
Araştırma Makalesi / Research Article

Ramor 500 Çeliğinde Isıl İşlemin Mikroyapı, Mikrosertlik ve Abrasiv Aşınma Direncine Etkisinin Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi

Ali Kaya GÜR¹, Semih TAŞKAYA^{1*}, Çetin ÖZAY²

¹Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye

²Fırat Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Makina Mühendisliği Bölümü, 23119, Elazığ, Türkiye
(ORCID: 0000-0001-6077-1892) (ORCID: 0000-0003-1524-4537) (ORCID: 0000-0001-9958-519X)

Öz

Ramor 500 zırh çeliği; 2-30 mm kalınlıklara sahip, 505-590 HV sertliklerde bulunan yüksek mukavemetli bir balistik koruma çeliği olarak sınıflandırılır. Aşınma, kayma yüzeyleri arasındaki mekanik etkinin etkisiyle yüzeyler üzerinde malzemenin deformasyonuna ve kaybına neden olan bir etkileşim işlemidir. Bu çalışmada, konstrüksiyon imalat sanayisinde kullanılan Ramor 500 çeliğinin ısıl işlem sonrası mikroyapı, mikrosertlik ve abrasiv aşınma direncine etkisinin taguchi metoduyla değerlendirilmesi ve etkileri incelenmiştir. Bu amaçla Ramor 500 çeliği 900°C sıcaklıkta tavllanmış ve 3 farklı ortamda soğutulmuştur. İnceleme sonucunda mikroyapı ve mikrosertlik incelenmiştir. Ayrıca ısıl işlemsiz numunelerle kıyaslamak amacıyla abrasiv aşınma testine tabi tutulmuştur. Elde edilen veriler Taguchi metoduyla değerlendirilip Varyans analizleriyle seviye ve parametrelerin aşınmaya olan etkileri incelenmiştir. Yapılan ısıl işlemler sonrasında sertlik değerlerinde esas metalin altında kalınmıştır. Seçilen bütün parametrelerin aşınmaya etkisi olmuştur. Kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla gözlemlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Ramor 500, Isıl işlem, Taguchi.

The Evaluation of the Effect of Heat Treatment on Microstructure, Microhardness and Abrasive Wear Resistance with Taguchi Method of Ramor 500 Steel

Abstract

The Ramor 500 armor steel is classified as a high strength ballistic protection steel with 2-30 mm thicknesses and 505-590 HV hardnesses. Wear is an interaction process that causes deformation and loss of the material on surfaces due to the mechanical effect between the sliding surfaces. In this study, the effect of Ramor 500 on the microstructure, microhardness and abrasive wear resistance of heat treatment after Ramor 500 steel used in the construction manufacturing industry was investigated by taguchi method. For this purpose, Ramor 500 steel was annealed at 900°C and cooled in 3 different environments. The microstructure and microhardness were investigated. In addition, it has been subjected to abrasive abrasion test to compare with non-heat-treated samples. The data obtained were evaluated by Taguchi method and the effects of level and parameters on wear were examined with variance analysis. After the heat treatment, the hardness values were below the base metal. All selected parameters had an effect on wear. The effect of mass loss on control factors was observed by countour plot color distribution method.

Keywords: Ramor 500, Heat treatment, Taguchi.

1. Giriş

Ramor 500 zırh çelikleri yüksek hız darbelerine karşı üretilir. Ayrıca araç aydınlatması için otomotiv endüstrisinde kullanılır. Örneğin, beton bir karıştırıcıda yerleşik donanım, yapısal çelikten daha ince

*Sorumlu yazar: muh.semihtaskaya@gmail.com

Geliş Tarihi: 25.02.2019, Kabul Tarihi: 01.07.2019

plaka ile Ramor 500 çelik kullanılarak üretilebilir. Böylece daha dinamik verimlilik ve yakıt tasarrufu sağlar [1]. Koruyucu malzeme seçimi ateşli silahlardan çıkan merminin, penetratörün ya da ateşli parçacığın türü, geometrisi ve penetrasyon kinetiğine göre yapılır. Belirtilen malzemeler arasında homojen olarak haddelenmiş zırh çelikleri (RHA, Rolled Homogeneous Armor) askeri platformlarda çok çeşitli, personel ve mühimmat taşıyan araçlarda koruyucu malzeme olarak kullanılmalıdır [2]. Zırh çeliği, günümüzde özellikle askeri alanda kullanılan tank ve benzeri savunma ve saldırı amaçlı olarak en yaygın kullanılan zırh malzemesidir. Çelik kullanılmasının başlıca nedeni çeliklerde yüksek dayanım özellikleri görülmesi, yeterli tokluk, yüksek kaynak kabiliyeti gibi malzeme özellikleri ve diğer zırh malzemelerine göre daha düşük olan üretim maliyetleridir. Kaynak endüstride çok yaygın olarak kullanılan bir imalat yönteminin yanı sıra, tamir amaçlı bir yöntem olarak da çok yaygın olarak kullanılmaktadır. Zırh uygulamalarının yapıldığı ağır ve hafif taşıtların değişik ve çetin arazilerdeki hareketlerinden, mermi mukavemetlerine karşı kaynak bölgelerinin yorulma direncinin yüksek olması gereklidir [3-7]. Taguchi deney tasarım yöntemi, deneysel çalışmaların daha kısa ve kolay yapılmasını sağlayan deney sayısını minimize etmeye çalışan bir deney tasarım yöntemidir. Taguchi dizayn metodu, Dr. Genichi Taguchi tarafından geliştirilen bir deneysel dizayn metodudur. Bu metod 1980 yıllarından sonra Avrupa ve Amerika endüstrisinde yaygın olarak kullanılmaya başlamıştır. Bu yöntem sayesinde uzun ve pahalı deneylerin optimizasyonunu tam faktöryel yöntemine göre daha az deney ile yapılabilmektedir. Deneysel çalışmalardaki parametrelerin etkinliğini belirleyebilen ve bunun yanı sıra deney süresini düşüren, maliyeti azaltan bir yöntemdir. Deneysel çalışma planı hazırlanırken, deneylerde kullanılacak parametre ve bunlara ait seviyeleri belirir. Daha sonra, bunların serbestlik derecelerine uygun ortogonal dizinlerin seçilmesi ile sistem oluşturulur. Deneysel çalışmaların yorumlanmasında S/N (sinyal/gürültü) oranı denilen performans karakteristikliğine dönüştürülmektedir. En çok kullanılan performans karakteristiklikleri en küçük en iyi (the smallest, the best), en büyük en iyi (The biggest, the best) ve nominal en iyi (Nominal best) karakteristiklikleridir [8-13]. Gajjal vd., çalışmalarında farklı tip ve miktarda dolgu maddesi içeren PEEK kompozitlerin tribolojik davranışlarını incelemiştir. PEEK kompozit malzemelerin kayma hızı, basınç ve zaman gibi çalışma parametrelerinin tribolojik performansı üzerine etkileri incelenmiştir. Taguchi'nin tekniğine dayanan deney planı kullanılarak, bir diske bağlı pin üzerinde aşınma testleri yapılmıştır. PEEK'nin CF, PTFE ve grafit ile güçlendirilmiş olduğu, tribolojik performansı etkili bir şekilde artırabileceği görülmüştür [14]. Paturkar vd., çalışmasında hint keneviri / epoksi ve hint keneviri/ cam / epoksi kompozitlerin davranışlarını mekanik aşınma koşulu altında incelemiştir. Sonuçlar, Taguchi tekniği kullanılarak ayrıca analiz edildi. Kompozit plakaların aşınma performansına etkisi, farklı kayma hızları (1 m/s, 2 m/s ve 3 m/s), uygulanan yükler (10 N, 20 N ve 30 N) ve kayma mesafeleri (1000 m, 1500 m ve 2000 m) için araştırıldı. Deneysel sonuçlar, jüt epoksi cam elyaf ile melezleştirilmesinin aşınmaya karşı daha iyi direnç gösterdiğini göstermiştir. Ayrıca uygulanan yükün kompozitlerin tribolojik performansı üzerinde daha etkili parametreler olduğu görülmüştür [15]. Hofinger vd., bu çalışmada farklı ısı işlemlerin mikroyapı gelişimi ve ikincil sertlik üzerindeki etkisini incelemiştir. Mikro yapıyı görselleştirmek için farklı metalografik hazırlama yöntemleri test edilmiştir. Karbürler, spot paternli elektron geri saçılma kırınımı kullanılarak karakterize edilmiştir. Östenitlemeden önce homojenleştirme işleminin, çözünmüş karbür miktarını arttıramadığı ve dolayısıyla ikincil sertlik üzerinde bir etkisinin olmadığı bulunmuştur [16]. Atapek yaptığı çalışmada, zırh çeliklerinin sahip olduğu mekanik ve balistik performansa eşdeğer ve yüksek performanslı malzeme üretimi için yeni bir alaşım tasarımı ile farklı ısı işlem uygulamaları seçmiştir. Isıl işlem koşullarına bağlı olarak geliştirilen zırh çeliğinin sertlik, mukavemet, tokluk, aşınma gibi mekanik özelliklerinin ve korozyon direncinin dışında, V50 balistik limiti ve yüksek çarpma hızlarındaki performansını araştırmıştır. Araştırmaları sonucunda zırh çeliklerinin alaşım tasarımı üzerine daha farklı çalışmalar yapılması gerektiği kanısına varmıştır. Hızlı su verme ile çeliklerde martenzitik/beynitik dönüşüm gözlemlenmiş olup, martenzit/bennit başlangıç sıcaklığının oda sıcaklığının çok üzerinde bir değer olduğunu görmüştür. Aşınma davranışlarını incelediğinde yüksek sertlikteki zırh çeliklerinin düşük sertlikteki zırh çeliklerine göre daha düşük aşınma dayanımı gösterdiğini gözlemlenmiştir. Yapılan balistik testler sonucunda geliştirilen zırh çeliğinin daha yüksek V50 balistik limitlere sahip olduğunu gözlemlenmiştir [17]. Atapek çalışmasında, bor katkılı yeni tür bir alaşımlandırma dizaynı geliştirilerek, uygulanan çeşitli ısı işlemlerle zırhın performansında etkili olan optimum mekanik özelliklerin balistik karakteristiğine uygun bir aralık içinde elde edilmesini araştırmıştır. Yapılan bu çalışma sonucunda, bor katkılı kompozisyon doğrultusunda sadece değişen ısı işlem koşulları altında geniş bir sertlik ve dolayısı ile mukavemet aralığında zırh

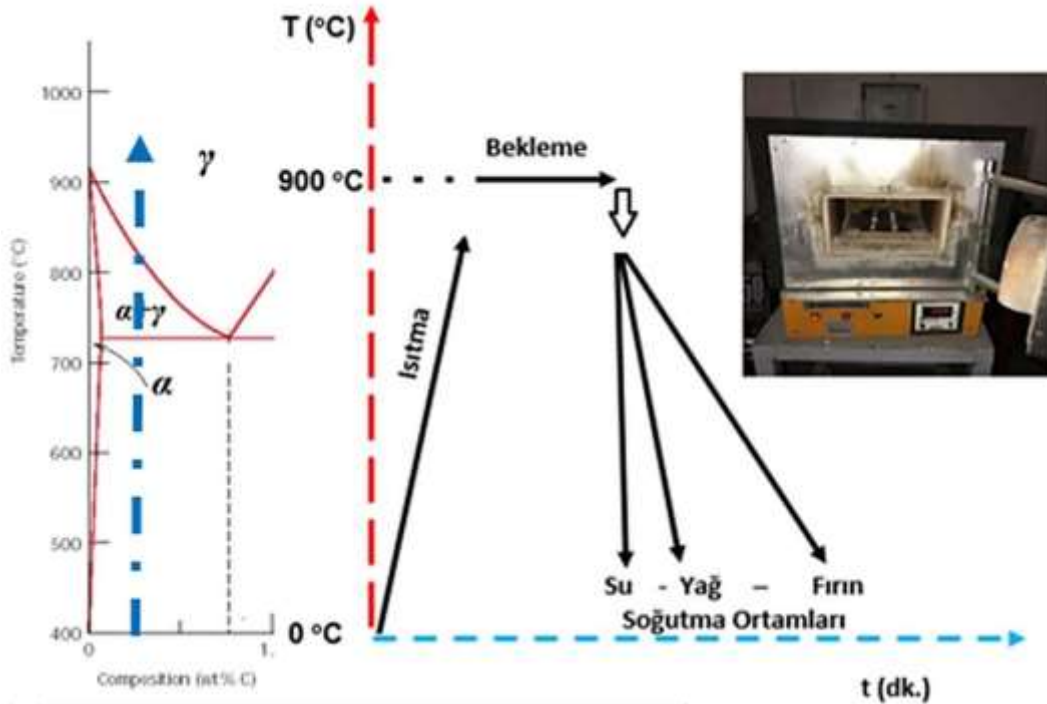
çeliği üretimi sağlamıştır [18]. Karakoç vd., çalışmalarında toz metalurjisi yöntemi ile hazırlanan SiC, B₄C ve Al₂O₃ içeren ve parçacık içermeyen Al sandviç köpüklerin (ASK) balistik performansları araştırmışlardır. Üretilen sandviç köpükler 50x50x7 mm² boyutlara sahip olan Ramor 500 zırh çeliği silikon esaslı reçine ile yapıştırılarak balistik test için zırh numuneleri hazırlamışlardır. Yapılan çalışmada sonucunda, sandviç köpüklerin önde olduğu tasarımlarda zırh çeliğinden kopan parçacık çapının daha az olduğu tespit edilmiştir [19].

Bu çalışmada, Ramor 500 çelik numunelere ısı işlem uygulanarak mikrosertlik, mikroyapı değişimleri incelenmiş ve abrasiv aşınma sistemiyle SiC partiküllü aşındırıcıda meydana gelen kütle kaybı aşınma davranışı Taguchi yöntemiyle incelenmiştir.

2. Materyal ve Metot

2.1. Isıl İşlem ve Taguchi Dizayını

Bu çalışmada endüstriden temin edilen mikroalaşım Ramor 500 kullanılmıştır. Bu çeliğe östenitleme sıcaklığı üzerinde ısı işlem uygulanmıştır. Bu ısı işlem sonucunda Ac₃+(30°-50°C) sıcaklığı üzerinde ki bekletme işlemiyle, çeliğin yapısının tamamen östenit yapılması ya da sementitin parçalanması sonucu karbonun yapı içerisinde tamamen çözünmesi amaçlanmıştır. Bu süre genellikle 1 inç (25,4 mm) kalınlık için 1 saat olarak kabul edilmektedir. Çelikteki C miktarına bağlı olarak tavlama sıcaklığındaki değişim C oranı 0.29-0.38 olan çelikler için 840-900°C olarak belirlenmiştir [20].



Şekil 1. Isıl işlem grafiği ve tav fırını

Bu amaçla seçilen numuneler Şekil 1'de ki ısı işlem tav fırınında 900 °C'ye kadar ısıtılmış, bu sıcaklıkta 30 dk. beklenmiş ve numunelerin biri suda, diğeri yağda ve sonuncusunda fırın içinde soğutulmuştur. Deneyde kullanılan Ramor 500 çeliğinin kimyasal kompozisyonu fiziksel ve mekanik özellikleri toplu olarak Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1. Ramor 500 çeliğinin kimyasal fiziksel ve mekanik özellikleri [3, 22-23]

Kimyasal Kompozisyon (%)									
C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	B	Fe
0.32	0.70	1.50	0.015	0.005	1.00	2.00	0.70	0.005	Balans
Fiziksel Özellikler									
Malzeme Ramor 500	Termal Genleşme		Termal İletkenlik			Elektrik		Elastisite Modülü	
	Katsayısı ($\alpha \cdot 10^{-6}$)		(20 °C), (λ, W/m. °K)			Direnci		(20 °C)	
						(20 °C), (Ω)		(E, kN/mm²)	
	12		58			140-250		210	
Mekanik Özellikler									
Akma Dayanımı		Çekme Dayanımı		Uzama		Mikrosertlik		Tokluk	
0,2 % (MPa)		(MPa)		%5		(Vickers HV)		V J	
1450		1700		7		505-590		20	

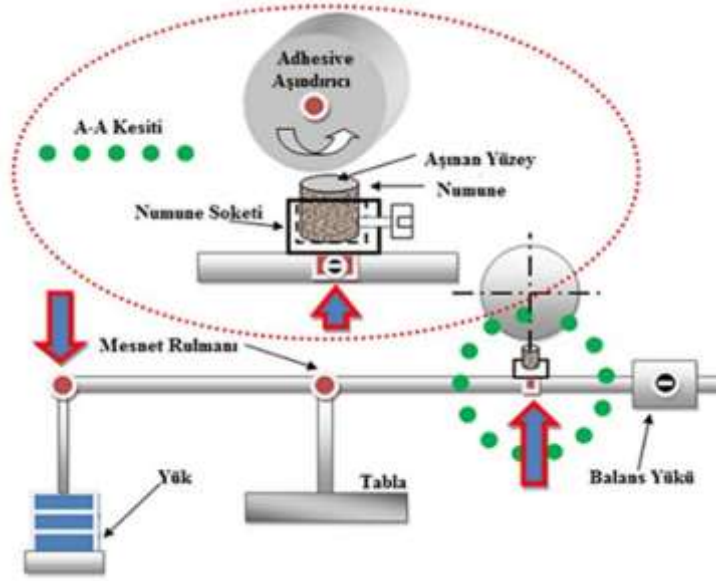
2.2. Taguchi Dizaynı

Bu çalışmada; numuneler, aşınma mesafesi, aşındırıcı tane boyutu ve uygulanan yük olmak üzere dört ayrı kontrol faktörü kullanılmıştır. Bu dört faktör için ilk ikisi 4 diğer ikisinin 2'li seviyeleri seçilmiştir. Çalışmamızda kullandığımız parametreler ve her parametrenin kendi seviyeleri Tablo 2'de verilmiştir. Parametre ve seviyeleri eşit olmadığından Tablo 2'deki karışık seviyeli dizin olan L16 (4*2, 2*2) Taguchi dizini seçilerek Taguchi tasarımı oluşturulmuştur.

Tablo 2. Numunelerin Kontrol faktörleri ve seviyeleri

Sembol	Test Parametresi	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV
A	Numuneler	Fırın	Yağ	Su	Isıl İşlemsiz
B	Aşınma Mesafesi (m)	10	20	30	40
C	Uygulanan Yük (N)	6	16	-	-
D	Aşındırıcı Tane Boyutu(mesh)	120	180	-	-

Abrasiv aşındırma numuneleri; Taguchi dizaynlarında verilen parametrelerin dizaynına göre seviyeleri; aşındırıcı olarak 120 ve 180 mesh'lik zımpara kâğıdı ile 6 N ve 16 N'luk iki farklı yük uygulanarak gerçekleştirilmiştir. Her yük altında 10, 20, 30 ve 40 m'lik mesafelerde ayrı ayrı aşınma deneyi yapılmıştır. Abrasiv aşınma deneyleri Şekil 2'de şematik resmi verilen aparatın torna tezgahına bağlanmasıyla gerçekleştirilir. Abrasiv aşınma deneylerinde aşınma hızı 16 devir/dakika olarak seçilmiştir. Aşınma hızının düşük seçilmesi; aşınma sırasında oluşan aşınma direnci sebebiyle sıçramaları en az seviyeye çekmektir [12-13]. Aşınan numunenin zımpara yüzeyinde elde ettiği aşınma mesafesi torna tezgâhındaki vida adımı ve devir/dakika hesabıyla tespit edilmiştir.



Şekil 2. Abrasiv aşınma mekanizması [11]

Ramor 500 mikroalaşımli çeliğin Taguchi dizaynı, Minitab 14 paket programından faydalanılarak yapılmıştır. Bu işlem için Tablo 3’de verilen parametreler ve seviyelerinin $L_{16}(4*2, 2*2)$ Taguchi dizini oluşturulmuştur. Bu parametreler dört adet numune (fırında soğutulmuş, yağda soğutulmuş, suda soğutulmuş ve ısıtılmış), dört adet aşınma mesafesi (m), iki adet yük(N) ve iki adet aşındırıcı (tane boyutu-grid) seviyeye sahip parametrelerdir.

Tablo 3. Deney numuneleri ve aşınma parametreleri

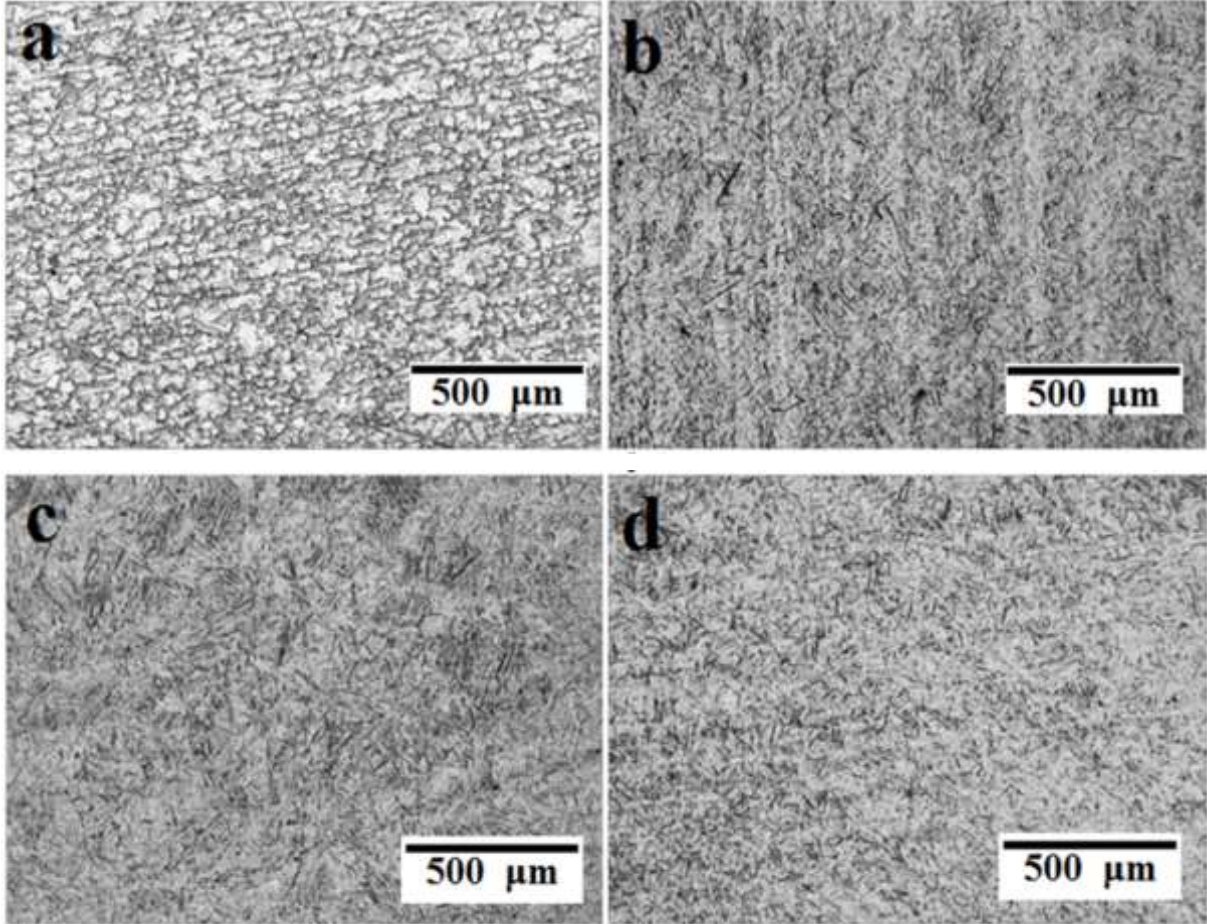
Sıra No	Numune	Parametreler		
		Aşınma Mesafesi (m)	Yük (N)	Aşındırıcı (grid)
1	1	10	6	120
2	1	20	6	120
3	1	30	16	180
4	1	40	16	180
5	2	10	6	180
6	2	20	6	180
7	2	30	16	120
8	2	40	16	120
9	3	10	16	120
10	3	20	16	120
11	3	30	6	180
12	3	40	6	180
13	4	10	16	180
14	4	20	16	180
15	4	30	6	120
16	4	40	6	120

Kaplama tabakalarının abrasiv aşınma direnci, bu orthogonal dizin kullanılarak en düşük en iyi kontrol özelliğiyle deneysel ve teorik olarak incelenmiştir. Taguchi metoduyla elde edilen veriler, deney sonuçlarına göre grafiksel analizleriyle değerlendirilmiştir.

3. Bulgular ve Tartışma

3.1. Mikroyapının İncelenmesi

Isıl işlem sonrası soğutma ortamlarının farklılığı soğutma hızlarını etkilediğinden, tavlama sıcaklığından yani östenit yapıdan dönüşümler soğuma zamanına bağlı olarak homojen tamamlanamamaktadır. Bu durumda mikroyapılardaki farklılığı oluşturmaktadır. Şekil 3’de de görüldüğü gibi en yavaş soğuma hızı fırın ortamında gerçekleştiğinden taneler diğerlerine nazaran daha iri görünümündedir. En küçük tane yapısı ise ısıtılma tabii tutulmamış numunede mevcuttur.



Şekil 3. Isıl işlem uygulanmış numunelerin mikroyapıları a) Fırın b) Yağ c) Su d) Isıl İşlemsiz

Bu mikroyapıların tamamı aynı büyütme oranlarında alınmıştır. Ancak her optik resim farklı ısıtılma işlemi uygulanmış numuneye aittir. Şekil 3’de resmi ısıtılma işlemi uygulanmış numuneye aittir. Bu resimde asiküler martenzit içeren yapılar mevcuttur [21]. Isıl işlem uygulanmış numunede yapı oldukça homojen görünümündedir. Tane boyutları ve yapıları haddeleme yönüne göre değişmemektedir. Yapı içerisinde martenzit ve östenit yapıları mevcuttur.

Isıl işlem genel olarak çelik malzemede istenilen sıcaklığa kadar çıkılması bir süre bekletilmesi ve sonra tekrar (farklı ortamlar) soğutulması esasına dayanır. Bu farklı soğutma ortamları sayesinde aynı çelik malzemeden farklı yapısal fiziksel ve mekanik özellikler elde etmek mümkün olmaktadır. Ötektoid altı çeliklerde ısıtılma işlemleri yapılırken Ac_3 sıcaklığının üzerine çıkmak gereklidir. Çünkü haddeden çıkan ürünlerde oluşan martenzit yapıları dağıtmak için östenit fazına çıkmak gerekir. Dolayısıyla Ramor 500 çeliğinin içeriğinin % 0.3 C ihtiva ettiğinden bildiğimize göre ısıtılma işlemlerinin 900 °C civarında oluşu Ac_3 çizgisini geçmek için yeterlidir. Ancak soğutma ortamları oluşacak yeni mikroyapıların durumuna göre farklı sertlik ve mekanik özellikler göstermesine neden olur. Şekil 3’a ısıtılma işlemi uygulanmış ancak fırın içerisinde soğutulmuş numuneye aittir. Isıl işlem için östenit fazına çıkmış numune fırın ortamında soğutulurken kısmen martenzit oluştururken östenit yapısında korumaya devam etmektedir. Östenit

yapı “a” içerisinde homojen olarak dağılmıştır. “a” resmi dikkatli incelendiğinde östenit yapılar hadde yönünde birbirine paralel uzanmıştır. Şekil 3’b de ısıtma işlemi uygulanmış yağ ortamında soğutulmuş numuneye aittir. Yapıya bakıldığında birbirine paralel bantlaşmış tanelerin görüldüğü, açık atmosferdeki soğutmaya göre daha ince taneler oluşmuştur. Şekil 3’c de ısıtma işlemi uygulanmış suda soğutulmuş numuneye ait olup, yapıdaki taneler tamamen martenzitik yapıya ulaştığından fırın, ve yağ’daki soğutma işlemindeki yapılardan daha ince taneli yapıya ulaşmıştır.

3.2. Mikrosertliğin İncelenmesi

Numunelerin 0.5 HV yükünde 0.5 mm aralıklarla 5 ayrı noktadan sertlikleri alınıp ortalama değerleri Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Isıtma işlemi uygulanmış numunelerin mikro sertlik işlemleri

Isıtma işlemi sonrası suya çekilmiş numunenin soğuma hızı yağda soğutma işlemine göre 3 kat daha hızlıdır. Bu sebeple suda soğutma yağda soğutmadan daha fazla sertlik değeri Şekil 4’de görüldüğü gibi ortaya çıkmıştır. En düşük soğuma hızı ise fırın ortamında gerçekleştiğinden en düşük sertlik değeri fırın ortamında oluşmuştur. Bu sebeple yüksek hızlı soğutma, malzemenin sertliğinde görüldüğü gibi önem arz etmektedir. Sertlik analizleri sonucunda, ısıtma işlemi görmüş numunelerin ısıtma işlemi görmemiş ana numuneden düşük çıkmasının nedeni, Ramor 500 zırh çeliğinin üretici firma tarafından yapılan farklı özel ısıtma işlemlerinin olduğudur.

3.3. Abrasiv Aşınma Sonuçlarının Taguchi Metoduyla İncelenmesi

Tablo 3’deki parametreler ve seviyesine göre yapılan abrasiv aşınma işlemleri karışık orthogonal $L_{16}(4^*2, 2^*2)$ dizinine göre yapılmıştır. Tablo 4’de abrasiv aşınma deneyleri sonucunda elde edilen aşınma kütle kayıpları ve S/N oranları verilmektedir. Tablo 5’de abrasiv aşınma işlemi sonunda elde edilen en küçük en iyi (the smallest, the best), ilkesiyle çalışan sisteme göre, faktör seviyelerine göre S/N oranları verilmektedir. İşlemden S/N oranlarının ortalaması -35,4307 dB olarak hesaplanmıştır.

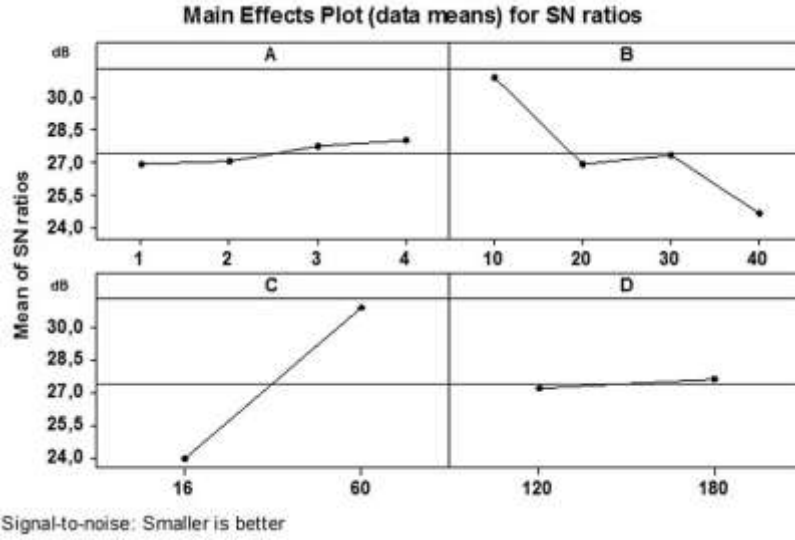
Tablo 4. Numunelerin deneysel kütle kaybı oranı ve S/N oranının hesaplanması

Sıra No	Kontrol Faktörleri				Ölçülen Kütle Kaybı (gr)	S/N Oranı
	A	B	C	D		
1	Fırın	10	6	120	0,0189	-40,72424345
2	Fırın	20	6	120	0,0307	-40,17547849
3	Fırın	30	16	180	0,0808	-27,01330283
4	Fırın	40	16	180	0,0888	-24,42251056
5	Yağ	10	6	180	0,0235	-41,83029962
6	Yağ	20	6	180	0,0302	-38,06179974
7	Yağ	30	16	120	0,0621	-31,83520069
8	Yağ	40	16	120	0,0881	-30,78204314
9	Su	10	16	120	0,0421	-38,93843113
10	Su	20	16	120	0,0784	-31,83520069
11	Su	30	6	180	0,0218	-36,02685826
12	Su	40	6	180	0,0393	-34,47076392
13	Isıl İşlemsiz	10	16	180	0,0355	-35,54567058
14	Isıl İşlemsiz	20	16	180	0,0568	-34,51684301
15	Isıl İşlemsiz	30	6	120	0,0315	-40,17547849
16	Isıl İşlemsiz	40	6	120	0,0389	-40,53744293

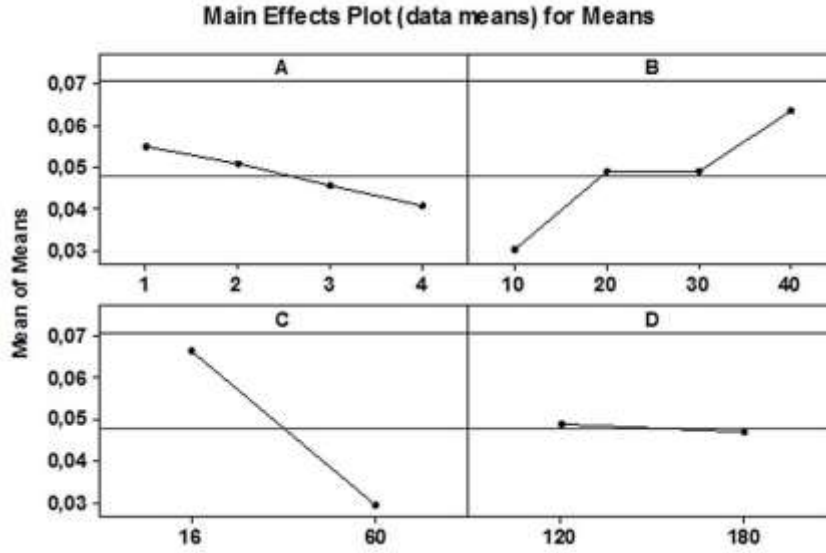
Tablo 5. Numunelerin ve seviyelerinin S/N tablosu

Parametreler	S/N oranı			
	Seviye I	Seviye II	Seviye III	Seviye IV
A	26,90	27,05	27,74	28,04
B	30,89	26,92	27,31	24,61
C	23,96	30,91		
D	27,23	27,64		

Tablo 4 ve Tablo 5’de kontrol faktörü olarak seçilen verilerin, abrasiv aşınma direnci sonucu elde edilen kütle kayıpları hesaplanarak S/N oranları tablosu yapılmıştır. Her kontrol faktörü için S/N oranında en büyük değere sahip olan seviye, o faktör için en iyi seviye anlamına gelmektedir. Tablo 5 bu şekilde oluşturulmuştur [5-7]. Dolayısıyla A1B2C1D1 denklemi optimum şartların sağlandığı değerlerdir. S/N oranın sonucu büyük çıktığı seviye tüm faktörlerin seviyeleri karşılaştırılırsa o seviye en optimum seviyeyi vermektedir. Şekil 5’de çalışmanın S/N oranlarının, kontrol faktörleri ve seviyeleri arasındaki ilişki gösterilmektedir. Şekil 6’da ise mikro alaşımlı Ramor 500 çeliğinin Taguchi dizaynına göre aşındırıldıktan sonra, bu numunelerin faktör ve seviyelerin abrasiv aşınma direncinde kütle kaybına etkileri görülmektedir.

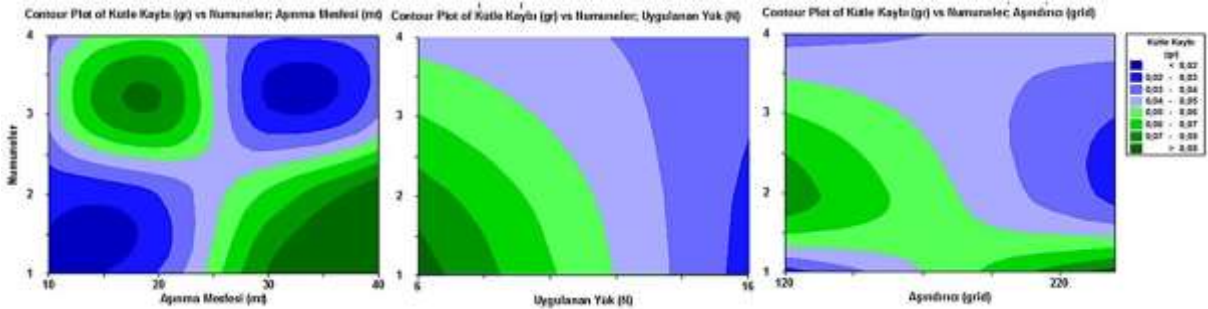


Şekil 5. Numunelerin S/N oranları etki grafiği (dB)



Şekil 6. Numunelerin gerçek kütle kaybı oranları etki grafiği (gr)

Şekil 7’de kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi countour plot renk dağılımı metoduyla verilmiştir. Bu grafiklerde kaplama tabakasının diğer her bir kontrol faktörünün kütle kaybına olan etkisi harita olarak verilmiştir.



Şekil 7. Numunelerin kütle kaybının Contour Plot renk grafiği

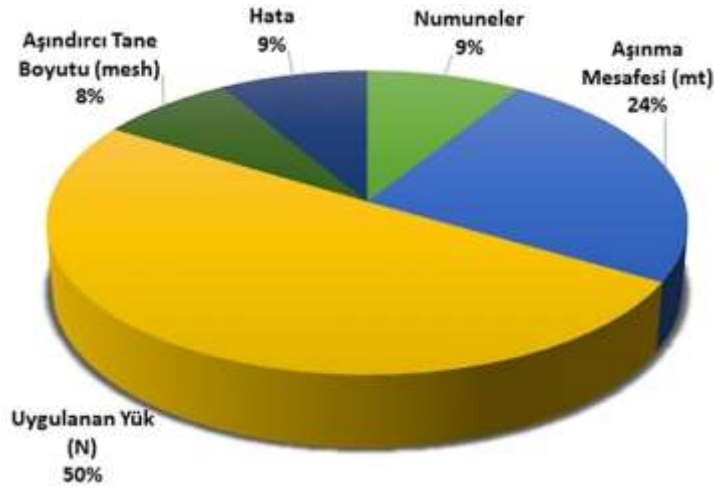
Abrasive aşınma davranışının yapılan varyans analizleri sonuçlarında faktörlerin aşınma direnci üzerindeki etkileri sayısal olarak hesaplanmıştır. Varyans analizi sonuçları Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Numunelerin kütle kaybı Varyans analizi sonuçları

Sembol	Df	Ss	Variance	F	p ^a (%)
Numuneler	3	42,72337	14,24112	6,232047	8,946156
Aşınma Mesafesi (m)	3	104,947	34,98234	15,3086 ^b	24,46594
Uygulanan Yük (N)	1	203,8696	203,8696	89,21521 ^b	50,27905
Aşındırıcı Tane Boyutu (mesh)	1	33,39531	33,39531	14,6141 ^b	7,759476
Hata	7	15,99601	2,285144	0	8,549384
TOPLAM		400,9313			

Df ; Serbestlik derecesi; ss; Kareler Toplamı; a Katkı Oranı, b 99 % Güven seviyesi

Ayrıca kontrol faktörlerinin aşınma direncine yüzde olarak etkileri ve hata yüzdesi grafiksel olarak Şekil 8'de gösterilmiştir. Grafik incelendiğinde bütün faktörlerin sonuç üzerinde etkili olduğu görülmektedir. Grafikte de görüldüğü gibi uygulanan yük %50 oranıyla en büyük etkiye sahiptir.



Şekil 8. Numunelerin kontrol faktörlerinin aşınma direncine % etkisi

S/N oranı grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A4B1C1D2 olduğu görülmektedir. Bu seviyelerdeki optimum S/N oranının elde edilmesinde 1 nolu denklem kullanılmıştır.

$$\eta_{opt} = \eta_m + \sum_{i=1}^j (\eta_i - \eta_m) \quad (1)$$

η_{opt} , optimum S/N oranını, η_m , ortalama S/N oranlarının ortalaması, η_i her bir parametrenin ideal olan seviyesinin S/N oranını göstermektedir. Yapılan hesaplamada optimum S/N oranı 16. satırda -25,19206145 dB bulunmuştur. Bu denklemden elde edilen optimum S/N oranı en küçük en iyi (the smallest, the best), kalite karakteristiğine göre optimum ortalama aşınma miktarının hesaplanması sağlanmıştır.

$$Wear_{opt} = \sqrt{10^{-\frac{\eta_{opt}}{10}}} \quad (2)$$

2.nolu denklemde $Wear_{opt}$, optimum ortalama aşınma miktarını ifade etmektedir. Optimum ortalama aşınma miktarı 16. satırda 0,055004336 gr olarak hesaplanmıştır.

4. Sonuçlar

Aşınma, yüzeyler birbirine temas ettiğinde ortaya çıkar. Temas yüzeyinden aşınma kaybı getirir. Az mukavemet, aşınma direncinde az dayanıklılığa sebebiyet verir. Yüke dayanmak, sertliğini arttırmak, korozyon direnci sağlamak için uygun alaşımlı malzeme seçimi esas temeldir. Bu çalışma sonucunda;

- Yapılan ısıl işlemler sonrasında sertlik değerlerinde esas metalin altında kalınmıştır. Çünkü Ramor 500 serisi çeliklerde üretimde kullanılan soğutma sistemleri ticari sır olarak saklanıyor.
- Seçilen bütün parametrelerin aşınmaya etkisi olmuştur.
- Kütle kaybının kontrol faktörleri üzerindeki etkisi contour plot renk dağılımı metoduyla gözlemlenmiştir.
- Yapılan Varyans analizine göre aşınmaya en yüksek etkiyi uygulanan yükler, en düşük etkiyi ise numuneler yapmıştır.
- S/N grafikleri incelendiğinde en optimum seviyelerin A1B2C1D1 olduğu görülmüştür.
- Optimum aşınma oranı 16. satırda 0,055004336 gr olarak hesaplanmıştır.

Sonuç olarak; ısıl işlem Hardox 400 çeliğin aşınma özelliklerine çok etki etmemiştir. Çünkü Varyans analizinde numunelerin % 9 gibi çok küçük etkiye sahip olduğu görülmektedir. Ancak bu durumda da olsa sonuçlar göz ardı edilmeyecek olan sertlik değerlerinde belirgin düşüşe sebep olmaktadır. Bu durum en çok kaynaklı birleştirmelerde ITAB oluşan mikroyapısal değişimlerde kaynaklı birleştirmelerin mukavemet özelliklerinde sıkıntıya sebep olabilir.

Teşekkür

Bu çalışma Fırat Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri (FÜBAP) birimi tarafından TEKF. 16.24 numaralı proje kapsamında desteklenmiştir.

Kaynaklar

- [1] Memiş İ. 2016. Impact Response Of Ramor 500 Armor Impact Response Of Ramor 500 Armor Steel Subjected To High Velocities. Graduate School of Natural and Applied Science of Dokuz Eylül University In Partial Fullfilment of the Requirements for the Master of Science of Mechanical Engineering, Mechanic Program, İzmir.
- [2] Karagöz Ş., Atapek Ş.H., Yılmaz A. 2008. Zırh çeliklerinde perforasyon ve balistik korumanın anlaşılması açısından fragtografik etüd. Metal Dünyası, 182: 102-107.
- [3] Taskaya S., Gur A.K., Orhan A. 2019. Joining of Ramor 500 Steel by Submerged Welding and its Examination of Thermal Analysis in Ansys Package Program. Thermal Science and Engineering Progress, 11: 84-110.
- [4] Lane R., Craig B., Babcock W. 2002. Materials for Blastand Penetration Resistance, The Amptiac Quartely, 6 (4): 39-45.
- [5] Sangoy L., Meunier Y., Pont G. 1988. Steelsfor Ballistic Protection. Israel Journal of Technology, 24: 319-326.
- [6] Ade F. 1991. Ballistic Qualification of Armor Steel Weldments. Welding Journal, 70: 53-58.
- [7] Jacobi H., Batinmann H.J., Gronsfeld J. 1988. New Method of Determining the Macrocleanness of Unconventionally Rolled Continuously Cast Steel. StahlEisen, 108 (20): 54-66.
- [8] Taguchi G. 1988. Introduction To Taguchi Methods., Eng., 228 (1).
- [9] Savas V., Ozay C., Ballikaya H. 2016. Experimental investigation of cutting parameters in machining of 100Cr6 with tangential turn-milling method. Adv. Manuf., 4 (1): 97-104.
- [10] Ross P.J. 1998. Taguchi Techniques for Quality Engineering, Loss Fuction, Orthogonal Exp. Param. Toler. Des., p: 279, McGraw-Hill, New York.
- [11] Gür A.K., Yıldız T., Kati N., Kaya S. 2019. Microstructure and wear of FeCrC, SiC and B4C coated AISI 430 stainless steel. Materials Testing, 61 (2): 173-178.
- [12] Ozay C. 2014. Investigating the Surface Roughness after Tangential Cylindrical Grinding by the Taguchi Method. Materials Testing, 56 (4): 306-311.
- [13] Yıldız T., Gür A.K., Aba S. 2014. Examination of the Wear Behavior of Cu-Ni/B4Cp Composite by the Taguchi Method. Materials Testing, 56 (11-12): 1009-1014.

- [14] Gajjal S.Y., Unkule A.J., Gajjal, P.S. 2018. Taguchi technique for dry sliding wear behavior of PEEK composite materials. *Materials Today: Proceedings*, 5 (1): 950-957.
- [15] Paturkar A., Mache A., Deshpande A., Kulkarni A. 2018. Experimental investigation of dry sliding wear behaviour of jute/epoxy and jute/glass/epoxy hybrids using Taguchi approach. *Materials Today: Proceedings*, 5 (11): 23974-23983.
- [16] Hofinger M., Staudacher M., Ognianov M., Turk C., Leitner H., Schnitzer R. 2019. Microstructural evolution of a dual hardening steel during heat treatment. *Micron*, 120: 48-46.
- [17] Atapek Ş.H. 2011. Bor katkılı bir zırh çeliğinin fiziksel metalurjik esaslar doğrultusunda geliştirilmesi ve balistik performansının değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- [18] Atapek Ş.H. 2006. Zırh Çeliklerinin Fiziksel Metalurjik Esaslar Doğrultusunda Geliştirilmesi ve Karakterizasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmit.
- [19] Karakoç H., Ulutaş A., Çinici H. 2019. B4C/SiC/Al₂O₃ Parçacık Takviyelendirilmiş Alüminyum Sandviç Köpük ile Ramor 500 Zırh Çeliğinin bir araya getirilmesi ve Balistik Performansının Araştırılması. *Politeknik Dergisi*, 22 (3).
- [20] Cengiz M.H. 2018. Hardox 400 Çelik Yüzeyinin Plazma Transferli Ark Kaynak Yöntemiyle Alaşımlandırılması ve Taguchi Metoduyla Değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Elazığ.
- [21] Balakrishnan M., Balasubramanian V., Madhusudhan Reddy G. 2013. Microstructural Analysis Ballistic Tests on Welded Armor Steel Joints. *Metallogr. Microstruct. Anal.*, 2: 125–139.
- [22] Taşkaya S., Gür A. 2019. Ramor 500 Zırh Çeliğinin Tozaltı Kaynak Yöntemi İle Birleştirilmesinde Tel İlerleme Hızının Kaynak Metalindeki Nüfuziyet Dengesinin İncelenmesi. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi*, 9 (2).
- [23] Taşkaya S., Yıldız T., Gür A. 2018. The Effect of Voltage on Joining of Ramor 500 Armor Steel With Submerged Arc Welding Method. *Sakarya University Journal of Science*, 22 (2): 357-363.