

## PTA Kaplamalarda Abrasiv Aşınma Davranışının Değerlendirilmesinde; Bir Taguchi Yaklaşımı

Ali Kaya GÜR, Sinan KAYA

Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metallurji ve Malzeme Mühendisliği, Elazığ, Türkiye  
akgur@firat.edu.tr

(Geliş/Received: 25.04.2017; Kabul/Accepted: 14.06.2017)

### Özet

Bu çalışmada, ferritik paslanmaz çeliklerden AISI 430'un yüzeyi birbirinden farklı karbür oluşturan metal alaşım elementleri plazma transferli ark kaynak kaplama yöntemiyle alaşımlandırılmıştır. Birbirinden farklı oluşturulan bu kaplama tabakaları farklı aşındırıcı, yük ve mesafe parametrelerinde Taguchi dizaynına göre aşındırılmıştır. Abrasiv aşınma kütle kayıp sonuçları Taguchi metodunun en düşük-en iyi kontrol karakteristiği ile optimize edilmiş olup sonuçlar grafiksel yöntemlerle analiz edilmiştir. Çalışma sonunda elde edilen gerçek veriler, L<sub>27</sub> (3\*4) ortogonal diziniyle oluşturulmuş, geri kalan aşınma sonuçları da teorik olarak hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler:** PTA kaplama, Taguchi, Metal Karbür.

## The Evaluating Of Abrasive Behavior In PTA Coatings; A Taguchi Approach

### Abstract

In this study, different carbide-forming alloy elements from each other, AISI 430 ferritic stainless steel is alloyed with the surface of the plasma transferred arc welding coating. These differently formed coating layers are eroded according to the Taguchi design in different abrasive, load and distance parameters. Abrasive wear mass loss results were optimized with the lowest-best control character of the Taguchi method and the results were analyzed using graphical methods. At the end of the study; the actual data obtained were generated with the L<sub>27</sub> (3 \* 4) orthogonal array, and the results of the remaining wear were theoretically calculated.

**Keywords:** PTA coating, Taguchi, Metal Carbide.

### 1. Giriş

Son yıllarda üretim yönetimi araçlarında da gelişmeler olmuş ve günümüz gereksinimleri için teknikler ortaya konmuş yâda yıllardır teoride kalmış yöntemler uygulama alanına geçirilmiştir. Bunlardan biri de, özellikle sanayileşmiş ülkelerde kullanılmakta olan deney tasarım teknikleridir. Tasarım için teklif edilen istatistiksel deneyler, ürün parametrelerinin ve parametre sayılarının artması sonucu, ürün maliyetinin yükselmesine ve hızlı bir şekilde neticeye ulaşamadığından dolayı da uygulanabilirliğini tamamen yitirmektedir. Ancak Taguchi uzun yıllar yaptığı çalışmalar sonucunda, çok az deneme ile çok iyi neticeler veren ortogonal dizileri geliştirmiştir[1]. Ortogonal diziler, faktör seviyelerini, teker değiştirmek

yerine, eş zamanlı değiştirmeyi önermektedir. Bu sayede, deney tasarımında Taguchi yaklaşımı kimya ve elektronik sektöründe olduğu gibi üretim sektöründe kabul görmüştür. Taguchi, deneysel yöntem açısından önemli bir yenilik getirmemesine rağmen, sanayi uygulamalarına yönelik yeni fikirler ortaya atarak ve başarılı uygulamalar sergileyerek, deney tasarımı yönteminin imalat sektöründe kabul görmesinde büyük katkılarda bulunmuştur[2]. Taguchi metodunun esas amacı; kontrol edilebilen değişkenlerin belirli seviyelerde zaman ve maliyet açısından etkin, aynı zamanda kontrol edilemeyen faktörlerin tüm kombinasyonlarına karşı duyarsız ürünler/prosesler tasarlamaktır. Taguchi Deney Tasarım tekniği; ürünlerin kalitesinin olmasının yanı sıra, kalite geliştirmede

çok daha az deneme ile daha iyi sonuç alma imkânını vermektedir[1]. Taguchi deneysel tasarım yöntemi deneysel çalışmalar da hızlı ve kolay sonuç alabilmek için deney sayılarını azaltarak yapılan bir deneysel tasarım yöntemidir. Bu yöntem ilk defa Genichi Taguchi adında bir Japon Mühendis tarafından tanıtıldı[3]. Günümüzde Taguchi deney yöntemi kullanılarak yapılmış birçok imalat ve metalurji alanında çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalarda kontrol edilebilen faktörlerinin, kontrol edilemeyenlere göre ortogonal dizinleri kullanılarak çalışılmıştır[4-9].

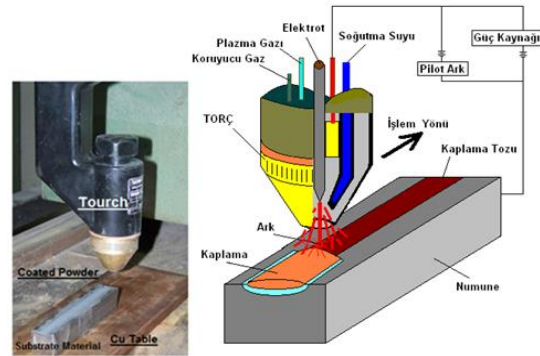
Son yıllarda PTA ile yüzey kaplama işlemlerinde, metal yüzeylerinin dış ortamlardan korunması veya kullanım alanına göre; maruz kaldığı yorulma, sürtünme ve aşınmaları ortadan kaldırmak veya minimuma indirmek amacıyla pek çok çalışma yapılmıştır [10-16].

Plazma transferli ark (PTA) kaynak yüzey kaplama işlemi, kaplama tozları kaplanacak malzemenin yüzeyinde plazma transferli ark kaynak yöntemiyle oluşturulan ergiyik havuza ayrı bir toz besleme ünitesiyle yedirilir. Bununla birlikte, kaplama tozları malzemenin yüzeyine özel bağlayıcılarla yapıştırılarak da kaplama işlemi gerçekleştirilmektedir[17-18]. Tozlar, plazma transferli ark kaynak yöntemi tarafından verilen enerjiyle eritilerek kaplama işlemi yapılmaktadır. Yüzey özellikleri ve kalitesi, kaplama işlemini gerçekleştirecek kaplama yöntemine ve seçilen alaşımlara bağlıdır. Bu yüzden, plazma transferli ark kaynak yöntemi ve lazer kaplama gibi yüksek enerji yoğunluklu kaynaklar kullanılarak yapılan yüzey kaplamaları, yüzeylerin mekanik, korozyon ve tribolojik özelliklerini geliştirmek için yaygın olarak kullanılmaktadır [19-24].

Bu çalışmada, AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzeyi PTA metoduyla FeCrC, SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarıyla aynı parametrelerde kaplanmıştır. Kaplama tabakaları abrasiv aşınma direnci, Taguchi dizayn metodunun L<sub>27</sub> (3\*4) ortogonal dizini kullanılarak en düşük en iyi kontrol özelliğiyle deneysel ve istatistiksel olarak optimize edilmiştir. Taguchi metoduyla, kaplama tabakasının aşınma direncinde uygulanan parametrelerinin abrasiv aşınma direncine etkisi değerlendirilmiştir.

## 2. Deneysel Çalışmalar

Bu çalışmada; AISI 430 ferritik paslanmaz çelik 100\*14\*14 altlık mazlemesi olarak kullanıldı. AISI 430 ferritik paslanmaz çelik yüzeyine 6 mm genişliğinde 1 mm derinliğinde kanallar açıldı, Şekil 1'de görülmektedir. Plazma transfer ark kaplama metodundan önce AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin yüzeyi etanolla yıkayıp kurularak temizlendi. Kaplanacak FeCrC, SiC ve B<sub>4</sub>C tozları bu kanallara alkolle ıslatılarak serildi ve numuneler sonrasında 250 C sıcaklıkta fırında 30 dakika kurutuldu. Kaplamada kullanılan altlık malzemenin ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimi Tablo 1'de verilmiştir. PTA yöntemiyle yüzey alaşımlama işleminde kullanılan işlem parametreleri Tablo 2'de verilmiştir.



Şekil 1. Kaplama nununesi, PTA torcu ve PTA yüzey alaşımlamanın şematik görüntüsü

Tablo 1. Kaplama malzemesinin ve kaplama tozlarının kimyasal bileşimi

	Fe	Cr	C	Si	Mn	P
AISI 430	Kalan	12-14	0,08	1	1	0,04
FeCrC	16,27	70,21	12,44	1,08	-	-
SiC			% 99 saf			
B <sub>4</sub> C			% 99 saf			

Plazma transferli ark kaynağı yöntemi ile yüzey kaplama işlemleri 150 A'de gerçekleştirildi. Argon koruyucu gazın akış hızı 25 m<sup>3</sup> / sa olarak seçilirken, plazma gazının akış hızı 0,5 m<sup>3</sup>/sa olarak seçildi. Plazma transferli ark kaynağı yöntemi ile yapılan kaplama malzemesinin makro görünümü Şekil 2' de verilmektedir.

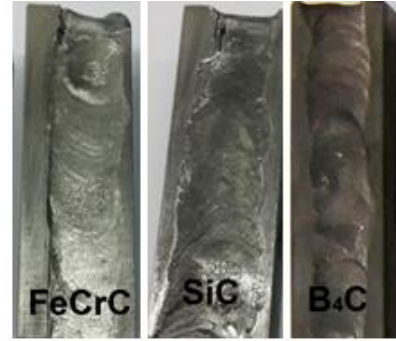
PTA yöntemi ile kaplandıktan sonra kaplama tabakasında herhangi bir çatlak veya bozluğa rastlanmamıştır. Kaplama tabakasının kalınlığı, ve mikroyapısının optik mikroskopisi Şekil 3’de görülmektedir

PTA yöntemi ile farklı metallerle yüzeyi alaşımlandırılıp kaplanmış AISI 430 ferritik paslanmaz çeliğin optik mikroyapısını incelendiğinde kaplama tabakaları altlık malzemesinden kaplama tabakasının yüzeyine doğru dentritik katılaşmalar görülmektedir. Kaplama tabakalarında üçlü karbür fazlarının yanısıra kaplama türüne bağlı olarak  $Fe_3(C,B)$ ,  $M_7C_3$ ,  $Cr_{23}C_6$ ,  $Fe (Cr,B) SiC$  and  $B_4C$  gibi sert bileşikli fazlarında oluşmuştur. Şekil 4’de XRD analiz sonuçları verilmiştir. Abrasiv analizler için, aşınma numuneleri  $10*10*10$  mm ebatlarında kaplama numunesinin merkezinden olacak şekilde kesilmiştir.

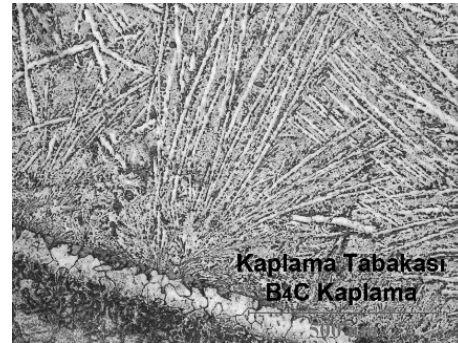
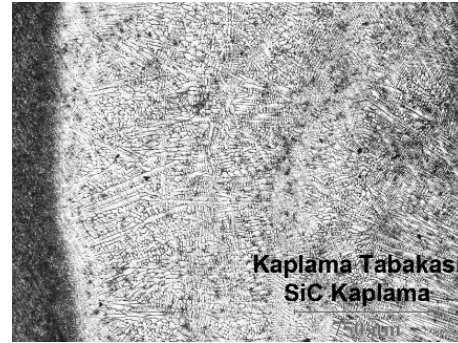
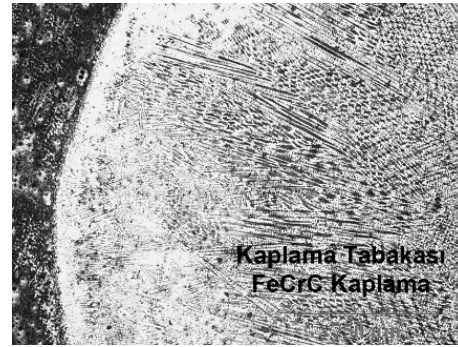
**Tablo 2.** PTA Kaynak kaplamanın deneysel parametreleri

Parametre	Değer
Akım (A)	150
Gerilim (V)	19
Koruyucu Gaz (Ar, m <sup>3</sup> /h)	25
Plazma Gazı (Ar, m <sup>3</sup> /h)	0.5
Elektrot Çapı (mm)	4.8
Elektrot Türü	% 2 Th, Tungsten (W)
Kaynak Hızı (mm/s)	0.15
Torç ile Kaplama Tabakası Arası Mesafe (mm)	3≈ 4
Torç Uç Çapı (mm)	3.25
Elektrot-Torç Mesafesi, Set Back (mm)	3

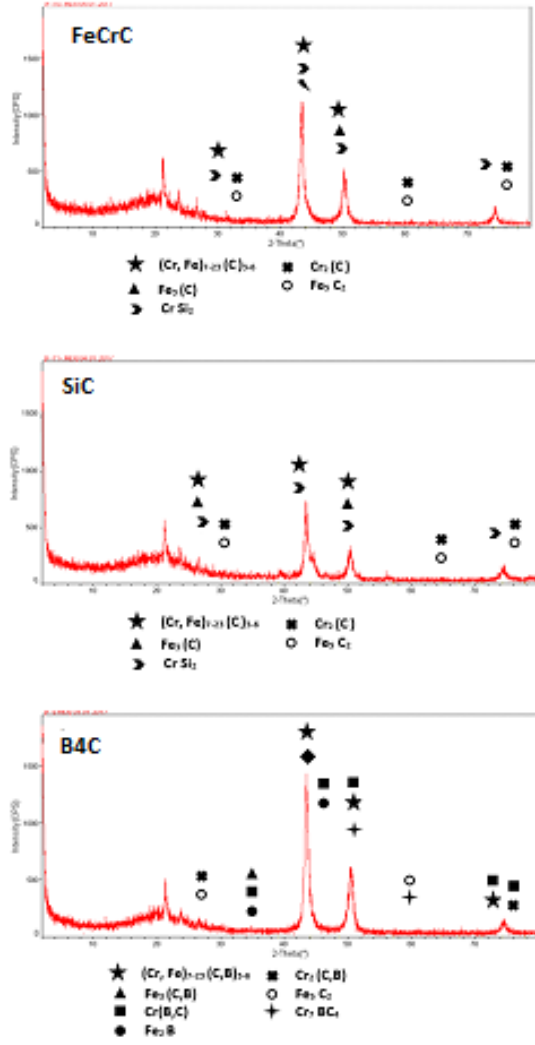
Abrasiv aşınma işlemleri şematik ve normal görüntüsü Şekil 5’de verilen aşınma aparatında pin-on disc sistemiyle yapılmıştır. Aşındırılacak numunenin kaplama tabakası aşındırıcıya 90°’lik açı ile yüklenerek 16 dev/dak. hızında abrasiv aşındırıcıya temas ettirilmiştir. Abrasiv aşınma işleminde sonuçlar, kütle kaybı hesaplanarak değerlendirilmiştir. Abrasiv aşınma işlemi 16-60-220 meshlik aşındırıcılarda, 10-20-30 metre mesafede ve 6-10-16 N yükler altında Taguchi deney tasarım yöntemi ile değerlendirilmiştir. Her aşınma işlemi sonrasında aşındırıcı yüzeyi temizlenmiştir. Şekil 4’de aşınma işlemi görülmektedir.



**Şekil 2.** Alaşımlanan tabakanın dijital görüntüsü



**Şekil 3.** FeCrC, SiC ve B<sub>4</sub>C kaplamanın optik görüntüsü

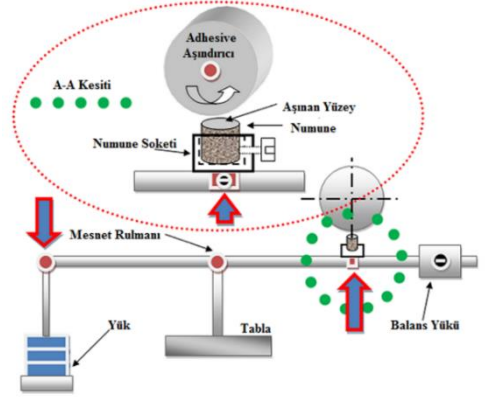


Şekil 4. Numunelerin XRD analiz sonuçları

### 3. Taguchi Deney Dizaynı ve Sonuçları

PTA Yüzey kaplama işleminde dört farklı parametre ve her bir parametrenin üç farklı seviyesi kullanıldı. Aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve bu deney sonuçlarının en küçük en iyi karakteristiğine göre elde edilen S/N oranları verilmektedir. Parametre olarak, kaplama tabakası, aşındırıcı tane boyutu, aşınma mesafesi ve uygulanan yük. Bu parametreler ve seviyeleri Tablo 3’de görülmektedir.

Taguchi aşınma planı Tablo 3’de ki parametrelerin üçlü seviyeleri kullanılarak hesaplanmış ve orthogonal  $L_{27}$  ( $4 \times 3$ ) dizini kullanılmıştır.



Şekil 5. Abrasive aşınma aparatının şematik görüntüsü ve aşınma temas resmi

Bu çalışmada Taguchi deney tasarımında S/N yardımıyla elde edilen izafi kütle kaybı verilerin en düşük aşınma değerlerini elde etmektir. Taguchi Deney Tasarımı yönteminde elde edilen deney sonuçları Sinyal/gürültü (S/N) oranına çevrilerek değerlendirilmektedir.

Tablo 3. Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Test Parametere	Seviye I	Seviye II	Seviye III
A	Kaplama Tabakası	FeCrC	SiC	B <sub>4</sub> C
B	Aşındırıcı Grid	16	60	220
C	Aşınma Mesafesi (mt)	10	20	30
D	Uygulanan Yük (N)	6	10	16

Sinyal/Gürültü oranı değeri küçük olan değer iyi, büyük olan değer iyi, nominal değer iyi olarak kalite değerlerinin hedeflendiği değere göre farklı şekillerde hesaplanır ve analiz edilir. Diğer önemli bir nokta ise deney tasarımının dengeli olmasıdır, yani faktörlerin birbirinden bağımsız olarak değerlendirilmesini sağlaması ve bunun



çinde tasarımda faktörlerin farklı seviyeleri için her test edilen şart altında eşit sayıda örnekleme yapılmasıdır. Taguchi'nin standart tasarımları bu sistem üzerine kurulmuştur [19,20].

Bu yaklaşımdan yola çıkarak “en küçük en iyidir” analizi kullanılmıştır. PTA Yüzey kaplama işleminde dört farklı parametre ve her bir parametrenin üç farklı seviyesinin abrasiv aşınmalarının tamamı yapılırsa 81 deney, Taguchi deney tasarımı ile ise tasarımın S/N analizi  $L_{27}$  ortogonal dizini kullanılarak bu deneyler yapılmadan hesaplanmıştır.  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre elde edilen kütle kayıpları Tablo 2 ve Tablo 3’de ise hesaplanan toplam 81 kütle kaybı ve S/N analizi görülmektedir.

**Tablo 4.**  $L_{27}$  ortogonal dizini ve gerçek kütle kayıpları

Sıra No	Kontrol Faktörleri				Ölçülen Kütle Kaybı (gr)	S/N oranı (dB)
	A	B	C	D		
1		16	10	6	0,0184	34,70364354
2		16	10	6	0,0171	35,34007779
3		16	10	6	0,0185	34,65656543
4	FeCrC	60	20	10	0,0053	45,51448261
5		60	20	10	0,0041	47,74432287
6		60	20	10	0,0049	46,1960784
7		220	30	16	0,0170	35,39102157
8		220	30	16	0,0193	34,28885382
9		220	30	16	0,0181	34,8464285
10		16	20	16	0,0088	41,11034656
11	16	20	16	0,0078	42,15810795	
12	16	20	16	0,0091	40,81917215	
13	SiC	60	30	6	0,0032	49,89700043
14		60	30	6	0,0017	55,39102157
15		60	30	6	0,0025	52,04119983
16		220	10	10	0,0039	48,17870786
17		220	10	10	0,0089	41,01219987
18		220	10	10	0,0055	45,19274621
19		16	30	10	0,0074	42,61536561
20	16	30	10	0,0065	43,74173287	
21	16	30	10	0,0070	43,0980392	
22	B <sub>4</sub> C	60	10	16	0,0028	51,05683937
23		60	10	16	0,0032	49,89700043
24		60	10	16	0,0035	49,11863911
25		220	20	6	0,0051	45,84859648
26		220	20	6	0,0038	48,40432807
27		220	20	6	0,0045	46,93574972

Taguchi tasarımlarında en çok kullanılan istatistik değeri S/N oranıdır ve bu oran sağlam tasarımın performansını ölçmek için kullanılır. En yüksek S/N oranı deney tasarımında istenen optimum nokta olan en düşük değere hesaplanmış kütle kaybına takabül eder [21]. Yapılan deneysel çalışmada optimum sonucu elde etmek için kullanılan parametre seviyelerinin en yüksek S/N oranı olan seviyeleri alınır. Optimum

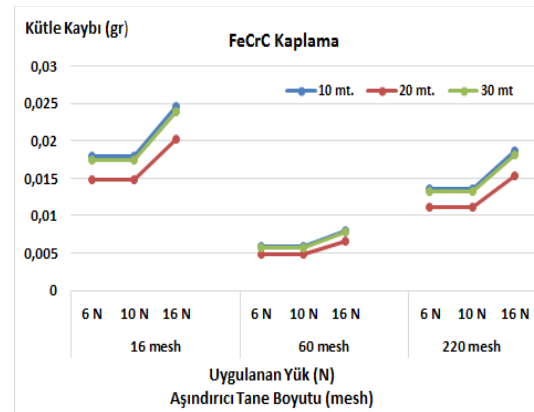
değerler A3B1C2D2 eşitliği yardımıyla aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır [25]. Şekil 6-8’de ki grafikler aşağıdaki formüller sayesinde hesaplanmaktadır. Aşağıdaki formüllerde  $\eta$  en yüksek S/N değeri  $\eta_m$  ise optimum en küçük en iyi aşınma değerini göstermektedir.

$$\text{Optimum } \eta = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (1)$$

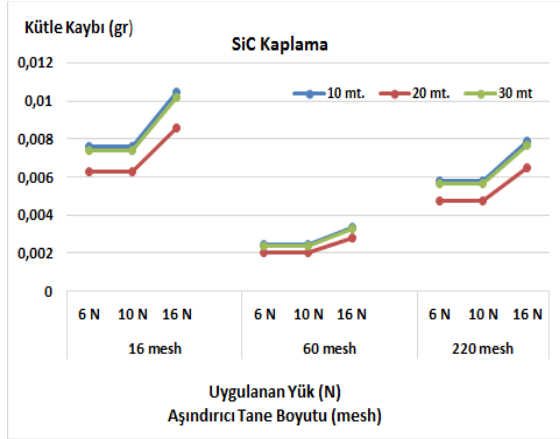
$$wt = \sqrt{10^{-\frac{\text{optimum } \eta}{10}}} \quad (2)$$

AISI 430 çeliğinin aşındırılmış yüzeyinin abrasiv aşınması sonucunda elde edilen veriler değerlendirildiğinde 68 numaralı deneyde elde edilecek olan veriler, en yüksek S/N değerinde olduğu gösterir. B<sub>4</sub>C kaplı bu numunede 60 gridlik aşındırıcıda 20 metre mesafede ve 10 N yük altında 0,001886073 gr kütle kaybı ve 54,48882977 S/N değeri olarak ölçülmüştür.

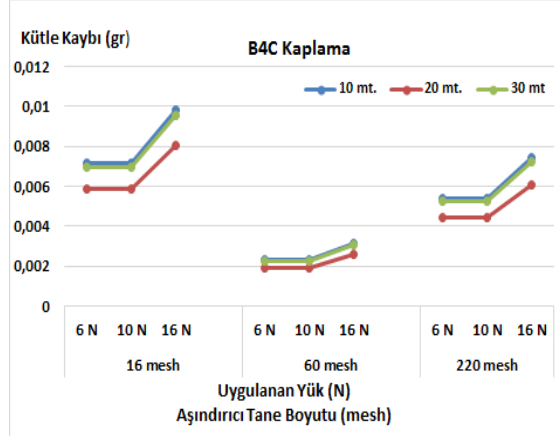
Şekil 6-8’de “en küçük en iyidir” teorisine göre hesaplanan teorik aşınma değerleri grafikleri ve  $L_{27}$  ortogonal dizinine göre elde edilen kütle kayıpları grafikleri verilmiştir. Şekil 6-8 grafiklerinde grafik üzerinde yatay eksene paralel aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yüklere bağlı olarak aşınma oranının, uygulanan yük arttıkça aşınmanın arttığı ancak aşındırıcı tane boyutunda böyle bir durum söz konusu değildir. Aşındırıcı tane boyutuna bağlı olarak aşındırıcı taneleri talaş oluşturmak için yüzey içine doğru yeterince uzanır ve malzeme yüzeyinden kesme yaparak talaş kaldırır [25].



**Şekil 6.** FeCrC kaplama tabakasının hesaplanmış kütle kaybı değerleri grafikleri



Şekil 7. SiC kaplama tabakasının hesaplanmış kütle kaybı değerleri grafikleri



Şekil 8. B<sub>4</sub>C kaplama tabakasının hesaplanmış kütle kaybı değerleri grafikleri

Şekil 9'da PTA yöntemiyle kaplanan kaplama tabakaları L<sub>27</sub> (3\*4) orthogonal dizinine bağlı olarak abrasiv aşınma testine tabi tutulmuş ve elde edilen kütle kayıpları verilmiştir.. Şekil 9 incelendiğinde görüldüğü gibi kaplama tabakasının her bir faktörüne ve seviyesine göre farklı değişken sonuçlar elde edilmiştir. Ancak bu durum teorik olarak hesaplanmış ve oluşturulmuş

Şekil 6-8'de ki grafiklerle karşılaştırıldığında durum daha iyi anlaşılabilir ve değerlendirilebilmektedir. Her bir kaplama kendi içinde değerlendirilirse faktörlerin ne kadar etkili oldukları görülmektedir.

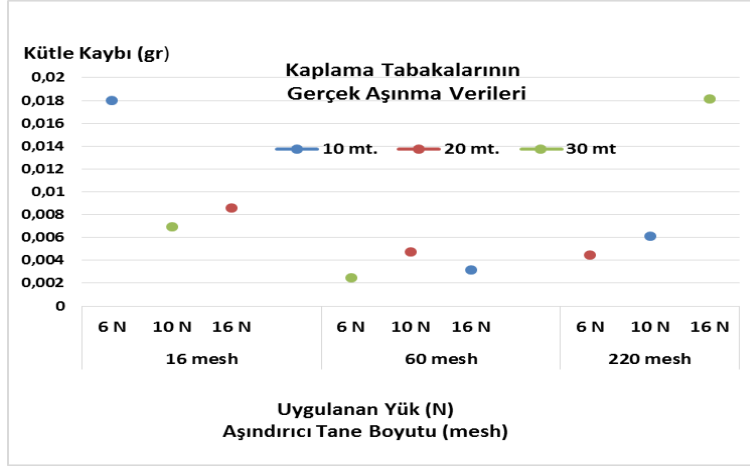
Talaş kaldırılamayan durumlarda ise ya aşındırıcı taneleri yüzey içine doğru uzanır fakat talaş oluşturmaya yetecek kadar değil, yüzey deforme olur ve enerji tüketilir, ama malzeme kaldırılamaz ve yüzeyde ezme sebepleri olur ya da aşındırıcı taneleri yüzeye temas eder ancak sadece sürtme/ovalama sürtünmesi oluşur, enerji tüketilir, ancak hiçbir malzeme kaldırmadan ovalama yapar.

Şekil 10'da alaşımlandırılmış AISI 430 paslanmaz çelik yüzeyinde kaplama tabakasının abrasiv aşınma değerindeki düşüş-artışlar ve buna bağlı olarak elde edilen kütle kaybı grafiklerinde elde edilen parabolik aşınma çizgilerine ulaşılmıştır. Çalışma sonunda elde edilen veriler kütle kaybı, kaplama tabakası, uygulanan yük ve kullanılan aşındırıcıya bağlı olarak elde edilen kütle kayıpları verilmiştir.

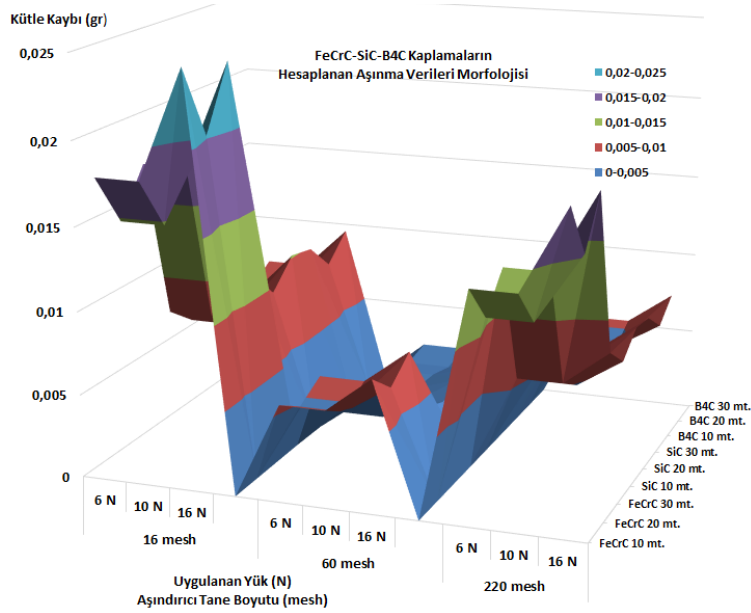
#### 4. Sonuçları ve Tartışma

Bu çalışmada AISI 430 paslanmaz çeliğin yüzeyi PTA yöntemiyle FeCrC, SiC ve B<sub>4</sub>C tozlarıyla sabit enerji girdisi değerlerinde kaplanmıştır. Kaplama tabakaları L<sub>27</sub> (3\*4) orthogonal dizinine bağlı olarak abrasiv aşınma testine tabi tutulmuş ve Taguchi deney düzeneğiyle değerlendirilmiştir. Taguchi deney tasarımındaki "en küçük en iyidir" performans karakteristiği göz önüne alınarak yapılan değerlendirme ile elde edilen en yüksek S/N değeri (-54,48882977 dB.) en düşük kütle kaybı (0,001886073 gr.) aşınma direncine tekabül edeceği 68. Sıradaki B<sub>4</sub>C kaplama tabakasında hesaplanmıştır.

GERÇEK AŞINMA DEĞERLERİ										
		16 mesh			60 mesh			220 mesh		
		6 N	10 N	16 N	6 N	10 N	16 N	6 N	10 N	16 N
FeCrC	10 mt.	0,018					0,00316			
SiC	20 mt.			0,00856		0,00476		0,00446	0,0061	
B4C	30 mt.		0,00696		0,00246					0,01813



Şekil 9. Kaplama tabakalarının hesaplanmış kütle kaybı değerleri grafikleri



Şekil 10. Kaplama tabakalarının kütle kaybı değerleri grafikleri

## 5. Kaynaklar

1. Gür, A.K. (2013). Investigating Wear Behavior By Using Taguchi Method FeCrC/B<sub>4</sub>C Powder Alloys Coating By Plasma Transferred Arc Weld Surfacing. *MP-Materials Testing*, **55(6)**: 462-467.

2. Taguchi, G. (1995). Quality Engineering (Taguchi Methods) For The Development Of Electronic Circuit Technology. *IEEE Transactions On Reliability*, **44-2**.

3. Gür, A. K., Yiğittürk, N. ve Bilen, F.A. (2013). Analysis of Adhesive Wear Behavior of Metal Matrix Composites Additive Cr<sub>2</sub>C<sub>3</sub>" *I. European Conference In Technology and Society (25-27 Jun 2013)*, IUS, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina.

4. Şahin, Y. (2005). Optimisation of testing parameters on the wear behaviour of metal matrix composites based on the Taguchi method, *Materials Science and Engineering A*, **408**: 1-8.
5. Mishra, A.K., Sheokand, R., Srivastava, R.K. (2012). Tribological Behaviour of Al-6061 /SiC Metal Matrix Composite by Taguchi's Techniques, *International Journal of Scientific and Research Publications*, **2**-10.
6. Gür, A.K., Çaligulu, U., Taşkın, M. (2011). The Optimisation of Adhesive Wear Behavior of AlMgSi/SiC Alüminyum Composite with Taguchi Method, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, **5(9)**: 1584-1590.
7. Özay, C., Ballıkaya, H. ve Savas, V. (2013). Investigation on Surface Roughness Of D3 Tool Steel Using. Tangential Cylindrical Grinding Method, *I. European Conference In Technology and Society (25-27 Jun 2013), IUS, Sarajevo, Bosnia-Herzegovina*.
8. Gür, A.K., Özay, C., Orhan, A., Buytoz, S., Caligulu, U. and Yigiturk, N. (2014). Wear Properties of Fe-Cr-C and B<sub>4</sub>C Powder Alloy Coating on AISI 316 Stainless Steel by Taguchi Method" *MP-Materials Testing*, **56 (5)**: 393-398.
9. Ross, P.J. 1996. Taguchi techniques for quality engineering, McGraw – Hill International book company, ISBN 0-07-114663-6, 1-73.
10. Buytoz, S., Caligulu, U., Gür, A.K. and Orhan, A. (2013). Microstructural Properties of Fe-Cr-C and B<sub>4</sub>C Powder Alloy Coating on Stainless Steel by Plasma Transferred Arc Weld Surfacing, *Arabian Jou. for Sci. and Eng.(ASJE)*, **38 (8)**: 2197-2204.
11. Yıldız, T. ve Gur, A.K. (2011). Microstructural Characteristic Of N<sub>2</sub> Shielding Gas in Coating FeCrC Composite to The Surface of AISI 1030 Steel with PTA Method, *Archives of Metallurgy and Materials*, **56**: 723-729.
12. Islak, S., Eski, O., Buytoz, S., Karagöz, M. ve Stokes, J. (2012). Microstructure and microhardness characterization of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-SiC Coatings Produced Using the Plasma Transferred Arc Method, *Materials Testing*, **54(11-12)**,:793-799.
13. Özel, S., Somunkran, İ., Kurt, B. ve Orhan, N. (2008). Microstructural Characteristic of NiTi Coating on Stainless Steel by Plasma Transferred Arc Process, *Surface and Coating Technology*, **202(15)**: 3633–3637.
14. K.H. Lo, F.T. Cheng, H.C. Man (2003). Cavitation erosion mechanism of S31600 stainless steel laser surface-modified with unclad WC", *Materials Science and Engineering A*, **357**, 168–180.
15. Bourithis, L., Milonas, A. ve Papadimitriou, G.D. (2003). Plasma transferred arc surface alloying of a construction steel to produce a metal matrix composite tool steel with TiC as reinforcing particles, *Surface and Coatings Technology*, **165**: 286–295.
16. Lu, S.-P., Kwon, O.-Y., Guo, Y. (2003). Wear behavior of brazed WC/NiCrBSi(Co) composite coatings, *Wear*, **254**: 421–428.
17. Xibao, W. ve Hua, L. (1998). Metal powder thermal behaviour during the plasma transferred-arc surfacing process, *Surface and Coatings Technology*, **106(2-3)**, 156-161. Bourithis, G.D. Papadimitriou, (2009). The effect of microstructure and wear conditions on the wear resistance of steel metal matrix composites fabricated with PTA alloying technique, *Wear*, **266, (11-12)**, 1155-1164.
18. Xibao, W., Chunguo, L., Xiaomin, P., Libo, S. and Hong, Z. (2006). The powder's thermal behavior on the surface of the melting pool during PTA powder surfacing, *Surface and Coatings Technology*, **201(6)**, 2648-2654.
19. Vamsi Krishna, B., Misra, V. N., Mukherjee, P. S. and Sharma, P. (2002). Microstructure and properties of flame sprayed tungsten carbide coatings, *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, **20(5-6)**, 355-374.
20. Liu, X.-B. and Gu, Y.-J. (2006). Plasma jet clad  $\gamma$ /Cr<sub>7</sub>C<sub>3</sub> composite coating on steel, *Materials Letters*, **60(5)**: 577-580.
21. Skarvelis, P. and Papadimitriou, G.D. (2009). Plasma transferred arc composite coatings with self lubricating properties, based on Fe and Ti sulfides: Microstructure and tribological behavior, *Surface and Coatings Technology*, **203(10-11)**: 1384-1394.
22. Bourithis, E., Tazedakis, A. and Papadimitriou, G. (2002). A study on the surface treatment of "Calmax" tool steel by a plasma transferred arc (PTA) process, *Journal of Materials Processing Technology*, **128(1-3)**: 169-177.
23. Huang, Z., Hou, Q. and Wang, P. (2008). Microstructure and properties of Cr<sub>3</sub>C<sub>2</sub>-modified nickel-based alloy coating deposited by plasma transferred arc process, *Surface and Coatings Technology*, **202(13)**: 2993-2999.
24. Gür, A.K. ve Kaya, S. (2017). "Abrasive wear resistance optimization of three different carbide coatings by the Taguchi method", *MP-Materials Testing*, **59(5)**: 450-455.