

## Magnezyum Alaşımının DLC Kesici Takımlarla Frezelenmesi

\*<sup>1</sup>Mustafa Ay, <sup>2</sup>Gültekin Basmacı, <sup>3</sup>Ayhan Etyemez, <sup>4</sup>Mert Türk

<sup>1</sup>Teknoloji Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Marmara Üniversitesi,, İstanbul, Türkiye

<sup>2</sup>Mühendislik-Mimarlık Fakültesi, Makine Mühendisliği Bölümü Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi,  
Burdur, Türkiye

<sup>3</sup>Nikken, İstanbul, Türkiye

<sup>4</sup>Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Göztepe İstanbul

### Özet

Bu çalışmada magnezyum alaşımı malzemenin DLC (elmas benzeri kaplama) frezeleme kesici takımlarla frezelenmesinde ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey bütünlüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Deneysel tasarımda Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu metod ile deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf edilmiş, deney sonuçlarında elde edilen veriler optimize edilerek iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Gri ilişki analizi ile A1B1C1 deney serisinde uygun değer kesme şartları belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Magnezyum, DLC Kesici Takım, Frezeleme, Taguchi, Gri İlişkisel Analizi

## Milling of Magnesium Alloy with DLC Cutting Tools

### Abstract

In this study, the effect of cutting force and surface roughness, cutting speed and cutting depth on milling of magnesium alloy material by DLC (Diamond Like Coating) milling cutting tools is investigated. Taguchi method was used for experiment design. With this method, the time and cost to be spent on the experiments were saved, and the data obtained in the experimental results are optimized, and improvement was carried out.

**Key Words:** Magnesium, DLC cutting tool, Milling, Taguchi, Gray Relational Analysis

### 1.Giriş

Havacılık, savunma, elektronik, medikal ve otomotiv sektörleri gibi birçok endüstriyel uygulamada, hafif mühendislik malzemelerine olan talep sürekli artmaktadır. Hafiflik ve dayanım açısından titanyum ve alüminyum alaşımları tercih edilen mühendislik malzemeleridir. Diğer yandan magnezyum alaşımları da bu sektörlerde kullanılan diğer bir mühendislik malzemesidir.

Magnezyum dünya üzerinde en bol bulunan elementlerden biridir ve yer kabuğunun ağırlıkça yaklaşık %2,7'sini teşkil eder ki en çok bulunan sekizinci elementtir ve altıncı metaldir [1]. Magnezyumun yoğunluğu 1,74 gr/ cm<sup>3</sup> olup, yapısal uygulamalarda kullanılan en hafif metaldir. Ağırlığı alüminyumun üçte ikisi, demirin dörtte biri, bakır ve nikelin ise beşte biri düzeyindedir. Alaşım yapıldığında mekanik özellikleri iyileşir. Magnezyum alaşımları yüksek dayanım-düşük yoğunluk, işlenebilirlik, dökülebilirlik, titreşim sönümlenme gibi iyi özelliklerine sahiptirler. Düşük ergime sıcaklığı (650°C) ve iyi kaynak kabiliyetine sahip olan magnezyum, doğada yaygın olarak bulunabilmektedir. Bu nedenle elektronik, otomotiv endüstrisinde, uçak ve havacılık sanayinde geniş kullanım alanına sahiptir [1-4].

Günümüzde magnezyum alaşımlarına olan en büyük ilgi otomotiv endüstrisi tarafından gelmektedir. Bu ilginin karşılığı olarak magnezyum alaşımlı otomotiv parçalarının artmasının

başlıca sebebi, hafif magnezyum alaşımları kullanılarak araç ağırlığında oluşturulan azalmanın yakıt ekonomisine katkı sağlaması ve bunun sonucu olarak araçlardaki gaz emisyonlarının da azaltılabileceğinin mümkün olmasıdır [2-9]. Magnezyum uçak motorlarında, iskeletinde ve iniş takımlarında yoğun biçimde kullanılmaktadır. Uygun sıcaklıkta, yorulma ve çarpmaya karşı iyi özellikleri ve de kolay işlenebilmesi yanında, magnezyumun kullanılmasını gerektiren ana faktörler; dökümlerdeki kopma mukavemeti/ağırlık ve dövülmüş parçalardaki burkulma dayanımı/ağırlık oranıdır [9].

AZ91 alaşımının işlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, Akyüz yapmış olduğu çalışmada, AZ serisi Mg alaşımının içerisindeki alüminyumun etkisini araştırarak, kesme hızının artması ile kesme kuvvetlerinin arttığı görülmüştür [8]. Kim ve Lee yaptıkları çalışmada, AZ31B Mg alaşımının kuru kesme şartlarında freze çakısı üzerindeki uç sayısının ve diş başına ilerlemenin artmasıyla yüzey pürüzlülük değerinin arttığını, ancak kesme hızı belirli bir aralığında yüzey pürüzlülük değeri değişmemiş ve soğutulmuş hava akışıyla azalmıştır [9]. Narita ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, AZ91 magnezyum alaşımında kesme dayanımını, yüzey pürüzlülüğünü, talaş uzunluğunu ve kalınlığını ölçerek test etmişler, kesme dayanımı hem ilerleme miktarının hem de talaş derinliğinin artması ile artmış ve yan talaş açısının artmasıyla azalmıştır. Kesme hızının azalmasıyla ve ilerleme miktarının artmasıyla talaşın boyu azalmıştır. AZ91 magnezyum alaşımının yüksek hızlarda işlenmesinde yüzey pürüzlülüğü çok iyidir [10].

Bu çalışmada magnezyum alaşımı malzemenin DLC (elmas benzeri kaplama) frezeleme kesici takımlarla frezelenmesinde ilerleme, kesme hızı ve talaş derinliğinin yüzey bütünlüğüne ve kesme kuvvetlerine etkisi araştırılmıştır. Deney tasarımında Taguchi metodu kullanılmıştır. Bu metod ile deneylere harcanacak zaman ve maliyetten tasarruf edilmiş, deney sonuçlarında elde edilen veriler optimize edilerek iyileştirme gerçekleştirilmiştir. Gri ilişki analizi ile A1B1C1 deney serisinde optimum kesme şartları belirlenmiştir.

## 1. Materyal ve Yöntem

### 2.1 Materyal

AZ91 yüksek dayanım ve iyi dökülebilme özelliğine sahiptir. Araştırmada kullanılan malzeme magnezyum alaşımı olan AZ91 serisidir. Tablo 1 de malzemeye ait bileşenler ve Tablo 2’de de mekanik özellikleri gösterilmiştir.

**Tablo 1.** Magnezyum Alaşımları Ve Kimyasal Bileşimleri

Alaşım Elementi	Al	Zn	Mn	Si (max)	Fe (max)	Cu	Ni (max)	Be	Diğer	Mg
AZ91	8,5-9,5	0,45-	0,17-	0,05	0,004	0,025	0,001	-	0,01	Kalan

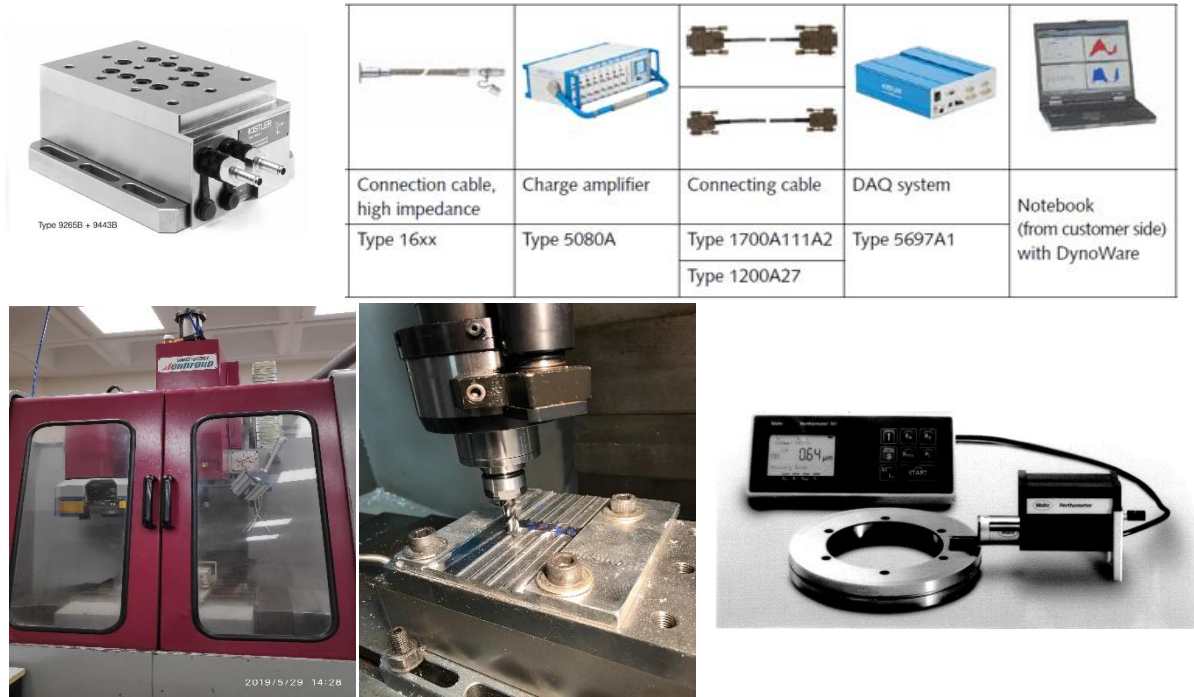
Kullanılan magnezyum alaşımının ölçüleri (150\*150\*10) mm’dir.

**Tablo 2.** AZ 91 Mekanik Özellikleri

	Akma Muk. (MPa)	Çekme Muk. (MPa)	Uzama (%)	Elastiklik Mod. (Gpa)
AZ 91	168	311	21	49

## 2.2 Deney Düzenegi

Frezeleme için yüksek devirlerde ve DLC kesici takımlar ile çalışılması gerekmektedir. Deneylerde JOHNFORD VMC-850/550+APC CNC Fanuc 0T x-y-z eksenli freze tezgahında, yüksek hız devir sağlayıcı olarak Nikken marka hız kafası CNC işleme merkezine adapte edilmiştir. Hız kafasının iç koniği SK10-10A normunda pens kullanılmıştır. Deneyde kullanılan 10mm çapında DLC parmak freze kullanılmıştır. MAHR-Perthometre cihazı ile yüzey pürüzlülüğü ölçülmüştür. Kuvvet ölçümü için KISTLER 9265B kuvvet sensörü, KISTLER 5080 yük amplifikatörü ve analiz programı olarak DynaWare programı kullanılmıştır (Şekil 1).



Şekil 1. Deney Düzenegi

## 2.3 Deney Tasarımı

Malzeme özellikleri, devir sayısı, ilerleme miktarı ve talaş derinliği gibi parametreler kesme şartlarını oluşturmaktadır. Taguchi metodu deney sayısını azaltarak, test ve üretim maliyetlerinin azalmasını sağlamaktadır [11-15].

Deneyler Taguchi yöntemi ile tasarlanmıştır. İlk olarak, kontrol faktörü ve seviyeler belirlenmiştir. Sonrasında matris seçimi yapılarak, seviyeler matrise aktarılmıştır. Kullanılan L9 dizine göre değişkenlerin üç farklı seviyesi bulunmaktadır. Toplam 9 farklı deney yapılmıştır.

Bu araştırmada ki değişkenler ve seviyeler Tablo 3'de verilmiştir.

**Tablo 3.** Değişkenler ve Seviyeler

Değişkenler	Sembol	Birim	Kod	Seviyeler		
				1	2	3
Devir	n	m/dak	A	9000	10000	11000
İlerleme miktarı	f	mm/dak	B	800	1000	1200
Talaş derinliği	d	mm	C	0.5	1.0	1.5

Aşağıda Tablo 4’de Taguchi yöntemine göre tasarlanan deneylerin listesi belirtilmiştir. Toplamda yapılan deney sayısı 9 olmuştur.

**Tablo 4.** Deney Tasarımı

Deney No	Değişkenler	Kesme hızı (m/dak)	İlerleme (mm/dev)	Kesme derinliği (mm)
1	A1B1C1	1	1	1
2	A1B2C2	1	2	2
3	A1B3C3	1	3	3
4	A2B1C2	2	1	2
5	A2B2C3	2	2	3
6	A2B3C1	2	3	1
7	A3B1C3	3	1	3
8	A3B2C1	3	2	1
9	A3B3C2	3	3	2

#### 1.4. Gri İlişkisel Analiz (GİA)

Gri İlişkisel Analizi’nde; siyah, bilgiye sahip olmadığını, beyaz, bilgiye tamamen sahip olduğunu gösterir. Gri sistem ise, siyah ile beyaz arasındaki bilginin seviyesini gösterir. Diğer bir deyişle gri sistemde bazı bilgiler bilinirken bazı bilgiler bilinmez. Beyaz sistemde, sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesindir. Gri sistemde ise sistem içerisindeki ilişkiler arası faktörler kesin değildir [11].

Gri ilişkisel analiz (GİA) gri modellemenin alt başlıklarından biridir. GİA gri bir sistemdeki her bir faktör ile kıyas yapılan faktör (referans serisi) serisi arasındaki ilişki derecesini belirlemeye yarayan bir metottur. Her bir faktör bir dizi (satır veya sütun) olarak tanımlanır. Faktörler arası etki derecesi ise gri ilişkisel derece olarak isimlendirilir [11-14].

Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplama adımları aşağıdaki gibidir [11-14]:

**1.Adım:** n uzunluğundaki referans seri aşağıdaki gibi olsun (Eşitlik 1).

$$x_0 = (x_0(1), x_0(2), x_0(3), \dots, x_0(n)) \quad (1)$$

**2. Adım:** Verilerin normalize edilmesi

Faktörlerin farklı kaynaklardan geldiği, farklı birimlerde ölçüldüğü düşünüldüğünde GİA’ın ilk adımı verilerin aynı birime dönüştürülmesidir. Ayrıca serinin çok geniş aralıklarda değerler aldığı durumlarda standartlaştırmayla verilerin küçük bir aralığa çekilmesinde de fayda vardır. Gri sistem teorisinde bu normalleştirme projesine “gri ilişkisel oluşum (grey relational generating)” adı verilmektedir. Verilerin normalizasyonunda en sık kullanılan yöntemlerden

birisi lineer veri önışleme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “ daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “en ideal en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttığıdır. Örneğin serideki noktaların küçük değerler olması istenen bir özellik ise lineer normalizasyonda küçük değer alan noktalar normalizasyonda “1” e yakın değerler alırken, büyük değer alan noktalar “0” ‘a yakın değerler alacaktır.

“Daha yüksek daha iyi” durumunda normalizasyon Eşitlik 2’deki gibidir.

$$x_i(k) = \frac{x_i^0(k) - \min x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (2)$$

$x_0(k)$ , i serisi k. sıradaki orjinal değer,  $x_i(k)$  normalizasyon sonrası i. seri k. Sırasındaki değer,  $\min x_0(k)$  i serisindeki minimum değer,  $\max x_0(k)$  i serisindeki maksimum değerdir.

“Daha düşük daha iyi” için Eşitlik 3’deki gibidir;

$$x_i(k) = \frac{\max x_i^0(k) - x_i^0(k)}{\max x_i^0(k) - \min x_i^0(k)} \quad (3)$$

“İdeal değer daha iyi” için Eşitlik 4’deki gibidir;

$$x_i(k) = 1 - \frac{|x_i^0(k) - x^0|}{\max x_i^0(k) - x^0} \quad (4)$$

Burada  $x^0$  istenilen ideal değeri göstermektedir.

**1. Adım:**  $x_0$  serisi ile karşılaştırılacak m tane seri Eşitlik 5’de tanımlanmış olsun.

$$x(x), 1(x), 2(x), 3(x), \dots, x(n) \quad i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

**2. Adım:** k, n uzunluğundaki serideki k. Sırayı gösterecek n,  $\varepsilon(x_0(k), x_i(k))$  noktadaki gri ilişkisel katsayı olup eşitlik 6, 7, 8 ve 9’a göre hesaplanır.

$$\varepsilon(x_0(k), x_i(k)) = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\min}}{\Delta_{0i}(k) + \xi \Delta_{\max}} \quad (6)$$

$$\Delta_{0i}(k) = |x_0(k) - x_i(k)| \quad (7)$$

$$\Delta_{\min} = \min_j \min_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (8)$$

$$\Delta_{\max} = \max_j \max_k |x_0(k) - x_j(k)| \quad (9)$$

**3. Adım:** Son olarak gri ilişkisel derece ise eşitlik 10 ile hesaplanır:

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \quad (10)$$

$\gamma(x_0, x_i)$ ,  $x_i$   $x_0$ , benzerliği n bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü  $x_i$  ile  $x_0$  arasında kuvvetli bir ilişki olduğunu n göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriye ne kadar benzer olduğunu gösterir.

Eğer her bir kriterin ağırlıkları verildiyse, kriterin gri ilişki katsayısı ile kriterin önem derecesine ilişkin ağırlık değeri çarpılarak gri ilişki derecesi bulunabilir. Bu Eşitlik 11'e göre hesaplanır.

$$\gamma(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(x_0(k), x_i(k)) \cdot (W_i(k)) \quad (11)$$

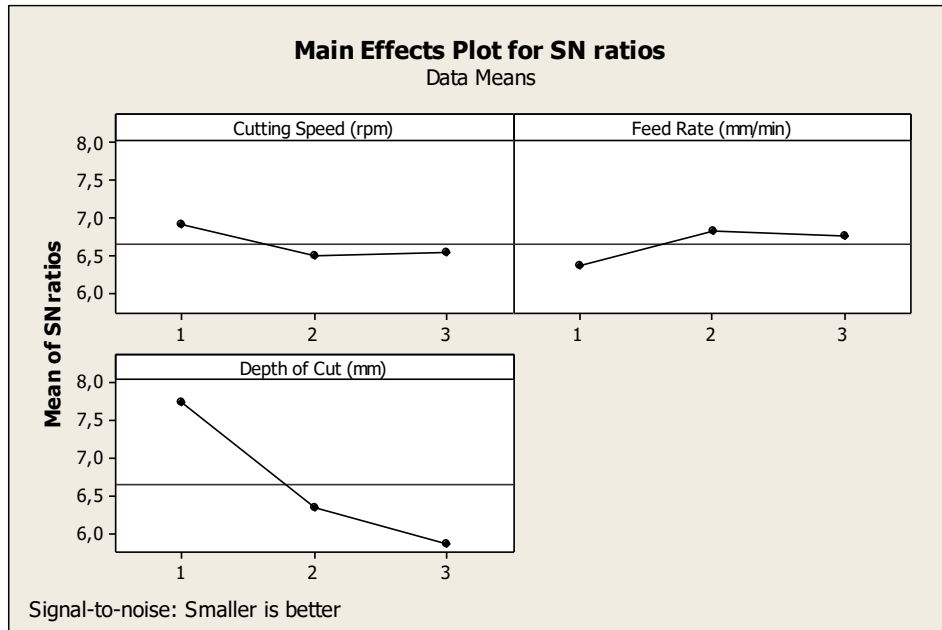
Karar verme probleminde referans seri, kriterlerin alması istenen en büyük, en küçük ve en ideal değerler olarak seçilirse, karşılaştırması yapılacak faktör serinin referans seriye göre hesaplanacak gri ilişkisel derecesi kriterleri yakalama seviyesinin bir göstergesi olacaktır. Diğer bir deyişle gri ilişkisel derecesi en yüksek olan faktör serisi (alternatif) karar verme probleminde en iyi karar verme alternatifini gösterecektir.

## 2. Bulgular Ve Tartışma

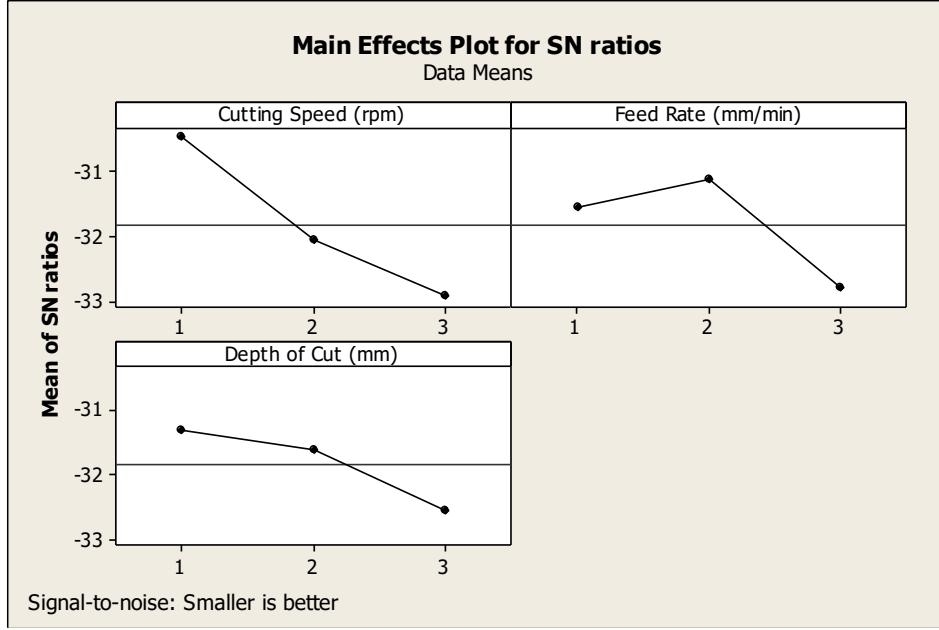
### 3.1 Sinyal/Gürültü Oranları ve En Uygun Seviyeler

Taguchi tasarımı ile elde edilen sonuçlar sinyal/ gürültü (S/N) oranlarına dönüştürülmekte ve desibel (dB) olarak ifade edilmektedir. Sinyal değeri sistemin verdiği ve ölçülmek istenen gerçek değeri, gürültü faktörü ise ölçülen değer içerisindeki istenmeyen faktörlerin payını temsil etmektedir [15]. Çalışmamızda hedef en iyi yüzey kalitesine ve en düşük kesme kuvvetine ulaşmak olduğu için Sinyal/Gürültü oranı için kullandığımız denklem en küçük en iyi denklemdir [15]. Şekil 2 ve 3'de S/N oranı verilmiştir.

$$S / N = 10 \times \log \left( \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (12)$$



Şekil 2. Yüzey Pürüzlülüğü için SN Oranı



Şekil 3. Kesme Kuvveti için SN Oranı

Magnezyum malzeme üzerinden DLC kaplı DL10 parmak freze takımlarla CNC freze tezgahında devir, ilerleme ve talaş derinliği parametreleri değişken olarak kullanılarak talaş kaldırılmıştır. Bu işleme parametrelerinin yüzey pürüzlülüğüne etkileri incelenmiştir. Tablo 5’de deneyler sonrası elde edilen yüzey pürüzlülük ve kesme kuvveti değerleri verilmiştir. Genel olarak, elde edilen pürüzlülük değeri, 0.384- 0.56  $\mu\text{m}$  arasında, kesme kuvvetleri ise 31.28-52.64 N arasında olmuştur.

Tablo 5. Deneyler Sonucu Ölçülen Yüzey Pürüzlülüğü Ve Kesme Kuvveti Değerleri

Deney No.	Değişkenler	Yüzey Pürüzlülüğü ( $\mu\text{m}$ )	Kesme Kuvveti (N)
1	A <sub>1</sub> B <sub>1</sub> C <sub>1</sub>	0.384	31.28
2	A <sub>1</sub> B <sub>2</sub> C <sub>2</sub>	0.444	33.87
3	A <sub>1</sub> B <sub>3</sub> C <sub>3</sub>	0.538	35.25
4	A <sub>2</sub> B <sub>1</sub> C <sub>2</sub>	0.56	32.96
5	A <sub>2</sub> B <sub>2</sub> C <sub>3</sub>	0.476	41.20
6	A <sub>2</sub> B <sub>3</sub> C <sub>1</sub>	0.398	47.61
7	A <sub>3</sub> B <sub>1</sub> C <sub>3</sub>	0.516	52.64
8	A <sub>3</sub> B <sub>2</sub> C <sub>1</sub>	0.449	33.42
9	A <sub>3</sub> B <sub>3</sub> C <sub>2</sub>	0.451	49.44

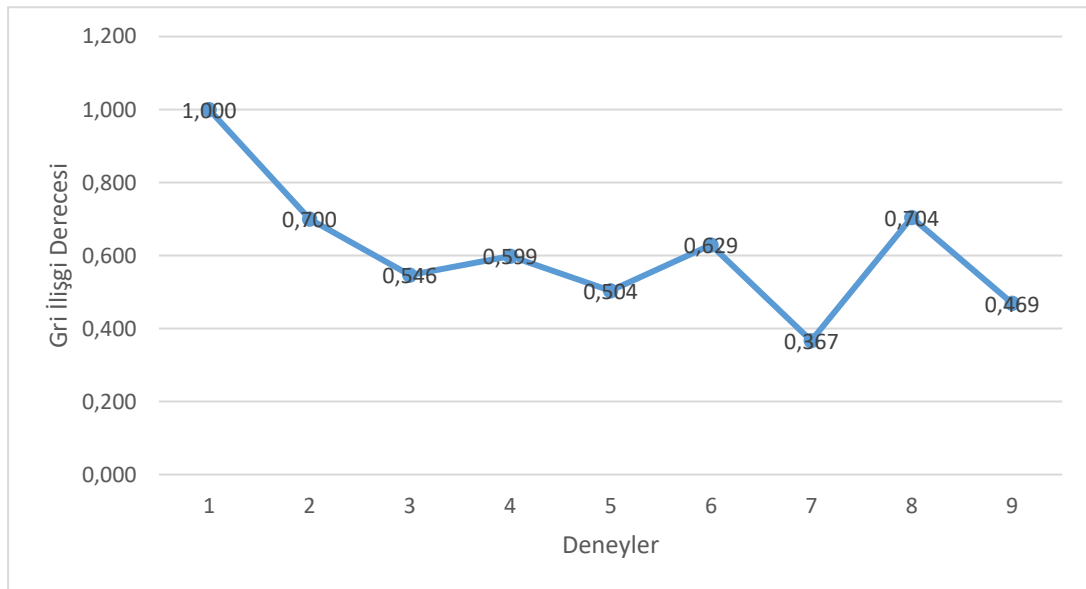
### 3.2. Gri İlişkisel Analiz Sonuçları

Magnezyumun işlenmesinde yüzey pürüzlülüğünün ve kesme kuvvetinin az olması istenmektedir. Bundan dolayı GİA yöntemine göre referans serisi oluşturulurken minimum değerler göz önüne alınır ve normalizasyon işlemi esnasında “daha düşük daha iyi” şeklinde değerlendirilir.

Bütün ölçüm sonuçlarının normalize edilmiş hali ve hesaplanan katsayı matrisi sonuçları Tablo 6'da sunulmuştur. Katsayı matrisleri hesaplandıktan sonra, Eşitlik 11'e göre Gri İlişkisel Dereceleri bulunur. Uygulanan deneye göre, Tablo 6'da ve Şekil 2'de de açıkça görüldüğü gibi Gri İlişkisel Derecelerde en yüksek (optimum) değer 1 numaralı deneyden elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar göre en yüksek olan değer en ideal değer olarak tanımlanır. Gri İlişkisel Dereceye göre minimum yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti değeri elde etmek için kullanılacak en ideal kesme özellikleri 1 numaralı deneyde kullanılan işleme şartlarında görülmektedir.

**Tablo 6.** Gri İlişkisel Analiz Değerleri

Deney No	Normalizasyon		Katsayı Matrisi		Gri İlişkisel Derece	
	Yüzey Pürüzlülüğü	Kesme Kuvveti	Yüzey Pürüzlülüğü	Kesme Kuvveti	Gri Derece	GİA Sıralaması
1	0,000	0,000	1,000	1,000	1,000	1
2	0,341	0,121	0,595	0,805	0,700	3
3	0,875	0,186	0,364	0,729	0,546	6
4	1,000	0,079	0,333	0,864	0,599	5
5	0,523	0,464	0,489	0,518	0,504	7
6	0,080	0,765	0,863	0,395	0,629	4
7	0,750	1,000	0,400	0,333	0,367	9
8	0,369	0,100	0,575	0,833	0,704	2
9	0,381	0,850	0,568	0,370	0,469	8



**Şekil 4.** Gri İlişkisel Derece



Tablo 7. İşleme İçin Gri İlişkisel Analiz Değerleri

Levels	Spindle Speed (m/min)	Feed (mm/min)	Depth of Cutting(mm)
Level 1	<b>0,749</b>	<b>0,655</b>	<b>0,778</b>
Level 2	0,577	0,636	0,589
Level 3	0,513	0,548	0,472

#### 4. Sonuç ve Tartışma

AZ91 alaşım malzemesinin DLC kaplı parmak freze ile işlenebilirliğinin araştırıldığı bu çalışmada faydalı neticeler elde edilmiştir. İşlenebilirlik için incelenen kriterler, yüzey pürüzlülüğü ve kesme oluşumun olmuştur. Bu kriterlerin en ideal şartlarda gerçekleşmesinde etkili olduğu düşünülen üç kontrol faktörü (Devir, ilerleme oranı ve talaş derinliği) üç farklı seviyede seçilmiş ve deneysel çalışmada uygulanmıştır. Bulunan neticeler aşağıda özetlenmiştir.

- AZ91 alaşım malzemesinin DLC kaplamalı kesici takımlarla işlenmesinde, en iyi yüzey pürüzlülük değerine ( $R_a$ : 0.384  $\mu$ m) devir 9000 dev/dak, ilerleme oranı 800 mm/dak ve talaş derinliği 0.5 mm ile elde edilmiştir.
- Kesme kuvvetinin oluşumunda her üç kontrol faktörü (ilerleme oranı, kesme hızı ve talaş derinliği) de etkili olmuştur. En düşük kesme kuvveti değerine (31.28), devir 9000 dev/dak, ilerleme oranı 900 mm/dak, ve talaş derinliği 0.5 mm'de ulaşılmıştır.
- Taguchi optimizasyon tekniği, AZ91 alaşım malzemesinin işlenebilirliği deney tasarımında ve parametrelerin optimizasyonu ile yanıt değerlerin istenilen oranlarda seyretmesinde etkili bir teknik olduğu yapılan çalışma ile görülmüştür.
- GRİ ilişkisel optimizasyon tekniği ile yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvveti optimize edilmiş ve devir 9000 dev/dak, ilerleme oranı 900 mm/dak, ve talaş derinliği 0.5 mm ile ulaşılmıştır.

Elde edilen sonuçlar ve literatür dikkate alınarak değerlendirildiğinde, DLC kaplamaların AZ91 alaşım malzemesinin işlenebilirliğine olumlu katkı sağladığı ve özellikle kesici takımın performansındaki iyileşmeye ivme kazandırdığı sonucuna ulaşılmıştır.

#### 5.Kaynaklar

- [1] Kandemir, K., Can, A. Ç., “Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum Alaşımalarının Kullanım Potansiyeli” Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 2003,1. 37-45.
- [2] Zeytin, H. K., “Magnezyum Alaşımları: Otomotiv Endüstrisinde Uygulaması ve Geleceği” Marmara Araştırma Merkezi, Gebze, Kocaeli 1999.
- [3] Ünal, M., “Magnezyum Alaşımalarının Döküm Özelliklerinin İncelenmesi” Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 2008.
- [4] Gaines, L., Cuenca, R., Stodolsky, F., WU, S, “Potential Automotive Uses of Wrought Magnesium Alloys” Automotive Technology Development, 1-7. Detroit, Michigan, 1996.

- [5] Ünal, M., Koç, E.,Türen, Y., Gül, F., Candan, E., “AZ91 Magnezyum Alaşımının Döküm ve Mekanik Özelliklerine Si İlavesinin Etkisi”, V. International Advanced Technologies Symposium, 13-15 May, Karabük, Turkey. 2009.
- [6] Koç, E., Ünal, M., Türe, Y., Candan, E., “AZ91 Magnezyum Alaşımının Döküm ve Mekanik Özelliklerine Sn İlavesinin Etkisi”, V. International Advanced Technologies Symposium, 13-15 May, Karabük, Turkey. 2009.
- [7] Saklakoğlu, N., Erçayhan, Y., “AZ91 Magnezyum Alaşımının Metalurjik Özelliklerine Kadmiyum Elementinin Etkisi” II. Ulusal Tasarım -İmalat ve Analiz Kongresi (TİMAK) 11-12 Kasım, Balıkesir, 2010.
- [8] Akyüz, B., “Influence of Al content on machinability of AZ series Mg alloys” Transactions of Nonferrous Metals Society Of China, 2013;23: 2243-2249.
- [9] Kim, J., Lee, K., “Surface Roughness Evaluation in Dry-Cutting of Magnesium Alloy by Air Pressure Coolant” Engineering, 2010;2;p.788-792.
- [10] Narita, H., Katoh, K., Tokisue, H., “Facing Machinability of AZ91 Magnesium Alloy Castings” Journal of Japan Institute of Light Metals Vol. 51 No. 11 P 614-618 (2001).
- [11] Ay, M., Etyemez, A. Optimization of Effects of Cutting Parameters and Cutting Tool Path by using Grey Based Taguchi Method. Acta Physica Polonica, A, 2018;134-1p.125-128.
- [12] Ay, M. Optimisation of Machining Parameters in Turning AISI 304L Stainless Steel by the Grey-Based Taguchi Method. Acta Physica Polonica, A, 2017;131-3p.349-353.
- [13] Basmacı G., Ay M. Optimization of Cutting Parameters, Condition and Geometry in Turning AISI 316L Stainless Steel Using the Grey-Based Taguchi Method. Acta Physica Polonica, A, 2017;131-3 p.354-358.
- [14] Basmacı G., Ay M. Etyemez, A. The Grey-Based Taguchi Method: Optimization of Milling of Mold Steel. Acta Physica Polonica, A, 2018;134-1 p.24-27.
- [15] Etyemez, A. Optimization of Effects of Pocket Tool Path Strategies and Cutting Parameters on Surface Quality. Acta Physica Polonica A, 2016;129-4 p.886-889.