

Araştırma Makalesi / Research Article

Direnç Punta Kaynak Robotlarında KSR ve IQR (Adaptif Punta) Modun Spot Punta Performansının Karşılaştırılması

Mustafa YAZAR^{1*}, Milat KUL², Melih ÇAYLAK³, Ali Kemal ALP⁴

¹ AR&GE Merkezi, Şahinkul Makina ve Yedek Parça Sanayii ve Ticaret A.Ş. Bursa, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-9927-3268>, yazatmustafa08@gmail.com

² AR&GE Merkezi, Şahinkul Makina ve Yedek Parça Sanayii ve Ticaret A.Ş. Bursa, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-0732-9354>, milat.kul@sahinkulmakina.com.tr

³ AR&GE Merkezi, Şahinkul Makina ve Yedek Parça Sanayii ve Ticaret A.Ş. Bursa, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4148-0341>, melih_caylak@hotmail.com

⁴ AR&GE Merkezi, Şahinkul Makina ve Yedek Parça Sanayii ve Ticaret A.Ş. Bursa, Türkiye, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-4770-4123>, alpalkemal@gmail.com

Geliş/ Recieved: 07.11.2020

Kabul / Accepted: 02.02.2021

ÖZET: Bu çalışmada, MFDC trafolu direnç punta kaynak robotlarında akım ve kaynak zamanının, KSR (Akım kontrollü) ve IQR (adaptif) mod seçeneğinde punta çekirdek çapına ve deformasyonuna etkisi incelenmiştir. Direnç punta kaynak robotlarındaki çevrim süresini düşürmek için KSR ve IQR mod için optimum parametreler belirlenmiştir. Proje aşamasında, doğru parametrelerle çalışarak emek, zaman ve maliyet minimuma indirmeye çalışılmıştır. Punta kaynak operasyonunda bir adet punta için harcanan sürenin düşük olması karlılık oranını arttıracaktır. Bu proje ile ayrıca, seri üretim şartlarında parça üretimi denemesi yapılarak, ana sanayinin şartnamelerle belirlediği kalitede, çekirdek çapı, çekirdek nüfuziyeti ve çekirdek derinliği elde edilmesi amaçlanmıştır. Referans sac kalınlığı, punta elektrot tipi ve kuvvet sabit tutulmuş olup belirlenen akım ve kaynak zamanı değerlerinin KSR ve IQR modlu seri üretim şartlarında, direnç punta kaynak robotlarında, punta kaynağı yapılarak parçalar tahribatsız muayene testine tabi tutulmuştur. Puntaların çekirdek derinliği ve çekirdek çapları ayrıca ölçülmüştür. Ayrıca literatürde ilgili herhangi bir çalışmaya rastlanılmamıştır. Yapılan bu çalışma ile, servo motorlu direnç punta kaynak robotlarında operasyon süresinin minimuma düşürülmesi sağlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Punta kaynağı, Akım değeri, Kaynak zamanı, Punta çekirdek çapı.

*Sorumlu yazar / Corresponding author: yazatmustafa08@gmail.com

Bu makaleye atıf yapmak için /To cite this article

Yazar, M., Kul, M., Çaylak, M., Alp, A. K. (2021). Direnç Punta Kaynak Robotlarında KSR ve IQR (Adaptif Punta) Modun Spot Punta Performansının Karşılaştırılması. Journal of Materials and Mechatronics: A (JournalMM), 2(1), 26-36.

Comparison of KSR and IQR (Adaptive Spot) Modes for Spot Performance in Resistance Spot Welding Robots

ABSTRACT: In this study, the effect of current and welding time on spot nugget diameter and deformation in KSR (Current controlled) and IQR (adaptive) mode options in resistance spot welding robots with MFDC transformer was investigated. Optimum parameters for KSR and IQR mode were determined to reduce cycle time in resistance spot welding robots. During the study, labour, time and cost were attempted to be minimized by working with the correct parameters. The lowest time for one spot in welding operation increases profitability. In this project, spot weld appearance, nugget diameter measurement and cavity depth within the quality are determined by the specifications of the main industry by making part production trials under mass production conditions. Reference sheet thickness, electrode type and force were kept constant, and spot-welded parts were subjected to the non-destructive test in the resistance spot welding robots under the KSR and IQR mode mass production conditions of the current and welding time values that were determined. The spot weld depth and core diameters of the centers were also measured. In addition, no similar study was found in the literature. With this study, the operation time of the resistance spot welding robots with servo motor has been reduced to a minimum.

Keywords: Spot welding, Current value, Welding time, Spot core diameter.

1. GİRİŞ

Direnç punta kaynağı günümüzde birçok endüstri alanında yaygın olarak kullanılan, farklı ya da aynı kalınlıktaki sacların bir veya daha fazla nokta ile birleştirilmesini sağlayan en eski kaynak tekniklerinden birisidir. Özellikle otomotiv endüstrisinde yaygın olarak kullanılan bu kaynak tekniğinde kaynak işlemini etkileyen parametreler; akım değeri, kaynak zamanı ve elektrot baskı kuvvettir. Bu kaynak parametreleri ile istenen çekirdek çapının oluşturulması amaçlanmaktadır. Otomotiv ana sanayi sac kalınlığına göre istediği çekirdek çapını şartnamelerle belirtmektedir.

Bu şartname şartlarına bağlı kalınarak istenilen kaynaklı bağlantılar için kullanılan punta kaynak robotları AC (Alternative Current) ve MFDC (Mid Frequency Direct Current) trafolu punta kaynak robotları birçok sanayi kuruluşları tarafından kullanılmaktadır. Yaygın olarak Servo motor sistemli kaynak makineleri tercih edilmektedir (Buchanan, 2003). Bunların arasındaki fark; AC trafolu kaynak robotlarının elektrik frekans değeri 50 Hz, MFDC trafolu kaynak robotlarının kaynak voltaj frekansı 1000 Hz. olarak kullanılmaktadır (Anonymous, 2020).

Elektrik nokta direnç kaynağında ısı girdisi veya enerjisi (Q , Joule), kaynak akımı (I , Amper), direnç (R , ohm) ve t (sn) kaynak zamanına bağlıdır (Zhang ve Senkara, 2006) ve Q enerjisi kaynak akımı, kaynak akım uygulama zamanı ve baskı kuvveti ile doğru orantılı olarak ilişkilidir. Elektrodun baskı kuvveti uyguladığı sac yüzeyi ve elektrod baskı kuvveti uygulanan iki sac arasında kalan ara yüzeyde direnç değerleri önemlidir. Baskı kuvveti uygulayan elektrodun geometrisi ve elektrod baskı yükü uygulanan parça yüzeyinin durumu, yüzey direncini ve elektrod baskı kuvvetini etkilemektedir. Yüzey direnci ve elektrod baskı kuvveti arasında ters bir orantı vardır (Babu ve ark., 2001). Teorik çalışmalara göre, yüksek elektrot baskı kuvveti kolaylıkla sıçramaya neden olabilir. Ayrıca, elektrod baskı kuvveti uygulanan iş parçası arasındaki ve sac-sac ara yüzeyindeki dinamik direnç değerlerini düşürebilir ve ilk erime noktasının ortaya çıktığı zamanı değiştirebilir, ilk erime noktası ile sıcaklık tepe değerinin görüldüğü zamanlar arasındaki süreyi uzatabilir. Uygulanan yüksek elektrot baskı kuvveti, başlangıçtaki küçük çekirdek çapını büyümesine yol açar. Bu nedenle, optimum değerlerin bulunması ve kullanılması kaynak

sektöründe ve özellikle otomotiv sektöründe önemlidir (Zhou ve Cai, 2014; Anastassiou ve ark., 1990). Yükseltilen elektrod baskı kuvveti ve kaynak enerji girdisi (Q) ile nokta kaynak çekirdek çapı arasındaki doğru orantılı bir ilişki olması yanında bu değer baskı kuvveti arttıkça belirli bir değerden sonra yatay olarak devam etmekte ve hatta düşmektedir (Zhou ve Cai, 2014b). Kaynak parametreleri (kaynak süresi, kaynak akımı, elektrot kuvveti ve sac metal kalınlığı), dinamik direnç eğrisinin tipik özellikleriyle temsil edilen kaynak koşulları ve kaynak kalitesi indeksleri (çekirdek çapı, çekirdek nüfuziyeti ve çekirdek derinliği) arasındaki ilişkileri kurarak, bu unsurların proses koşullarının değişimine duyarlılığı konusunda çeşitli çalışmalarda mevcut olup, genel kanı bu parametrelerin oldukça karmaşık olduğudur ve dinamik direnç değişimi malzeme dışında elektrod baskı kuvvetinin doğrudan bir etkisidir (Quafi, 2010; Cho ve ark., 2001).

Punta kaynak optimizasyonunda, kaynak zamanı sabit tutularak 3 farklı akım değeri ve akım değeri sabit tutularak 3 farklı kaynak zamanı değeri verilerek KSR (Constant Current Regulation-Konstant Strom Regelung) ve değişken IQR (Inter Quartile Range) mod'da spot punta operasyonu gerçekleştirilmiştir. Test sonuçları için tahribatsız muayene ile çekirdek çapı ölçümü yapılarak akım değeri ve kaynak zamanı değerinin 2 mod da çekirdek çapına etkisi incelenmiştir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışmamızda, MFDC trafolu Hyundai marka punta kaynak robotu kullanılmıştır. Çok farklı robot kol üreten markalar olmasına rağmen çalışma prensipleri aynıdır. Bu çalışmada kullanılan 1.1 mm FEE 340 F çeliğinin fiziksel ve kimyasal özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir. KSR mod robota verilen değerler ile spot punta kaynak işlemini yaparken, IQR mod ise robot verilen kaynak parametrelerini ihtiyaca göre ayarlamaktadır. Kaynak operasyonu için gerekli olan akım değeri ve kaynak zamanını, IOR mod, adaptif punta özelliği ile artırıp veya azaltmaktadır; bu mod ile adaptif punta aktif olarak çalışır.

Çizelge 1. 1.1 mm FEE 340 F Erdemir çeliğine ait fiziksel ve kimyasal özellikler

Malzeme	Akma Dayanımı (MPa)			Çekme Dayanımı (MPa)			Uzama (%)	
FEE 340 F	340-420			410 (Minimum)			22	
Element	C	Mn	P	S	Si	Nb	V	Al
Ağ. % Oranı	0.12	1.5	0.03	0.03	0.5	0.10	0.10	0.015

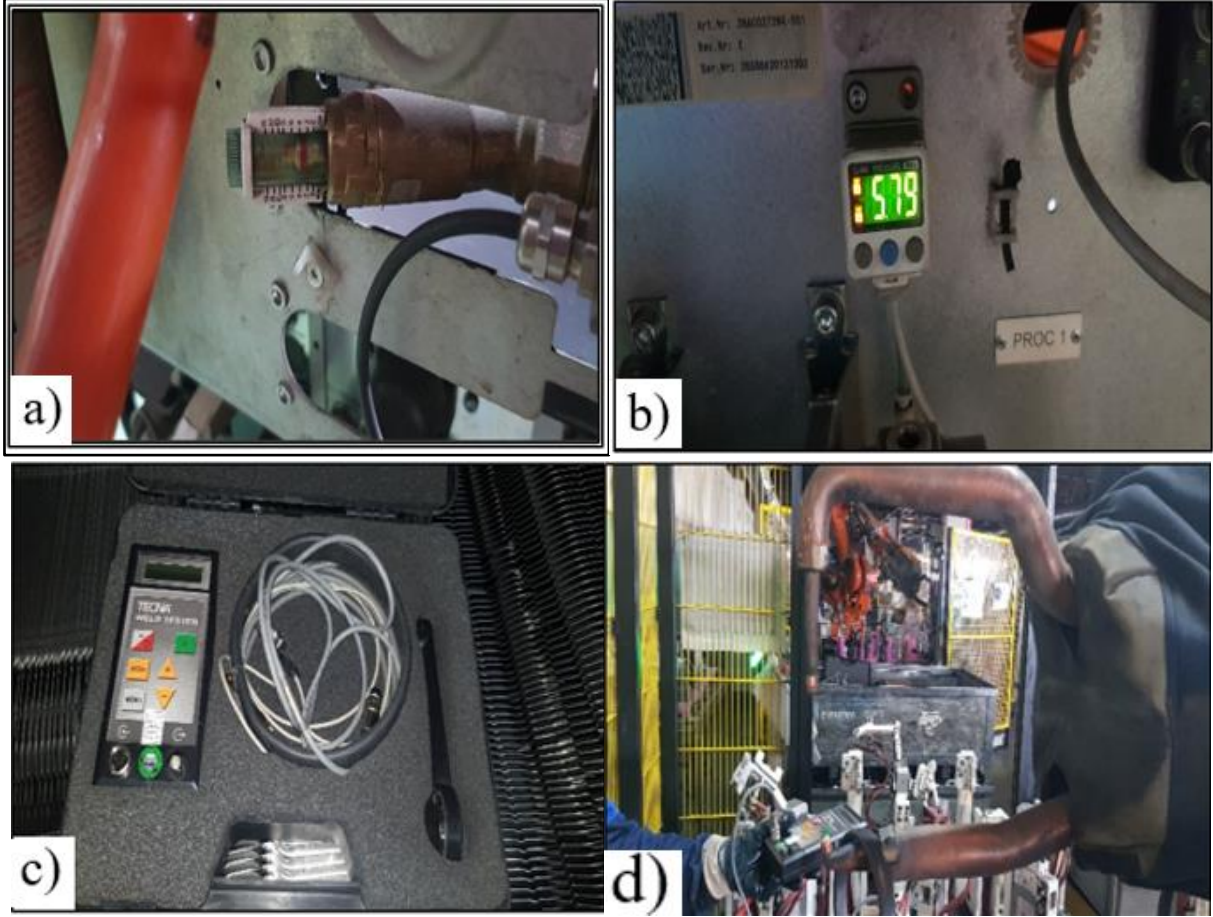
2.1 Robot Punta Optimizasyon Hazırlığı

Şekil 1'de, direnç punta kaynak robotlarında kaynak operasyonu işlemine geçmeden önce yapılması gereken kontrollerin görselleri verilmiştir. Kaynak işlemi için, direnç punta kaynak robotunun punta optimizasyonu öncesi, a) su ve hava debisinin kontrolü, b) gan (elektrod torçu) kuvvet ve akım değeri kontrolü ve c) gan eksenellik kontrolü olarak üç aşamalı işlemler yapılmıştır.

Robota gelen soğutma suyu debisi 6 lt/dk olarak ve hava basıncı ise 5 Bar olarak ayarlanmıştır; eğer istenilen su debisi sağlanamazsa düşük dayanımlı “yanık punta” olarak adlandırılan kalite problemi meydana gelmekte ve hava basıncı yetersiz olursa spot punta operasyonu yapmak için kullanılan fikstür ve fikstür klempleri açma kapama görevini yerine getiremediği için seri üretim esnasında duruşlara neden olmaktadır. Gan kuvvet ve akım kontrolü, spot punta operasyonu için robota verilen kuvvet ve akım değeri kontrolü TECNA marka kaynak test cihazı ile yapılmıştır. Punta görsellik ve çekirdek çapı için gan eksenellik kontrolünde üst ve alt çenenin birinin karşılanması kaynak işleminden önce kontrol edilmiştir.

Punta kaynağı özel proses olduğu için malzemenin fiziksel, kimyasal özellikleri farklı olabilir

bu yüzden seri üretim şartlarında takibi yapılmalıdır. Direnç punta kaynak robotlarında kaynak operasyonu işleminde punta kaynağı üst bölgesinde yığılma çapağı ve punta kaynağı hattında birleştirilen saclar arasında sıçranta şeklinde çapak oluşumu istenmemektedir. Kaynak esnasında oluşan çapaklar çalışan operatör için iş güvenliği riski oluşturmakla birlikte, kaynak fikstürlerine sıçrayan punta çapağı kullanılan alet ve ekipmana zarar vermektedir



Şekil 1. a) Su debisi göstergesi b) Hava Basınç göstergesi, c) TECNA kaynak test cihazı, d) Elektrot baskı kuvveti ve kaynak akımı ölçümü

2.2 Spot Kaynak Robotlarında Punta Parametreleri

Direnç punta kaynak robotunda punta optimizasyonunda akım değeri, kaynak zamanı ve elektrod baskı kuvveti ana parametrelerdir. Şekil 2’de bu çalışmada kullanılan ve referans sac kalınlığına göre şartnameden gelen değerler gösterilmiştir. Direnç punta kaynak robotlarında bir adet punta atmak için çok sayıda parametreler kullanılır; bu parametreler, yaklaşma zamanı, sıkma (baskı) zamanı, kaynak zamanı, soğutma zamanı ve ayrılma zamanı olup birbirini takip eden beş aşamadan meydana gelmekte olup Şekil 3’te görseli verilmiştir. Şekil 2’de verilen değerlere göre 1 mm kalınlığındaki sac için ortalama 8.2 kA kullanılması gerekmektedir ancak akımın etkisini de çalışmak için, bu çalışmada, 7, 9 ve 11 kA değerleri seçilmiştir.

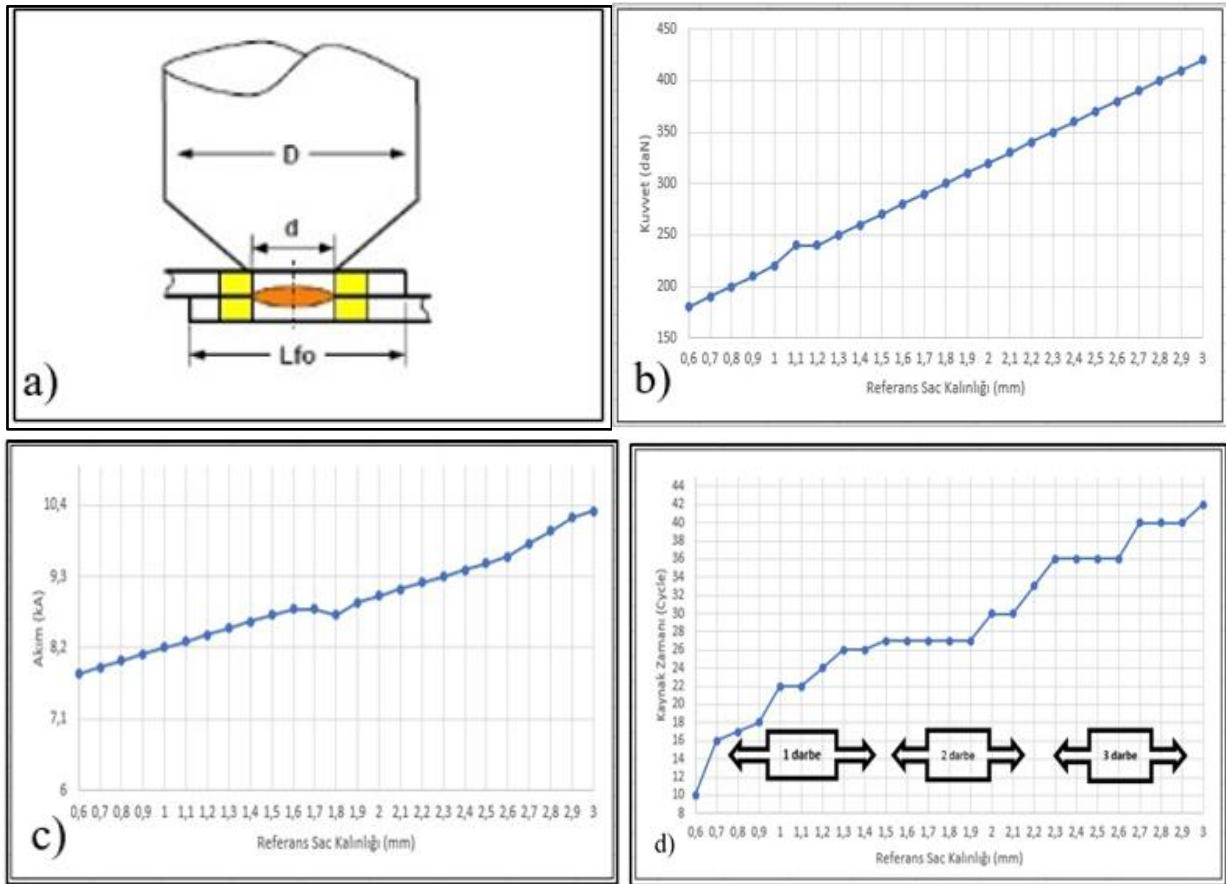
IQR ve KSR modlarında farklı akım değerleri kullanılmıştır. Çizelge 2 ve 3’te ana akım, ön akım ve kaynak zamanları ayrı olarak verilmiş ve KSR mod ile akım miktarı çalışılırken, IQR mod ile kaynak zamanı 800 ms seçilmesine rağmen IQR mod ayarları otomatik olarak değiştirildiği için kaynak zamanlarında kısmi değişiklikler kaynak operatörünün iradesi dışında değişmiştir. Ancak, her iki mod ile kaynak akımının etkisi çalışılabilmiştir.

Çizelge 2. KSR mod ile akım değeri punta optimizasyonu değerleri

Spot	Ana Akım (kA)	Ön Akım ve Son Akım (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	İmpuls
Spot 43	7	7	1100	2
Spot 45	9	9	1100	2
Spot 44	11	11	1100	2

Çizelge 3. IQR mod ile akım değeri punta optimizasyonu değerleri

Spot	Akım (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	IQR Akım (kA)	IQR Kaynak Zamanı (ms)
Spot 43	6.2	800	8.08	920
Spot 45	8.2	800	10.59	910
Spot 44	10.2	800	12.97	880



Şekil 2. a) Bu çalışmada kullanılan nokta kaynak kep görseli, b) Referans sac kalınlığına göre elektrot kuvvet değeri seçimi diyagramı, c) Referans sac kalınlığına göre kaynak akım değeri seçimi için diyagramı d) Referans sac kalınlığına göre kaynak zamanı ve sayısı diyagramı

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

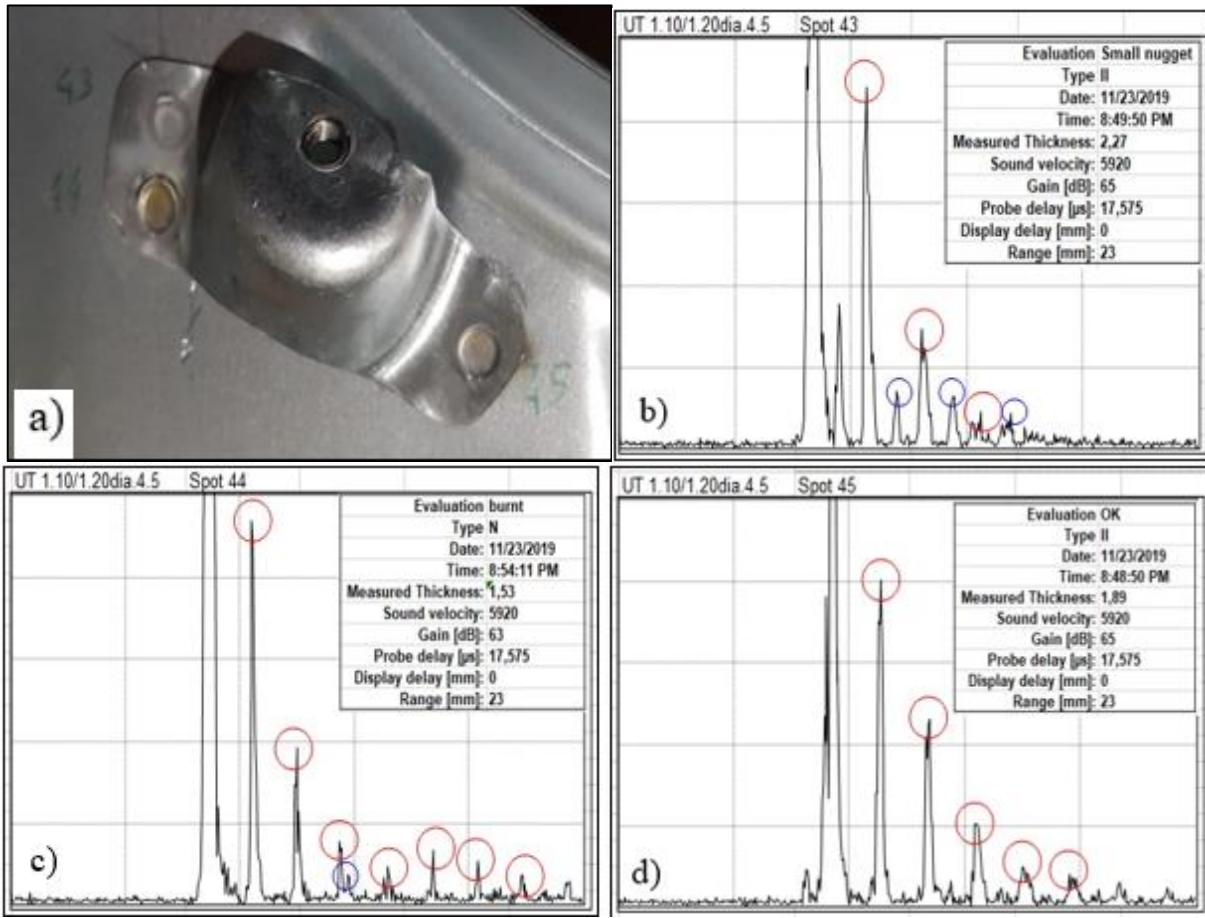
3.1.KSR VE IQR Mod ile Akım Değeri Punta Optimizasyonu

Yapılan test işleminde kaynak süresi sabit tutularak KSR ve IQR mod ile farklı akım değerlerinin spot punta performansına etkisi incelenmiştir.

3.1.1. KSR Mod ile Akım Değeri Punta Optimizasyonu

KSR mod ile yapılan punta optimizasyonu çalışmasında kontrol kullanıcıdadır ve robot akım değerini ve kaynak süresini artırıp veya düşüremez bu nedenle adaptif punta modu aktif değildir. Çizelge 2’de gösterildiği gibi kaynak süresi sabit tutularak 7 kA, 9 kA, 11 kA ana akım kaynak

değerleri ile spot punta kaynağı testi yapılmıştır. Isı girdisi değerleri, Çizelge 2’de verilen değerlere göre, sırasıyla 7.7, 12.1 ve 9.9 kJ olarak bulunmuştur. Kaynak zamanı sabit olduğu ve akım değeri değişmediği için parametre çalışması sırasında değişikliklere rastlanmamıştır.



Şekil 3. a) KSR mod ile test edilen spot punta görseli ve spot ölçüm raporları, b) 43, c) 44, d) 45

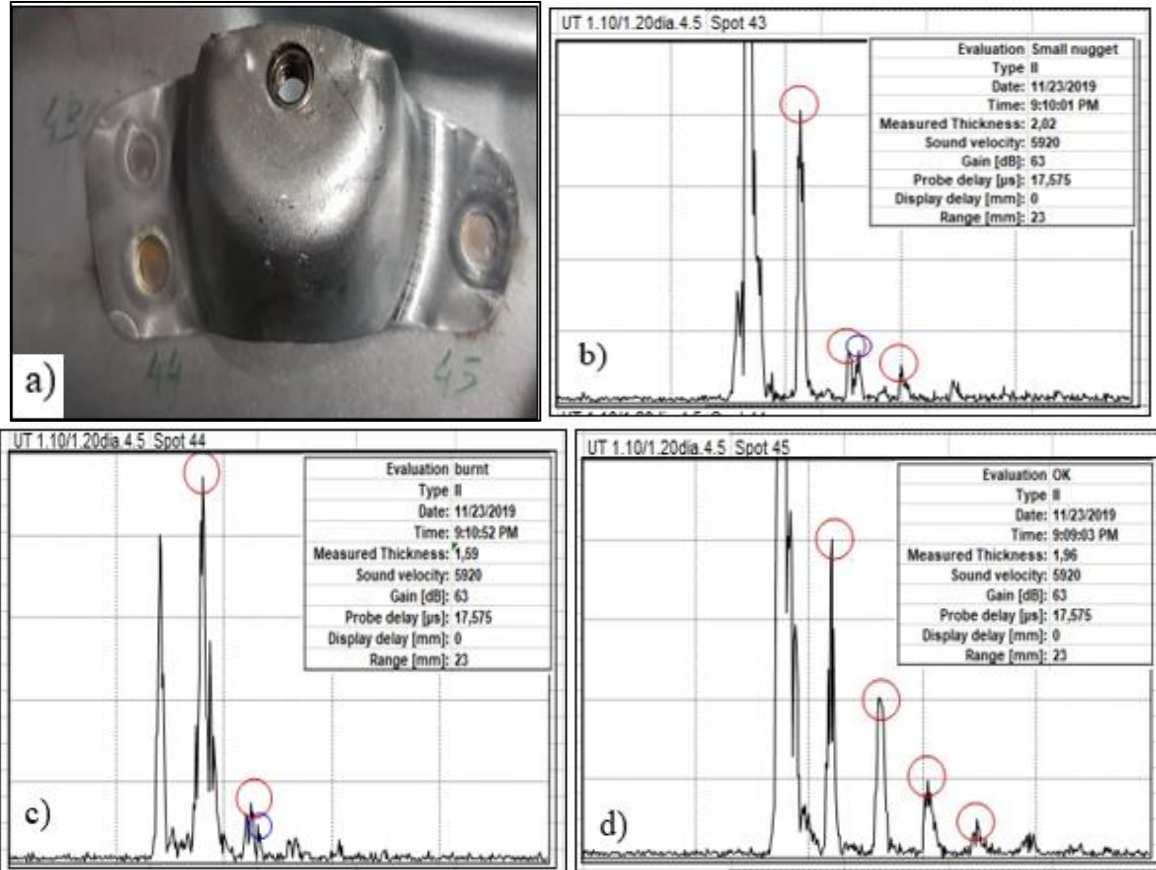
Şekil 3’te Spot 43 test sonucunda 7 kA akım değerinin yetmediği istenen çekirdek çapının oluşmadığı, spot 44 test sonucunda 11 kA akım değerinin yüksek geldiği ve spot puntoda göçertmenin %30 dan fazla olduğu ve spot 45 test sonucuna göre ise 9 kA akım değerinin uygun parametre olduğu rapor sonucunda görülmektedir. Bu raporda, ölçülen kalınlık değerleri, elde edilen piklerle beraber değerlendirilmekte olup, kalınlık değerlerinin üst üste gelen sacların kalınlığından çok düşük olduğu takdirde “yanık” arızası vermekte ve eğer sac kalınlıkları toplamına eşit veya daha fazla ise yeterince nüfuziyet olmadığına karar vermektedir. Ayrıca, Ultralog cihazından elde edilen verilerin pik değerlerinde, sıralı bir düşüş gözlemlenmesi durumunda kaynak oluşumu başarılı olarak da kabul edilmektedir ve bu nedenle spot 43 ve spot 44 nokta kaynaklarından elde edilen pik düzeninin değişken olması nedeniyle başarısız olarak kabul edilmiştir. Piklerin ayrışması veya bölünmesi de geri dönüş piklerinde bir sorun olduğu değerlendirilmesine yol açmaktadır.

3.1.2. IQR Mod ile Akım Değeri Punta Optimizasyonu

IQR Mod ile akım değeri punta optimizasyonunda kaynak süresi sabit olup 6.20 kA, 8.20 kA, 10.20 kA akım değerleri ile spot punta testi gerçekleştirilmiştir. Teste IQR modun özelliği adaptif punta aktif olarak çalışmasıdır. Kaynak öncesi girilen akım değerini ve kaynak süresini spot punta operasyonu için gerekli olan değere göre artırıp azaltma işlemini yapan bir sistemdir. Kısacası, IQR

mod ayarında spot punta operasyonu için gerekli değerleri ayarlaması için kontrol robota verilmektedir.

Çizelge 3'te görüldüğü gibi verilen akım değerini ve kaynak süresini IQR mod adaptif punta özelliğini kullanarak değerleri artırmıştır. Gözle muayenede KSR mod ile aynı sonuçlar görülmektedir. Artış değerleri doğrusal olarak yaklaşık olarak 2 kA civarında olup, Çizelge 3'ten anlaşılacağı üzere, kaynak uygulama zamanının değişimi %15, %10 ve %13 oranlarında olmuştur. Bu aşamada, ısı girdileri hesaplanıp KSR modu ile karşılaştırılırsa, bu durumda, 7.43, 11.4 ve 9.63 kJ değerleri elde edilmektedir. Görüldüğü gibi, IQR mod ve KSR mod değerleri ısı girdisi açısından yaklaşık olarak aynı değerlerde sabitlenmiş olmaktadır.



Şekil 4. a) IQR mod ile test edilen spot görseli ve spot ölçüm raporları b) 43, c) 44, d) 45

Şekil 4'te görüleceği üzere Spot 43 test sonucunda 6.2 kA akım değerini adaptif punta özeliği ile 8.08 kA'ye artırdığı, kaynak süresi ise 800 ms den 920 ms yükselttiği çekirdek çapının oluşmadığı rapor sonucunda görülmektedir. Geri dönüş piklerinin yeterince yüksek olmaması ve/veya kalınlık değerlerindeki değişim (2.02 mm sac kalınlıklarından fazladır ve 1.58 ise sac kalınlıklarının toplamının %75'ine denk gelmektedir) bu sonuca ulaşılmasına sebep olmuştur. Spot 44 test sonucunda ise 10.2 kA akım değerini 12.97 kA çıkmış olup kaynak süresi 800 ms den 880 ms yükselmiş ancak ısı girdisinin KSR mod ile yaklaşık olarak aynı olduğu görülmektedir. Elde edilen spot kaynağının test edilmesi sonucunda, çekirdek kalınlığının çok düşük olduğu ve bu değer %30 dan fazla olduğu için kaynak reddedilmiştir. Spot 45 test sonucunda ise 8.2 kA akım değeri 10.59 kA artmış olup kaynak süresi 800 ms den 910 ms yükselmiştir. Spot punta parametresinin uygun olduğu elde edilen geri dönüş piklerinin düzgün sıralanması ile onaylanmış ve kaynak kabul edilmiştir. Bu kaynaktaki ısı girdisinin de 9 kJ civarında olup, KSR mod ile yapılan kaynak ısı

girdisine çok büyük oranda benzerlik taşımaktadır. Statik direnç eğrisi özellikleriyle yapılan kaynak koşullarında, yani KSR ile yapılan kaynaklardaki durumu ifade eder, kaynak kalitesi indeksleri (çekirdek çapı, çekirdek nüfuziyeti ve çekirdek derinliği) arasındaki ilişkiler sabittir ve değişken direnç değerlerine karşı herhangi bir değişim olmadığı için ısı girdisinin değişkenliği problem yaratmaktadır. Ancak dinamik direnç ölçümlerinde, proses koşullarının değişimine duyarlılığı dikkate alındığı için anlık olarak direnç değişimine cevap verebilmektedir (Quafi, 2010; Cho ve ark., 2001). Optimizasyon çalışmaları çeşitlidir, Taguchi yöntemi kullanılarak (Rawal, 2016) veya yorulma dayanımı esas alınarak yapılan çalışmalar mevcuttur (Rui, 2016). Ancak bu tür bir çalışma literatürde yapılmamıştır.

3.2. KSR ve IQR Mod ile Kaynak Zamanı Punta Optimizasyonu

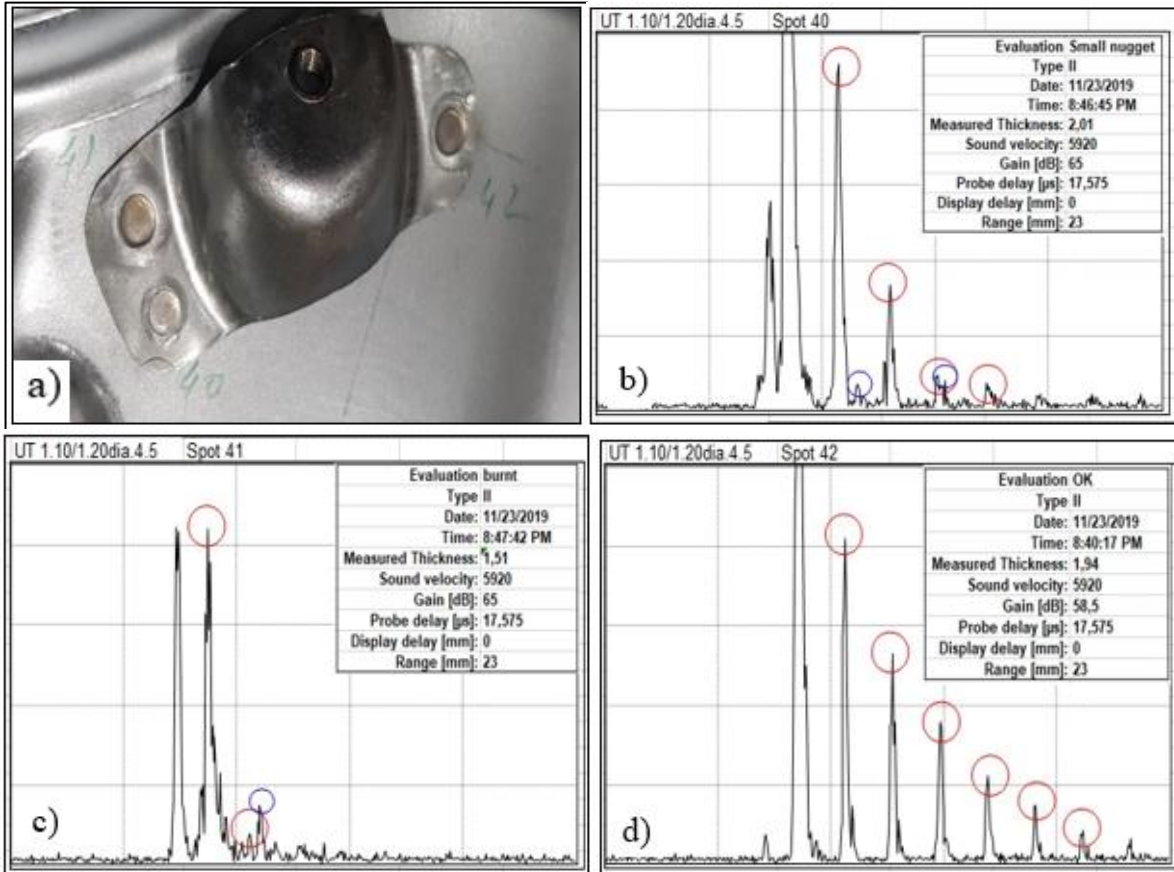
Yapılan test işleminde akım değeri sabit tutularak KSR ve IQR mod ile farklı kaynak zamanı değerlerinin spot punta performansına etkisi incelenmiştir.

3.2.1. KSR Mod ile Kaynak Zamanı Punta Optimizasyonu

Akım değeri sabit tutularak Çizelge 4’te gösterildiği gibi 600 ms, 1100 ms, 1800 ms kaynak zamanı değeri verilerek spot punta kaynağı testi yapılmıştır.

Çizelge 4. KSR mod ile kaynak zamanı punta optimizasyonu değerleri

Spot	Ana Akım (kA)	Ön Akım ve Son Akım (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	İmpuls
Spot 40	9	9	600	2
Spot 42	9	9	1100	2
Spot 41	9	9	1800	2



Şekil 5. a) KSR mod ile test edilen punta görseli ve spot ölçüm raporları b) 40, c) 41, d) 42

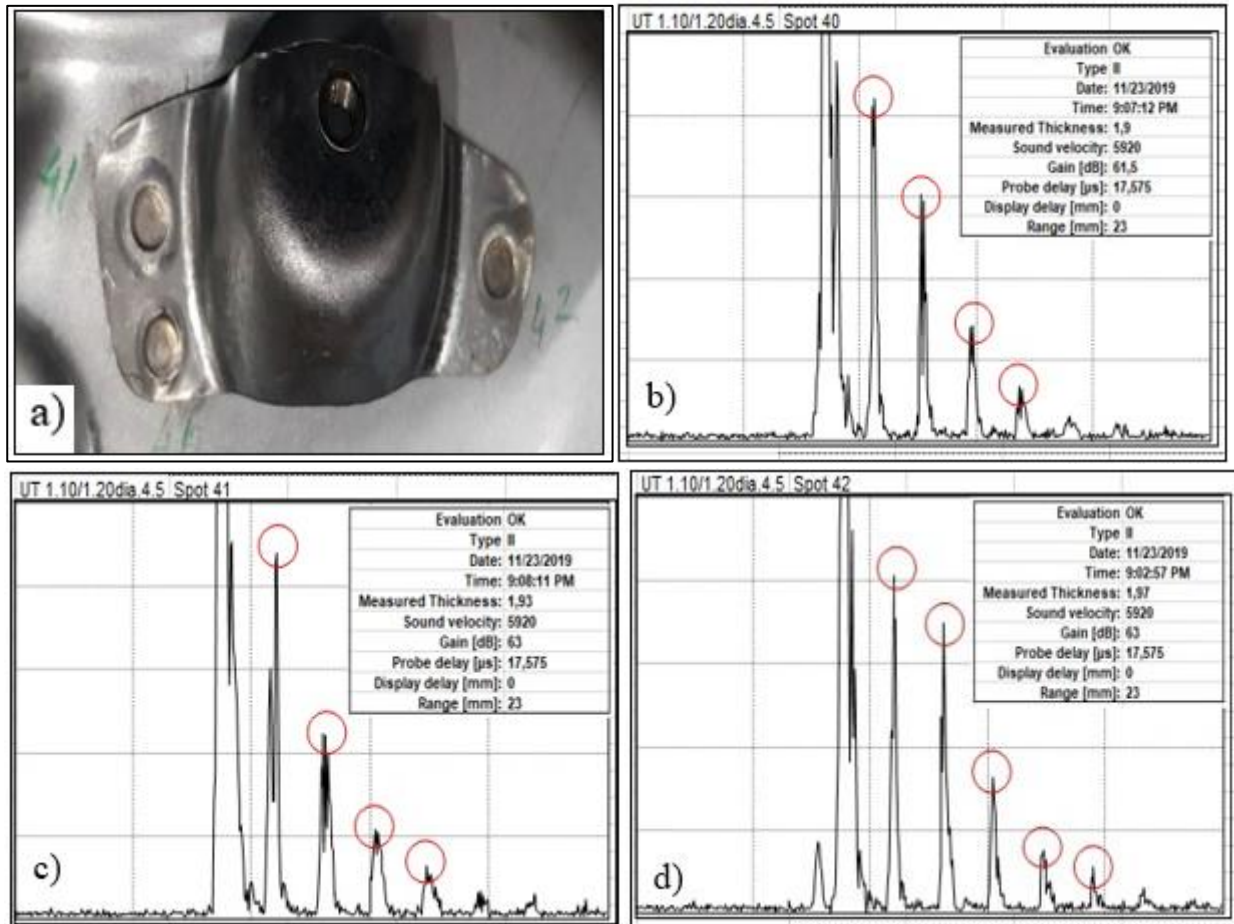
Şekil 5'te görüldüğü gibi Spot 40 test sonucunda 600 ms kaynak süresi değerinin yetmediği çekirdek çapının oluşmadığı rapor sonucunda görülmektedir. Spot 41 test sonucunda 1800 ms kaynak zamanı değerinin yüksek geldiği spot puntada göçertmenin %30 dan fazla olduğu rapor sonucunda görülmektedir. Spot 42 test sonucunda 1100 ms kaynak zamanı değerinin uygun parametre olduğu rapor sonucunda görülmektedir.

3.2.2. IQR Mod ile Kaynak Zamanı Punta Optimizasyonu

IQR Mod ile yapacağımız kaynak zamanı değeri punta optimizasyonunda akım değeri sabit tutularak Çizelge 5'te 400 ms, 800 ms, 1200 ms kaynak zamanı değerleri ile spot punta kaynağı testi yapılmıştır. Testte IQR modun özelliği adaptif punta aktif olarak çalışmasıdır ve girilen akım değerini ve kaynak zamanını genellikle artıracaktır.

Çizelge 5. IQR mod ile hedeflenen kaynak zamanı ve IQR ile elde edilen punta optimizasyonu değerleri

Spot	Akım (kA)	Kaynak Zamanı (ms)	IQR Akım (kA)	IQR Kaynak Zamanı (ms)
Spot 40	8.2	400	10.53	490
Spot 42	8.2	800	10.59	910
Spot 41	8.2	1200	10.61	1280



Şekil 6. a) IQR mod ile test edilen punta görseli, Spot ölçüm raporları, b) 40, c) 41, d) 42

Şekil 6'de görüleceği üzere Spot 40 test sonucunda 8.2 kA akım değerinin adaptif punta özelliği ile 10.53 kA'ye çıktığı ve kaynak zamanı 400 ms den 490 ms yükseldiği görülmüştür. Spot punta parametresinin uygun olduğu rapor sonucunda görülmektedir. Spot 41 test sonucunda 8.2 kA

akım değeri 10.61 kA çıkmış olup kaynak zamanı 1200 ms den 1280 ms yükselmiştir. Spot punta parametresinin uygun olduğu rapor sonucunda görülmektedir. Spot 42 test sonucunda 8.2 kA akım değeri 10.59 kA'e artırmış olup kaynak süresi 800 ms den 910 ms yükselmiştir. Spot punta parametresinin uygun olduğu rapor sonucunda görülmektedir. IQR mod da Çizelge'5 görüleceği üzere Spot 42 test sonucuna göre 910 ms gerçekleşen spot punta kaynak süresi KSR modda Çizelge'4 verilen Spot 42 test sonucuna göre spot punta kaynak süresi 1100 ms gerçekleşmiş olup IQR modda spot punta kaynak işlemi süresinin %17'lik bir kazanç sağlamıştır. Spot punta kaynak işlemi için Çizelge 2 ve Çizelge 3' te Spot 45 test sonuçlarına göre KSR modda verilen akım değeri 9 kA gerekirken IQR modda 8.2 kA akım değeri yeterli gelmekte olup IQR mod enerji maliyetinde %9 daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir. Bu değişimler, IQR modunun kaynak sırasında punta yapılacak olan bağlantının değerlerini ölçüp (örneğin direnci vb.) bu değere uygun akım ve süre değerlerini ayarlayarak daha önceden verilen değerlere göre optimize etmesi ile sonuçlanmaktadır.

Yapılan literatür araştırmasında IQR ve KSR ile ilgili firma katalogu dışında bir bilgiye rastlanmamıştır. Direnç kaynağının optimizasyonuna ait çalışmalar (Quafi, 2010; Cho ve ark., 2001, Saha ve ark., 2012) mevcut olmasına rağmen cihaz ve parametre optimizasyonu hakkında çok sınırlı bilgiler mevcuttur.

4. SONUÇLAR

Bu çalışma sonucunda elde edilen genel sonuçlar aşağıda maddeler halinde özetlenmiştir:

- İstenen görsellikte punta elde edilmiştir.
- Puntalama esnasında çapak oluşumu minimum düzeydedir.
- Sıçrantılı punta noktaları incelendiğinde saclar arası kopyalama probleminden kaynaklandığı tespit edilmiş olup çekirdek çapına etkisi yoktur.
- Optimum parametre değerleriyle çalışmada enerji maliyetinin daha düşük olduğu tespit edilmiştir.
- IQR mod da spot punta operasyon süresinin %17, enerji maliyetinde %9 daha avantajlı olduğu tespit edilmiştir.

5. TEŞEKKÜR

Bu çalışma, Bursa Şahinkul Makina AR-GE merkezi tarafından öz kaynaklı AR-GE_2019_013/2000030000 proje numarası ile desteklenmiştir. Teknik destek için İkrım Kanat'a teşekkür ederiz.

6. KAYNAKLAR

- Anastassiou M., Babit M., Lebrun J.L., Residual stress and microstructure distribution in spot welded steel sheets. *Materials Science and Engineering: A* 125, 141-156, 1990.
- Anonymous, Harms-Werde Product catalogue, www.harms-wende.de/ (Erişim Tarihi: 16.10.2020)
- Babu S., Santella M., Feng Z., Riemer B., Cohron J., Empirical model of effects of pressure and temperature on electrical contact resistance of metals. *Science and Technology of Welding and Joining* 6(3), 126-132, 2001.
- Buchanan G., *Resistance Welding Manual*. Resistance Welder Manufacturers' Alliance, Fourth Edition, Bridgeport, NJ., U.S., 2003.

- Cho Y., Kim Y., Rhee S., Development of a quality estimation model using multivariate analysis during resistance spot welding. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part B: Journal of Engineering Manufacture 215(11),1529-1538, 2001.
- Ho J.E., Wei P.S., Wu T.H., (2012). Workpiece Property Effect on Resistance Spot Welding. IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology 2(6), 925-934, 2012.
- Quafi A.E., Belanger R., Méthot J.F., An On-line ANN-Based Approach for Quality Estimation in Resistance Spot Welding. Advanced Materials Research 112(1),141-148, 2010.
- Rawal M.R., Kolhapure R.R., Sutar S.S., Shinde V., Optimization of Resistance Spot Welding of 304 Steel Using GRA. International Journal of Computer Engineering in Research Trends 3(9), 492-499, 2016.
- Rui Y., Yang R.J., Chen C.J., Agrawal H., Fatigue optimization of spot welds. Body Design Engineering, IBEC, 96, 68-72, 1996.
- Saha D.C., Han S, Chin K.G., Choi I, Do Y.D., Weldability evaluation and microstructure analysis of resistance-spot- welded high-Mn steel in automotive application. Steel Research International 83(4), 352-357, 2012.
- Zhang H., Senkara J., Resistance welding: fundamentals and application, 1st Edition, Taylor & Francis Group, 105, 2006.
- Zhou K, Cai L., On the development of nugget growth model for resistance spot welding. Journal of Applied Physics 115(16), 164901, 2014.
- Zhou K., Cai L., Study on effect of electrode force on resistance spot welding process. Journal of Applied Physics 116(8), 084902, 2014.