3.6. Ana metal yüzeyinden buharlaşan galvaniz mesafeleri

Birleştirme sonrası ısı tehsiri altında kalan ana metal yüzeyinden galvaniz tabakasının buharlaşması gözlemlenmiştir. Buradaki ana metal yüzeyindeki buharlaşmalar sırasıyla CuSi₃ dolgu teli ile birleştirmede 5,91 mm, CuAl₈ dolgu teli ile birleştirmede 5,98 mm ve SG2 ile birleştirmede 6,23 mm olarak ölçülmüş olup Şekil 15.'da gösterilmiştir. SG2 ile yapılan birleştirmede ısı girdisinin fazla olması nedeniyle ana metal yüzeyinde buharlaşma Zn mesafesi daha fazla olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 15. Birleştirme sonrası ITAB’da buharlaşan Zn mesafelerin ölçülen aralıklarına ait örnek görüntüler
a) Kesit-x eksen, b) Üst görünüş



Şekil 16. Birleştirme sonrası ısı tesiri altında kalan bölgeden buharlaşan Zn mesafeleri, SG2, CuSi₃, CuAl₈,

4. Sonuçlar

Otomotiv üretiminde kullanılan SCGA 440 (Dual Phase) galvaniz kaplı çelik sacına CuSi₃, CuAl₈ ve SG2 dolgu telleri kullanılarak CMT-birleştirme işlemleri yapılmıştır. Bu deneylerden aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

- Birleştirmelerdeki farklı dolgu tellerinin kullanılması mukavemet değerlerini etkilemiş olup, CuSi₃ (511 MPa), CuAl₈ (501 MPa) ve SG2 (490 MPa) dolgu tellerinde benzer çekme mukavemet değerleri ölçülmüş, ana metalden yüksek olduğu görülmüştür.
- CuSi₃ ve CuAl₈ dolgu telleriyle birleştirilen tüm numunelerde ana malzemenin difüze olan Fe atomlarının birleştirme bölgesine doğru geçerek dentrit yapıları oluşturmuştur, oluşan bu dentrit yapılarının yoğunluğu mukavemeti arttırdığı gözlemlenmiştir.
- CMT-birleştirme işlemlerindeki ısı girdilerinden dolayı her üç birleştirmede de ITAB bölgelerinde sertlik değerlerinin yükseldiği tespit edilmiştir.
- Birleştirme işlemlerinden sonra SCGA 440 çelik numunelerin ITAB bölgelerinde ana metal yüzeyindeki galvaniz tabakanın buharlaştığı gözlemlenmiştir. SG2 dolgu teli ile birleştirilen numunelerde ısı girdisi fazla olduğu gözlemlenmiş olup ana metal yüzeyindeki Zn buharlaşmasının diğer birleştirmelerden fazla olduğu tespit edilmiştir.

5. Teşekkür

Bu çalışmada literatür bilgisi ile tecrübelerini aktaran Syn. Doç. Dr. Faruk VAROL hocama ve çalışmanın başlatılması ile sonuçlandırılmasına kadarki süreçte maddi ve manevi destek veren AK-PRES OTOMOTİV A.Ş. üst yönetimine ve yöneticilerimize teşekkürlerimi sunarım.

6. Referanslar

- [1] Varol, F., Ozsarac, U., Aslanlar, S., Onat, A., Ekici, M., Ferik, E. (2015) “Influence of Current Intensity and Heat Input in MIG-Brazed Joints of DP 600 Thin Zinc Coated Steel Plates” *Acta Physica Polonica* Vol.127, 968-971.
- [2] Hayat, F. (2010) “TRIP Çeliklerinin Otomotiv Endüstrisinde Kullanımının İncelenmesi” *Gazi Üni. Müh. Mim. Fak. Der. Cilt25, No 4, 701-712.*
- [3] Farabi, N., Chen, D.L., Zhou, Y. (2011) “Microstructure and Mechanical Properties of Laser Welded Dissimilar DP600/DP980 Dual-Phase Steel Joints” *Journal of Alloys and Compounds* 509, 982-989.
- [4] Şen, M., Yıldırım, E., Çebi, H., Özdemir, C. (2015) “Çift Fazlı Çeliklerden Üretilen Otomotiv Sac Parçalarının Dizaynında Geri Esnemeyi Optimize Edebilmek İçin Sac Kalınlığına Bağlı Olarak Büküm Radyüslerinin Belirlenmesi” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt: 12, No:2, 75-95.*
- [5] Ulu, S. (2009) “Çift Fazlı Çelikler” *Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, Cilt:6, No:3, 100-113.*
- [6] Varol, F., Ferik, E., Ozsarac, U., Aslanlar, S. (2013) “Influence of Current Intensity and Heat Input in Metal Inert Gas- Brazed Joints of TRIP 800 Zinc Coated Steel Plates” *Materials and Design, 52, 1099-1105.*
- [7] Varol, F., Ekici, M., Ferik, E., Ozsarac, U., Aslanlar, S. (2015) “Investigation of Mechanical Properties of MIG-Brazed TRIP 800 Steel Joints Using Different Working Angles” *Acta Physica Polonica, Vol.127 965-967.*
- [8] Wang, X.N., Sun, Q., Zheng, Z., Di, H.S. (2017) “Microstructure and Fracture Behavior of Laser Welded Joints of DP Steels With SDifferent Heat Inputs” *Materials Science & Engineering, 699, 18-25.*
- [9] Gül, Ü., 1200M çeliğinin (CMT) kaynak yöntemi birleştirilmesinde mekanik ve metalurjik özelliklerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 2017.
- [10] Kaya, Ö., Lehimleme tekniğinde otomasyon ve işlem parametrelerinin etkilerinin incelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Y.T.Ü. Fen Bilimleri Enst. 2008
- [11] DE Prospekt CMT TR EN Brochure CMT TR <https://www.fronius.com/tr-tr/turkey/downloads> 12.01.2022