

## GRI İLİŞKİSEL ANALİZ YÖNTEMİNE GÖRE FARKLI SERTLİKLERDE OPTİMUM TAKIM TUTUCUSUNUN BELİRLENMESİ

**Esra YILMAZ\*, Ferhat GÜNGÖR\*\***

\*[yilmazesraa@gmail.com](mailto:yilmazesraa@gmail.com) Marmara Üniversitesi, FBE Makine Eğitimi Anabilim Dalı, 34722-İstanbul

\*\*[fgungor@marmara.edu.tr](mailto:fgungor@marmara.edu.tr) Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi, 34722-İstanbul

### ÖZET

Modern endüstride amaç, en kısa zamanda, düşük maliyette, yüksek kalitede ve miktarda ürün imal etmektir. Bu nedenle, üretim sürelerini ve iş parçası maliyetlerini azaltmak için birçok çalışma yapılmıştır. Kesme parametreleri (kesme hızı, ilerleme miktarı ve kesme derinliği) dikkate alınarak, birçok performans özelliklerinin değerlendirilmeleri ile kesme kuvvetleri, yüzey pürüzlülüğü ve titreşim optimize edilir.

Bu çalışmada tornalama parametrelerinin optimizasyonu için Gri İlişkisel Analizi (GİA) Yöntemi kullanılmıştır. Çok kriterli karar verme yöntemlerinden biri olan GİA, her geçen gün kendine daha fazla yer bulan ve farklı alanlarda uygulamalarda kullanılan bir yöntemdir. Az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşımdır. Bu çalışmada, SAE/AISI 4140 malzemesindeki iş parçasını, 3 farklı malzemedeki takım tutucularını, 3 farklı sertliklerde hazırladık. Amacımız, farklı sertlik ve malzemedeki takım tutucularının işleme esnasındaki kesme kuvveti ve titreşim üzerindeki etkilerini incelemektir. Elde ettiğimiz verileri, GİA Yöntemine göre değerlendirdik. Deneysel sonuçlar gösteriyor ki, takım tutucularının sertlikleri ve farklı malzeme yapıları kesme kuvveti ve titreşim üzerinde etkili olmaktadır.

**Anahtar Sözcükler:** Gri İlişkisel Analiz, SAE/AISI 4140, Kesme Kuvveti, Titreşim

### ABSTRACT

The goal of modern industry is manufactured products as soon as possible at a lower cost, higher quality and quantity. Therefore, many studies have been done to reduce part of the production time and workpiece costs. Cutting forces, surface roughness and vibration is optimized to take into account cutting parameters (cutting speed, feed rate and cutting depth) with the evaluation of many performance characteristics.

In this study, Grey Relational Analysis (GRA) Method is used for optimization of turning parameters. GRA, which is one of Multi-criteria decision making methods, is a method used in different areas and applications with each passing day finds itself more space. It is an alternative and effective approach that can be applied in case of more data and uncertainty or less or discrete information. In this study, We prepared three different

materials of tool holder in three different hardness at workpiece of SAE/AISI 4140 material. Our aim is that; different hardness and material tool holders impact of cutting forces and vibration levels are examined during process. Obtained datas were evaluated via GIA Method. Experimental results have shown that the tool holder hardness and structure of different materials have been effective on cutting forces and vibration.

**Keyword:** Grey Relational Analysis, SEA/AISI 4140, Cutting Force, Vibration

## 1.GİRİŞ

Talaşlı imalat alanında en ekonomik imalat ve en ideal takım ömrü için en uygun kesme parametrelerinin belirlenmesi amaçlanır [1]. Yatırım maliyetlerinin düşüklüğü, kullanılan makine ve tezgâhların uzun ömürlü oluşu, işleme parametrelerinin optimizasyona uygunluğu ve en önemlisi de elde edilen ürünlerin ölçü ve yüzey kalitesinin iyi olması talaşlı üretimin diğer üretim yöntemlerine göre tercih sebeplerinden bazılarıdır [2]. Tornalama; kesme işlemi ve özellikle de parçanın işlenmiş son hali için kullanılan oldukça yaygın bir metottur. Ayrıca kesme parametreleri, işleme yöntemiyle istenilen kalitede ürün üretmek için, uygun bir şekilde seçilmelidir [3].

Gri İlişkisel Analiz, Gri Teori ana başlığı altında literatürde yerini almış bir karar verme ve analiz aracıdır [4]. Gri teori ilk defa 1982 yılında Tayland'da ki Hua Chung Bilim ve Teknoloji Üniversite'si öğretim üyelerinden olan Profesör Julong Deng tarafından ortaya atılmıştır. Gri teori gri ilişkisel analiz, gri modelleme, gri tahmin ve gri karar verme gibi alt başlıklar altında farklı alanlarda uygulanmaktadır [5].

GİA, her geçen gün karar verme yöntemi olarak literatürde daha fazla yer alan ve daha çok başvurulan bir araç olmuştur. Farklı alanlarda GİA'nın kullanıldığı uygulamalar, yöntemin uygulanabilirliğine yönelik daha iyi fikir vermektedir [4].

Hsu ve Wen 2000 yılında yaptıkları çalışmada [6], GİA yönteminden yararlanarak belirsizlik ortamında en az sayıda veriyle havayolu trafiği konusunda tahmin ve buna dayalı olarak uçuş frekanslarının belirlenmesi yoluyla havayolu ağ tasarımı gerçekleştirmişlerdir. 2002 yılında Lin ve Lin yaptıkları çalışmada [7], çoklu performans karakteristikleri ile tel erozyon işleminin optimizasyonu için GİA ve ortogonal diziyi kullanmışlardır. 2006 yılında Palanikumar, Karunamoorthy, Karthikeyan [8], çalışmalarında karbür(KIO) takımını kullanarak GFRP (glass fiber-reinforced polymer) malzemesinin işlenmesinde, işleme parametrelerinin çoklu performanslarını optimizasyonunu yapmışlardır. Bunun için de GİA'dan faydalanmışlardır. 2009 yılında Lu, Chang, Hwang, Chung çalışmalarında [9], yüksek hızlı frezede kesme parametrelerinin optimum dizaynı için temel bileşenler analizi ile GİA bir arada kullanılmıştır. Bugün benzer alanlarda birçok çalışmaya rastlamak mümkündür.

Gri Sistem Teorisi az ya da kesikli bilgi, çok veri ve belirsizlik olan durumlarda başvurulabilecek alternatif ve etkili bir yaklaşımdır. Çok değişkenli istatistiklerle hiçbir dağılıma uymayan, yeterli veri içermeyen ve belirsizlik nedeniyle modellenemeyen problemlerde gri teori çözüm önerilmektedir [5].

Bu çalışmada, farklı sertlik ve malzemelerden hazırlanan takım tutucularının kesme esnasında oluşan titreşim ve kesme kuvvetleri üzerine etkisi incelenmiş ve deney sonuçları

üçüncü bölümde verilmiştir. Yapılan deneylerle, minimum kesme kuvveti ve minimum titreşim için optimum takım tutucu sertliği belirlenmiştir. Bu sayede imalatçıların somut verilerle işleme kalitesini etkileyen takım tutucu malzemesinin sertliği kriterine bilimsel bir bakış açısı kazandırılmıştır.

## 2.GRİ İLİŞKİSEL ANALİZİ

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.[10].

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 [5].

Gri ilişkisel analiz metodunun hesaplama adımları aşağıdaki gibidir [5]:

**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'nın 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 ön işleme metodudur. Faktör serilerinin normalizasyonunda dikkat edilmesi gereken “daha yüksek daha iyi”, “daha düşük daha iyi” ve “en ideal en iyi” kriterlerinden hangisinin serinin özelliğini yansıttır. 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.

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

$x_i^0(k)$ , i serisi k. sıradaki orjinal değer,  $x_i(k)$  normalizasyon sonrası i. seri k. sıradaki değer,  $\min x_i^0(k)$  i serisindeki minimum değer,  $\max x_i^0(k)$  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.

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

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

**4. Adım:**  $k$ ,  $n$  uzunluğundaki serideki  $k$ . Sırayı gösterebilir.  $\mathcal{E}(x_0(k), x_i(k))$ ,  $k$ . noktadaki gri ilişkisel katsayı olup eşitlik 6, 7, 8 ve 9’a göre hesaplanır.

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

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

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

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

Ve  $\xi \in (0,1)$  arasındaki bir katsayıdır.  $j=1,2,\dots,m$ ;  $k=1,2,\dots,n$ .  $\xi$  işlevi,  $\Delta_{0i}$  ile  $\Delta_{\max}$  arasındaki farkı ayarlamaktır. Çalışmalar  $\xi$  değerinin gri ilişkisel derece sonrası oluşacak sıralamayı etkilemediğini göstermektedir.

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

$$\mathcal{V}(x_0, x_i) = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \mathcal{E}(x_0(k), x_i(k)) \quad (10)$$

$\mathcal{V}(x_0, x_i)$  gri bir sistemdeki  $x_i$  serisi ile  $x_0$  referans serisi arasındaki geometrik benzerliğin bir ölçüsüdür. Gri ilişkisel derecesinin büyüklüğü  $x_i$  ile  $x_0$  arasında kuvvetli bir ilişki olduğunun göstergesidir. Eğer karşılaştırılan iki seri birbirinin aynı ise gri ilişkisel derece değeri 1 olarak bulunur. Gri ilişkisel derece karşılaştırılan serinin referans seriyeye 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.

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

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 [5].

### 3.DENEYSEL ÇALIŞMA

Deneysel çalışma, JOHNFORD TC 35 CNC Fanuc 0T x-z eksenli CNC Torna Tezgâhında gerçekleştirilmiştir. İş parçası olarak dış çapı 68,5mm' e getirilmiş olan AISI 4140 (42CrMo4) özellikli ıslah çeliği malzemesi kullanılmıştır. Kullanılan bu iş parçasını işlemek için; 42HRC, 45HRC ve 47HRC sertliklerine getirilen ve malzeme özellikleri AISI 2344, AISI 4140 ve AISI 4340 olan takım tutucular TAKIMSAŞ'a özel imal ettirilmiştir. SVJCR tipi olan bu 9 farklı çeşit takım tutucularla deneyler gerçekleştirilmiştir. İş parçası VBMT 110304 SUMITOMO marka kaplamalı elmas uçlar kullanılarak işlenmiştir. İşlenen malzemelerin kuvvet ve titreşim ölçümleri için sırası ile KISTLER 9121 Dinamometre ve Vibrotest-60 Ölçüm Cihazı kullanılmıştır.

İşleme esnasında ilerlemeler değiştirilmiş ve kesme hızı ile talaş derinlikleri sabit tutulmuştur. Sertlik, ilerleme ve malzeme cinsine göre oluşturulmuş olan deney düzeneği Tablo1 de verilmiştir.

Tablo 1. Deney düzeneği

Deney No	Sertlik (HRC)	İlerleme (mm/min)	Malzeme Cinsi	Sertlik (HRC)	İlerleme (mm/min)	Malzeme Cinsi
1	1	1	1	42	0,1	2344
2	1	2	2	42	0,2	4140
3	1	3	3	42	0,3	4340
4	2	1	3	45	0,1	4340
5	2	2	1	45	0,2	2344
6	2	3	2	45	0,3	4140
7	3	1	2	47	0,1	4140
8	3	2	3	47	0,2	4340
9	3	3	1	47	0,3	2344

### 4.DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

Şekil 1'de gösterildiği gibi yapılan ölçümlerden elde edilen kesme kuvveti, titreşim değerleri Tablo 2'de toplu halde verilmiştir.



Şekil 1. Kuvvet ve titreşim ölçüm standı

Tablo 2. Titreşim ve kesme kuvveti deney sonuçları

Deney No	Sertlik (HRC)	İlerleme (mm/min)	Malzeme Cinsi	Kesme Kuvveti	Titreşim
1	1	1	1	300,2648	0,1098
2	1	2	2	281,3648	0,0644
3	1	3	3	335,8048	0,1024
4	2	1	3	270,4383	0,1959
5	2	2	1	295,0641	0,0223
6	2	3	2	371,6561	0,0887
7	3	1	2	289,8045	0,0928
8	3	2	3	269,8891	0,0950
9	3	3	1	343,2175	0,0929

Tornalama işlemi esnasında kuvvetin ve titreşimin az olması daha iyi performansı göstermektedir. Böylece GİA yöntemine göre referans serisi oluşturulurken minimum değerler göz önüne alınır ve normalizasyon işlemi esnasında **“daha düşük daha iyi”** şeklinde değerlendirilir. 1. deneydeki titreşim değeri için normalizasyon işlemi yapacak olursak aşağıdaki değer elde edilir.

$$x_t(1) = \frac{\max x_t(1) - x_t(1)}{\max x_t(1) - \min x_t(1)} = \frac{0,1959 - 0,1098}{0,1959 - 0,0223} = 0,4960$$

Bütün ölçüm sonuçlarının normalize edilmiş hali Tablo 3’de verilmiştir. Normalize edilen sonuçlar referans serisinden çıkarılarak katsayı matrisi için gerekli olan uzaklık matrisi elde edilmiş olur. Katsayı matrisi hesabı için  $\xi = 0,5$  orta değeri alınır. 1. Deneyin titreşim sonuçları için katsayı matrisini hesaplayacak olursak;

$$\Delta_t(1) = |x_0(k) - x_j(k)| = |1 - 0,4960| = 0,5040$$

$$\varepsilon_{t1} = \frac{\Delta_{\min} + \xi \Delta_{\max}}{\Delta_{0t}(k) + \xi \Delta_{\max}} = \frac{0 + 0,5 \cdot 1}{0,5040 + 0,5 \cdot 1} = 0,4980$$

Bütün deneyler için hesaplanan katsayı matrisi sonuçları Tablo 4’de sunulmuştur.

Tablo 3. Normalizasyon

Deney No	Titreşim	Kesme Kuvveti
Referans Serisi	1	1
1	0,4960	0,7015
2	0,7575	0,8872
3	0,5386	0,3523
4	0,0000	0,9946
5	1,0000	0,7526
6	0,6175	0,0000
7	0,5939	0,8043
8	0,5812	1,0000
9	0,5933	0,2794

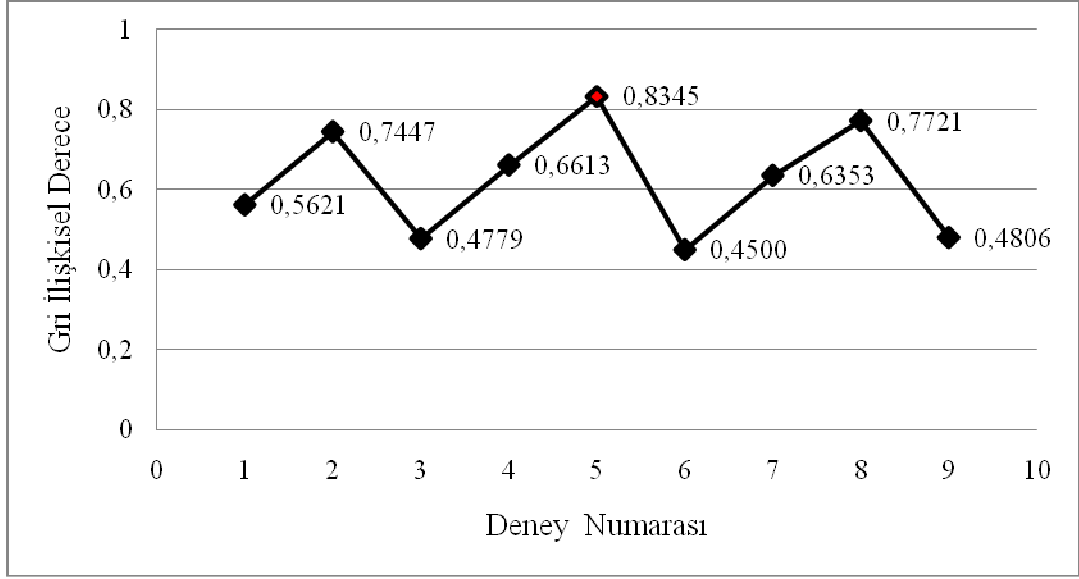
Tablo 4. Katsayı Matrisi

Deney No	Titreşim	Kesme Kuvveti
1	0,4980	0,6262
2	0,6734	0,8160
3	0,5201	0,4356
4	0,3333	0,9893
5	1,0000	0,6690
6	0,5666	0,3333
7	0,5518	0,7187
8	0,5442	1,0000
9	0,5515	0,4097

Katsayı matrisleri hesaplandıktan sonra, Eşitlik 10'a göre Gri İlişkisel Dereceleri bulunur. Uygulanan deneye göre, Tablo 5'de ve Şekil 2'de de açıkça görüldüğü gibi Gri İlişkisel Derecelerde en yüksek (optimum) değer 5 numaralı deneyden elde edilmiştir. Çıkan sonuçlar göre **en yüksek olan değer en ideal değer** olarak tanımlanır. Böylece minimum kesme kuvveti ve minimum titreşim değerleri elde etmek için kullanılacak en ideal takım tutucu özellikleri 5 numaralı deneyde kullanılan işleme şartlarında görülmektedir.

Tablo 5. Gri ilişkisel derece

Deney No	Sertlik	İlerleme Miktarı mm/dev	Malzeme Cinsi	Titreşim	Kesme Kuvveti	Gri Derece	GİA' ya göre en iyi Sıralama
1	42	0,1	2344	0,1098	300,2648	0,5621	6
2	42	0,2	4140	0,0644	281,3648	0,7447	3
3	42	0,3	4340	0,1024	335,8048	0,4779	8
4	45	0,1	4340	0,1959	270,4383	0,6613	4
5	45	0,2	2344	0,0223	295,0641	0,8345	1
6	45	0,3	4140	0,0887	371,6561	0,4500	9
7	47	0,1	4140	0,0928	289,8045	0,6353	5
8	47	0,2	4340	0,0950	269,8891	0,7721	2
9	47	0,3	2344	0,0929	343,2175	0,4806	7



Şekil 2. Minimum titreşim ve kesme kuvveti için gri ilişkisel derece

## 5.SONUÇLAR

Bu çalışmada, Tornalama işleminde çoklu performans karakteristikleri ( kesme kuvveti ve titreşim) için, optimum takım tutucusu Gri İlişkisel Analiz Yöntemi kullanılarak belirlenmiştir.

Kesme kuvveti ve titreşim, tornalama işlemi esnasında yüzey kalitesinin etkilenmesi nedeniyle seçilmiştir. Elde edilen Gri İlişkisel Derecelerinin sonuç tablosundan, tornalama işlemi için Gri İlişkisel Derecenin en yüksek değeri bulundu. Bu değerler, 0,2 mm/dev ilerleme miktarı, 45 HRC sertlik ve SAE/AISI 2344 malzemesindeki takım tutucu için uygun sonuç olarak değerlendirilmiştir. Bu uygulamalarda, her bir deneyin 5-6 kez tekrarlanarak sonuçların ortalamaları üzerinden daha uygun sonuç elde edileceği bir gerçektir. Ancak, maliyet ve zaman oluşturması nedeniyle birer kez tekrarlanmıştır. GİA'nın bu tür deneylerdeki performansını farklı yöntemlerle karşılaştırarak, tutarlılık ve güvenilirlik testleriyle de sınanması görüşünü de savunmaktayız.

## 6.TEŞEKKÜR

1- Marmara Üniversitesi CNC Laboratuvarında başta Prof. Dr. Mustafa KURT ve Arş. Gör. Barkın BAKIR Hocalarımıza desteklerinden ve yardımlarından dolayı teşekkür ederiz.

2-Takım tutucularını imal edip çalışmalarımızı destekleyen TAKIMSAŞ A.Ş. yöneticilerinden Tekin SEÇKİN ve Turgay YAPICI Beyefendilerine teşekkür ederiz.

3-Uçlarımızı tedarik ettiğimiz NİKKEN TÜRKİYE yöneticisi Dr. Ayhan ETYEMEZ Beyefendiye teşekkür ederiz.



## 7.KAYNAKLAR

- [1] IŞIK, Y., ÇAKIR, M.C., Hız Çeliği Takımlar için Kesme Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, **Teknoloji**, Sayı 1-2, p.p.111-118, (2001).
- [2] NEŞELİ, S., Tornalamada Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü (2006).
- [3] TZENG, C.J., LIN, Y.H., YANG, Y.K., JENG, M.C., Optimization of Turning Operations with Multiple Performance Characteristics Using The Taguchi Method and Grey Relational Analysis, **Journal of Materials Processing Technology**, 209, p.p. 2753–2759, (2009).
- [4] DEMİRAY, A., Makine Seçim Probleminin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemiyle Çözümü, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara (2007).
- [5] ÜSTÜNIŞIK, N.Z., Türkiye'deki iller ve Bölgeler Bazında Sosyo-Ekonomik Gelişmişlik Sıralaması Araştırması: Gri ilişkisel Analiz Yöntemi ve Uygulaması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, (Haziran 2007).
- [6] HSU, C.I. and WEN, Y.H., Application of Grey Theory and Multiobjective Programming Towards Airline Network Design, **European Journal of Operational Research**, 127(1), p.p. 44-68, (2000).
- [7] LIN, J.L., LIN, C.L., The Use of The Orthogonal Array With Grey Relational Analysis to Optimize The Electrical Discharge Machining Process With Multiple Performance Characteristics, **International Journal of Machine Tools & Manufacture** 42, p.p. 237–244, (2002).
- [8] PALANIKUMAR, K., KARUNAMOORTHY, L., KARTHIKEYAN, R., Multiple Performance Optimization of Machining Parameters on the Machining of GFRP Composites Using Carbide (K10) Tool, **Materials and Manufacturing Processes**, 21, p.p. 846–852, (2006).
- [9] LU, H.S., CHANG, C.K., HWANG, N.C., CHUNG, C.T., Grey Relational Analysis Coupled With Principal Component Analysis for Optimization Design of The Cutting Parameters in High-Speed End Milling, **Journal of Materials Processing Technology** 209, p.p. 3808–3817, (2009 ).
- [10] TOSUN N., Determination of Optimum Parameters for Multi-Performance Characteristics in Drilling by Using Grey Relational Analysis, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology** , 28, p.p. 450–455, (2006).